

РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Л. О. Середа, С. А. Куролап, Л. А. Яблонских

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА
ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ**

Монография

Воронеж
Издательство «Научная книга»
2018

УДК 550.42
ББК 20.1



Исследование выполнено при финансовой поддержке Русского географического общества в рамках научного проекта № 11/2018/РГО-РФФИ от 20.04.2018

Р е ц е н з е н т ы:

*доктор геогр. наук, доцент Ю.Г. Чендев
(Белгородский государственный национальный
исследовательский университет)*

*доктор биол.наук., профессор О.В. Клепиков
(Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области)*

С32 Серeda Л.О. Эколого-геохимическая оценка техногенного загрязнения почвенного покрова промышленных городов / Л.О. Серeda, С.А. Куролап, Л.А. Яблонских. - Воронеж: Издательство «Научная книга», 2018. – 196 с.

ISBN 978-5-98222-979-3

В монографии представлены результаты комплексных геоэкологических исследований, выполненных в рамках научного проекта Русского географического общества - Российского фонда фундаментальных исследований /проект «Геоинформационное обеспечение региональных систем медико-экологического мониторинга крупных промышленных центров» № 11/2018/РГО-РФФИ от 20.04.2018/.

Рассмотрены теоретические основы эколого-геохимической оценки промышленных городов, проанализированы закономерности формирования зон техногенного загрязнения почвенного покрова промышленных центров (на примере города Воронежа и некоторых других промышленно развитых городов). С помощью геоинформационных технологий созданы карты-схемы загрязнения почвенного покрова города и обоснованы основные направления мониторинга состояния городских почв в условиях интенсивного техногенного воздействия.

Издание будет полезно специалистам региональных природоохранных и гигиенических ведомств, градостроителям, разрабатывающим целевые программы мониторинга и охраны окружающей среды, а также ученым и студентам вузов, заинтересованным в изучении экологических проблем городской среды.

Табл.: 41. Ил.: 55. Библиогр.: 207 назв.

© Серeda Л.О, Куролап С.А., Яблонских Л.А., 2018
© Издательство «Научная книга», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
ГЛАВА 1. Теоретические основы эколого-геохимической оценки промышленных городов	9
1.1. Современные подходы к эколого-геохимической оценке и мониторингу состояния урбанизированных территорий	9
1.2. Геоинформационные технологии в эколого-геохимической оценке урбанизированных территорий	14
1.3. Особенности нормирования качества почвенного покрова.....	17
1.4. Региональные проблемы загрязнения почвенного покрова урбанизированных территорий	22
ГЛАВА 2. Методические основы исследования	31
2.1. Общая схема организации исследования	31
2.2. Объекты исследования состояния городской среды	34
2.3. Экогеохимические исследования загрязнения снежного покрова	40
2.4. Эколого-аналитические методы исследования качества почвенного покрова и уличного смета	41
2.5. Методы вероятностно-статистического анализа и геоинформационные технологии в оценке загрязнения почвенного покрова	48
Глава 3. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова территории города Воронежа	50
3.1. Ландшафтно-экологические условия и функционально- планировочная организация города Воронежа	50
3.2. Источники техногенного загрязнения городской среды	56
3.3. Оценка состояния снежного покрова	61
3.4. Оценка геохимического состояния почвенного покрова	66
3.4.1. Характеристика фоновых участков	67
3.4.2. Характеристика почвенного покрова территории	78
3.4.3. Анализ геохимической структуры фоновых участков	86
3.4.4. Тяжелые металлы и нефтепродукты в почвенном покрове.....	93
3.4.5. Локальные техногенные аномалии тяжелых металлов в почвенном покрове города	104
3.4.6. Анализ уличного смета	108
3.4.7. Биотестирование почвенного покрова	110
3.4.8. Токсикологический анализ почвенного покрова	117

Глава 4. Закономерности формирования зон техногенного загрязнения и интегральная оценка почвенного покрова	121
4.1. Статистический анализ закономерностей формирования техногенного загрязнения почвенного покрова	121
4.1.1. Статистический анализ системы «почвенный покров».....	121
4.1.2. Анализ системы «почвенный покров – снежный покров».....	127
4.1.3. Анализ системы «почвенный покров – уличный смет».....	130
4.2. Применение методов кластерного анализа в оценке состояния почвенного покрова	132
4.3. Интегральная оценка состояния почвенного покрова города.....	139
4.4. Сравнительный анализ загрязнения почвенного покрова городов	146
4.5. Рекомендации по совершенствованию системы геоэкологической оценки городских почв с применением геоинформационных технологий, научно-прикладные аспекты	158
Заключение	163
Список сокращений	167
Список литературы	168
Приложения	186
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Фотоматериалы объектов исследования (выборочно)	187
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Результаты статистического анализа закономерностей формирования техногенного загрязнения почвенного покрова	190
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Показатели состояния почвенного покрова в разных функционально-планировочных зонах города по итогам мониторинга	194
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Результаты геоинформационного картографирования почвенного покрова на почвенной карте города (фрагмент по загрязнению почв цинком)	195
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Элементы базы данных по состоянию почвенного покрова	196

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время крупные промышленные центры по интенсивности и площади загрязнения представляют собой техногенные геохимические и биогеохимические провинции [67, 71, 129, 145, 164]. Почвы городов являются, с одной стороны, концентраторами соединений, поступающих от транспортных потоков, промышленности и коммунальных хозяйств, а, с другой стороны, выступают как мощные источники техногенных веществ, включающихся в региональные миграционные циклы [69, 177, 189]. Почвенный покров является важным фактором эколого-гигиенического состояния городов, что обуславливает необходимость его систематики и инвентаризации, а также изучения особенностей экологических функций и мониторинга техногенного загрязнения.

Из-за высокого темпа строительных работ, развития и функционирования городской инфраструктуры происходит нарушение естественного покрова городов. Кроме того, техногенному загрязнению почв способствуют выбросы промышленных предприятий и автотранспорта, кислотные осадки и целый ряд других факторов. Среди самых распространенных загрязняющих веществ (ЗВ): тяжелые металлы (ТМ) и нефтепродукты. Следует отметить, что загрязняющие вещества в почвенном покрове сохраняются продолжительное время, тем самым представляют угрозу для населения, городской биоты.

Теоретические подходы к изучению данной проблемы обоснованы во многих трудах отечественных и зарубежных ученых в области эколого-геохимической оценки городских почв (Н.С. Касимов [38, 69-72, 121, 129, 131, 164], М.А. Глазовская [35-38, 164], Г.В. Добровольский [124], В.А. Алексеенко [2], Н.Е. Кошелева [70, 80], Ю.Е. Саэт [132], А.И. Перельман [121], В.Е. Закруткин [61], А.И. Федорова [153-155], В.М. Захаров [62, 63], С.И. Колесников [13, 74, 75], М.М. Lasat [185], N. Marmiroli [186], C.R. Meinardi [188], D. Munch [191], D. Turer [199] и др.).

Проблема техногенного загрязнения почвенного покрова актуальна для многих крупных индустриально-развитых городов, в том числе и Воронежа с миллионным населением. Он типичен для урбанизированных центров Европейской части страны, что позволяет распространить его опыт разработки мониторинговых систем городской среды на другие урбанизированные регионы и отдельные крупные промышленные центры России [27].

Ранее на территории города Воронежа выполнен ряд аналитических исследований по экологической оценке состояния почвенного покрова (Х.А. Джувеликян [49], С.А. Епринцев с соавт. [59, 60], Н.П. Мамчик, С.А. Куролап с соавт. [67, 87, 95, 166], А.В. Назаренко, И.Д. Свистова [108-110], А.И. Федорова, Е.В. Шунелько [153-155]). Однако в этих исследованиях не реализован интегральный подход к оценке состояния почвенного покрова с использованием экогеохимических методов в комплексе с методами биотестирования и токсикологии, а также геоинформационного (ГИС) картографирования.

Для оценки состояния почвенного покрова нами были проведены комплексные эколого-геохимические исследования на территории города Воронежа, а также проведена оценка состояния почвенного покрова промышленных городов Воронеж, Ростов-на-Дону (Россия), Мюнхен (Германия).

В процессе работы были поставлены и решены следующие основные задачи.

1. Проведен комплекс полевых и экспериментальных исследований, сформирована база данных по загрязнению и экологическому состоянию почвенного покрова по 78 показателям, в том числе по параметрам загрязнения почв тяжелыми металлами, нефтепродуктами, а также результатам биотестирования и токсикологического анализа почв города Воронежа в течение 5 лет (2014-2018 гг.).

2. Исследованы закономерности аккумуляции и формирования геохимических ассоциаций тяжёлых металлов /свинец (Pb), медь (Cu), кадмий (Cd), марганец (Mn), цинк (Zn), хром (Cr), никель (Ni), мышьяк (As), ванадий (V) и ряд других/ и валового химического состава /оксид марганца (MnO), оксид алюминия (Al₂O₃), оксид кремния (SiO₂), оксид кальция (CaO) и ряд других/ в почвах разных функционально-планировочных зон (ФЗ), внутригородских районов, фоновых участков города Воронежа.

3. Составлены карты экологического состояния городских почв по уровню содержания подвижных форм тяжелых металлов, нефтепродуктов, фитотоксичности и токсичности, а также карты интегральной оценки состояния почвенного покрова с применением современных ГИС-технологий.

4. Определены локальные техногенные аномалии почвенного покрова на территории города Воронежа.

5. Исследованы закономерности статистических связей в системе «почвенный покров – снежный покров – уличный смет».

6. Усовершенствован методический подход к комплексной геоэкологической оценке состояния почвенного покрова урбанизированных территорий.

7. Сформулированы рекомендации для проведения геоэкологической оценки почвенного покрова территории промышленно-развитого города, а также приведены предложения по сокращению воздействия «техногенного прессинга» на почвенный покров города Воронежа.

Методология исследования экологического состояния городских почв основана на трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых в области экогеохимии и биоиндикации почвенного покрова урбанизированных территорий, а также технологий геоинформационного картографирования. В работе применялись методы экогеохимические, биологические (биотестирования и токсикологии), геоинформационного картографирования. Интегрирующим инструментом для оценки, картографирования и модельных расчетов служат методы вероятностно-статистического и кластерного анализов, реализованные в MS EXCEL, STADIA, STATISTICA, а также геоинформационно-аналитические технологии (картографирование – в среде MapInfo Professional).

Исходными материалами при решении поставленных задач явились результаты полевых работ (отбор объектов исследования), лабораторно-инструментальных исследований, анализа фондовых материалов, статистической обработки аналитических исследований, полученные авторами в период 2014 - 2018 гг.

Усовершенствована методика геоэкологической оценки почвенного покрова крупных промышленных центров. Впервые создана и описана обзорная почвенная карта города Воронежа с детализацией по типу и уровню техногенной преобразованности и фоновым компонентам почвенного покрова. Составлены карты экологического состояния городских почв по уровню содержания подвижных форм тяжелых металлов, нефтепродуктов, фитотоксичности и токсичности с применением современных ГИС-технологий. Впервые дана детальная оценка состояния функционально-планировочных зон города Воронежа по уровню содержания тяжелых металлов, нефтепродуктов. Выявлены закономерности статистических связей в системах «почвенный покров», «почвенный покров – снежный покров», «почвенный покров – уличный смет». На завершающем этапе исследования проведена интегральная оценка состояния функционально-планировочных зон города, внутригородских районов города с применением эколого-геохимических и биоиндикацион-

ных методов, а также методов математического анализа и геоинформационного картографирования.

Проведенные исследования позволяют продвинуться в теоретическом изучении закономерностей техногенного влияния на почвенный покров в индустриально развитых городах, а также повысить научную обоснованность и эффективность управленческих решений при экологическом обосновании схем перспективного градостроительства. Разработанные интегральные карты и обзорная почвенная карта состояния почвенного покрова, а также база данных по состоянию почвенного покрова могут служить основой создания эффективных систем геоэкологического мониторинга почвенного покрова не только Воронежа, но и других крупных промышленных центров.

Практическая значимость работы определяется возможностью применения полученных результатов природоохранными службами и проектными организациями г. Воронежа и других крупных промышленных центров при организации мероприятий по совершенствованию системы геоэкологического мониторинга почвенного покрова урбанизированных территорий.

Авторы выражают искреннюю благодарность за методическую помощь в сборе и обработке фактического материала при выполнении исследования сотрудникам Воронежского государственного университета к.х.н., доценту Т.И. Прожориной; к.б.н., доценту Е.Ю. Ивановой и к.г.н. П.М. Виноградову.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

1.1. Современные подходы к эколого-геохимической оценке и мониторингу состояния урбанизированных территорий

Современные крупные города являются мощными источниками загрязняющих веществ, которые включаются в региональные миграционные циклы, формируют техногенные геохимические аномалии в различных компонентах ландшафта [71-76,129,164]. Вопросы комплексной геохимической оценки экологического состояния города в условиях растущего уровня урбанизации становятся актуальными. Методология исследований эколого-геохимического состояния городской среды основывается на трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых в области мониторинга окружающей среды (Н.С. Касимов [38, 69-72, 121, 129, 131, 164], М.А. Глазовская [35-38, 164], Г.В. Добровольский [124], В.А. Алексеенко [2], Н.Е. Кошелева [70, 80], Ю.Е. Сает [132], А.И. Перельман [121], А.И. Федорова [153-155], В.Е. Закруткин [61], В.М. Захаров [62, 63], С.И. Колесников [13,74,75], М. М. Lasat [185], N. Marmiroli [186], C.R. Meinardi [188], D. Munch [191], D. Turer [199] и др.).

В настоящее время есть ряд подходов к изучению эколого-геохимического состояния урбанизированных территорий, среди них следует выделить следующие [27, 71, 72, 129, 164].

1. Оценка природного геохимического фона окружающей территории.

В рамках этого подхода происходит оценка естественного состояния территории, которая включает в себя получение данных об эталонных фоновых участках, располагающихся вне зоны антропогенного загрязнения, их радиальной и латеральной структуре, выраженной в виде системы ландшафтно-геохимических коэффициентов и моделей. При оценке важно принимать во внимание радиус распространения загрязняющих веществ вокруг промышленных центров, который может составлять несколько десятков километров [2,164].

2. Ландшафтно-геохимический анализ состояния городов.

Формирование потоков загрязняющих веществ в любом промышленном городе происходит из 3 основных групп. К первой группе относятся источники выбросов от промышленных объектов, жилищно-коммунального хозяйства и транспорта. Во вторую группу

входят транзитные среды, такие как атмосфера города и осадки (дождь, снег), временные и постоянные водотоки, поверхностные воды и водоемы (пруды, озера, водохранилища), грунтовые воды. Третью группу представляют депонирующие среды, в которых происходит накопление и трансформация техногенных веществ, - донные отложения, почвы (особенно участки геохимических барьеров), растения, микроорганизмы, городские сооружения, население города [129,137, 147, 159].

Ландшафтно-геохимические методы, которые используются при экологической оценке городов, связаны в основном с исследованием не эмиссии техногенных веществ, а имиссии поллютантов – фактическим распределением в депонирующих средах [2, 121, 145]. Но этот подход даёт мало информации о техногенной трансформации и миграции элементов в почвенном покрове, о характере и механизмах процессов их перераспределения. Поэтому слабо развита прогнозная функция: прогноз ответной реакции ландшафта на техногенный принос элементов, прогноз вторичного загрязнения и соотношения элементов в миграционных потоках [151].

3. Оценка техногенных источников загрязнения городской среды. Процесс урбанизации способствует сильной концентрации в пределах ограниченной территории техногенных источников, разной мощности и качественному составу загрязняющих веществ. Острую опасность представляют крупные промышленные центры, в которых происходит аккумулятивное воздействие на окружающую среду выбросов от стационарных и передвижных источников, а также коммунально-бытовых отходов [7, 8, 21, 22, 115, 164, 165, 182].

Стационарные источники представляют собой промышленные предприятия города с разными видами производств и их инфраструктурой. Особенностью этого вида является комплексный характер воздействия на все компоненты окружающей среды [8]. Воздействие от загрязняющих веществ может ощущаться даже на значительном удалении от промышленных объектов. Информация о характере, расположении и плотности размещения источников выбросов дает возможность оценить масштабы и опасность для среды обитания [7].

К передвижным источникам относятся автотранспорт и другие транспортные средства (железнодорожный, воздушный, морской транспорт) [18]. Уровень максимального негативного влияния от них определяется непосредственной близостью дорожно-транспортной сети. Особую опасность представляет автомобильный транспорт, ко-

торый является линейным дискретно-подвижным источником токсичных выбросов в приземный слой атмосферного воздуха, что представляет реальную угрозу здоровью человека и среде обитания. Вклад автотранспорта в эмиссию загрязняющих веществ на территории крупных городов, как правило, превышает 70% [52, 72, 166, 167, 173]. Поэтому инвентаризация техногенных источников является одной из важнейших задач при эколого-геохимической оценке состояния городов [2].

4. Анализ качества и последствий загрязнения атмосферного воздуха промышленных городов. Наибольшие преобразования воздушной среды отмечаются в крупных городах, где изменения в атмосфере происходят под действием механического, химического, радиационного, электромагнитного, теплового, шумового и биологического загрязнений. К источникам загрязнения относятся промышленные предприятия, транспорт, коммунальные, энергетические объекты и т.д. Под действием загрязнителей изменяются все характеристики воздушного бассейна [9, 59, 109- 111, 200, 204-206].

Основными загрязнителями атмосферного воздуха являются углекислый газ, оксид углерода, диоксид серы и азота. В настоящее время атмосфера крупных городов содержит в 10 раз больше аэрозолей и в 25 раз больше газов по сравнению с «природным фоном» [85, 88, 106, 107, 119, 164, 165, 205]. Над любым городом нависает гигантское облако из антропогенных примесей, которое может простираться до 1,5-2 км и имеет диаметр, превосходящий размеры города [9, 102, 107, 206]. Результатом загрязнения воздушного бассейна становится такое характерное для множества крупных городов явление, как фотохимический туман (смог) [34].

Загрязнение атмосферного воздуха подвержено заметным колебаниям, вызываемым как погодными условиями, так и режимом работы предприятия и автотранспорта. Кроме того интенсивность загрязнения воздушного бассейна зависит и от рельефа местности. Высокий уровень загрязнения отмечен в промышленных городах, которые располагаются в горных котловинах с частными инверсиями температур, таких как Новокузнецк, Кемерово, Магнитогорск, Иркутск и др. [2].

5. Оценка антропогенного загрязнения снежного покрова. Исследование химического состава снежного покрова является достоверным методом экспрессной эколого-геохимической диагностики загрязнения воздушного бассейна городской среды, т.к. снег обладает высокой сорбционной способностью.

Фоновые показатели являются нормирующими показателями для качества снежного покрова. Данная особенность объясняется отсутствием норматива по определению загрязнения снега, а нормативы поверхностных вод могут быть не всегда применимы к талой воде. Для определения состояния снега и загрязнения рассчитывается коэффициент концентрации: отношение концентрации вещества к фоновому значению концентрации того же вещества [12, 29, 67, 126, 163, 165, 166, 171].

6. Эколого-геохимическая оценка загрязнения почвенного покрова.

Состояние почвенного покрова урбанизированных территорий зависит от преобладающего вида производства и степени освоённости территории [49]. Почвенный покров является специфическим компонентом ландшафта, накапливающим продолжительное время компоненты загрязнений из всех сред: нижние слои литосферы, гидросферы, атмосферы [103, 112, 164, 175, 186]. Поведение загрязняющих веществ в почве зависит от её геохимических и физических свойств. Поэтому можно говорить о том, что почвенный покров города – индикатор техногенного загрязнения.

Городские почвы являются депонирующей средой практически для всех поллютантов. Загрязнение почвенного покрова города приводит к синтезу новых соединений, которые могут быть токсичнее исходных соединений, а также представлять большую опасность для городской биоты и здоровья человека. К таким веществам относятся: метилртуть, соединения тяжелых металлов с детергентами, пестицидами.

Кроме того жилые и промышленные здания являются механическими барьерами для воздушной миграции загрязняющих веществ, именно рядом с ними отмечаются более высокие концентрации и образуются аномалии поллютантов [101].

Основные загрязнители почвенного покрова промышленно-развитых городов – тяжелые металлы, такие как свинец, кадмий, цинк, медь, никель, ртуть. Токсические свойства небольших концентраций многих элементов усугубляются их способностью к накоплению в живых организмах. Это явление, в частности, зарегистрировано для Pb, Hg, Cd, Cr и ряда других [27, 49, 64, 66, 101, 164].

В настоящий момент система контроля за загрязнением окружающей среды основана на количественном сравнении компонентного состава проб с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) загрязняющих веществ. На основании суммарного коэффициента техногенного загрязнения происходит оценка опасности техногенно-

го воздействия. Но такой подход является не всегда корректным, поскольку ПДК в России одни и те же как для почв сельскохозяйственных угодий, так и для почв промышленных зон крупных городов [33, 61, 101].

7. Оценка биогеохимического фона городской среды.

Растительный покров города испытывает на себе мощное техногенное воздействие. Растения в городе являются одним из наиболее чувствительных индикаторов высокого уровня загрязнения.

Выбросы в атмосферу диоксида серы (содержатся в продуктах сгорания угля, нефти и мазута) и фтористого водорода (образуется при производстве алюминия и фосфатов) представляют серьезную угрозу для растительного покрова в городе. Некрозы и хлороз листьев, преждевременное сбрасывание игл и листьев, замедление роста и снижение продуктивности происходят из-за высоких концентраций SO_2 , HF, микроэлементов в воздушном бассейне [27, 66, 67, 72, 187, 189].

Растения в городе служат своеобразным барьером на пути осаждения выпадений из атмосферы в почвенный покров. Металлосодержащие аэрозоли абсорбируются поверхностью листьев (свинец), механическим путем или в растворенном виде проникают в устьица (цинк, кадмий). Часть металлов поступает в растения из загрязненных почв, в основном – в виде подвижных форм тяжелых металлов.

Поэтому для оценки состояния окружающей среды проводится биогеохимический анализ, основанный на ответной реакции организмов на природные геохимические процессы или на техногенное загрязнение [130, 142, 164]. Использование методов биотестирования и биоиндикации позволяет быстро и эффективно оценить качество окружающей среды [6, 13, 14, 67, 137, 153].

8. Анализ техногенных потоков в водах и донных отложениях.

Антропогенная деятельность человека приводит к существенному преобразованию водного баланса. Так, загрязнение поверхностных и подземных вод промышленными и коммунально-бытовыми стоками будет являться наиболее яркой формой техногенной трансформации городской среды. Также распространены изменения гидрогеологических условий (подтопление, осушение, просадка и пр.). Гидрогеохимические исследования являются составной частью комплексного анализа городской среды [129, 164].

Применяемые в настоящее время подходы для эколого-геохимической оценки городской среды являются эффективными, дают возможность провести оперативную оценку негативного воз-

действия техногенеза, а также выбрать способы оптимизации окружающей среды для городов с различными климатическими, геоморфологическими и иными условиями. Характер использования городских территорий является важным фактором в формировании техногенных аномалий в городе. Зоны города с разным уровнем техногенного воздействия определяются функционально-планировочной структурой города.

1.2. Геоинформационные технологии в эколого-геохимической оценке урбанизированных территорий

В современных эколого-геохимических исследованиях многие задачи решаются с применением геоинформационных технологий. Разработка таких технологий связана с развитием специального программного обеспечения для обработки и отображения полученных данных. Реализация программного обеспечения начиналась с создания отдельных программ в 1960-1970 гг., систем программ в 1970-1980 гг. и автоматизированных систем обработки геоданных в 80-е годы прошлого столетия. Появление географических информационных систем (ГИС) в начале 90-х годов XX века дало существенный прогресс в развитии программного обеспечения в сфере пространственного анализа геоданных [10, 19, 27, 67, 70, 79, 81, 113, 114, 150].

Геоинформационными системами принято называть аппаратно-программные комплексы, которые дают возможность произвести сбор, обработку, доступ, визуализацию и анализ пространственно-привязанной информации [10, 11, 16, 27, 67, 76, 91, 117, 118, 148]. Основой создания ГИС являлись, с одной стороны, картографические системы, направленные на построение карт различного назначения (географических, топографических, геологических, планов городов, лесных массивов, земельных угодий и т.д.), а, с другой стороны, - информационно-поисковые системы, которые обеспечивали быстрый поиск требуемой информации.

При исследовании и моделировании систем «Окружающая среда - здоровье населения» в настоящее время преобладают картографические и математические методы. Особая роль отводится картографическому методу, который обеспечивает получение знаний не только об экологических связях между человеком и географической средой, но и об особенностях их территориального распределения [68, 94, 113, 114].

Картографический метод в сочетании с геоинформационными технологиями - неотъемлемая часть современных экологических и геохимических исследований, поэтому применение компьютерных технологий в геоэкологии переходит из области теоретических и методических разработок в область широкого практического применения [10, 11, 16, 27, 81, 83, 86, 113, 114, 144, 149, 156].

Растущий уровень урбанизации, рост численности населения, высокие темпы развития производства формируют техногенный прессинг на окружающую среду. В связи с этим возникает острая необходимость оценки состояния экологической обстановки. Локальный мониторинг за качеством окружающей среды проводится специальными организациями и ведомствами. Отличительной чертой подобного подхода является ведомственная разобщенность. Кроме того недостаточная техническая оснащенность и отсутствие единого программного обеспечения является проблемным вопросом. Поэтому использование геоинформационных технологий является оптимальным вариантом для обеспечения системы экологического мониторинга, где важно правильно выбрать программный пакет [11, 27, 148].

Большинство ГИС поддерживают достаточно широкий спектр стандартных операций. В России из наиболее распространенных коммерческих пакетов следует выделить ArcGIS, MapInfo, ГИС Карта, Arc Info, Arc View. Существуют также бесплатные программные пакеты, такие как QGIS, SAGA, GRASS. Интересной является разработка ВНИИгеосистем компьютерная система «ГИС ИНТЕГРО», которая позволяет решить большой круг задач природопользования [156]. Выбор программы зависит от характера и целей исследований, а также от возможности их применения [16].

Исследованиями в области ГИС-технологий в нашей стране занимаются А.М. Берлянт [10, 11], Л.М. Бугаевский [19], А.В. Кошкарёв [81], И.К. Лурье [91], В.С. Тикунов [18, 81, 117, 118, 150] и др. Особенно перспективны региональные и городские ГИС, которые позволяют системно организовывать, обрабатывать и анализировать региональную геоэкологическую информацию.

Геоинформационные технологии успешно использовались в проведении комплексной оценки качества городской среды в таких крупных промышленных центрах как Волгоград [73], Воронеж [27, 59-60, 67, 68, 85-88, 141, 146, 165, 166, 184], Москва [70-72, 76, 129, 131, 164, 169], Новосибирск [16, 114], Тольятти [102, 129, 164], Улан-Батор (Монголия) [7, 80, 129, 145]. В процессе проведения та-

кой комплексной оценки появляется большое количество геохимической информации по распределению и накоплению загрязняющих веществ в депонирующих средах. Анализ и обработка полученной информации невозможны без применения геоинформационных технологий [72, 122, 157].

Математико-картографический блок в настоящее время является неотъемлемой частью комплексной эколого-геохимической оценки урбанизированных территорий [92, 93, 105, 129, 164]. Он состоит из следующих методов, которые предложили Н.С. Касимов, О.В. Моисеенков, В.В. Батоян (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Применение разных математико-картографических методов для эколого-геохимической оценки города [164]

При необходимости автоматизированного построения моноэлементных карт загрязнения различных депонирующих сред, таких как почвы, снежный покров, растительность и др., используют методы моделирования поверхностей загрязнения.

Большое значение имеют карты корреляций между двумя и более картами, которые используются для выявления схожести аномалий одного и того же поллютанта в разных природных средах. В та-

ких картах выделена именно положительная корреляция, которая отражает опасные участки города. Но построение карт с использованием метода расчета корреляций не позволяет решить проблемы комплексного эколого-геохимического районирования урбанизированных территорий с учетом максимального количества закономерностей [129, 164].

Использование метода многомерных классификаций на основе кластерного анализа позволяет получить карты экологического состояния городской среды. Кластерный анализ позволяет учитывать весь комплекс исследуемых показателей [50, 72, 129, 164]. В настоящее время наиболее часто используемая программа для геоэкологического картографирования – MapInfo. С помощью программы можно создать цифровые модели городов, а также отобразить карты распределения поллютантов в городской среде. Наиболее удобным методом является метод IDW-интерполяции (метод обратных взвешенных расстояний).

Применение данного метода позволяет получить репрезентативную информацию с любой точки уже готовой поверхности. Результатом картографирования будет интерполированная поверхность с изолиниями, что приемлемо для построения карт загрязнения для разных показателей [27].

Одной из целей проведения комплексных эколого-геохимических исследований, в частности, почвенного мониторинга является создание эколого-геохимической карты и карт распределения загрязняющих веществ с применением геоинформационных технологий. Данные карты отображают ареалы зон, районов с выявленными геохимическими аномалиями токсикантов. Они позволяют решать весь комплекс эколого-геохимических задач [129, 164].

1.3. Особенности нормирования качества почвенного покрова

В 1946 году была создана Международная организация стандартизации (ИСО, ISO). На данный момент она, состоящая из сети национальных организаций по стандартизации 157 стран, является крупнейшим в мире разработчиком и издателем Международных стандартов, [134]. Технический комитет ИСО/ТК 190 «Качество почвы» появился в 1985 году [189]. Данный комитет состоит из следующих подкомитетов (ПК):

- ПК 1 «Критерии, терминология и обозначения» (под контролем Франции).

- ПК 2 «Отбор проб» (под контролем Германии).
- ПК 3 «Химические методы и характеристики почвы» (под контролем Германии).
- ПК 4 «Биологические методы» (под контролем Великобритании).
- ПК 5 «Физические методы» (под контролем Нидерландов).
- ПК 6 «Радиологические методы» (под контролем Германии).

Постоянно происходит взаимодействие ИСО/ТК 190 с другими организациями и комитетами, такими как ИСО/ТК 146 «Качество воздуха», ИСО/ТК 147 «Качество воды», Технический комитет Европейского комитета по стандартизации (СЕН), а также Всемирная организация Здравоохранения (ВОЗ), Всемирная метрологическая организация (ВМО), Организация ООН по продовольствию и сельскохозяйственным вопросам (ФАО), Международная программа по окружающей среде (ЮНЕП) и другими. Работы по установлению нормативов качества почвенного покрова в мире возглавляют ВОЗ и ФАО.

Для Евразии и Северной Америки свойственна региональная стандартизация в сфере контроля качества почвы. Выделяют 3 типа региональных организаций:

1) национальные правительственные и неправительственные организации, которые имеют в своем составе иностранных членов и выпускают стандарты, широко применяемые в разных странах (Американское общество по испытаниям и материалам (ASTM) и Американское агентство по охране окружающей среды (EPA), их стандарты применяются в странах Североамериканской зоны свободной торговли (США, Канаде, Мексике), в странах Центральной и Южной Америки, Юго-Восточной Азии и Ближнего Востока);

2) региональные организации, которые объединяют заинтересованные независимые страны (Европейский комитет по стандартизации (СЕН) и просуществовавший до 1991 г. Совет экономической взаимопомощи (СЭВ));

3) Госстандарт СССР, стандарты которого после распада СССР применяются в 15 независимых странах, подписавших Соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации [1].

В основном содержание загрязняющих веществ в почве нормируется в национальных стандартах, на международном уровне нормативов нет. Стоит отметить, что длительное время почвы были исключены из гигиенического нормирования содержания химических веществ, только последние 40 лет нормирование загрязняющих ве-

ществ в почве начало развиваться. Основными сферами гигиенического нормирования были воздух, вода, пищевые продукты. В настоящее время разработка экологических нормативов к почвам значительно уступает от нормативов для других сред. Это, в первую очередь, связано со сложностью и неоднородностью почв.

Почва является многокомпонентной системой, состоящей из твердой, жидкой, газообразных фаз и биоты. При попадании в нее происходит накопление загрязняющих веществ, которые могут распространяться в воду или воздух, при этом отмечается разбавление и снижение их концентраций.

Существуют разные классы опасности загрязняющих веществ [39]:

- I класс (высоко опасные) – As, Cd, Hg, Se, Pb, F, бенз(а)пирен; Zn;
- II класс (умеренно опасные) – B, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr;
- III класс (мало опасные) – Ba, V, W, Mn, Sr, ацетофенон.

Но в настоящее время число загрязняющих веществ, которые способны влиять на экологическое состояние биоты, превысило миллион наименований. Кроме того, ежегодно синтезируется свыше четверти новых поллютантов, одним из таких веществ является метилртуть [21]. Поэтому вопрос нормирования сред новыми поллютантами в настоящее время стоит очень остро.

Для почв характерна классификация по разным видам, типам и подтипам, поэтому стандартизация почв требует проведения множества необходимых практических и теоретических исследований. Требования к качеству почвы в зависимости от направления их использования могут существенно отличаться. Самые жесткие требования предъявляются к почвам сельскохозяйственных угодий в связи с возможной передачей в пищевую цепь.

Накопление и распределение загрязняющих почву веществ будет зависеть от таких показателей как содержание органического вещества, емкость катионного обмена, величина pH, гранулометрический состав. На поведение химических веществ в почвах большое влияние оказывают природные условия местности, количество выпадающих осадков, тип водного режима, рельеф территории, антропогенная деятельность.

В 1982 году в России введен в обращение Государственный стандарт 17.4.2.01-81 (Стандарт СЭВ 4470-84) «Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния», который предусматривает контроль за состоянием почвенного покрова и охрану от загрязнения. Согласно стандарту в почвах должно контроли-

роваться 23 показателя, 19 из них являются обязательными для населенных мест. Подлежат контролю в городских почвах аммонийный и нитратный азот, хлориды, рН, пестициды, ТМ, нефть и нефтепродукты, фенолы летучие, сернистые соединения, детергенты (анионоактивные и катионактивные), канцерогенные вещества, мышьяк, цианиды, полихлоридные бифенилы, радиоактивные вещества, макро- и микрохимические удобрения, а также бактериологические и гельминтологические показатели: лактозоположительные кишечные палочки (колиформы), энтерококки (индекс), патогенные микроорганизмы (по эпидпоказаниям), яйца и личинки гельминтов (жизнеспособные).

Городской почвенный покров является депонирующей средой для многих поллютантов [134, 164]. Поэтому целесообразно изучение передового опыта зарубежных стран по нормированию загрязняющих веществ в городских почвах.

В Германии 12.07.1999 года был принят Немецкий Федеральный закон о Защите Почв, в котором используются стандарты содержания химических веществ в зависимости от категории объекта и характера использования земель. Так, почвенный покров города подразделяется на 4 категории:

- 1) детские площадки (кроме песка в песочницах);
- 2) жилые зоны;
- 3) парки и зона рекреации;
- 4) промышленные объекты и коммерческая недвижимость.

В таблице 1.1 отражены допустимые значения загрязняющих веществ в городских почвах Германии.

В Голландии нормирование загрязняющих веществ в почвенном покрове протекает по 3 уровням: А- Wert – норматив, соответствующий естественному фону; В- Wert – норматив, превышение которого не рекомендуется; С-Wert – норматив, за превышение которого устанавливается крупный штраф.

В США при оценке качества окружающей среды применяют специальные стандарты содержания в почвах и грунтовых водах загрязняющих веществ и нефтепродуктов.

Критические уровни содержания загрязняющих веществ в странах Европейского союза, США, Канаде, некоторых азиатских странах превышают ПДК почв в России в десятки и сотни раз (таблица 1.2). В Канаде, например, разрешенная концентрация свинца в почвенном покрове в жилой и рекреационных зонах достигает до 500 мг/кг, в промышленной зоне – до 1000 мг/кг. В Англии допустимое

содержание свинца в зависимости от категории их применения составляет от 300 до 2000 мг/кг [167,168].

Таблица 1.1

Стандарты содержания загрязняющих веществ, напрямую влияющих на человека в Германии

Стандарты загрязняющих веществ (мг/кг сухого веса растертой почвы)				
вещество	детские площадки	жилые зоны	зона рекреации	промышленные объекты
Мышьяк	25	50	125	140
Свинец	200	400	1000	2000
Кадмий	10*	20*	50	60
Цианид	50	50	50	100
Хром	200	400	1000	1000
Никель	70	140	350	900
Ртуть	10	20	50	80
Альдрин	2	4	10	-
Бенз(а)пирен	2	4	10	12
ДДТ	40	80	200	-
Гексахлорбензол	4	8	20	200
Гексахлороциклогексан	5	10	25	400
Пентахлорфенол	50	100	250	250
Полихлорбифенилы (PCP) ₆ ²	0,4	0,8	2	40
Диоксины/ Фураны	100	1000	1000	10000

**Во внутренних садах или маленьких садах, где находятся дети и выращиваются продовольственные растения, показатель Стандарта для кадмия должен быть 2,0 мг/кг сухого веса.*

Таблица 1.2

Сравнительные данные по нормам содержания загрязняющих веществ в почвах России и зарубежных стран, мг/кг

Вещество	Стандарты ЗВ, мг/кг					
	Германия	Голландия	США	Финляндия	Италия	Россия
Мышьяк	25-140	29-50	30-300	50-100	20-50	2-10
Свинец	200-2000	85-600	300-6000	200-750	100-1000	32-130
Кадмий	10-60	0,8-20	30-800	10-20	2-15	0,5-2,0
Хром общий	200-1000	100-800	1000-10000	200-300	150-800	
Никель	70-900	35-500	300-7000	100-150	120-500	20-80

Вещество	Стандарты ЗВ, мг/кг					
	Германия	Голландия	США	Финляндия	Италия	Россия
Ртуть	10-80	0,3-10	20-600	2-5	1-5	2,1
Цинк		140-3000	2500-10000	250-400	150-1500	55-220
Медь		36-500		150-200	120-600	33-132
Кобальт		20-300		100-250	20-250	
Молибден		10-200				
Олово		20-300			1-350	
Нефтепродукты			200-10000			180-1000
Бенз(а)пирен	2-12		0,7-100	2-15	0,1-10	0,02

В нашей стране ПДК химических веществ в почве основано на 4 показателях вредного воздействия: транслокационный, миграционный водный, миграционный воздушный, общесанитарный [99]. Данные показатели практически не применимы для городского почвенного покрова. В первую очередь, это связано с тем, что в рекреационные зоны города привозят чистые и богатые гумусом почвы. При этом поступление вредных веществ в почву через воздух происходит при оседании пыли, поэтому миграционный воздушный показатель не будет объективным для городских почв. Также необъективен и транслокационный показатель, т.к. растительность в городских зонах не используется для употребления в пищу, за исключением районов частного сектора [134].

В России одинаковые ПДК применяются для почв сельскохозяйственных угодий и почв промышленных зон городов, что не свойственно для зарубежных стран. В крупных промышленных центрах очень сложно не превысить такие уровни ПДК [33, 61, 134].

1.4. Региональные проблемы загрязнения почвенного покрова урбанизированных территорий

В современном мире крупные промышленные города по интенсивности и площади загрязнения создают техногенные геохимические и биогеохимические провинции [129, 147, 164, 177]. Почвенный покров города концентрирует в себе соединения, которые поступают от транспорта, промышленных предприятий и жилищно-коммунальных хозяйств, а также выступает в качестве мощного источника техногенных веществ, которые включаются в региональные

миграционные циклы [72, 129, 190]. Кроме того, почвенный покров является индикатором экологического и санитарного состояния города, поэтому важно проводить регулярный почвенный мониторинг, а также систематизировать почвенный покров для изучения особенностей экологических функций.

В результате процесса урбанизации возрастает количество нарушенных земель. Основной причиной изменения почвенного покрова города являются многочисленные строительные работы и промышленная нагрузка. Во время архитектурно-планировочных и хозяйственных работ почвенный покров слабо исследуется.

Почва активно используется для земледелия, которое уже более 12 тысячи лет обеспечивает население продуктами питания. Но в истории развития городов почвенный покров мог стать причиной сокращения численности населения города. Так, почва на территории Чернобыля, содержит большое количество радионуклидов, из-за которого невозможно нормально существовать городским жителям. Аналогичные территории формируются в местах выброса радионуклидов в Челябинской области, Фукусиме и др. Также отмечается следующая тенденция: при больших содержаниях гумуса происходит большее накопление радионуклидов, при этом максимальная их концентрация в верхнем 5 см слое [5].

Загрязненный почвенный покров также становился причиной миграции людей. Так, гибель древних городов типа Ура, Урука связывают с большим количеством свалок и загрязнением почвенного покрова токсичными веществами и патогенными микроорганизмами. Роль почвы в распространении инфекционных болезней значительна. Так, в ней долгое время сохраняются возбудители столбняка, чесотки, туляремии, иерсиниоза, лептоспироза, псевдотуберкулеза, сальмонеллеза, бруцеллеза и ботулизма. Особую опасность представляет подщелачивание почв, т.к. оно создает комфортные условия для их развития. Кроме того, прионы – инфекционные частицы становятся активнее, когда соединяются с глинистыми минералами [5, 72, 164].

Состояние почвенного покрова также взаимосвязано с заболеваемостью населения. Например, население в Адыгее реже болеет простудными заболеваниями, чесоткой, сальмонеллезом, общими инфекционными заболеваниями, которое проживает в населенных пунктах с почвенным покровом, имеющим благоприятные характеристики: небольшая каменистость, меньше засоление, эрозия и переувлажнение [129, 148, 164, 177].

Мониторинг состояния почвенного покрова города Саратов был проведен М.Ю. Меркуловой с 2010 по 2014 гг. По результатам исследований была получена база данных биологических показателей: качественного и количественного состава различных групп микроорганизмов, активности ферментов и почвенного «дыхания». Так, в почвах селитебных и транспортных зон были обнаружены минимальные значения микроорганизмов. Анализ численности микроорганизмов позволил определить функциональные зоны в следующие ряды по степени нарушенности почв: санитарно-защитные > транспортные > селитебные зоны [98, 130].

Признаком загрязнения почвенного покрова нефтепродуктами является нахождение в значительном количестве специфической группы бактерий - родококки, которые являются родственниками актиномицетам. Связь родококков с углеводородами была отмечена в исследованиях Заволжья [124].

Кроме того, в районах, где хорошо развита промышленность и высокая численность населения, почвенный покров менее плодородный, происходит угнетение растительного покрова города (некрозы и хлорозы листьев, флуктуирующая асимметрия, преждевременная дефолиация, замедление роста и снижение продуктивности) [160].

Приоритетными загрязняющими веществами в городе являются ТМ и нефтепродукты, аккумулирующиеся в верхних гумусовых горизонтах. Из-за несовершенных систем очистки ТМ попадают в почву, откуда могут аккумулироваться растениями. В таблице 1.3 отражены основные источники поступления ТМ в почву. Наиболее опасными являются предприятия по выплавке и переработки цветных металлов [49].

Таблица 1.3

Основные техногенные источники ТМ

Источники ТМ	Элементы
Цветная металлургия	Pb, Zn, Cu, Hg, Mn, Sb, W, Co, Cd
Черная металлургия	Ni, Mn, Pb, Cu, Zn, W, Co
Энергетика	As, Sb, Se
Нефтяная промышленность	Pb, Cu, Ni, Zn, Mn
Сжигание угля	Sb, As, Cd, Cr, Mo
Сжигание нефти	As, Pb, Cd

Так, в городе Новокузнецк из-за высокой плотности предприятий топливно-энергетического и металлургического комплексов в

ряде внутригородских районов наблюдается высокая концентрация тяжелых металлов в почвенном покрове, превышен уровень ПДК по Zn и Pb. Превышение ПДК в 10 раз по Mn и по As в 2-5 раза было отмечено О.И. Подурец и соавторами на территории промышленной зоны Новокузнецкого металлургического комбината [25, 122].

Уличное движение, дорожное обслуживание, обработка дорог реагентами в зимний период способствуют загрязнению почвенного покрова и грунтовых вод. Так, источником загрязнения ТМ являются непосредственно автомобили. Износ тормозной системы, коррозия, возраст автомобиля влияют на повышенное содержание Cd, Cu, Zn в придорожной зоне, а от выхлопных газов происходит загрязнение Pb, продолжительный износ автомобиля провоцирует загрязнение Zn [174, 176, 179, 183, 196, 199, 206].

Попадать в почву ТМ могут в результате сухого или мокрого осаждения. Значительное количество ТМ от автотранспорта поступает в почвенный покров путем сухого осаждения [148].

Из-за возрастающего количества автотранспорта в городах наибольший уровень загрязнения отмечается на почвах придорожных зон. В Ульяновске Е.В. Коровиной были проведены исследования придорожных территорий с 2003 по 2008 годы. Были отмечены превышения ПДК в 2-3 раза по цинку, меди, никелю и хрому. При этом максимальная концентрация Zn, Pb, Cu, Cr достигается на расстоянии 5-10 м от дорожного полотна [78].

Важным компонентом городских ландшафтов является дорожная пыль, которая формируется преимущественно под влиянием трех источников: придорожных почв, выбросов автотранспорта и атмосферных аэрозолей. Геохимический спектр дорожной пыли широк. Так, исследования, проведенные группой ученых из Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, показали следующий ряд: $Pb_{46}W_{13}Cd_{11}Cu_{10}Zn_7Sb_6Sn_{5,5}Bi_{4,5}Mo_{2,5}$ [131]. М.П. Болотов также проводил изучение уличной пыли и почв городов. Так, им отмечено в уличной пыли Краснодара в 13-24 раза больше Pb (до 156 мг/кг) и в 3-5 раз Cu (до 132 мг/кг). Повышенное содержание Pb и Cu было зафиксировано в уличной пыли и почвах Москвы, Санкт-Петербурга и других городов [17].

Крупные исследования почвенного покрова были проведены в Московской области. По данным анализа валовых форм тяжелых металлов содержание Cr изменяется в широком диапазоне от 6 до 144 мг/кг, Mn от 78 до 2682 мг/кг, Ni от 4 до 72 мг/кг, Cu от 4 до 67

мг/кг, Zn от 10 до 269 мг/кг, Pb от 3 до 178 мг/кг. Среднее содержание Pb в области – 35 мг/кг, что в 2,7 раза выше фонового уровня. Профильное распределение Pb в почвенном покрове ярко отражает аэрогенный характер загрязнения: верхние слои концентрируют в 2,5 раза больше, чем почвообразующие породы. По степени загрязнения почвенного покрова Московской области они образуют следующий ряд: $Pb > Zn > Mn > Cu$ [129, 164].

Увеличение щелочности поверхностных горизонтов почв в городе Москве отмечено по результатам комплексных исследований почвенного покрова, что связано с избыточным поступлением карбонатной пыли из атмосферы со снежным покровом и регулярным использованием большего количества противогололедных смесей.

Кроме того, в почвенном покрове Москвы изучена пространственная структура и многолетняя динамика распределения техногенных аномалий ТМ. Так, по результатам исследований в 2010 году отмечено снижение уровня загрязнения в транспортной и промышленной зонах и усадебной застройки, а также значительное увеличение уровня загрязнения в зоне рекреации, многоэтажной жилой застройки. Почвы практически всех функциональных зон загрязнены в умеренно опасной степени [129, 164].

Мониторинг поведения тяжелых металлов в почвенном покрове Санкт-Петербурга был проведен М.А. Пискуновой, Л.М. Зариной и Е.М. Нестеровым в период с 2003 по 2008 гг. Определение содержания элементов проводилось методом рентгенфлуоресцентного анализа. Исследования показали высокий уровень загрязнения почвенного покрова (превышения ПДК в 3-18 раз). Также был отмечен высокий уровень загрязнения веществами первого класса опасности As, Pb, Zn. По результатам исследований был сделан следующий вывод: основным источником загрязнения почв города является снежный покров [112].

Для ландшафтов Севера Европейской территории России характерна повышенная уязвимость к воздействию тяжелых металлов и слабое самовосстановление [64]. Эколого-аналитическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв городов Архангельской промышленной агломерации, проведенная Л.Ф. Поповой, К.С. Васюк, А.И. Васильевой и др., позволяет определить характер загрязнения почвенного покрова. Так, для почв агломерации свойственно полиметаллическое загрязнение. Города Архангельской агломерации по степени загрязнения тяжелыми металлами распо-

ложены в следующий ряд: Архангельск < Северодвинск < Северодвинск. Для почв Архангельска характерна умеренно опасная степень загрязнения. Но 30% почвенного покрова селитебной зоны города имело опасную степень загрязнения, а 4% - очень опасную. Основные поллютанты в почвенном покрове Архангельской агломерации – Pb, Zn, Hg, Ni, Cu, Mn, Cd [123].

Для юга России также остро стоит вопрос загрязнения почвенного покрова [61, 74, 75, 101]. Среди городов следует отметить Астрахань – крупный город России с высоким уровнем урбанизации и техногенной нагрузкой. Основными элементами, загрязняющими почвенный покров города, являются Zn и Pb. Вещества поступают с выбросами электростанций и предприятий машиностроения, а также автотранспорта. Для города также свойственна проблема «запечатанности» почвенного покрова дорожными покрытиями и зданиями [135].

В ряде восточных городов России также существует проблема загрязнения тяжёлыми металлами городских территорий. Например, для поверхностных почвенных горизонтов города Улан-Удэ характерна значительная геохимическая неоднородность, которая обусловлена мощностью и размещением источников загрязнения. Почвенный покров в промышленных зонах города содержит широкий спектр поллютантов, в транспортных зонах отмечается более узкий диапазон: Sb, Pb, Cu, в жилой зоне – Sn, Sb, Cd, Pb. В рекреационных зонах интенсивно накапливаются Cr и Ni. Максимальное загрязнение тяжёлыми металлами характерно для почв промышленной зоны с длительным и сильным техногенным воздействием. Превышение ПДК обнаружено у Zn – в 1,9 раза и As – в 1,3 раза, а также у Pb – в 1,2 раза. Кроме того, поступление тяжёлых металлов от транспорта и промышленных предприятий в окружающую среду провоцирует изменение микроэлементного состава городских растений [72, 129, 164].

Для Воронежа также свойственна проблема загрязнения почвенного покрова. Результаты анализов многолетних исследований показывают, что содержание валовых форм большинства элементов в почвах города варьирует в широких пределах и зависит от места отбора образцов почв. Н.Н. Назаренко, А.К. Свистов, Н.В. Каверина отмечают высокое содержание нефтепродуктов в транспортной и промышленной зонах города (превышение ОДК в 3-4 раза) [108]. Применение биологических методов является перспективным направлением в оценке состояния почвенного покрова горо-

да. С помощью микробиоиндикации была продемонстрирована прямая взаимосвязь уровня загрязнения почвенного покрова и степени нарушения микробоценоза на примере урбопочв г. Воронежа [109]. Также по результатам многолетних исследований выявлено, что наиболее неблагоприятная ситуация и максимальный уровень загрязнений отмечается в левобережной части города Воронежа [110]. В настоящее время для города Воронежа нет комплексных исследований с применением эколого-аналитических методов, а также методов биотестирования и токсикологии, которые охватывали бы несколько систем сразу: «почвенный покров - снежный покров», «почвенный покров – уличный смет» в разных функциональных зонах города.

Загрязнение тяжелыми металлами почвенного покрова является международной проблемой [186]. В Западной Европе согласно отчету ETCS 1998 около 1 400 000 локальных территорий были загрязнены тяжелыми металлами и органическими поллютантами. В США выявлены 600 000 участков с повышенным содержанием тяжелых металлов, которые нуждаются в восстановлении [187].

Город Улан-Батор в Монголии является одним из крупных источников поступления тяжелых металлов в бассейн р. Селенги, которая впадает в озеро Байкал. Кроме того, для города свойственна неблагоприятная обстановка: высокая запыленность атмосферы, плотная застройка. На территории Улан-Батора были проведены комплексные геохимические исследования с 2008 по 2011 гг. В городских почвах города относительно фона накапливаются Pb и Zn. Почвенный покров многоэтажной застройки более загрязнен по сравнению с частным сектором. Накопление тяжелых металлов было отмечено в центральной части города, где образуется единый селитебно-промышленно-транспортный ареал. Также исследования подтверждают увеличение роли загрязнения тяжелыми металлами от выбросов автотранспорта [7, 80, 145, 164].

Разрушение асфальтового покрытия также способствует аккумуляции ТМ и ароматических углеводородов в почвенном покрове города. В Дортмунде /Германия/ проведены исследования токсических веществ, которые образуются в условиях интенсивного движения транспорта (таблица 1.4). В результате ультразвукового анализа в пробах обнаружены 9 тяжелых металлов и их соединений, 15 видов полициклических ароматических углеводородов. В щебне удельная концентрация ТМ была в несколько раз выше [124, 191].

Таблица 1.4

**Содержание ТМ и углеводов в компонентах
дорожного покрытия**

Элемент	Щебень, мг/кг	Асфальт, мг/кг
Pb	13-214	12-58
Ni	2,3-32	9,1-58
Cr	13-86	8,1-56
Cu	4,5-39	4,9-11
Zn	17-216	79-272
Бенз(а)пирен	53,6	95,8

ТМ являются токсичными и представляют опасность для биосферы, т.к. воздействуют на ДНК человека, вызывают серьезные нарушения у растений на уровне клетки, ткани, организма и популяции [164]. Накопление тяжелых металлов в организме человека приводят к развитию целого ряда заболеваний (таблица 1.5). Негативное воздействие ТМ на здоровье человека определяется путем анализа экотоксикологической обстановки в биогеохимических провинциях и здоровья длительно проживающих здесь людей [49].

Таблица 1.5

Избирательная токсичность для человека некоторых ТМ

Элемент	Заболевания и токсические синдромы
Мышьяк	Рак легких, кожные болезни, изъязвление, гематологические эффекты, анемия
Бериллий	Дерматиты, воспаление слизистых оболочек
Кадмий	Острые и хронические респираторные заболевания, почечная дисфункция, злокачественные образования
Хром	Рак легких, злокачественные образования желудочно-кишечного тракта, дерматиты
Свинец	Нарушения кроветворения, повреждение печени и почек, неврологические эффекты
Ртуть	Воздействие на нервную систему, нарушение краткосрочной памяти, нарушение координации, почечная недостаточность
Никель	Респираторные заболевания, астма, поражения плода, уродства
Ванадий	Раздражение дыхательных путей, астма, нервные расстройства, изменение формулы крови

Распределение ТМ в ландшафтах зависит от климатических условий (силы и направления ветра), расстояния от источника загрязнения, рельефа местности, а также технологических факторов (состояния отходов, способа поступления в окружающую среду,

высоты труб предприятий). Накопление ТМ в почвах происходит в основном в гумусово-аккумулятивном почвенном горизонте [45]. Негативное воздействие на растения оказывают подвижные формы ТМ. Такие элементы, как Cd, Pb, Cr и Hg, обладают токсическим действием даже в низких концентрациях [185].

Анализируя многочисленные региональные исследования, можно сделать следующее заключение:

- на урбанизированных территориях приоритетными загрязняющими веществами в почвенном покрове являются тяжелые металлы и нефтепродукты;
- наиболее токсичное воздействие на городскую растительность оказывают подвижные формы тяжелых металлов;
- опасность для здоровья населения представляет бактериологическое загрязнение и загрязнение тяжелыми металлами почвенного покрова;
- применение методов биотестирования и токсикологии позволяет дать быструю и точную оценку качества почвенного покрова.

ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Общая схема организации исследования

Общая схема проведения исследования показана на рисунке 2.1.



Рис. 2.1. Общая схема и методология организации исследования техногенного загрязнения почвенного покрова г. Воронежа

Комплексные эколого-геохимические исследования почвенного покрова были выполнены на территории города Воронежа – крупнейшего промышленного центра Центрального Черноземья.

Объектом изучения являлись параметры качества городской среды: содержание ЗВ в природных средах (почвенном и снежном покровах), в уличном смете в разных функциональных зонах города. Основные эколого-аналитические методы в разных средах, применяемые в работе показаны на рисунке 2.2.



Рис. 2.2. Эколого-аналитические показатели и методы исследования состояния объектов

Данные о функционально-планировочной структуре получены по материалам Генерального плана городского округа города Воронежа [32], который был разработан ОАО «Воронежпроект». Выбор пунктов мониторинга обоснован нами с позиции репрезентативного охвата территории города, относительно равномерно по функционально-планировочным зонам.

Исходные данные для эколого-геохимической оценки городской среды получены в ходе натурных экспериментальных исследований автора (изучение функционально-планировочной инфраструктуры города и выбор пунктов мониторинга, эколого-геохимический анализ почвенного покрова, уличного смета, снежного покрова, а также применение методов биотестирования и токсикологии в исследуемых объектах) и предоставлены региональными природоохранными и мониторинговыми ведомствами: Центром гигиены и эпидемиологии в Воронежской области и Управлением Росприроднадзора в Воронежской области. Методические этапы исследования, осуществленные в работе, а также их содержание представлены на рисунке 2.3.



Рис. 2.3. Основные этапы геоэкологических исследований

2.2. Объекты исследования состояния городской среды

База данных по эколого-геохимической оценке территории формировалась по результатам исследований в пунктах мониторинга почвенного покрова, снежного покрова, уличного смета с учетом функционально-планировочной структуры города Воронежа. Для эколого-геохимических исследований экспертным путем были отобраны пункты мониторинга в разных функциональных зонах города. За период 2014-2018 гг. было исследовано 116 почвенных образцов: 30 точек в жилой зоне (в том числе, 12 – центральной исторической части города, 8 – кварталах с современной многоэтажной застройкой и 10 – в частном секторе /преимущественно одноэтажная застройка/), 23 точки в промышленной зоне, 21 точка в зоне рекреации, 23 точки – в транспортной зоне, а также 10 точек в зоне перспективной застройки. Также было отобрано и исследовано 95 образцов снежного покрова, 21 образец уличного смета, а также 10 почвенных разрезов. Краткая характеристика пунктов мониторинга приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Пункты исследования состояния городской среды г. Воронежа /точки отбора проб для экогеохимических исследований: снега, почвы /

№ точки *	Местоположение точки отбора проб /адрес/	ФЗ**	Исследуемые среды («+» означает наличие данных)		
			снег	смет	почва
1(С)	ул. Ростовская, 44	жилая ЦИ	+		+
2(С)	ул. Лебедева, 2	промышленная	+		+
3	ул. Черепанова, 18	жилая ЧС	+		+
4	Парк Авиастроителей (ул. Полины Осипенко)	рекреационная	+		+
5(П)	ул. Героев Стратосферы, 8	жилая ЦИ	+		+
6	ул. Ильюшина, 12б	промышленная	+		+
7	ул. Димитрова-ул. Волгоградская	транспортная	+		+
8	ул. Старых Большевиков, 47	промышленная	+		+
9	Парк «Дельфин» (ул. Остужева)	рекреационная	+		+
10	Ленинский проспект, 149	транспортная	+		+
11	больница Электроника	рекреационная	+		+
12	ул. Грибоедова, 5	жилая СП	+		+
13	ул. Землячки, 1	промышленная	+		+
14	ул. Б. Хмельницкого, 35	промышленная	+		+
15	ул. Куйбышева – ул. Панфилова	транспортная	+		+

Продолжение табл. 2.1

№ точки *	Местоположение точки отбора проб /адрес/	ФЗ**	Исследуемые среды		
			снег	смет	почва
16	ул. Калининградская, 61	жилая ЧС	+		+
17	СОК «Олимпик»	рекреационная	+		+
18	ул. Ломоносова, 114/13	рекреационная	+	+	+
19(П)	ул. Дарвина, 1	рекреационная	+	+	+
20	ул. Ломоносова, 83	жилая ЦИ	+	+	+
21	ул. Вл. Невского, 53	жилая СП	+	+	+
22	ул. Хользунова, 102	транспортная	+	+	+
23	ул. Генерала Лизюкова, 73а	жилая СП	+	+	+
24	Московский проспект - ул. Хользунова	транспортная	+	+	+
25	ул. Ломоносова, 1	жилая ЧС	+		+
26(С)	ул. Лидии Рябцевой, 51б	промышленная	+		+
27(П)	Московский проспект, 36	транспортная	+		+
28	ул. Машиностроителей, 8	промышленная	+		+
29	Ясный проезд, 13	промышленная	+		+
30	ул. 9 Января – ул. Антонова-Овсеенко	транспортная	+		+
31	ул. Холмистая, 41	промышленная	+		+
32	ул. 3 Интернационала, 4	жилая ЦИ	+		+
33	Парк «Орленок»	рекреационная	+		+
34	ул. Степана Разина – ул. Большая Манежная	транспортная	+		+
35(С)	ул. 9 Января, 49	транспортная	+		+
36	ул. Володарского, 60	жилая ЦИ	+	+	+
37(П)	ул. 20-летия Октября, 94	транспортная	+	+	+
38	ул. Пирогова, 79	промышленная	+		+
39	Петровская Набережная	рекреационная	+	+	+
40	ул. Моисеева, 11	жилая СП	+	+	+
41	ул. Депутатская, 12	жилая ЦИ	+	+	+
42(С)	ул. Ворошилова, 30	жилая ЦИ	+	+	+
43	Парк «Танаис» (ул. Южно-Моравская)	рекреационная	+		+
44	ул. Кривошеина, 11	промышленная	+		+
45(П)	ул. Матросова, 6	транспортная	+		+
46	ул. Краснознаменная – пер. Казарменный	транспортная	+	+	+
47	ул. Саврасова – ул. Заслонова	транспортная	+		+
48	ул. Ленинградская, 98а	промышленная	+		+
49	ул. Циолковского – ул. Туполева	жилая ЧС	+		+
50	ул. Волгоградская, 48	промышленная	+		+
51	Парк «Алые паруса»	рекреационная	+		+
52	ул. Брусилова – Ленинский проспект	транспортная	+		+
53	ул. Димитрова - ул. Ленинградская	транспортная	+		+
54	ул. 25 Января, 16	жилая СП	+		+
55	ул. Маршала Одинцова, 11	рекреационная	+		+
56	ул. Дарвина, 15	рекреационная	+	+	+
57	Победы бульвар – ул. 60 Армии	транспортная	+	+	+
58	ул. Ипподромная, 55	жилая ЧС	+		+

Продолжение табл. 2.1

№ точки *	Местоположение точки отбора проб /адрес/	ФЗ**	Исследуемые среды		
			снег	смет	почва
59	ул. Транспортная, 83а	жилая СП	+		+
60	ул. Шишкова, 53	жилая ЧС	+		+
61	ул. Нагорная, 65	жилая ЧС	+		+
62	ул. Набережная Массалитинова, 1	рекреационная	+		+
63	ул. Урицкого, 47	промышленная	+		+
64	проспект Труда, 111	промышленная	+		+
65	ул. 9 Января, 180	промышленная	+		+
66	ул. 9 Января, 262/1	рекреационная	+		+
67	ул. Дорожная, 15	промышленная	+		+
68	Патриотов проспект, 3	промышленная	+		+
69	ул. Скрибиса, 16	транспортная	+		+
70	Санаторий им. Горького	фон	+		+
71	СТ «Северный бор»	фон	+		+
72	пгт. Рамонь, ул. Тутукова	фон	+		+
73	пгт. Рамонь, ул. Юбилейная, 5	фон	+		+
74	пгт. Рамонь, ул. Мосина, 6	фон	+		+
75	пгт. Рамонь, ул. 50 лет Октября, 7	фон	+		+
76	ул. Березовая роща, 24	перспектива	+		+
77	Московский проспект, 90/1 (за рынком «Воронежский»)	перспектива	+		+
78	ул. Антонова-Овсеенко, 20 (за авторынком (северным))	перспектива	+		+
79	п. Подгорное, ул. Церковная, 10а (у Храма)	перспектива	+		+
80	ул. Острогжская, 148 /окраина/	перспектива	+		+
81	ул. Краснознаменная, 226 (военный аэродром, памятник ИЛ-28)	перспектива	+		+
82	ул. Хохольская, 9	перспектива	+		+
83	ул. Октябрьская, 105	перспектива	+		+
84	ул. Рубежная, 35	перспектива	+		+
85	ул. Славянская, 90	перспектива	+		+
86	ул. Грамши, 70	жилая СП	+	+	+
87	проспект Революции, 45	жилая ЦИ			+
88	50 лет Советской армии, 153	жилая ЧС			+
89	Украинская, 51	промышленная			+
90	Липецкая, 16	жилая ЧС			+
91	Ул. Солдатское поле, 285/5	промышленная			+
92	Кольцевая, 76	жилая ЧС			+
93	Средняя, 6	жилая ЧС			+
94	20 лет Октября, 77	транспортная			+
95	Вавилова, 33	жилая ЧС			+
96	Областная клиническая больница №1 (на 9 км)	рекреация			+
102	Центральный парк культуры и отдыха	рекреация		+	+
103	Ботанический сад	фон			+
129	ул. Грамши, 25	транспортная		+	

*) Посты наблюдений за состоянием атмосферы: С - стационарные (Воронежский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды); П - передвижные (Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области).

**) В жилой зоне выделено 3 подзоны: «жилая ЦИ» – центральная историческая часть города (включая общественно-деловую застройку и «старую» 5-ти-этажную застройку по обоим берегам); «жилая СП» – кварталы с современной многоэтажной застройкой; «жилая ЧС» – частный сектор (преимущественно одноэтажная и коттеджная жилая застройка).

Кроме того, было проведено исследование уличного смета с придорожной территории в 21 пункте мониторинга: 6 точек – в зоне рекреации, 9 – в жилой, 6 – в транспортной.

Характеристика пунктов закладки почвенных разрезов в 2014-2018 гг. приведена в таблице 2.2

Таблица 2.2

Пункты закладки почвенных разрезов в г. Воронеже в 2014-2015 гг.

№	Место отбора
1	В 350 метрах к северу от Подклетенского кургана на нижней террасе реки Дон
2	Вторая надпойменная терраса реки Воронеж (юго-восточная окраина города)
3	
4	
5	На водоразделе рек Дон-Воронеж, по линии от Воронежского государственного лесотехнического университета на север к корпусу Воронежского государственного технического университета на 9-ом километре За-донского шоссе.
6	
7	
8	Ботанический сад ВГУ
9	
10	На территории совхоза «Масловский» на третьей надпойменной террасе реки Воронеж

В качестве фона для исследований почвенного покрова на территории Воронежа выбрана условно-чистая территория рекреационной зоны вблизи санатория им. Горького (северная окраина г. Воронежа) и территория пгт. Рамонь, расположенного к северу примерно в 30 км от города, где систематически проводит исследования воздушной среды и почвы Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области, а также территория Ботанического сада с естественным ненарушенным почвенным горизонтом. Фотоматериалы по выборочным пунктам мониторинга показаны в приложении 1.

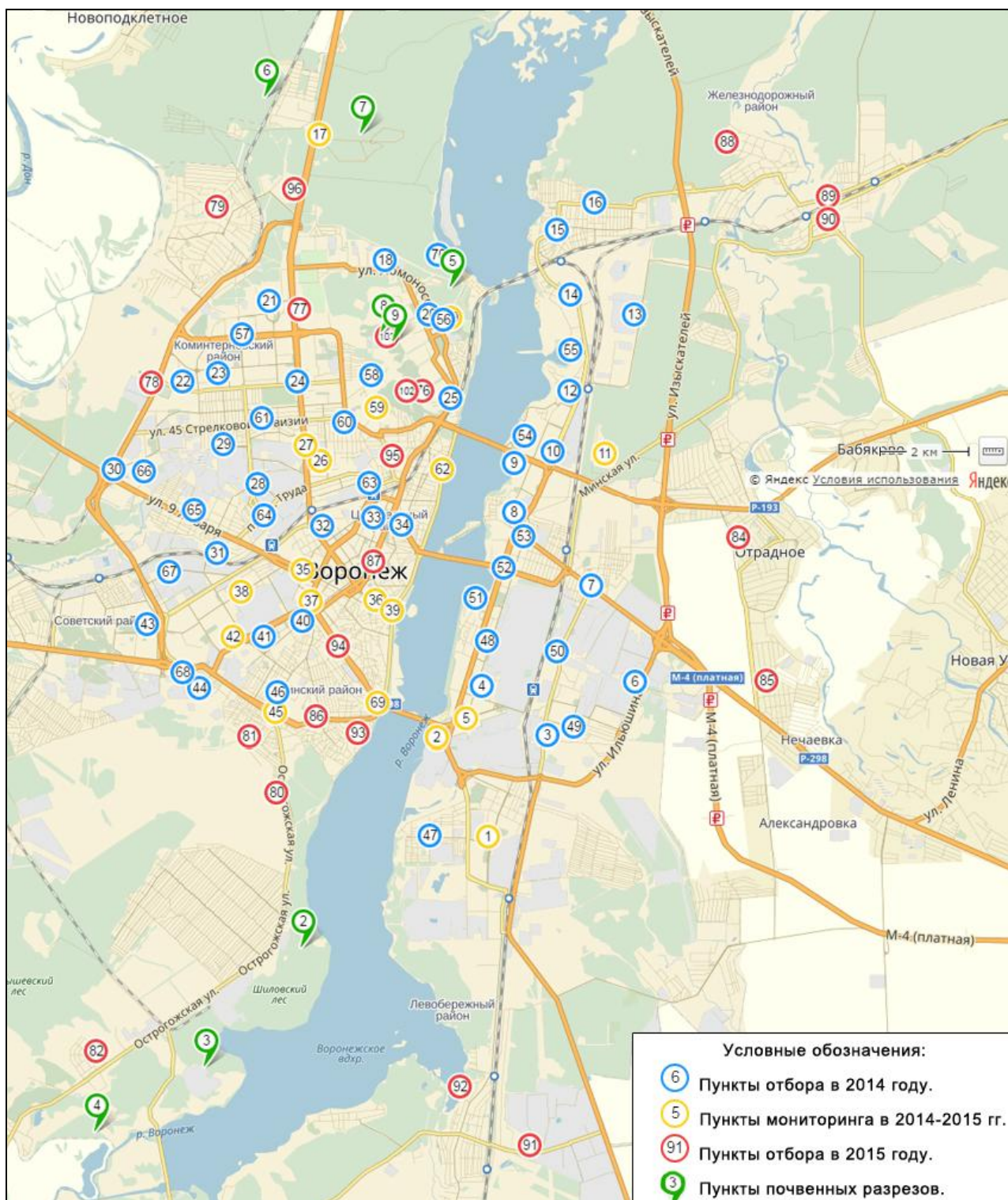


Рис. 2.4. Схема размещения точек (пунктов наблюдений) отбора почвенных проб на территории г. Воронежа (использование веб-инструмента Конструктор карт от Яндекса, 26.02.2017)

Разрезы №1 ($51^{\circ}41'32''N$, $39^{\circ}3'9''E$) и № 10 ($51^{\circ}44'30''N$, $39^{\circ}27'10''E$) не учтены на карте в силу их удаленности от центральной части города.



Утверждена
решением Воронежской городской Думы
от 25.12.2009 №344-III

Правила землепользования и застройки городского округа город Воронеж Карта градостроительного зонирования

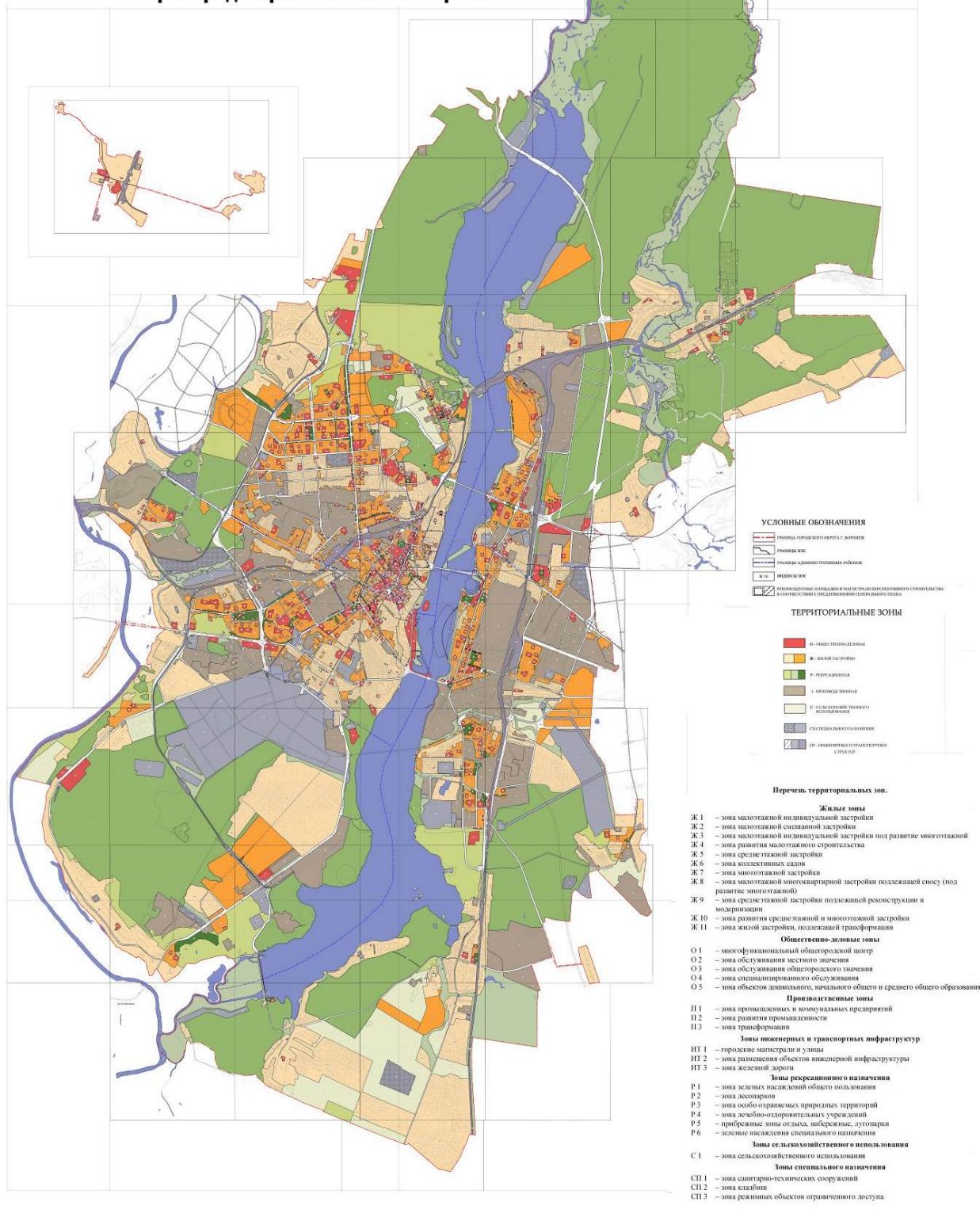


Рис. 2.5. Картосхема градостроительного зонирования г. Воронежа (территориальные зоны) [32]

2.3. Экогеохимические исследования загрязнения снежного покрова

На протяжении 2-х лет с 2014 по 2015 год нами был проведен анализ загрязнения снежного покрова города по следующим показателям: взвешенные вещества, минерализация, макрокомпоненты, ТМ, кислотность осадков, азотсодержащим соединениям. Полученные результаты позволяют оценить взаимосвязи накопления и распределения загрязняющих веществ в системе «почва-снежный покров».

В 2014 году было исследовано 48 точек в разных функциональных зонах города, в 2015 – 47 точек по городу с разным уровнем техногенного воздействия. Пробоотбор и исследования почв проводились на базе аттестованной эколого-аналитической лаборатории факультета географии и геоэкологии Воронежского государственного университета под руководством доцента Т.И. Прожориной.

Для снежного покрова в России не предусмотрен ГОСТ по загрязнению, а использование нормативной документации поверхностных вод к талой воде не всегда применим, наиболее объективным параметром для оценки состояния снежного покрова является коэффициент загрязнения (концентрации, K_c), рассчитывающийся по формуле (2.1):

$$K_c = C_i / C_{\phi} \quad (2.1)$$

где C_i - содержание элемента в исследуемом объекте, C_{ϕ} - среднее фоновое содержание элемента [11, 119, 157, 158, 164].

Фоновым участком была выбрана территория за д. Медовка Рамонского района, которая испытывает минимальный уровень техногенного воздействия. Расположение территории позволяет получить объективные данные, т.к. деревня находится в 20 км от городской черты в северном направлении. На западе деревни протекает река Дон. При выборе фонового участка учитывали направление преобладающих ветров, т.к. все атмосферные рассеяния коррелируют с розой ветров и имеют эллипсоидальный вид.

Пробоотбор проводили трубкой из пластика площадью сечения $78,5 \text{ см}^2$ и длиной 30 см. В месте отбора пробы трубу врезали на всю толщину снежного покрова до поверхности земли. После чего трубку из снега доставали, поддерживая снизу пластмассовой лопаткой. Нижнюю часть трубки тщательно очищали от частиц грунта [12, 126].

Далее отобранные усредненные пробы высыпали в полиэтиленовые пакеты и после пересыпали в чистую посуду для таяния. Образцы снежного покрова растапливали при комнатной температуре и проводили фильтрацию. В результате этого по осадку, полученному на фильтре, определяли количество взвешенных частиц в отобранной пробе, а в фильтрате – основные компоненты химического состава талых вод. Для этого применялись следующие методы анализа: колориметрический (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-); титриметрический (Ca^{2+} , Cl^- , общая жесткость, SO_4^{2-} , HCO_3^-); расчетный (Mg^{2+}); потенциометрический (pH); весовой (взвешенные вещества); кондуктометрический (минерализация).

Анализ химического состава проб снега проводился в зимний период 2014-2015 гг., в течение февраля – периода максимального накопления снега, предшествующего снеготаянию). Всего отобрано и исследовано 95 проб снега в различных функциональных зонах г. Воронежа.

2.4. Эколого-аналитические методы исследования качества почвенного покрова и уличного смета

Почва города осуществляет накопление информации о происходящих процессах и изменениях в течение продолжительного времени. Поэтому почвенный мониторинг является одной из важнейших задач для оценки состояния урбоэкосистемы. Важными показателями, которые необходимо оценивать в процессе почвенного мониторинга, являются следующие: кислотность, содержание гумуса, количество нефтепродуктов и ТМ.

Нами были проведены специальные исследования образцов почв на базе аттестованной эколого-аналитической лаборатории факультета географии и геоэкологии ВГУ совместно с кафедрой экологии и земельных ресурсов медико-биологического факультета ВГУ, а также в аккредитованной лаборатории Комплексных исследований Геологии ВГУ совместно с Центром Коллективного пользования ВГУ.

Отбор проб и подготовка их к анализу проводились в весенне-летний период 2014-2018 гг. по нормативным документам для почвенного покрова: ГОСТ 17.4.3.01 – 83. Охрана природы: почвы. Общие требования к отбору проб (1984) и ГОСТ 17.4.4.02-84. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа (1984) [40, 41, 45].

В работе применялись следующие методы анализа:

- для определения тяжелых металлов - вольтамперометрический метод исследования на анализаторе ТА-4 (ПНД Ф 16.1:2:2:2:3.48-06) [104];
- для определения химического состава проб – рентгенофлуоресцентный метод на спектрометре S8 Tiger, Bruker AXS GmbH, Германия (НСАМ Рентгеноспектральные методы. Методика №451-РС. Отраслевая методика III категории точности (Почвы, донные осадки, горные породы);
- для определения нефтепродуктов - метод хлороформ-гексановой экстракции (ПНД Ф 16.1.41-04);
- для определения содержания гумуса - метод И.В.Тюрина (ГОСТ 26213-91) [44];
- гидролитическая кислотность, обменный кальций и магний - согласно ГОСТ 26212-91, ГОСТ 26487-85) [43];
- для определения актуальной кислотности – потенциометрический метод;
- методы биотестирования (по проросткам растений-индикаторов (кресс-салат (*Lepidium sativum*) и овес посевной (*Avena sativa*), определение фитотоксического эффекта) (ГОСТ ИСО 22030-2009, 2010) [46];
- токсикологический метод анализа (методика определения токсичности почв по изменению оптической плотности культуры водоросли Хлорелла (*Chlorella vulgaris*) (ПНД Ф 14.1:2:4.10-04, 16.1:2:3:3.7-04).

Требования к качеству почвы населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, зон санитарной охраны источников водоснабжения, территории курортных зон и отдельных учреждений отражены в основном нормативном документе «Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве», отдельные нормативы представлены в таблице 2.3 [39].

Перед исследованиями на ландшафтной картосхеме города отмечаются пункты отбора почвенных образцов. При отборе в пунктах мониторинга дают описание прилегающей территории: адрес, рельеф, возможные источники загрязнения, растительный покров, тип почвы и т.д. [26]. Отбор почвенных образцов проводился с глубины 0-10 см.

Оценка опасности загрязнения почвы химическими веществами выражается коэффициентом опасности, который рассчитывается по формуле (2.2):

$$K_o = C_i / ПДК_i \quad (2.2)$$

где C_i – содержание i -го загрязняющего вещества в почве территории за год (или период), мг/кг;

$ПДК_i$ – предельно-допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в почве, мг/кг.

Таблица 2.3

Нормативы качества почвы (выборка из ГН 2.1.7.2041-06)

Наименование вещества (показателя)	Международный код /CAS/	ПДК с учетом фона (кларка), мг/кг	Лимитирующий признак вредности
Медь (подвижная форма)	7440-50-8	3,0	Общесанитарный
Цинк (подвижная форма)	7440-66-6	23,0	Транслокационный
Марганец, извлекаемый ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8 / чернозем (подвижная форма)	7439-96-5	140	Общесанитарный
Свинец (подвижная форма)	7439-92-1	6,0	Общесанитарный
Свинец (валовое содержание)	7439-92-1	32,0	Общесанитарный

Чем выше класс опасности загрязняющего вещества, тем выше опасность загрязнения. Для оценки состояния почвенного покрова применяют также коэффициент концентрации K_c . Он определяется по следующей формуле (2.3):

$$K_c = C_a / C_\phi \quad (2.3)$$

где C_a - средние концентрации элемента в городских образцах;

C_ϕ - средние концентрации элемента в фоновых образцах.

Кроме того, нами рассчитан суммарный показатель токсичного загрязнения (СПТЗ), с применением следующей формулы (2.4):

$$СПТЗ = \sum_{i=1}^n K_c K_T - (n - 1) \quad (2.4)$$

где K_T - коэффициент токсичности химического элемента.

При подсчете элементам первого класса опасности соответствует коэффициент токсичности, равный 1,5, элементами второго класса –

1,0, а третьего – 0,5. Рассчитывается коэффициент СПТЗ только для тех элементов, у которых K_c больше 2.

Общую геохимическую нагрузку характеризует также суммарный показатель загрязнения почв химическими элементами, который рассчитывается по формуле (2.5):

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1) \quad (2.5)$$

где n – число химических элементов с $K_c > 1,5$.

Оценить опасность загрязнения почвенного покрова можно по шкале, представленной в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почвенного покрова по суммарному показателю загрязнения

Категория загрязнения почв	СПЗ	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Минимальный уровень заболеваемости детей и небольшая частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16-32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32-128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости среди детей, нарушение репродуктивной функции женщин

Шкала была разработана на основе исследований показателей состояния здоровья населения, проживающего на территории с разным уровнем загрязнения почвенного покрова [22]. Данный показатель может быть применен как для подвижных форм тяжелых металлов, так и для валового содержания [61]. Наиболее распространенные загрязняющие вещества будут являться приоритетными загрязнителями.

Основными загрязняющими веществами в городе Воронеже являются нефтепродукты и ТМ.

Исследование нефтепродуктов проводилось с применением метода хлороформ-гексановой экстракции согласно ПНД Ф 16.1.41-04. В основе этого метода лежит экстракция загрязненных нефтепродуктами

почвенных образцов органическими растворителями, которые после взвешиваются.

Концентрацию нефтепродуктов в почве рассчитывали по формуле (2.6):

$$C = \Delta \times 1000 \times \frac{1000}{m}, \text{ мг/кг} \quad (2.6)$$

где:

Δ - разность веса стаканчика до анализа и после анализа, г

m – вес образца, взятого для исследования, г

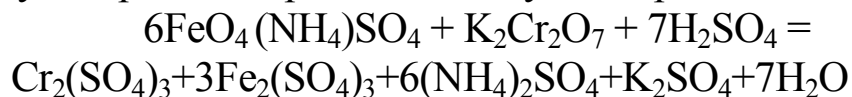
1000 000 – переводные коэффициенты [139, 171].

Определение тяжелых металлов проводилось с использованием вольтамперометрического метода исследования на анализаторе ТА-4 (ПНД Ф 16.1:2:2:2:3.48-06). Для анализа были подготовлены разные почвенные вытяжки на определение валового содержания и подвижных форм тяжелых металлов (цинк, свинец, кадмий, медь и марганец). Для определения валового содержания использовали кислотную вытяжку (на основе азотной кислоты), для определения подвижной формы – вытяжку на основе ацетатно-аммонийного буферного раствора. Согласно методикам определения тяжелых металлов почвенные вытяжки анализировали с использованием специальных электродов.

Химический состав проб исследовали с помощью рентгенфлуоресцентного спектрометра S8 Tiger (Bruker AXS GmbH, Германия). Первоначально осуществлялась пробоподготовка: отбиралась методом квартования навеска массой 4 г. После пробу смешивали с воском в пропорции 4:1 и спрессовывали в пресс-форме диаметром 34 мм с усилием 7-8 т. Прессование проводилось на прессе Herzog TP-40 (Германия). Также способом прессования проводили подготовку излучателя для измерений. Далее спрессованные таблетки с пробами были проанализированы на рентгенофлуоресцентном спектрометре. Все исследования проводились согласно «НСАМ Рентгеноспектральные методы. Методика №451-РС. Отраслевая методика III категории точности (Почвы, донные осадки, горные породы)» в аккредитованной лаборатории Комплексных исследований Геологии ВГУ совместно с Центром Коллективного пользования ВГУ.

Определение органического углерода проводилось по методу И.В.Тюрина согласно ГОСТ 26213-91 [44]. В основе этого метода лежит окисление хромовым ангидридом в присутствии серной кислоты углерода органического вещества (гумуса) до CO_2 . При титровании

происходит изменение окраски из вишнево-фиолетовой в зеленую или грязно-зеленую. При этом протекает следующая реакция:



Содержание углерода определяют по формуле (2.7):

$$C(\%) = \frac{(V_{\text{хол}} - V_{\text{раб}}) \times N \times 0.003 \times 100}{a} \quad (2.7)$$

где: $V_{\text{хол}}$ – объем соли Мора (мл), пошедший на титрование 10 мл холостой пробы, содержащей только хромовую смесь;

$V_{\text{раб}}$ – объем соли Мора (мл), пошедший на титрование остатка хромовой смеси после сжигания образца почвы;

N – нормальность соли Мора;

0,003 – масса в граммах 1 мг эквивалентного углерода;

a – навеска почвы в г.

Пересчет углерода на гумус почвы проводят по следующей формуле (2.8):

$$\text{Гумус}(\%) = C(\%) \times 1,724 \quad (2.8)$$

В работе также определяли актуальную кислотность, гидролитическая кислотность, обменный кальций и магний. Актуальную кислотность определяли потенциометрическим методом с помощью рН-метра. Для этого осуществляли подготовку почвенных вытяжек из просушенных и просеянных почвенных образцов в пропорции 1:5 (1 грамм почвы на 5 мл дистиллированной воды). После получения почвенные вытяжки оставляли на 1 час и после приступали к измерениям. При $\text{pH}=7$ реакция почвенного раствора считается нейтральной, если $\text{pH} \leq 7$ — кислая, $\text{pH} \geq 7$ — щелочная [171].

Условное разделение почвы по содержанию гумусу отражено в таблице 2.5.

Таблица 2.5

Категории почвы по окраске, содержанию гумуса и плодородию

Окраска почв	Содержание гумуса, %	Категории
Очень черная	10-15	Высокогумусная, очень плодородная
Черная	7-10	Гумусная, плодородная
Тёмно-серая	4-7	Среднегумусная, среднеплодородная
Серая	2-4	Малогумусная, среднеплодородная
Светло-серая	1-2	Малогумусная, малоплодородная

Определение гидролитической кислотности, обменного кальция и магния проводилось согласно ГОСТ 26212-91, ГОСТ 26487-85 [43].

В исследованиях почвенного покрова и уличного смета города применяли также методы биотестирования. Так, в настоящее время одним из наиболее информативных параметров для анализа влияния техногенной нагрузки на природные среды является фитотоксичность. С помощью метода можно оценить токсичное действие загрязняющих веществ или стимулирующее влияние, которое провоцирует рост и развитие тест-культур. Для оценки степени загрязнения почвенного покрова и уличного смета использовали следующие растения-индикаторы: кресс-салат (*Lepidium sativum*) и овес посевной (*Avena sativa*). В качестве биотестов использовали однодольное и двудольное растения, по которым следили за морфологическими изменениями качественных показателей под влиянием загрязнения: энергия прорастания, всхожесть семян, длина главного корня, длина проростка, общая биомасса [44, 147].

Уровень фитотоксического эффекта определяется по следующей формуле (2.9):

$$\Phi Э (\%) = \frac{B1-B2}{B1} \times 100 \quad (2.9)$$

где: $\Phi Э$ – фитотоксический эффект, %

$B1$ – всхожесть семян в контроле (фоне);

$B2$ – всхожесть семян в опытном образце.

Уровень фитотоксичности почвы ($\Phi Э$) оценивали по шкале с показателями:

- экологически чистая почва, если разница с контролем не превышает 10%;
- слабая фитотоксичность, если разница с контролем составляет 10-30%;
- средняя фитотоксичность почвы, если всхожесть снижается на 30-50%;
- высокая степень фитотоксичности почвы, если всхожесть снижается более чем на 50%.

Также для определения уровня токсического загрязнения почвенного покрова города нами были проведены исследования с помощью тест-объекта зеленой протококковой водоросли Хлорелла (*Chlorella vulgaris*) согласно ПНД Ф 14.1:2:4.10-04, 16.1:2:3:3.7-04.

Методика определения относительной токсичности основана на регистрации различий в оптической плотности тест-культуры, выращенной на среде, которая не содержит токсических веществ (контроль) и тестируемых проб водных вытяжек из почвенных образцов. Измерение оптической плотности позволяет оперативно контролировать изме-

нение численности клеток в контрольном и опытном вариантах. Критерием относительной токсичности является снижение на 20% и более (подавление роста) или увеличение на 30% и более (стимуляция роста) значения оптической плотности тест-культуры, выращиваемой в течение 22 часов на тестируемой среде по сравнению с контролем, приготовленным на дистиллированной воде [171].

2.5. Методы вероятностно-статистического анализа и геоинформационные технологии в оценке загрязнения почвенного покрова

Для выявления статистических связей между анализируемыми параметрами городской среды применяют корреляционный анализ. Отличительной особенностью корреляционных связей, в отличие от функциональных, является их приближенный, вероятностный характер, так как «явление-следствие» находятся под влиянием многочисленных разнообразных причин.

Основной количественной характеристикой силы связи служит коэффициент парной линейной корреляции (r), рассчитываемый по формуле (2.10):

$$r = \frac{\sum (x_1 - M_1) \cdot (x_2 - M_2)}{\sqrt{\sum (x_1 - M_1)^2 \cdot \sum (x_2 - M_2)^2}} \quad (2.10)$$

где x_1, x_2 – значения первой и второй переменных;

M_1, M_2 – среднее значения первой и второй переменных.

Коэффициент корреляции изменяется в пределах от 1 до –1. Абсолютное значение коэффициента корреляции характеризует степень тесноты линейной зависимости, причем при значениях « r » в интервале от 0 до $|\pm 0,30|$ связь считают слабой; от $|\pm 0,30|$ до $|\pm 0,70|$ – средней; а выше $|\pm 0,70|$ – сильной. Если корреляционная связь не достигает порога достоверности, что часто встречается в эколого-географических исследованиях, особенно на малых выборках, то говорят о тенденции статистической связи, которая свидетельствует о наличии определенной, но слабо выраженной закономерности [27, 85-88].

Кроме корреляционного анализа применяют также кластерный анализ – метод многомерной классификации, который основан на равенстве всех анализируемых признаков. Данный метод позволяет классифицировать показатели по сходству количественных значе-

ний. В настоящее время существует множество методов объединения и мер сходства в кластерном анализе. Чаще всего используются иерархический кластерный анализ и кластеризация методом k-средних. Основными методами иерархического кластерного анализа являются метод ближнего соседа, метод полной связи, метод средней связи и метод Варда. Результатом процедуры кластеризации является построение дендрограммы, являющейся графическим отображением результатов процесса последовательной кластеризации. Методы кластерного анализа успешно применяют, в частности, для выявления геохимических ассоциаций в накоплении ТМ и других показателей состояния почв [129].

Для многокритериальной оценки эколого-геохимического состояния почвенного покрова применяются ГИС. Именно они приняты в качестве стандартного программного средства при анализе пространственно распределённых данных. Использование современных геоинформационных технологий значительно облегчает составление карт и позволяет в дальнейшем оперативно в интерактивном режиме решать на ее основе различные прикладные задачи [93].

Также для построения карт и отображения пунктов мониторинга нами был использован веб-инструмент «Конструктор карт от Яндекса». Данный инструмент позволяет создавать схемы проезда и отмечать необходимые объекты на карте в режиме реального времени. С помощью карт можно создавать 2 типа карт: интерактивные и статические.

Нами применялось геоинформационное картографирование для иллюстрации типизации территории города по разным показателям качества почвенного покрова (в среде MapInfo). Для оценки загрязнения почвенного покрова использовались тематические карты на основе опорных точек мониторинга с использованием метода интерполяции. Наиболее приемлемым является метод IDW-интерполяции (метод обратных взвешенных расстояний), он позволяет получить репрезентативную информацию с любой точки уже готовой поверхности. Таким образом, карты представляют собой интерполированную поверхность с изолиниями, что приемлемо для построения карт загрязнения почвенного покрова для разных показателей [27].

Для вероятностно-статистических и геоинформационных исследований применяли лицензионные программные средства STATISTICA, STADIA и MapInfo Professional 9.5.

ГЛАВА 3. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ВОРОНЕЖА

3.1. Ландшафтно-экологические условия и функционально-планировочная организация города Воронежа

Основным городом для эколого-геохимических исследований был выбран Воронеж – крупнейший город Центрального Черноземного региона. Город является типичным примером крупного промышленного центра (мегаполиса) с населением более 1 миллиона человек.

Располагается город в лесостепной зоне, в бассейне Среднего Дона. Докембрийский кристаллический фундамент, который перекрыт 110-120 метровой толщей песчано-глинистых древнеаллювиальных отложений неоген-четвертичного времени, служит геологической основой территории. Территория находится на границе двух геоморфологических провинций – Среднерусской возвышенности и Окско-Донской низменности.

Город разделен на две неравные части Воронежским водохранилищем, которое создано в 1972 г. в долине реки Воронеж. Левый берег представлен пониженной и ровной поверхностью 2-ой надпойменной террасы, которая возвышается над урезом водохранилища на 10-20 метров. Левобережная часть города сложена в основном песчаными и песчано-глинистыми грунтами, которые перерабатываются ветром и водной эрозией.

Правый берег Воронежа – более высокий с абсолютными отметками высот 100-160 м. Также для правобережной части характерен крутой, коренный склон около 35 метров, который разделен системой древних балок Ботаническая, Чернавская, Стрелецкая, Чижовская, Грачиная [86].

Для города характерен умеренно-континентальный климат с неустойчивым увлажнением. Средняя годовая температура воздуха приблизительно $+6,0^{\circ}\text{C}$. Для зимнего периода характерны небольшие морозы ($-8-12^{\circ}\text{C}$), которые часто сменяются оттепелями. В отдельные холодные зимы отмечаются экстремальные значения температуры $-35-37^{\circ}\text{C}$. В период с декабря по март держится устойчивый снежный покров высотой до 1,0 м. Для летнего времени года свойственна преимущественно ясная погода. Летом преобладает дневная температура воздуха $+20-25^{\circ}\text{C}$, иногда достигающая значе-

ний $+32-36^{\circ}\text{C}$. Годовое количество осадков колеблется в пределах 550-600 мм. Для города характерна высокая относительная влажность воздуха (наиболее холодный месяц – около 83 %, наиболее теплый – около 66%). В холодный период года часто появляются туманы, которые способствуют снижению потенциала естественного самоочищения атмосферы. В теплое время свойственны перепады в состоянии погоды: засухи, которые часто приходится на вторую половину лета, или выпадение большого количества осадков в виде ливневых дождей, гроз [162].

В розе ветров преобладают западные румбы (около 40%), но существуют и сезонные различия. Зимой и весной возрастает частота юго-восточных и юго-западных ветров, которые смягчают суровость зимы при циклональной циркуляции. Летом и осенью часто появляются ветры северных и северо-западных румбов, которые позволяют смягчить летний зной. В районе Воронежа в течение года прослеживаются элементы муссонной циркуляции воздушных масс. Средние скорости ветра в приземном слое воздуха составляют около 3,8 м/с, отмечены и шквалистые ветры до 25 м/с. Для июля и августа характерны суховеи, которые провоцируют летний листопад [86, 136].

Из-за влияния интенсивной застройки в Воронеже произошло формирование микроклимата с повышенной температурой воздуха по сравнению с зональным фоном, увеличен и безморозный период. По потенциалу загрязнения атмосферы (ПЗА) Воронежская область находится на границе двух зон: умеренного и повышенного ПЗА (по данным Э.Ю. Безуглой [8]). Частота инверсий составляет около 30-40%. Максимальные значения приземных инверсий, которые способствуют аккумуляции ЗВ, приходятся на май (64%), август (66%), сентябрь (59%) и февраль (55%); минимум же – на январь (18%), декабрь (19%) и ноябрь (21%) [107, 108]. Вследствие возникновения «острова тепла» при слабых ветрах появляется небольшая депрессия над городом. При анализе повторяемости слабых ветров (0-1 м/с) выявлено, что максимум штилей отмечается в летнее время, минимум – в зимнее и весеннее. Наиболее часто слабые ветры наблюдаются в южной, низменной части города. В центре города и в северной его части, как правило, слабые ветры проявляются реже.

На режим осадков также влияют городские условия. Наибольшее влияние отмечается в 15-55 км в подветренной стороне от центра города, т.к. облака, которые образуются в результате подъема воздушных масс, при наличии «острова тепла» и гигроскопических частиц промышленных выбросов, могут быть снесены в эту часть

города. В результате осадков за счет вымывания техногенных примесей происходит уменьшение значений концентраций ЗВ. Наибольшая интенсивность осадков наблюдается летом (июль, август) и в декабре; минимальная – в апреле и сентябре.

Почвенный покров в пределах города и прилегающей территории довольно пестрый. В основном преобладают черноземы различных типов. Более подробно почвенный покров города описан в разделе 3.4.

Фрагменты природного комплекса представлены лесными массивами, плотность которых выше в северном секторе города (в радиусе до 15 км от границ застройки, где леса занимают до 20 % площади городского округа), главным образом вдоль рек Воронеж и Усмань. Преимущественно составляют дубравы и сосновые леса [47]. Наименьшая площадь озеленения свойственная для левобережной промышленной части города. По данным генерального плана города площадь зеленых насаждений общего пользования ниже нормативной величины почти вдвое и составляет 5,1 кв. м на человека [32].

Для растительного покрова в районах интенсивной застройки характерна неустойчивость к техногенным воздействиям и невозможность самовозобновления [82]. По этой причине в городе доминируют фитоценозы, которые состоят из рудеральных видов. Так, преобладают формации мятликовая, пырейная, одуванчиковая, птичьегорцевая, циклахеновая, полынная. Фитоценозы промышленных предприятий имеют общее проективное покрытие 35-50 %, видовую насыщенность 4-7 видов, из которых 85 % рудеральных.

Природоподобные растительные сообщества сосредоточены в основном в садово-парковых массивах. Древесно-кустарниковый состав их является упрощенным. В травянистом покрове чаще других видов встречаются мятлик узколистный, пырей ползучий, костер безостый, одуванчик лекарственный, горец птичий.

Воронеж относится к числу городов, в границах которого получили распространение основные характерные ландшафты Центрального Черноземья по типу местностей. Центральную часть Дно-Воронежского междуречья занимают плакорные типы местности. Данная территория является благоприятной для городского строительства, единственным недостатком выступает суффозия. Появление верховодки происходит из-за песчано-глинистых пород плакоров. Переизбыток увлажнения грунтов приводит к образованию просянок и даже провалов, что может угрожать деформациями сооружений [67, 86]. Склоновые местности приурочены к правому долинно-

му склону р. Воронеж. Возвышающийся над урезом воды водохранилища на 57 м крутой склон расчленен системой коротких логов, между которыми образуются уступы в виде Чернышевского и Бархатного бугров, Университетской и Мясной горы. Террасовые местности в городе распространены на левобережье и на юго-западной окраине Воронежа, обращенной к Дону. Застроены лишь первые две песчаные террасы левого берега. Аквальная местность совпадает с зеркалом воды водохранилища, которое представляет собой мелководный водоем руслового типа.

Из-за разнообразной морфологической структуры ландшафта города (плакоры, склоны, надпойменные террасы, водное зеркало водохранилища) возможна реализация интересных идей ландшафтной архитектуры.

В настоящее время Воронеж – крупный индустриально развитый город, который состоит из шести внутригородских районов. В правобережной части расположены Центральный, Ленинский, Коминтерновский и Советский районы, на левом берегу Воронежского водохранилища – Левобережный и Железнодорожный.

Для центральной части города характерны административно-селитебные зоны застройки преимущественно 50-60-х гг. прошлого века, окруженные прерывистым кольцом промышленных предприятий. Внешнее функциональное кольцо с жилыми микрорайонами начало формироваться с 70-х годов прошлого столетия.

В пределах границ городской черты Воронеж занимает около 600 км², непосредственно под застройкой – около 200 км². В настоящий момент в городе непосредственно застройкой занято около 20 тыс. га. Жилой фонд составляет около 17 млн. кв. м жилой площади, 80 % которой приходится на многоэтажную, а 20 % – на низкоэтажную застройку. Площадь промышленных и коммунально-складских зон – около 7% территории.

В исторической части центра города хорошо выделяется общественно-деловой центр [32].

Исторически на территории города сформировалось несколько промышленно-производственных комплексов. Промышленно-производственный район, который расположен в левобережной части города, состоит из комплекса крупных промышленных объектов, таких как ТЭЦ-1, заводы по производству синтетического каучука, шин для автомобилей, авиационной техники. К другому крупному промышленному району относятся предприятия, расположенные в право-

бережной части: ТЭЦ-2 и заводы преимущественно машиностроительного, радиотехнического и строительного профиля [67, 86,].

В Воронеже хорошо развита транспортная сеть железнодорожных путей и автомагистралей. Железнодорожная линия пересекает правобережную часть города с северо-востока на юго-запад. В левобережной части другая железнодорожная линия пролегает в меридиональном направлении с севера на юг. Плотная сеть автодорог покрывает всю территорию города. Среди наиболее крупных автомагистралей выделяются улицы Плехановская, 9 Января, Ворошилова, проспекты Московский, Революции, Труда (на правом берегу); Ленинский проспект, улицы Ленинградская, Димитрова, Остужева (левый берег).

Развитая городская инфраструктура, интенсивная застройка, многочисленные промышленные предприятия, загруженные автомагистрали и железнодорожное полотно способствуют формированию эколого-гигиенического неблагополучия. Высокий уровень техногенной нагрузки из-за наличия низких источников вредных выбросов в атмосферу и интенсивной транспортной загруженности представляет потенциальную угрозу опасного загрязнения городской среды.

Транспортные магистрали в городе в основном не соответствуют современным нормативам транспортной инфраструктуры в городах и не обладают достаточной пропускной способностью. Они также не обеспечивают надежную защиту от выхлопных газов и шума населения, которое проживает вблизи крупных автомагистралей.

Такое положение обостряется также из-за увеличения количества личного автотранспорта и маршрутных такси. В будние дни в часы пик город «стоит» в пробках. Плотная городская застройка продолжает возрастать без грамотного развития инженерно-транспортной инфраструктуры. Северная часть города также продолжает увеличиваться за счет застройки зеленых зон города. Все эти факторы способствуют ухудшению эколого-гигиенического состояния жилых районов города.

Одной из главных проблем города является интенсивная загруженность улично-дорожной сети и отсутствие резервных площадей для перспективного развития застройки. Это является одной из главных предпосылок формирования зон экологического риска. Безусловно, концепция городского градостроительства, Генплан г. Воронежа предусматривают развитие жилого фонда по двум направлениям: на свободных от застройки территориях, занятых в основном сельскохозяйственными угодьями, и реконструкцию ветхих и мало-

ценных строений прошлого века [32]. На рисунке 3.1. представлена схема планировочных мероприятий по улучшению состояния окружающей среды из Генерального плана городского округа город Воронеж (2008).

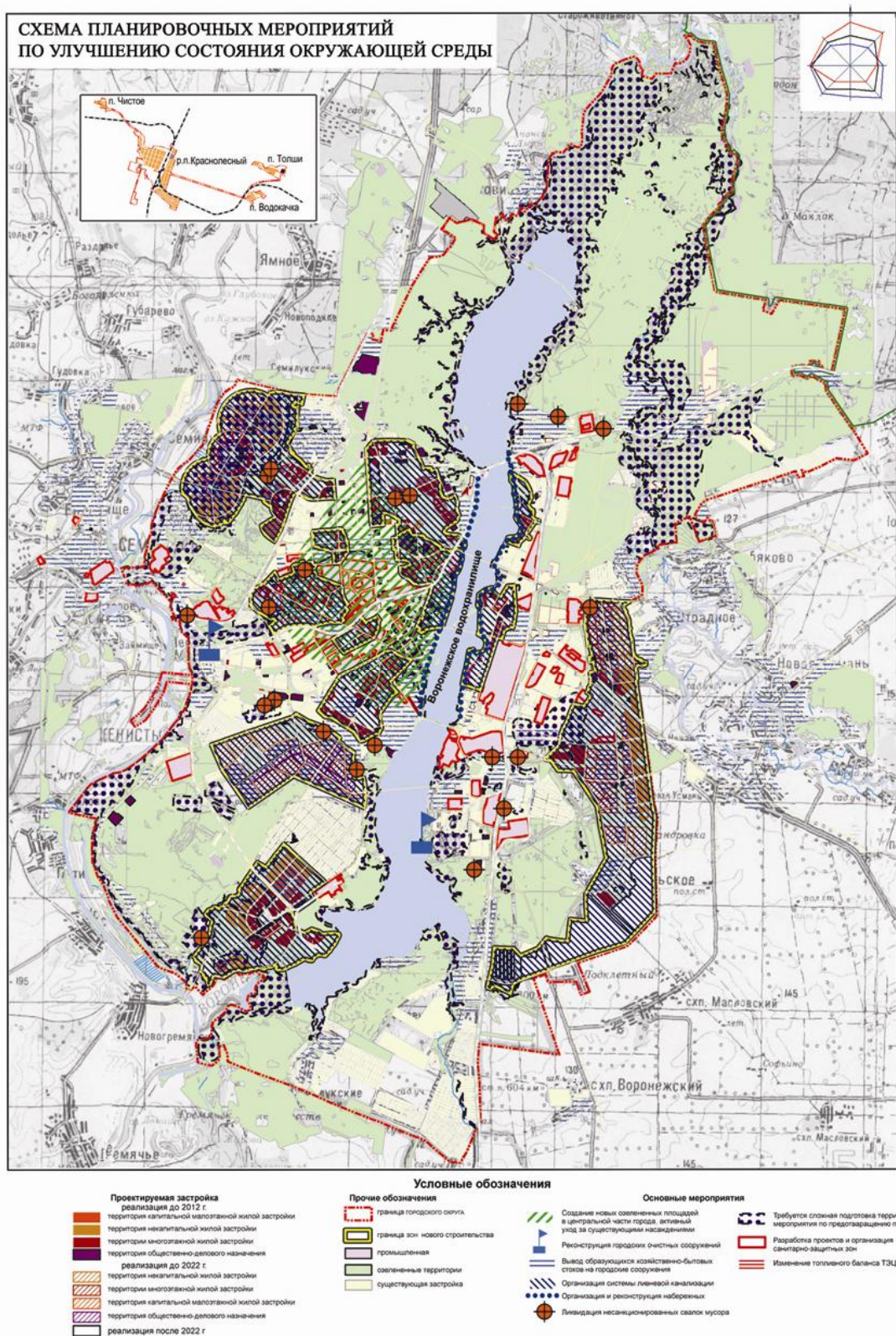


Рис. 3.1. Схема планировочных мероприятий по улучшению состояния окружающей среды [32]

На схеме отмечены зоны перспективной застройки города: застройки до 2012 года (часть уже реализована), застройки до 2022 года. Кроме того, зоны разделены на площади для разной застройки: многоэтажной жилой, общественно-деловой, капитальной малоэтажной застройки.

В настоящее время отмечаются положительные тенденции для города Воронежа. Так, в экологическом рейтинге почти сотни городов России 2013 года столица Воронежской области занимает высокое 5 место, в 2014 году – 4 место, а в 2015 году -7 место, в 2017 году – 3 место [133]. Рейтинг составляется ежегодно по данным, предоставляемым администрациями субъектов Российской Федерации. Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации разработана методика, в основе которой лежат 7 критериев: воздушная среда, водопотребление и качество воды, обращение с отходами, транспорт, использование территорий, энергопотребление, управление воздействием на окружающую среду.

Получение соответствующих сведений требует организации в городах систем экологического мониторинга состояния окружающей среды. В городе Воронеже наблюдение за состоянием окружающей среды осуществляется специализированными организациями: Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) и Воронежским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (филиал ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды») [125].

3.2. Источники техногенного загрязнения городской среды

Основными источниками техногенного загрязнения в городе являются промышленные предприятия, автотранспорт, инженерные сети, коммунальные и энергетические объекты, многочисленные отходы от строительных и отделочных работ, а также отходы потребления. Интересно рассмотреть динамику техногенной нагрузки на город. Так, в 2001 г. в г. Воронеже было зарегистрировано 14497 действующих источников загрязняющих веществ (в том числе организованных – 12475), тогда как в 1997 г. их было лишь 11699 (в том числе организованных – 11106). Преобладающими ЗВ были отмече-

ны: диоксид азота, диоксид углерода, сернистый ангидрид, пыль, а среди приоритетных – формальдегид, фенол, толуол, ксилол, бенз(а)пирен, марганец и его соединения, стирол, бутадиен, оксиды хрома, оксид меди. Более 80% выбросов приходится на автотранспорт, который обеспечивает, прежде всего, поступление в атмосферу оксида азота [86, 165]. Несмотря на негативное влияние автотранспорта на загрязнение городской среды, в пассажирских перевозках мала доля электротранспорта. За 3 года количество троллейбусов снизилось с 73 до 51 единицы [49-53].

Вклад от стационарных источников в загрязнении атмосферного воздуха города составляет приблизительно 11%. Расположение промышленных вкладчиков показано на рисунке 3.2 (по реестру П.М. Виноградова). Основными вкладчиками в загрязнение являются следующие отрасли: производство химической промышленности (ООО «Воронежский шинный завод», ОАО «Воронежсинтезкаучук»), теплоэнергетики (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 и др.); транспортных средств, машиностроения и оборудования (ОАО «ВАСО», ОАО «Тяжэкс», ФКА «Воронежский механический завод»), коммунального хозяйства (Правобережные очистные сооружения ООО «РВК-Воронеж», ООО «Левобережные очистные сооружения») [49].

По состоянию на 2018 год наиболее крупные предприятия, загрязняющие атмосферный воздух и почвенный покров Воронежа, сосредоточены в промышленных узлах Левобережного, Коминтерновского и Советского районов. По данным на 2015 год ориентировочная численность населения города, подверженного воздействию загрязняющих атмосферный воздух веществ, составляет 125 тыс. человек (12,3% населения).

Все же основным источником загрязнения городской среды остается автотранспорт. Специфика передвижных источников загрязнения атмосферы выражается в расположении выхлопных труб практически в зоне дыхания человека, в непосредственной близости к жилым кварталам и слабом рассеивании отработавших газов в атмосфере. Вклад автотранспорта в загрязнение воздушного бассейна составляет около 89 % [52, 53].

Так, по состоянию на 1 января 2015 года в Воронежской области зарегистрировано 976,610 тысяч автотранспортных средств, в том числе – 704 913 легковых автомобилей. За 2014 год прирост автотранспорта составил 15 тысяч единиц, в 2013 году – 14 тысяч, в 2012 году – 49 тысяч автомобилей. На территории же самого города по данным на 2015 год зарегистрировано более 300 тысяч автотранс-

портных средств. Количество легковых автомобилей в Воронеже на 1 января 2017 года составило 318,4 тыс. штук. На тысячу жителей города приходится 308 машин. Анализируя эти данные, можно сказать, что чётко прослеживается тенденция к увеличению количества легковых автомобилей как на территории города, так и в Воронежской области в целом, которое провоцирует не только загрязнение атмосферного воздуха в городе, но и почвенного покрова [56].

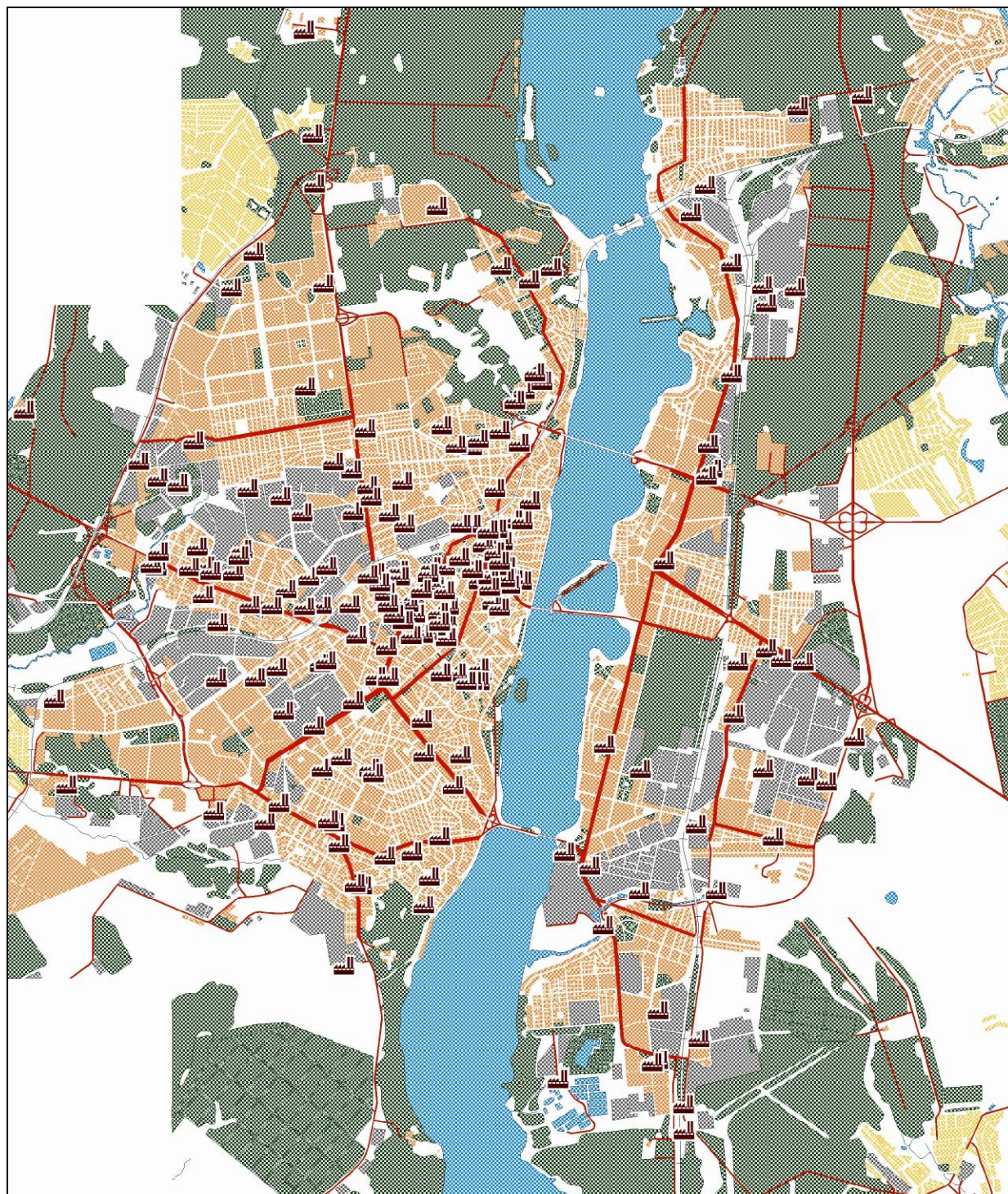


Рис. 3.2. Расположение промышленных вкладчиков на территории города Воронежа;  - промышленный объект

Увеличение выбросов от автотранспортных средств в атмосферу и почвенный покров города связано со следующими факторами:

- неудовлетворительное содержание городских дорог;
- некачественный бензин;
- отсутствие объездных дорог для грузового автотранспорта;
- загруженность автомагистралей транспортом и наличие пробок на дорогах;
- эксплуатации транспортных средств с большим процентом износа двигателей [52, 54].

Мировая практика показывает, что наиболее эффективным методом сокращения уровня экологической нагрузки на окружающую среду является стимулирование обновления автомобильного парка при одновременном обеспечении эффективной утилизации вышедших из эксплуатации транспортных средств [52-56].

Одной из причин химического загрязнения почвы является аккумуляция токсичных веществ в почве селитебных территорий, расположенных вблизи источников промышленных выбросов и транспортных артерий. К техногенному загрязнению почвы приводит отсутствие полигона для захоронения промышленных отходов предприятий города, в связи с чем отходы, не подлежащие захоронению, накапливаются на площадках промышленных предприятий, что представляет большую опасность для состояния окружающей среды и здоровья населения.

Значительное количество – 176,587 тысяч тонн – составляют отходы от офисных и бытовых помещений предприятий и организаций, захоронение которых происходит без предварительной сортировки на объектах размещения отходов, а занимают они более 800 га земель. В большинстве случаев на объектах захоронения отходов нарушается общая технология производства работ, не проводится изоляция грунта, отсутствует требуемое ограждение. Все эти недостатки приводят к стихийному и бесконтрольному складированию твердых коммунальных отходов в пределах жилой застройки и пригородных зеленых зонах, создавая реальную угрозу для населения [55]. Общее количество твердых бытовых отходов IV и V классов опасности составляет по экспертной оценке около 929 296,7 тонн в год [53].

Приоритетными ЗВ в почвенном покрове являются: бенз(а)пирен, кадмий, марганец, медь, мышьяк, никель, ртуть, свинец, фтор, цинк, микробиологические и паразитологические агенты. Показатель несоответствия гигиеническим нормативам проб почвы по санитарно-химическим показателям в значительной мере обу-

словлен ежегодно возрастающим дефицитом парковочных мест в микрорайонах жилой застройки: парковка личного автотранспорта граждан осуществляется во дворах жилых домов, в том числе на тротуарах, газонах и детских площадках, что приводит к деградации зелёных насаждений и загрязнению почвы [52].

Микробиологическому и паразитологическому загрязнению почвы способствуют неудовлетворительная организация санитарной очистки населенных мест, отсутствие площадок для выгула собак.

Кроме того, в последнее время в городе появилось много не-санкционированных свалок (рисунок 3.3.).



Рис. 3.3. Несанкционированная свалка на территории Центрального парка культуры и отдыха в г. Воронеже (2016 год, фото Л.Середа)

Большинство несанкционированных свалок возникает на территориях со свободным доступом – это пустыри, участки лесного фонда, либо не огороженные земельные участки, находящиеся в собственности физических или юридических лиц.

По морфологическому составу в захламлении преобладают отходы, которые образуются в результате ремонтных и строительных работ, бытовые отходы, отходы объектов торговли (деревянная, картонная тара), а также загрязненный грунт, отходы, связанные с реконструкцией дорог, утильные автомобильные шины, полимерные материалы, которые не способны к природному саморазложению на

протяжении десятков, а порой и сотен лет. На ряде территорий отходы размещены очагами, рассеяно на большой площади в труднодоступных местах (склоны, овраги, заболоченные участки, водотоки и т.п.), что осложняет уборку как механизированным, так и ручным способом [52].

С 1 августа 2014 года введен в действие Государственный реестр объектов размещения отходов (ГРОРО), формируемый Росприроднадзором, в состав которого включено 15 полигонов твердых коммунальных отходов на территории Воронежской области [56].

3.3 Оценка состояния снежного покрова

Для городской среды атмосферный воздух является одним из приоритетных объектов для экологического контроля и мониторинга. В крупных городах загрязнение атмосферы характеризуется большой пространственно-временной неоднородностью. Причиной возникновения являются метеорологическая ситуация, рассредоточение источников выбросов, рельеф местности, а также интенсивная и неоднородная застройка.

Ограниченное число стационарных постов в условиях современных городов не дает получить достоверные данные о пространственном распределении ЗВ на всей территории. Для снега свойственна высокая сорбционная способность, кроме того он осаждает из атмосферного воздуха значительное количество продуктов техногенеза. Мониторинг снежного покрова позволяет определить очаги загрязнения и тенденцию в изменении качества окружающей среды [12, 126, 165].

При образовании и выпадении снега концентрация загрязняющих веществ в нём оказывается обычно на 2-3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе, поэтому измерения содержания этих веществ могут производиться достаточно простыми методами и с высокой степенью надёжности [126].

Результаты проведенного нами химического анализа в 2014-2015 гг. указывают на повышенный уровень техногенного загрязнения снежного покрова во всех функциональных зонах города Воронежа, причем в 2015 г. запыленность была выше, что характеризует нарастание техногенного давления на воздушный бассейн города.

На рисунке 3.4. показано содержание минеральной пыли в пробах снега в 2014 и в 2015 гг. Так, низкие значения взвешенных ве-

ществ отмечаются в пробах снега, которые были отобраны в зонах перспективной застройки и в зоне рекреации. Высокие значения были отмечены в пробах из промышленной и транспортной зон города. Стоит отметить, что эта тенденция прослеживается на протяжении 2-х летнего мониторинга. В первую очередь, это связано с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха в городе. Запыленность воздуха в городе в 5-10 раз выше по сравнению с фоном, что приводит к увеличению количества взвешенных частиц.

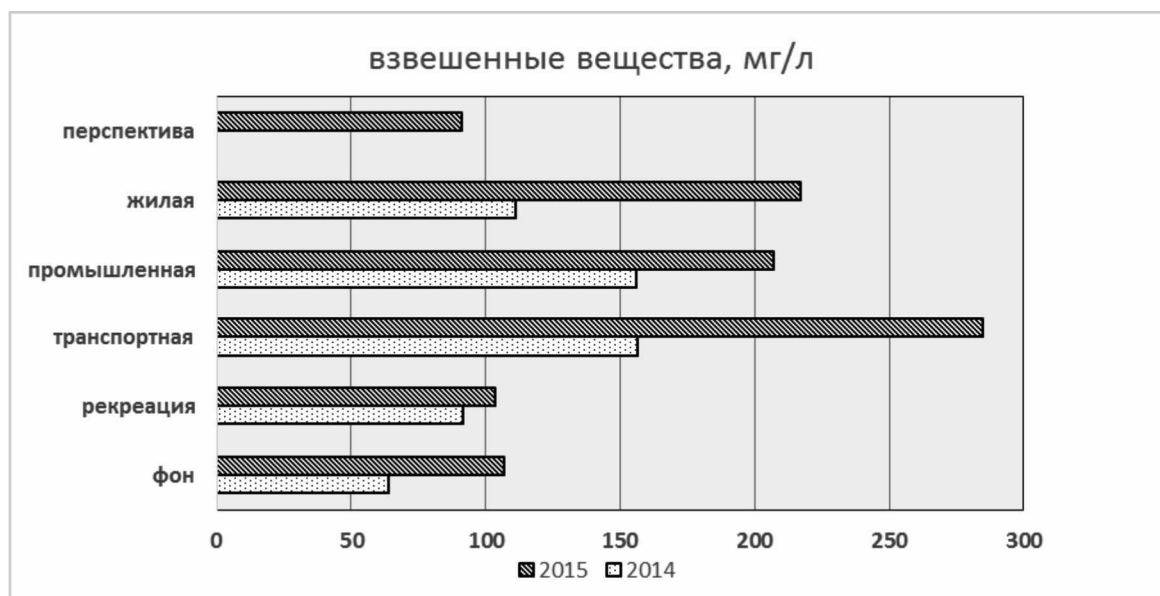


Рис. 3.4. Изменение содержания взвешенных веществ в пробах снега в различных функциональных зонах (ФЗ) города

На рисунке 3.5. показаны результаты изменения уровня pH в разных ФЗ города. Анализируя полученные данные, можно отметить следующее: кислотность проб в 2015 году выше, чем в 2014 год.

Наиболее высокие значения pH отмечены в образцах из транспортной и промышленной зон города. Более низкие значения характерны для образцов из зоны рекреации. Данные согласуются с исследованиями почвенного покрова, представленными в следующем разделе. Подщелачивание снежного покрова возникает из-за повышенного содержания в снеге твердых частиц, сажи, которые являются составляющими выхлопов от автотранспорта.

На рисунке 3.6. показано изменение величины минерализации и общей жесткости в 2014 и в 2015 гг. в разных ФЗ города. Степень минерализации характеризует интенсивность техногенного воздействия на городскую среду [129, 165]. Уровень минерализации в 2015 году стал ниже по сравнению с 2014 годом, это закономерность отмечается для всех ФЗ города.

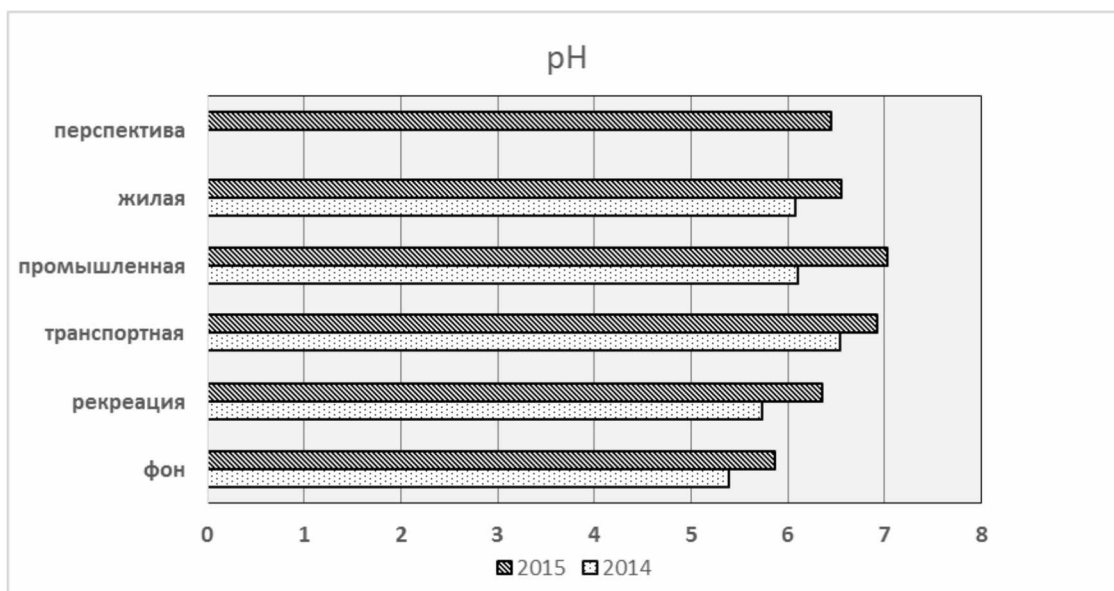


Рис. 3.5. Изменение величины pH в пробах снега в различных ФЗ города

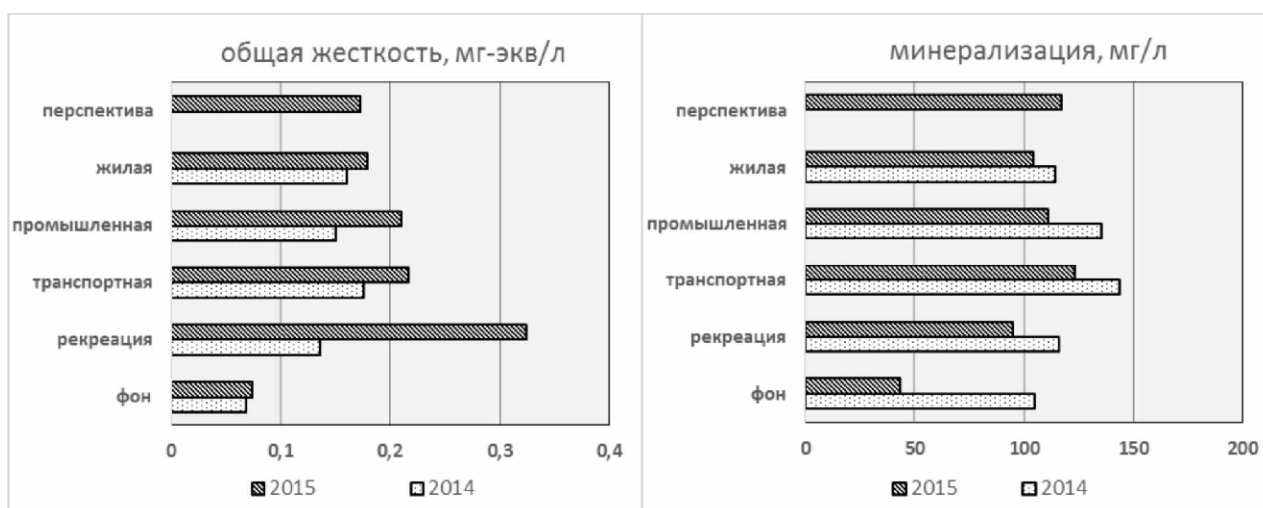


Рис. 3.6. Изменение величины минерализации и общей жесткости в пробах снега в различных ФЗ города

Наиболее высокие уровни минерализации отмечаются в транспортной и промышленной зонах города.

О техногенном загрязнении свидетельствуют также увеличение концентрации Ca^{2+} и Mg^{2+} , а также общей жесткости. Анализируя данные, отметили следующее: в 2014 году минимальные уровни величины общей жесткости были отмечены в жилой зоне и рекреационной зоне. В 2015 году, напротив, максимальный уровень общей жесткости отмечен в зоне рекреации. Это связано с высоким уровнем в 1 точке отбора, которая близко расположена к крупной автомагистрали города.

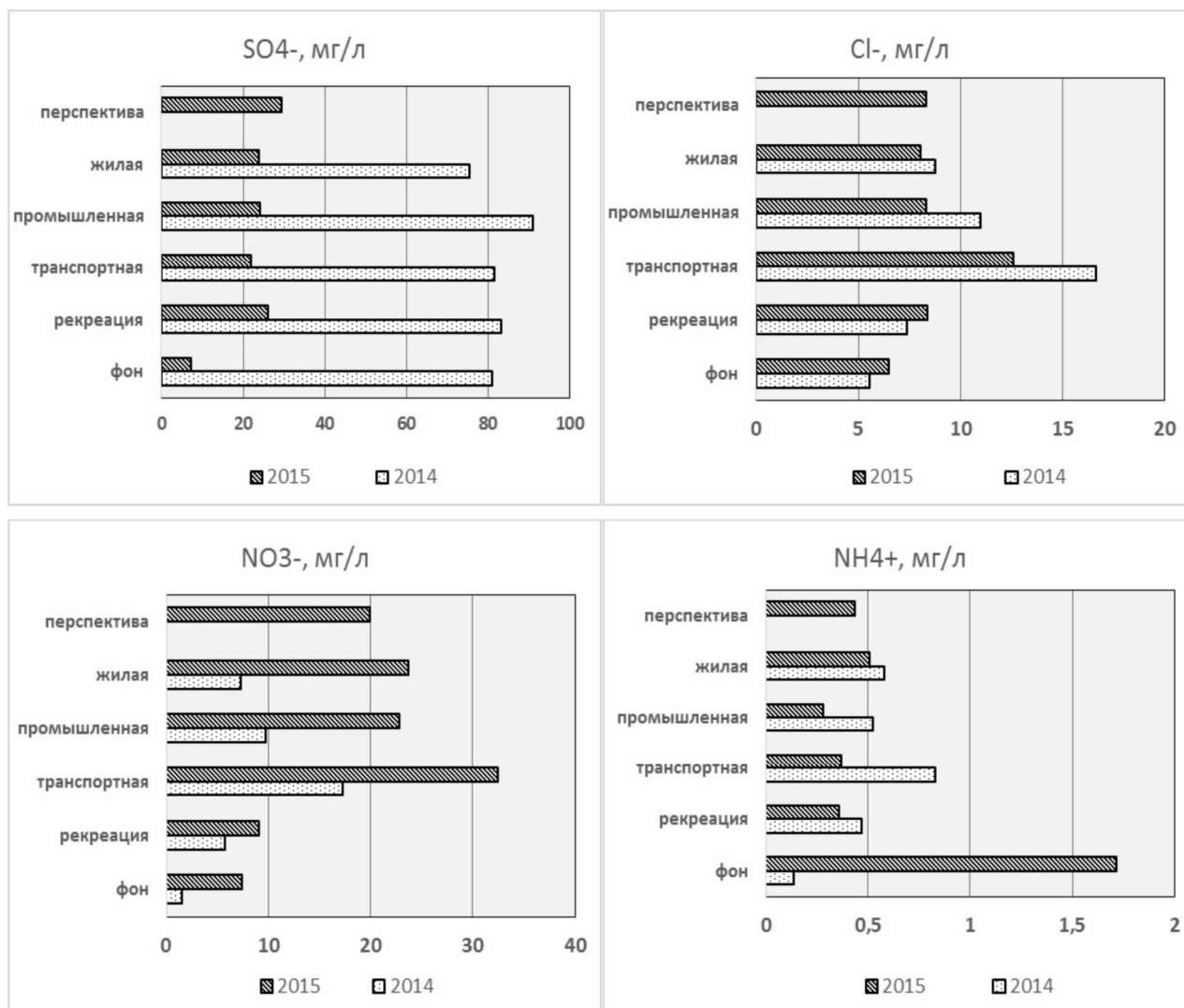


Рис. 3.7. Изменение величины сульфат-ионов, хлоридов, азот-содержащих соединений в пробах снега в различных ФЗ города

Повышенный уровень минерализации в 2014 году связан с увеличением содержания основных макрокомпонентов. Это видно на рисунке 3.7: в 2015 году были зафиксированы уровни содержания сульфат-ионов и хлоридов ниже, чем в 2014 году. Напротив, в 2015 году были отмечено увеличение содержания аммонийного иона. Увеличение значений аммонийного азота связано с ростом выбросов оксидов азота в атмосферный воздух города, что подтверждается данными Воронежского ЦГМС.

Высокий уровень техногенной нагрузки обуславливает высокую степень минерализации и содержание взвешенных веществ. Таким образом, по степени загрязненности исследуемые городские зоны можно расположить в следующий убывающий ряд: рекреационная <жилая< перспективной застройки< промышленная <транспортная.

По степени загрязненности исследуемые жилые подзоны можно расположить в следующий убывающий ряд: жилая ЧС > жилая СП > жилая ЦИ.

Каждую зиму в городе проходят снегоуборочные работы. К сожалению, большая часть снега, которая убирается с дорожного полотна, просто переносится на свободные участки на тротуарах или землях, которые в летний период используются под городские клумбы (рисунок 3.8.) Данная тенденция способствует усилению загрязнения почвенного покрова.



Рис.3.8. Скопление снега после уборки в центре города
(2014 и 2017 годы, фото Л.Середа)

Полученные данные о состоянии снежного покрова позволяют сделать следующие выводы:

- степень минерализации, величины рН и минерализации снеговых вод характеризуют интенсивность техногенного пресса на городскую среду, а состав талых вод указывает на характер ее загрязнения;
- приоритетными веществами в пробах снега всех городских зон г. Воронежа являются NO_3^- , NO_2^- , Cl^- - ионы, что косвенно отражает состав техногенных выбросов в атмосферу;
- по степени загрязненности исследуемые городские зоны можно расположить в следующий убывающий ряд: транспортная > промышленная > перспективная застройка > жилая > рекреация > фоновая;

- загрязнение снежного покрова усиливает загрязнение почвенного покрова. Почвенный и снежный покровы обладают сходными свойствами: так, более щелочные почвы были отмечены в промышленной и транспортной зонах города.

3.4. Оценка геохимического состояния почвенного покрова

Возрастающие площади нарушенных и техногенно трансформированных почв урбанизированных территорий – одна из актуальных проблем крупных городов РФ с развитой инфраструктурой, к числу которых относится город Воронеж. Весомый вклад в нарушение целостности распространения почвенного покрова (ПП), его структуры (СПП) вносят площадные и точечные строительные работы, транспортные магистрали, промышленное производство и другие сферы антропогенного влияния.

Проблема экогеохимического исследования почв урбанизированных территорий, подвергшихся негативному антропогенному воздействию, особенно остра, так как тенденция увеличения их площадей сопровождается коренным преобразованием почвенного профиля в виде механического нарушения его строения, несвойственного естественному генезису зональных почв, а также изменением эколого-геохимического состояния почв за счет влияния функционально-планировочных условий города.

Все городские земли представлены двумя категориями. В первую категорию включены земли с функционирующим почвенным покровом, обладающим биологической продуктивностью и находящимся в «незапечатанной» территории города. Во вторую категорию входит общий техногенный покров, в том числе отчужденная («запечатанная») часть ПП, занятая разными техническими объектами и не обладающая биологической продуктивностью. При этом основная часть техногенного покрова по существу «безвозвратно утеряна».

Нами разносторонне изучены обе категории городских земель. Особое внимание уделено анализу и оценке их эколого-геохимического состояния. Комплексными исследованиями почв и почвенного покрова была охвачена вся территория города Воронежа и частично пригородные зоны. Для их осуществления использованы традиционные и современные методы почвенного картографирования, химического анализа почв, экологического мониторинга [4, 11, 13, 14, 67, 72, 164, 165, 171].

3.4.1. Характеристика фоновых участков

Для проведения эколого-геохимической диагностики города нами учитывались природные особенности и функционально-планировочная структура города, в частности, были изучены фоновые компоненты функционирующего ПП правобережной и левобережной частей города, а именно - черноземы выщелоченные, серые лесостепные и дерново-лесные почвы.

Характерные особенности фоновых дерново-лесных почв изучались по разрезам № 1, № 2, №3 и №4.

Разрез № 1 был заложен в 350 метрах к северу от Подклетенского кургана на нижней террасе реки Дон под чистым порослевым дубняком (таблица 3.1). Почва - дерново-лесная ортзандовая среднегумусированная песчаная.

Таблица 3.1

Строение почвенного профиля разреза №1

А _д 0-12 см	Свежий, темно-серый с коричневатым оттенком, непрочной комковато-пылеватой структуры, связнопесчаный, слабо уплотнен, пронизан корнями, образующими дернину. Переход заметный по окраске.
А 12-53 см	Сухой, серый с коричневатым оттенком и белесоватым налетом кремнеземистой присыпки, структура непрочная комковато-пылеватая, связнопесчаный, уплотнен, есть древесные корни. Переход заметный.
В ₁ 53-72 см	Свежий, неоднородный по окраске: серые пятна чередуются с белесыми, структура непрочная комковатая, связнопесчаный, плотный в сухом состоянии. Переход четкий.
В ₂ 72-106 см	Свежий, иловато-супесчаный, неоднородный по цвету: желто-бурый с чередующимися темно-бурыми суглинистыми полосками, а в верхней части с белесыми песчаными пятнами, плотный, комковатый. Переход резкий.
С 106-150 см	Рыхлый, темновато-желто-бурый в верхней половине горизонта и более светлый желто-бурый в нижней песок.

Разрез № 2 был заложен на второй надпойменной террасе реки Воронеж (юго-восточная окраина города) в бору. Почва - дерново-лесная ортзандовая малогумусированная глееватая песчаная на древнеаллювиальных отложениях (таблица 3.2).

Аналогичное строение почвенного профиля имеют почвы разрезов №3 и №4, также заложенных на второй надпойменной террасе реки Воронеж. Для разреза №3 характерна дерново-лесная ортзандовая малогумусированная глеевая песчаная почва, а для разреза

№4 — дерново-лесная элювиально-глеевая высокогумусированная песчаная.

Таблица 3.2

Строение почвенного профиля разреза №2

A _d 0-3 см	Свежий, светло-серый с буроватым оттенком, непрочной комковатой структуры, песчаный, слабо уплотнен, густо переплетен корнями древесной и травянистой растительности, образующими дернину. Переход заметный по окраске.
A 3-10 см	Свежий, серый, песчаный, непрочной комковатой структуры, рыхлый, при подсыхании видна кремнеземистая присыпка, есть древесные корни. Переход заметный.
AB 10-28 см	Свежий, серый, супесчаный, непрочной комковатой структуры, рыхлый, слабо уплотнен, присутствуют редкие белесые пятна SiO ₂ , есть древесные корни. Переход заметный.
B ₁ 28-46 см	Влажный, светло-бурый, неоднородно окрашен, супесчаный, комковатый, уплотнен, перерыв слепышами, есть корни. Переход заметный.
B ₂ 46-75 см	Влажный, неоднородно окрашен, буровато-белесый, супесчаный, менее плотный, есть ортзанды, единичные корни. Переход заметный.
BC _q 75-125 см	Влажный, желтовато-белесый, песчаный, рыхлый, бесструктурный, есть глеевые пятна. Переход постепенный.
C >125 см	Влажный, белесый, бесструктурный, древний аллювий.

Большинство дерново-лесных почв характеризуется малой гумусированностью. Лишь в почвах на нижней террасе реки Дон верхняя задерненная часть гумусового горизонта содержит 3,7-6,7% органического вещества, которое образовалось за счет лесного опада.

Для фоновой дерново-лесной почвы террасы реки Дон свойственна реакция среды, близкая к нейтральной в гумусовом горизонте ($pH_{\text{сол}} = 5,6$) и среднекислая с глубины 40-50 см ($pH_{\text{сол}} = 5,0-4,8$). Значительное увлажнение и очень высокая водопроницаемость приводят к сильному выщелачиванию дерново-лесных почв. Поэтому из них вымыты растворимые вещества и соли за пределы почвенного профиля. С этим связана относительно высокая гидролитическая кислотность (3,7 мг-экв/100 г) и низкая степень насыщенности основаниями современных почв (в пределах 49-73%).

Основная часть дерново-лесных песчаных и супесчаных почв нижних террас реки Воронеж (левобережная часть города) имеет низкое содержание гумуса — 1,3% в верхней части почвенного профиля, ниже оно не превышает 0,2-0,5%. Аналогично распределяются обменные основания, их сумма невысокая по всему почвенному профи-

лю с некоторой тенденцией к увеличению с глубины 50-60 см. Реакция почвенной среды - слабокислая в верхней части профиля и близкая к нейтральной – за ее пределами. Степень насыщенности основаниями изменяется в пределах 55-73%. Более подробно физико-химические и химические свойства разрезов указаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Физико-химические и химические свойства разрезов №1,2,3,4

Глубина, см	pH _{сол}	Гумус, %	мг-ЭКВ/100 г почвы				V, %	мг/100г		
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сумма CaMg	Hr ⁺		K ₂ O	P ₂ O ₅	N
Разрез №1										
2-12	5,6	3,70	9,6	0,6	10,2	10,2	73,4	6,3	1,4	8,1
20-30	5,6	0,94	3,1	0,6	3,7	3,7	59,7	3,8	4,0	5,0
40-50	5,0	0,88	2,3	0,6	2,9	2,9	53,7	-	-	-
60-70	5,0	0,54	1,4	0,6	2,0	2,0	48,8	-	-	-
80-90	4,8	0,49	3,4	2,2	5,6	5,6	69,1	-	-	-
130-140	4,8	0,14	0,9	0,5	1,4	1,4	60,9	-	-	-
Разрез №2										
3-10	5,4	1,32	1,7	0,2	1,9	0,9	67,8	3,5	1,8	6,4
12-22	5,7	0,31	0,7	0,3	1,0	0,8	54,6	1,8	4,1	3,2
32-42	6,1	0,27	0,8	0,3	1,1	0,8	61,0	-	-	-
55-65	6,2	0,48	0,9	0,4	1,3	0,7	62,2	-	-	-
95-105	6,2	0,49	0,9	0,4	1,3	0,7	64,1	-	-	-
Разрез №3										
4-14	5,0	1,31	1,6	0,1	1,7	0,7	70,8	4,0	1,6	8,0
14-24	5,3	0,27	1,1	0,3	1,4	0,3	71,4	2,3	3,9	4,1
31-41	6,5	0,22	1,0	0,5	1,5	0,6	63,6	-	-	-
61-71	5,9	0,25	3,2	0,5	3,7	1,3	68,3	-	-	-
92-102	5,5	0,21	3,0	0,6	3,6	1,4	73,1	-	-	-
Разрез №4										
5-15	5,2	6,70	11,9	4,3	17,2	6,3	72,6	7,3	1,2	14,7
15-25	5,1	0,91	5,6	2,6	8,2	1,9	80,2	4,9	4,8	6,3
25-35	5,4	0,41	2,3	4,1	6,4	1,7	77,4	-	-	-
41-51	5,2	0,43	4,7	1,9	6,6	1,7	78,3	-	-	-
71-81	4,7	0,39	8,6	1,8	10,4	1,8	84,2	-	-	-
98-108	4,7	0,18	8,7	0,6	9,3	1,9	81,7	-	-	-

Характерные особенности естественных ненарушенных серых лесостепных почв изучались по разрезам № 5, № 6, №7, которые были заложены на водоразделе рек Дон-Воронеж, по линии от Воронежского государственного лесотехнического университета на север к корпусу Воронежского государственного технического университета на 9-ом километре Задонского шоссе.

Разрез № 5 заложен в районе лесотехнического университета, от асфальтированной дороги на юго-восток 70 м и на северо-восток 50 м, на слабопологом склоне к реке Воронеж юго-восточной экспозиции (таблица 3.4). Представлен широколиственным лесом: 1 ярус – дуб; 2 ярус – клен, липа, ясень; 3 ярус – подрост клена, вяза. Высота 1 яруса 20-25 м, диаметр стволов составляет 50-70 см; травянистый покров представлен следующими видами: осока волосистая, гравилат городской, купена лекарственная.

Таблица 3.4

Строение почвенного профиля разреза №5

О 0-2 см	Опад лесной
A ₁ 0-26 см	Гумусовый горизонт, свежий, серый с легким буроватым оттенком, среднесуглинистый, комковато-зернистый, пористый, обилие корней древесной растительности, ходы червей. Переход заметный по плотности, структуре и цвету.
A ₁ E 26-45 см	Гумусово-элювиальный горизонт, влажный, буровато-серый при подсыхании появляется седоватый оттенок (SiO ₂), среднесуглинистый, комковато-ореховатый, уплотнен, пористый, корни, червороины. Переход заметный по плотности, структуре и цвету.
EB 45-70 см	Элювиально-иллювиальный переходный горизонт, влажный, бурый с серым оттенком, среднесуглинистый, комковато-призмовидный, тонкопористый, корни древесные и травянистые, на гранях структурных отдельностей кремнеземистая присыпка, гумусовые затеки по ходам червей. Переход по цвету и плотности заметный.
Bt 70-110 см	Иллювиальный горизонт, влажный, бурый, тяжелосуглинистый, комковато-призмовидный, уплотнен плотнее предыдущего, тонкопористый, затеки гумуса, единичные корни. Переход постепенный.
BC 110-130 см	Переходный к материнской породе горизонт, влажный, желтовато-бурый, среднесуглинистый, встречаются линзы песка, призмовидно-комковатый, корни, тонкопористый, уплотнен. Переход постепенный.
C > 130 см	Материнская порода – покровный лессовидный суглинок.

Вскипание от 10% HCl обнаружено на глубине 150 см. Почва относится к лесостепной среднесуглинистой на лессовидном карбонатном суглинке.

Разрез №6 заложен в районе 9 км, корпуса ВГТУ, от шоссе на северо-запад 200 м, от корпуса ВГТУ на северо-восток 250 м. Макрорельеф: Окско-Донская равнина, водораздел рек Дон-Воронеж

(таблица 3.5). Представлен широколиственным лесом: 1 ярус – дуб; 2 ярус – клен, липа; 3 ярус – подрост клена. Высота 1 яруса 25-30 м, диаметр стволов составляет 50-80 см; травянистый покров местами изрежен и представлен следующими видами: осока волосистая, папоротник, орляк обыкновенный, марьянник дубравный, звездчатка лесная. Вскипания от 10% HCl не обнаружено.

Почва – серая лесостепная легкосуглинистая на лессовидном суглинке.

Таблица 3.5

Строение почвенного профиля разреза №6

О 0-2 см	Опад лесной
A _d 0-10 см	Дернина пронизана множеством корней, серая.
A ₁ 10-40 см	Свежий, серый, легкосуглинистый, слабо уплотнен, комковато-ореховатый (есть отдельные зерна), обилие древесных корней. Переход постепенный по цвету и плотности.
A ₁ E 40-60 см	Свежий, серо-буроватый (белесый), легкосуглинистый, уплотнен, ореховато-комковатый, пористый, мелкие корни, червороины. Переход постепенный.
EB 60-85 см	Влажный, бурый (неоднородно окрашен), легкосуглинистый, уплотнен, комковатый, тонкопористый, единичные корни, гумусовые затеки, червороины. Переход постепенный.
Bt 85-125 см	Влажный, буровато-желтый, легкосуглинистый с прослойками песка, пористый, слабо уплотнен. Переход постепенный.
C > 125 см	Влажный, желтый, легкосуглинистый, комковатый.

Разрез №7 заложен в районе областной больницы, от шоссе на запад 100 м, на север от базы отдыха «Олимпик» -150 м (таблица 3.6).

Макрорельеф: Окско-Донская равнина, водораздел рек Дон-Воронеж. Представлен смешанным лесом: 1 ярус – дуб, сосна; 2 ярус – береза; 3 ярус – подрост березы, клена. Высота 1 яруса 25-30 м, диаметр стволов составляет 40-50 см; травянистый покров представлен осокой волосистой.

Вскипания от 10% HCl не обнаружено. Почва – серая лесостепная легкосуглинистая на лессовидном суглинке.

Серые лесостепные почвы обладают благоприятными химическими и физико-химическими свойствами (таблица 3.7). Содержание гумуса в верхних горизонтах колеблется от 4,8 до 5,3%. Отмечается следующая зависимость: чем легче гранулометрический состав, тем меньше содержание гумуса.

Таблица 3.6

Строение почвенного профиля разреза №7

О 0-2 см	Опад лесной
A _d 0-10 см	Дернина пронизана множеством корней, серая.
A ₁ 10-40 см	Свежий, светло-серый, легкосуглинистый с прослойками песка, слабо уплотнен, комковатый, обилие корней. Переход постепенный по цвету и плотности.
A ₁ E 40-65 см	Свежий, серо-буроватый, легкосуглинистый, уплотнен, неясно ореховато-комковатый, пористый, мелкие корни, червороины. Переход постепенный.
EB 60-85 см	Влажный, бурый с сероватым оттенком, легкосуглинистый, уплотнен, комковатый, тонкопористый, корни, гумусовые за-теки, червороины, ходы червей. Переход постепенный.
Bt 95-110 см	Влажный, буровато-желтый, легкосуглинистый с прослойка-ми песка, пористый, уплотнен, корней мало. Переход посте-пенный.
BC 110-130 см	Влажный, желтый, легкосуглинистый, непрочно комковатый, пористый. Переход постепенный.

Таблица 3.7

Физико-химические и химические свойства разрезов №5,6,7

Глубина, см	pH _{сол}	Гумус, %	мг-экв/100 г почвы				V, %	мг/100г		
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сумма CaMg	Hr ⁺		K ₂ O	P ₂ O ₅	N
Разрез №5										
0-10	5,8	5,33	21,2	3,3	24,5	4,8	83	19,0	12,4	12,1
20-30	5,7	4,75	18,0	2,2	20,2	4,2	83	18,5	11,7	12,38
40-50	5,7	3,49	17,7	3,1	20,8	3,7	85	-	-	-
60-70	5,6	2,45	15,2	2,5	17,7	3,1	85	-	-	-
80-90	5,7	1,24	13,0	2,9	15,9	2,8	85	-	-	-
100-110	5,7	-	12,5	2,7	15,2	2,3	87	-	-	-
Разрез №6										
0-10	5,5	4,8	19,0	3,3	22,3	4,5	83	16,8	12,61	14,2
20-30	5,6	4,71	18,0	3,5	21,5	4,0	84	10,8	11,19	13,5
40-50	5,7	3,54	16,4	3,2	19,6	3,6	84	-	-	-
60-70	5,7	2,35	15,3	3,7	19,0	3,0	86	-	-	-
80-90	5,7	1,13	13,3	3,5	16,8	2,5	87	-	-	-
100-110	5,8	-	11,7	3,6	15,3	2,4	87	-	-	-
Разрез №7										
0-10	5,6	5,17	19,4	3,1	22,5	4,6	83	-	12,8	12,8
20-30	5,6	4,05	18,5	2,9	21,4	3,9	84	-	11,6	12,1
40-50	5,7	3,24	17,2	3,0	20,2	3,1	86	-	-	-
60-70	5,7	2,1	14,8	2,7	17,5	2,5	87	-	-	-
80-90	5,7	1,15	12,3	2,9	15,2	2,2	87	-	-	-
100-110	5,8	-	11,5	2,6	14,1	1,5	90	-	-	-

Содержание обменного кальция в верхнем 10-см слое колеблется от 19,0 мг-экв/100 г до 21,2 мг-экв/100 г, обменного магния - от 3,1 до 3,3 мг-экв/100 г почвы. Далее вниз по профилю содержание обменных оснований меняется в сторону уменьшения.

Гидролитическая кислотность в верхнем слое достигает 4,5-4,8 мг-экв/100 г почвы, равномерно снижается по профилю до 1,5-2,4 мг-экв/100 г в горизонте ВС. Невысокая гидролитическая кислотность обуславливает достаточно высокий показатель степени насыщенности основаниями, который растет с глубиной.

Содержание щелочногидролизуемого азота в серых лесостепных почвах достаточно высокое. В слое 0-10 см содержание колеблется от 12,1 до 14,2 мг/100 г почвы, а за его пределами 12,1-13,5 мг/100 г почвы.

По содержанию подвижного фосфора эти почвы относят к высокообеспеченным. Количество P_2O_5 в гумусовом горизонте равно 11,2-12,8 мг/100 г почвы. Содержание обменного калия в горизонте A_1 находится в пределах 10,8-19,0 мг/100 г, что соответствует высокой обеспеченности этим элементом питания растений.

Определение рН солевой вытяжки в серых лесостепных почвах показало, что ее величина в верхних горизонтах составляет 5,6-5,8 и незначительно увеличивается с глубиной.

Таким образом, серые лесостепные почвы характеризуются достаточно благоприятными свойствами и обладают сравнительно высоким потенциальным плодородием.

Особенности черноземов выщелоченных изучались по разрезам №8, №9, №10, заложенным на водоразделе рек Дон-Воронеж (опушка Ботанического сада ВГУ) и на территории совхоза «Масловский» на третьей надпойменной террасе реки Воронеж.

Разрез №8 заложен в Северном микрорайоне, на территории Ботанического сада ВГУ, в 12 м на юг от лесного массива и 14 м на запад от лесополосы (приложение 1).

Угодье: четырехлетняя залежь, которая покрыта пыреем, тысячелистником, полынью и другой сорной растительностью.

Макрорельеф: Окско-Донская равнина, Доно-Воронежский водораздел. Мезорельеф: очень пологий склон ($<0,5^\circ$) юго-восточной экспозиции. Микрорельеф: заросшие травянистой растительностью пахотные борозды.

Почва – чернозем выщелоченный среднегумусный среднесуглинистый на карбонатном лессовидном суглинке, подстилаемом флювиогляциальными отложениями (таблица 3.8).

Разрез №9 заложен в Северном микрорайоне, на территории Ботанического сада ВГУ, в 37 м на север от дубравы и 21 м на запад от бывшей лесополосы (приложение 1). Угодье: четырехлетняя залежь, которая покрыта пыреем, тысячелистником и другими видами.

Таблица 3.8

Строение почвенного профиля разреза №8

A _d 0-4 см	Дернина, свежая, серая, густо переплетена корнями. Переход заметный.
A 4-20 см	Бывший пахотный горизонт, свежий, темно-серый, тяжелосуглинистый, пылевато-комковатый, уплотнен, пористый, пронизан корнями растений. Переход заметный.
A ₁ 20-37 см	Гумусовый горизонт, влажный, темно-серый, тяжелосуглинистый, комковато-крупнозернистый, уплотнен, тонкопористый, пронизан живыми корнями растений диаметром 1 мм. Переход постепенный.
AB 37-70 см	Переходный гумусовый горизонт, влажный, серый со слабым коричневато-бурый оттенком, тяжелосуглинистый, зернисто-комковатый, уплотнен, тонкопористый, перерыт слепышами, видны 4 кротовины прямого и обратного хода, заполненный серой и бурой почвенной массой диаметром 7-10 см и более. Переход заметный по вскипанию от 10% HCl и появлению новообразований карбонатов.
B _{1ca} 70-88 см	Переходный гумусовый карбонатный горизонт, влажный серовато-бурый, тяжелосуглинистый, зернисто-комковатый, менее плотный, тонкопористый, содержит карбонаты в форме псевдомицелия, вскипает от 10% HCl с 70 см. Переход постепенный.
B _{2ca} 88-120 см	Переходный карбонатный горизонт, неоднородно окрашен, но, в целом, доминирует бурая окраска, тяжелосуглинистый, неясно призматический, уплотнен, тонкопористый, в нижней его части много кротовин диаметром 10-20 см, заполненных почвенной массой вышележащих генетических горизонтов, содержит карбонаты в форме псевдомицелия, встречаются единичные корни. Переход заметный по структуре и плотности.
BC _{ca} 120-150 см	Влажный, палево-желтый опесчаненный средний суглинок, комковатый, менее плотный, чем предыдущий горизонт, содержит разные по диаметру и цвету кротовины, полусгнившие корни древесной растительности, обильный псевдомицелий. Переход постепенный.
C _{ca} 150-200 см	Влажный, желтый опесчаненный легкий суглинок, который сменяется белесовато-желтым песком, слабо уплотнен, непрочен комковатый, вскипает от 10% HCl, содержит карбонаты в форме псевдомицелия, 2 больших кротовины серого цвета.

Макрорельеф: Окско-Донская равнина, Доно-Воронежский водораздел. Мезорельеф: очень пологий склон (2°) юго-восточной экспозиции.

Почва – чернозем выщелоченный среднегумусный среднесуглинистый на карбонатном лессовидном суглинке, подстилаемом флювиогляциальными отложениями (таблица 3.9).

Таблица 3.9

Строение почвенного профиля разреза №9

A _d 0-4 см	Дернина, свежая, серая, густо переплетена корнями. Переход заметный.
A 4-22 см	Влажный, бывший пахотный горизонт, темно-серый, среднесуглинистый, комковатый, слабо уплотнен, пористый, пронизан корнями растений. Переход заметный по структуре и плотности.
A ₁ 22-40 см	Гумусовый горизонт, влажный, темно-серый, среднесуглинистый, зернисто-комковатый, уплотнен, тонкопористый, пронизан множеством мелких корней. Переход постепенный.
AB 40-72 см	Переходный гумусовый горизонт, влажный, серый со слабым буроватым оттенком, среднесуглинистый, зернисто-комковатый, уплотнен, пористый, пронизан корнями растений, есть кротовины грязно-бурого цвета диаметром 10 см и более. Переход заметный.
B _t 72-110 см	Иллювивальный горизонт, влажный, грязно-бурый, неоднородно окрашен вследствие перерытости слепышами, опесчаненный средний суглинок, комковато-призматический, уплотнен. Переход заметный.
BC _{ca} 110-125 см	Переходный к материнской породе карбонатный горизонт, влажный, грязно-бурый, перерытый слепышами, среднесуглинистый, комковатый, слабо уплотнен, пористый, вскипает от 10% HCl. Переход постепенный.
C _{ca} 125-160 см	Влажный, буровато-желтый неоднородно окрашенный, сильно перерыт, много кротовин различного цвета, среднесуглинистый, комковатый, уплотнен, встречаются единичные корни, содержит карбонаты в форме псевдомицелия (обильно). Переход постепенный.
CD _{ca} 160-200 см	Переходный к подстилающей породе горизонт, влажный, неоднородно окрашен, но, в целом, преобладает бурый цвет, опесчаненный, легкий суглинок, слабо уплотнен, пористый, сильно перерыт, кротовины бурого цвета разного диаметра. Переход постепенный.
D глубже 200 см	Влажный, белесый, бесструктурный рыхлый белый песок.

Черноземы выщелоченные характеризуются достаточно благоприятными свойствами.

Содержание гумуса в слое 0-20см равно 4,7-6,3%, в средней части почвенного профиля оно снижается до 2,6 - 3,6 %, а на глубине 100-110 см равно 0,4 - 0,5%.

В гумусовом горизонте разрезов № 8 и №9 содержание обменного кальция колеблется от 23,5 мг-экв/100 г до 23,8 мг-экв/100 г, содержание магния - от 3,2 до 3,9 мг-экв/100 г. Вниз по профилю содержание обменных оснований меняется в сторону уменьшения. Отношение Ca:Mg колеблется от 7:1 в горизонте А до 5:1 в нижележащих горизонтах.

Гидролитическая кислотность по разрезам 8, 9 в слое 0-10 см достигает 4,3 - 4,5 мг-экв/100 г почвы и равномерно снижается по профилю. Невысокая гидролитическая кислотность обуславливает достаточно высокую степень насыщенности основаниями: в верхнем слое составляет 85 - 86%. Этот показатель возрастает с глубиной параллельно снижению гидролитической кислотности, достигая 88-89% на глубине 100-110 см.

Содержание щелочногидролизуемого азота в выщелоченных черноземах достаточно высокое: в гумусовом горизонте оно составляет 12,8-13,7 мг/100 г почвы.

Разрез №10 заложен в 200 метрах на запад от дороги на совхоз «Новоусманский» и в 50 метрах на юг от линии электропередач (таблица 3.10).

Таблица 3.10

Строение почвенного профиля разреза №10

А _{пах} 0-27 см	Увлажненный, темно-серый, тяжелосуглинистый, комковато-пылеватый, уплотнен слабо, присутствуют корни растений. Переход отчетливый.
А 27-48 см	Увлажненный, темно-серый, тяжелосуглинистый, комковато-зернистый, тонкопористый, слабоуплотнен, есть корни растений. Переход постепенный
АВ 48-85 см	Влажный, темно-серый с бурым оттенком, тяжелосуглинистый, крупнокомковатый, уплотнен, тонкопористый, единичные кротовины. Переход заметный по цвету.
В 85-107 см	Влажный, серо-бурый, неоднородно окрашен, тяжелосуглинистый, комковато-призматический, уплотнен, тонкопористый, обилие кротовин. Переход заметный по цвету.
ВС _{са} 107-141 см	Влажный, желто-бурый с редкими гумусовыми затеками, глинистый, комковатый, уплотнен, тонкопористый. Переход постепенный.
С _{са} 141-153 см и глубже	Влажная, бурая, карбонатная глина. Вскипание от 10%HCl начинается со 108 см

Угодье составляют пашня, посев кукурузы. Для данной территории свойственно сильное зарастание сорными растениями (вьюнок, сурепка, осот полевой). По данному разрезу изучались морфологические особенности черноземов выщелоченных.

Таким образом, почва относится к чернозему выщелоченному мощному малогумусному тяжелосуглинистому на карбонатной лесовидной глине.

Черноземы выщелоченные характеризуются благоприятными химическими и физико-химическими свойствами (таблица 3.11).

Таблица 3.11

Физико-химические и химические свойства разреза №10

Глубина, см	pH _{сол}	Гумус, %	мг-экв/100 г почвы				V, %	мг/100г		
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сумма CaMg	Hr ⁺		K ₂ O	P ₂ O ₅	N
Разрез №8										
0-10	5,4	6,03	23,5	3,2	26,7	4,5	85	-	13,7	12,6
10-20	5,5	4,67	19,2	3,4	22,6	3,9	85	-	13,5	11,7
35-45	5,7	3,55	17,5	3,2	20,7	3,8	84	-	-	-
60-70	5,7	2,72	15,9	3,1	19,0	3,2	86	-	-	-
80-90	5,7	0,90	15,1	3,4	18,5	2,5	88	-	-	-
100-110	5,8	0,40	14,0	3,0	17,0	2,0	89	-	-	-
Разрез №9										
0-10	5,4	6,31	23,8	3,9	27,7	4,4	86	-	12,8	13,3
30-40	5,5	4,20	18,8	3,4	22,2	3,8	85	-	13,5	11,5
50-60	5,7	2,63	15,5	2,5	17,9	3,1	85	-	-	-
80-90	5,7	1,31	14,2	3,2	17,3	2,4	88	-	-	-
100-110	5,7	0,5	13,4	3,0	16,4	2,2	88	-	-	-
Разрез №10										
0-20	4,8	5,8	27,0	4,5	31,5	6,1	84	21,2	5,4	17,2
30-40	5,4	5,0	28,5	3,8	32,3	5,4	86	16,2	4,7	13,2
40-50	5,7	4,2	27,5	4,8	32,3	4,0	89	-	-	-
60-70	6,1	3,1	24,3	5,8	30,1	2,6	92	-	-	-
80-90	6,2	2,2	22,3	6,3	28,6	1,2	96	-	-	-
100-110	7,5	0,6	20,1	6,0	26,1	вск	100	-	-	-

Количество гумуса в верхнем слое (до 20 см) составляет 5,8%, что позволяет отнести эти почвы к малогумусному виду. Данные почвы содержат 31-32 мг-экв/100 г почвы обменных кальция и магния в горизонте А. С глубиной их сумма плавно снижается вслед за уменьшением содержания гумуса до 30 мг-экв/100 г в слое 60-70 см.

Содержание гумуса постепенно уменьшается с глубиной до 2,2%.

В среднесуглинистых разновидностях отмечается увеличение содержания обменных оснований до 33-37 мг-экв/100 г в слое 60-70 см. Отмечается 5-7-кратное преобладание Са над Mg.

Реакция почвенного раствора колеблется от слабокислой до нейтральной (рН = 4,8-6,2), а на глубине 100-110 см она слабощелочная (рН = 7,5). Содержание подвижных форм фосфора 4,7-5,4; обменного калия 16,2-21,2 мг на 100 г почвы; щелочногидролизуемого азота 13,2-17,2 мг/100 г почвы.

Таким образом, черноземы выщелоченные характеризуются, как уже было отмечено выше, благоприятными химическими и физико-химическими свойствами, обладают высоким потенциальным плодородием, но нуждаются в применении повышенных доз органических и минеральных удобрений. Полученные данные о фоновых компонентах функционирующего ПП позволило более детально провести эколого-геохимическую диагностику почв города.

3.4.2. Характеристика почвенного покрова территории

Фоновыми компонентами функционирующего ПП правобережной и левобережной частей города являются черноземы выщелоченные, серые лесостепные и дерново-лесные почвы, различающиеся по своему генезису, строению, составу и свойствам. В их число входят естественные ненарушенные почвы городских лесов и пригородных зон, парков, садов (Ботанический сад ВГУ). Основу техногенного покрова составляют антропогенные глубокопреобразованные городские почвы – урбаноземы. Ареалы распространения городских почв показаны на обзорной почвенной карте города Воронежа (рисунок 3.9). При ее составлении нами использована классификация городских почв, предложенная Г.В. Добровольским [124, 140, 141].

Данная классификация разработана для почв городов Центральной части России. Она базируется на особенностях профильно-генетического (морфологического) строения почвенного профиля как достаточно простого и универсального подхода, а также на характере почвообразующих пород и грунтов. Все почвы города разделяются на группы почв: естественных ненарушенных, естественно-антропогенных поверхностно-преобразованных (естественных нарушенных), антропогенных глубокопреобразованных урбаноземов и почв техногенных поверхностных почвоподобных образований – урботехноземов.

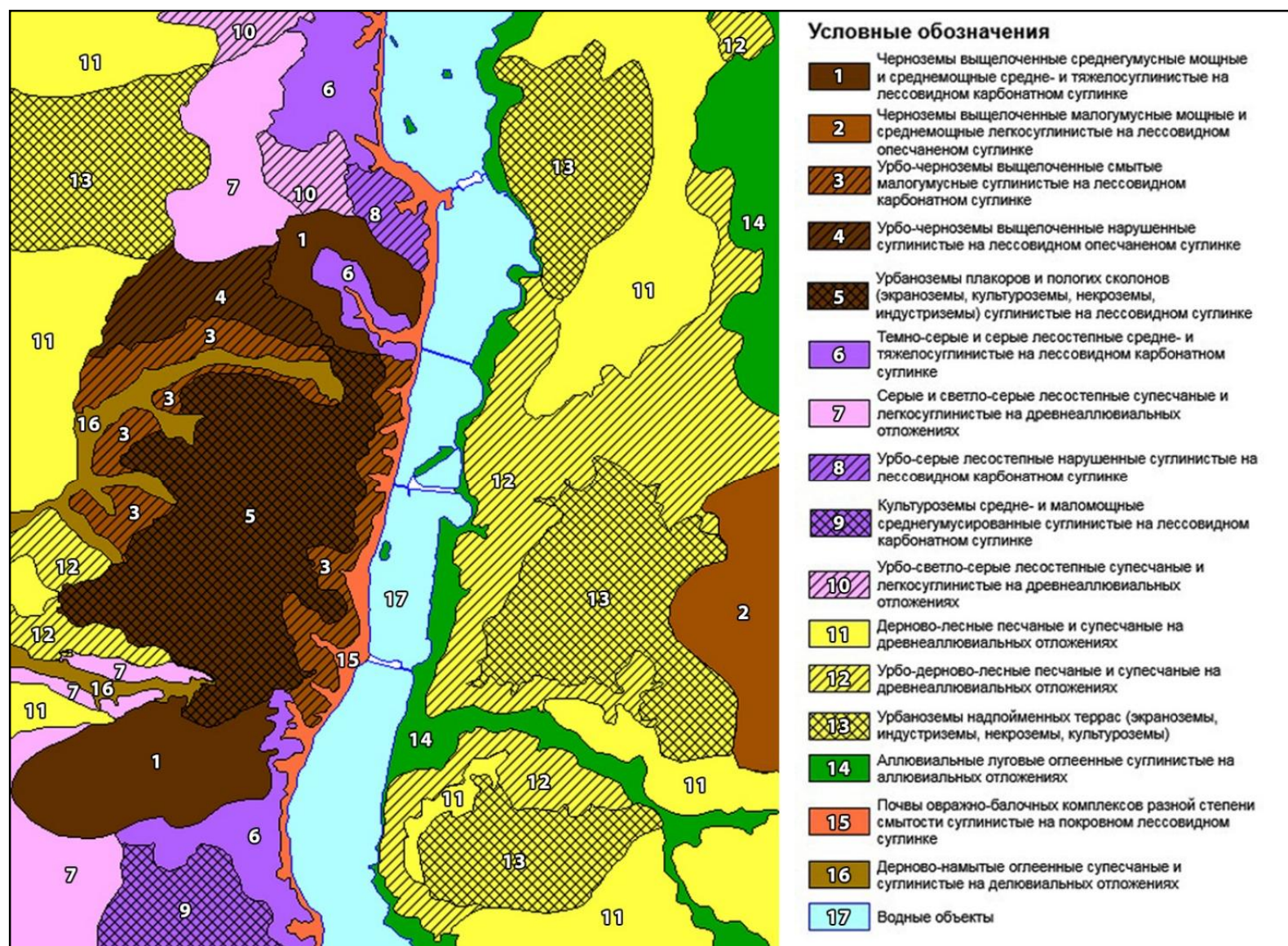


Рис. 3.9. Почвенная картосхема города Воронежа (составлена Л.О. Середа, Л.А. Яблонских) [140]

Естественно-антропогенные поверхностно-преобразованные городские почвы подвержены поверхностному изменению почвенного профиля менее 50 см мощности. Они состоят также из горизонта «урбик» мощностью 50 см. Почвы сохраняют типовое название с указанием характера нарушенности. Стоит отметить, что в настоящее время отсутствуют строгие номенклатурные названия подобных почв, т.к. они не разработаны и в общей национальной классификации почв России.

Антропогенные глубокопреобразованные почвы составляют группу городских почв урбаноземов, в которых горизонт «урбик» имеет мощность более 50 см. Их формирование происходит за счет процессов урбанизации на культурном слое или на насыпных, намывных и перемешанных грунтах мощностью более 50 см.

Культуроземы данной классификации – это почвы городских фруктовых и ботанических садов, огородов. Для них характерны большая мощность гумусового горизонта, наличие перегнойно-торфо-компостных слоев мощностью более 50 см.

При составлении картосхемы учитывались следующие факторы: ландшафтная организация города, показатели состояния почвенного покрова (гранулометрический состав, содержание органического углерода, кислотность, содержание тяжелых металлов и др.), уровень техногенной нагрузки, характер застройки, промышленно-транспортная и социальная инфраструктура [124, 140, 141].

Правобережная, более возвышенная часть города Воронежа, находится на холмистом плато, в то время как левобережная часть, наоборот, расположена в более пониженной равнинной местности, переходящей в речную террасу. Такой контрастный рельеф предполагает формирование разнообразных типов почв, которые испытывают и разный уровень техногенной нагрузки. Гранулометрический состав почв также неоднороден: от тяжелых суглинистых почв (в основном в правобережной части города) до песчаных и супесчаных (особенно на левом берегу).

Нами было проведено условное разделение почвенного покрова города на естественные ненарушенные, естественно-антропогенные поверхностно-преобразованные (естественные нарушенные) и антропогенные глубокопреобразованные урбанозёмы.

Почвы городских садов и парков составляют культуроземы, почвы городских кладбищ – некроземы, экраноземы располагаются под городскими дорогами, тротуарами («запечатанные почвы»), а индустриземы – под промышленно-коммунальными объектами.

Кроме того, для городских почв свойственно формирование темноокрашенного горизонта, называемого урбик, который состоит из примесей антропогенных включений (пыль, строительного-бытового мусора, промышленные отходы) (рисунок 3.10.). Формирование этого горизонта происходит на почвах различного генезиса [134, 135].

В почвенном покрове города Воронежа преобладают урбаноземы. Для правобережной части города с высоким уровнем техногенной нагрузки характерны урбаноземы плакоров и пологих склонов суглинистые. Среди них распространены следующие виды: а) индустроземы – почвы промышленно – коммунальных зон (территории заводов ОАО «Электросигнал», ОАО «Завод по выпуску тяжелых механических прессов» и др.); б) культуроземы – почвы лесопарковых зон города (Кольцовский сквер, парк «Орлёнок» и др.); в) экраноземы – запечатанные дорожными покрытиями (интенсивные по грузопотокам улицы города: Московский проспект, ул. Плехановская, проспект Труда, Кольцовская и др.); г) интруземы (территории заправочных станций и автомобильных стоянок); д) реплантоземы – почвы селитебных территорий (рисунок 3.11.).

Крупные ареалы культуроземов средне- и маломощных среднегумусированных занимают территорию фруктовых садов на юго-западе города [140, 141].

На территории города также остаются почвы, слабозатронутые антропогенной деятельностью. Они занимают небольшую часть городской площади и располагаются преимущественно под городскими лесами и лесопарковыми зонами в черте города (участки Шиловского леса, Правобережное лесничество УОЛ ВГЛТА, Центральный парк культуры и отдыха «Динамо», Ботанический сад ВГУ и др.).

Почвы овражно-балочных комплексов разной степени смытости и намытости суглинистого гранулометрического состава залегают в основном на территории прибрежной склоновой зоны водохранилища правого берега. Напротив, аллювиальные луговые оглеенные суглинистые почвы на аллювиальных отложениях распространены в прибрежной зоне левого берега (поймы рек Воронеж, Песчанка, Усманка и Тавровка).

Для территории левого берега преимущественно характерны дерново-лесные песчаные и супесчаные почвы надпойменных террас, которые залегают вместе с их антропогенно-преобразованными аналогами в промышленной зоне левобережья (ОАО «ВАСО», ОАО «Воронежсинтезкаучук», ТЭЦ-1, ОАО ХК «Мебель Черноземья» и др.).



Рис.3.10. Горизонт урбик в почвенном покрове города
(2016 год, фото Л.Середа)



а) экраноземы



б) культуроземы

Рис.3.11. Почвенный покров города (2016 год, фото Л.Середа)

Естественно-нечтруктурные дерново-лесные песчаные и супесчаные почвы залегают в северной части левого берега (Левобережное лесничество УОЛ ВГЛТА). Однако, для этого района характерна в настоящее время интенсивная застройка. Например, для микрорайона

Сомово характерны уже преобразованные естественно-нарушенные урбо-дерново-лесные песчаные и супесчаные почвы. Только на окраине города, в юго-восточной ее части, распространены земли сельскохозяйственного назначения с характерными для них черноземами.

Кроме того, нами было определено содержание гумуса и актуальной кислотности в почвенных образцах в разных функциональных зонах города.

Исследования содержания гумуса в образцах почв, отобранных за период исследования, показали, что значительная часть городских почв относится к малогумусным (рисунок 3.12).

Почвы с более высоким количеством гумуса залегают в зонах рекреации (парки «Орлёнок» (4,3-4,5%), Авиастроителей (4,0%), ул. Дарвина,1 (6,77 %)) и в зоне жилой застройки (жилые районы по ул. Ломоносова, частный сектор в Советском и Левобережном районах (4,5-6,0%)). Кроме того, высокое содержание гумуса обнаружено и в почвах промышленной зоны – урбаноэмах (ул. Урицкого, 47 (7,31%); ул. Дорожная, 15 (9,5%); ул. Волгоградская, 48 (6,1%) и др.). Для городских индустриземов характерны средние и высокие значения содержания гумуса (6-10 %). Кроме того, нами были исследованы перспективные районы города под застройку, определённые Генпланом (2008г.). Содержание гумуса в таких районах колебалось от 0,82 % до 8,47 %. Для городских индустриземов характерны средние и высокие значения содержания гумуса (6-10 %). Значения фоновых точек остались на прежнем уровне [140, 141, 165].

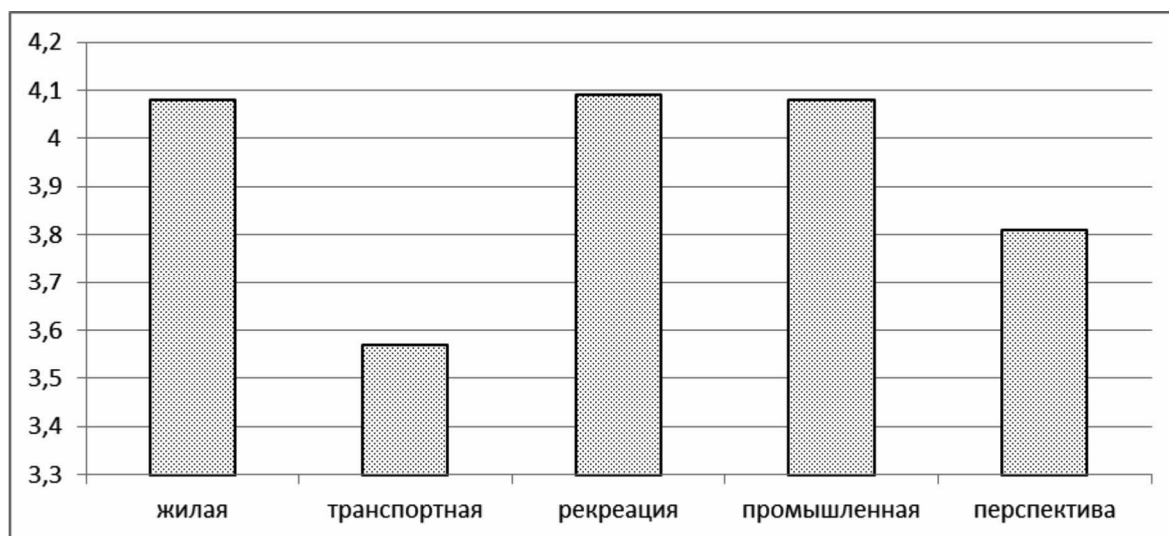


Рис.3.12. Среднее содержание гумуса (%) по функциональным зонам г. Воронежа

Стоит отметить, что для городских почв точнее говорить о накоплении в них органического углерода, поскольку понятие «гумус» в условиях высокого уровня урбанизации имеет достаточно условный характер [130, 164].

Результаты исследования актуальной кислотности (pH_{H_2O}) показали изменение реакции среды от слабокислой до слабощелочной. Для почв, залегающих в рекреационной и жилой зонах, характерны более низкие показатели актуальной кислотности, чем для почв в промышленной и транспортной зонах (рисунок 3.13.).

Таким образом, урбанозёмы и сильнонарушенные естественные почвы (ул. Ильюшина, 12б (8,4), ул. Холмистая, 41 (8,8) и др.) более щелочные по сравнению с культурозёмами лесопарковых зон со слабокислой или кислой реакцией среды (парк «Орлёнок» (6,84), парк «Дельфин» (6,00) и др.).

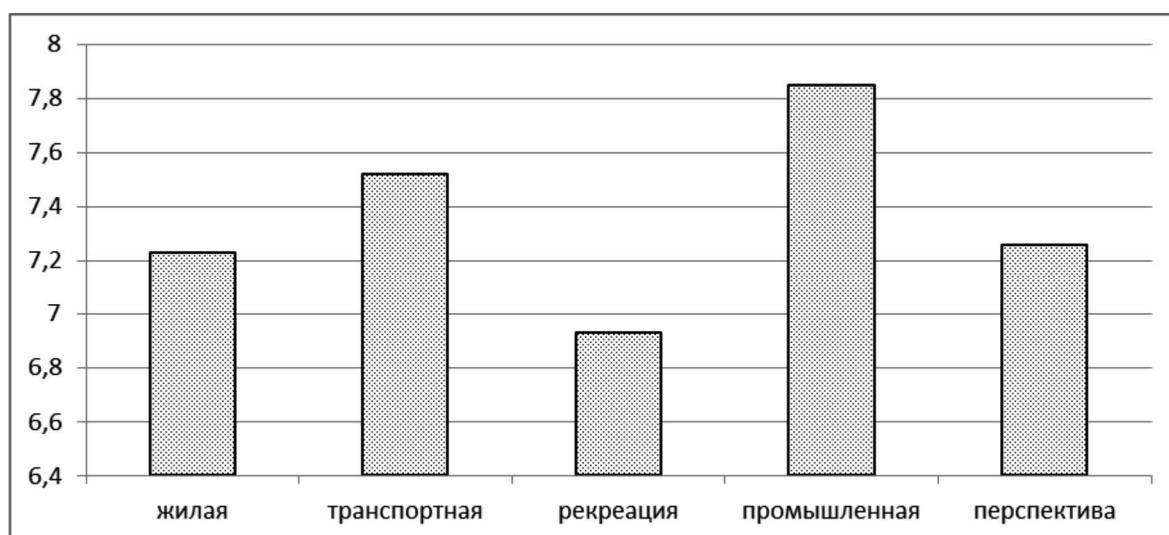


Рис. 3.13. Среднее значение pH_{H_2O} по функциональным зонам г. Воронежа

Высокий уровень щелочности почвенного покрова во многом обусловлен большим количеством поступающей пыли с автомагистралей, которая содержит карбонаты Ca и Mg, а также из-за использования извести в строительном растворе, который легко выветривается с территорийстроек и оседает в почву.

На существенное подщелачивание почв влияет также поступление хлоридных солей на тротуары и дороги города в зимний период с целью их внесения для борьбы с гололедицей. Поэтому большинство почвенных образцов в транспортной зоне города имели щелочную реакцию среды (ул. Димитрова-ул. Волгоградская (8,5), ул. 9 Января – ул. Антонова-Овсеенко (8,6), Московский проспект - ул. Хользунова (7,9), Ленинский проспект, 149 (8,5)).

Данные исследований почвенных образцов на содержание гумуса и актуальной кислотности отражены в таблице 3.12. Нами отмечено, что в промышленной и транспортной зонах города залегают более щелочные почвы, чем в зоне рекреации и жилой зоне.

В зоне рекреации были отмечены низкие показатели актуальной кислотности, большинство почвенных образцов отнесены к кислым почвам (Центральный парк культуры и отдыха (6,88), больница Электроника (5,4), ул. Дарвина, 1 (6,2)). Для почв, залегающих в промышленной зоне, характерны более высокие показатели актуальной кислотности (ул. Лебедева (8,8), ул. Пирогова, 79 (8,0), ул. Лидии Рябцевой, 51б (8,2)). Значительная часть почв в транспортной зоне имела щелочную реакцию среды (ул. 20-летия Октября, 94 (8,0), Московский проспект, 36 (7,7)). В районах перспективной застройки значения актуальной кислотности колебались от 5,4 до 8,8. При этом кислые почвы получили распространение в микрорайоне Шилов с большой площадью лесистости. Эта тенденция подтверждает тот факт, что для культуроземов городских почв свойственна кислая реакция среды.

Таблица 3.12

Содержание гумуса и значение актуальной кислотности в почвенных образцах (2014-2018 гг.)

№	Гумус, %	pH _{H2O}	№	Гумус, %	pH _{H2O}	№	Гумус, %	pH _{H2O}
1	1,97	7,85	33	4,32	6,8	67	9,46	8,1
2	2,615	8,45	34	3,24	6,5	68	4,39	7,7
3	2,27	7,9	35	3,135	7,85	69	2,205	6,8
4	3,84	6,9	36	2,185	7,5	70	5,9	7,5
5	1,475	7,7	37	4,07	7,65	71	7	6,9
6	5,11	8,4	39	5,195	7,8	72	2,73	7,4
7	5,22	8,5	40	3,75	7,2	73	4,3	7,2
8	3,34	8	41	5,67	7,2	74	4,39	6,8
9	3,19	6	42	5,05	7,75	75	4,8	7,2
10	1,25	8,5	43	3,71	7,5	76	8,47	7,1
11	1,78	6,1	44	6,52	8,2	77	7,27	7,1
12	3,57	7,6	45	4,68	7,8	78	0,58	6,8
13	2,81	7,4	46	7,42	7,7	79	2,1	7,3
14	0,96	7,1	47	1,02	7,8	80	1,42	8,1
15	3,57	7,9	48	5,17	7,7	81	6,48	7,7
16	2,5	6,7	49	5,39	7,6	82	5,23	6,2
17	3,995	7,2	50	6,11	8,8	83	0,82	5,4
18	9,62	6,3	52	2,19	7,2	84	0,87	8
19	6,465	6,85	53	2,07	6,9	85	4,85	8,8
20	6,09	7,1	54	3,04	6,3	86	5,87	6,7

№	Гумус, %	pH _{H2O}	№	Гумус, %	pH _{H2O}	№	Гумус, %	pH _{H2O}
21	3,26	7,2	55	0,34	7,9	87	3,54	7,8
22	2,44	7,6	56	5	7,1	88	6,24	5
23	0,34	6,8	57	1,49	7,2	89	2,33	6,4
24	2,01	7,9	58	3,54	7,1	90	1,07	7,3
25	6,43	6,6	59	4,365	7,2	91	4,49	7,9
26	5,22	7,8	60	1,98	7,2	92	4,87	7,4
27	4,23	7,75	61	10,28	7,2	93	4,59	7,4
28	2,88	7,9	62	3,89	6,9	94	4,78	6,8
29	1,14	7,1	63	7,31	7,8	95	4,46	7,13
30	1,5	8,6	64	5,43	7,2	96	3,92	7,29
31	1,83	8,8	65	5,51	7,8	102	3,24	6,88
32	5,8	7,4	66	1,81	6,9	103	5,22	6,95

3.4.3. Анализ геохимической структуры фоновых участков

Для объективной эколого-геохимической оценки почвенного покрова целесообразно рассмотреть детально распределение ЗВ в почвенном профиле. Нами комплексно исследованы 2 почвенных разреза № 8 и № 9 на территории Ботанического сада ВГУ.

Значительные изменения множества факторов почвообразования в городе приводят к формированию особого вида городских почв, как нами было отмечено ранее. В настоящее время широко распространены почвы с погребенным гумусовым горизонтом и с реакцией среды ближе к нейтральной или щелочной.

На рисунке 3.14. показано изменение реакции среды и среднего содержания гумуса в почвенном профиле на фоновом участке города в Ботаническом саду.

Реакция среды является одним из важных факторов, который влияет на поведение химических элементов в почвенном покрове. Возрастание значения актуальной кислотности происходит с глубиной. Данная особенность свойственна черноземам выщелоченным. Так, нами отмечена реакция среды, близкая к щелочной, на глубине 150 см и более.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что с глубиной происходит снижение содержания органического углерода. Наиболее богатый гумусом являются горизонты до 40 см в почвенном профиле (в основном горизонт А), поэтому можно сказать, что в верхней части профиля сформирован органогенный (гумусовый) барьер. Для органических веществ характерна высокая катионообменная способность, поэтому присутствие органических соединений определяет поведение тя-

желых металлов в почвенном горизонте. Так, от содержания гумуса зависит способность тяжелых металлов связываться в почве, а также быть доступными для растений.

При наличии благоприятных условий – повышенного содержания гумуса и низкой кислотности – большинство тяжелых металлов, за исключением Cd, хорошо закрепляются в почве и переходят в неподвижное состояние [166].

Распределение подвижных форм микроэлементов в основном повторяет распределение валового содержания. Но дифференциация подвижных форм более контрастна. Это определяет особую роль подвижных форм тяжелых металлов как индикаторов загрязнения городской среды. На рисунке 3.15. показано распределение подвижных форм Zn и Pb в почвенном профиле.

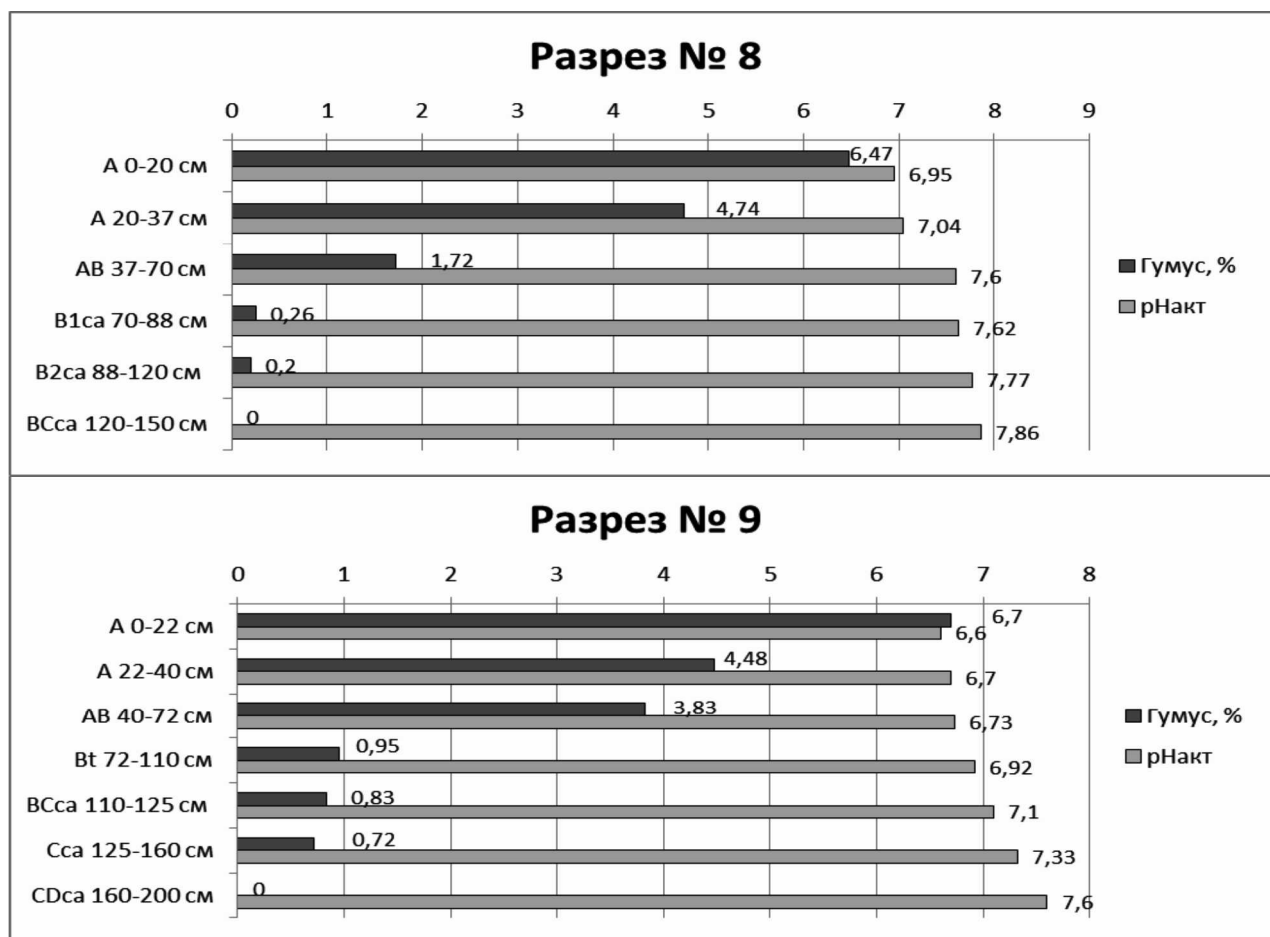


Рис. 3.14. Распределение гумуса и $pH_{вод}$ в профиле фоновых почв.

Для разрезов 8 и 9 нами отмечены следующие особенности: накопление тяжелых металлов происходит с глубиной. Так, в верхних слоях отмечаются низкие значения содержания Zn и Pb. В разрезе № 8 в горизонте AB на глубине 37-70 см происходит резкое увеличение содержания свинца в почве, причем в разрезе № 9 эта особенность сохраняется

уже на глубине более 1 метра. Можно отметить на этой глубине геохимические барьеры (ГХБ) в разрезах, которые накапливают Pb.

В профиле городских почв идет формирование различных техногенных геохимических барьеров, на которых идет накопление токсичных элементов, кроме того отмечаются и природные геохимические барьеры.

В распределении свинца наблюдается резкое снижение: в разрезе № 9 в горизонте АВ на глубине 40-72 см, а в разрезе № 8 – в горизонте В2са на глубине 88-120 см. Стоит отметить, что ионы Pb малоподвижны даже при низких значениях pH. Поэтому чаще всего отмечается повышенное загрязнение свинцом именно поверхностных горизонтов почв. Но в нашем случае произошло увеличение содержания Pb с глубиной. Скорее всего, это может быть связано с резким уменьшением содержания гумуса в этом горизонте и возрастанием уровня кислотности.

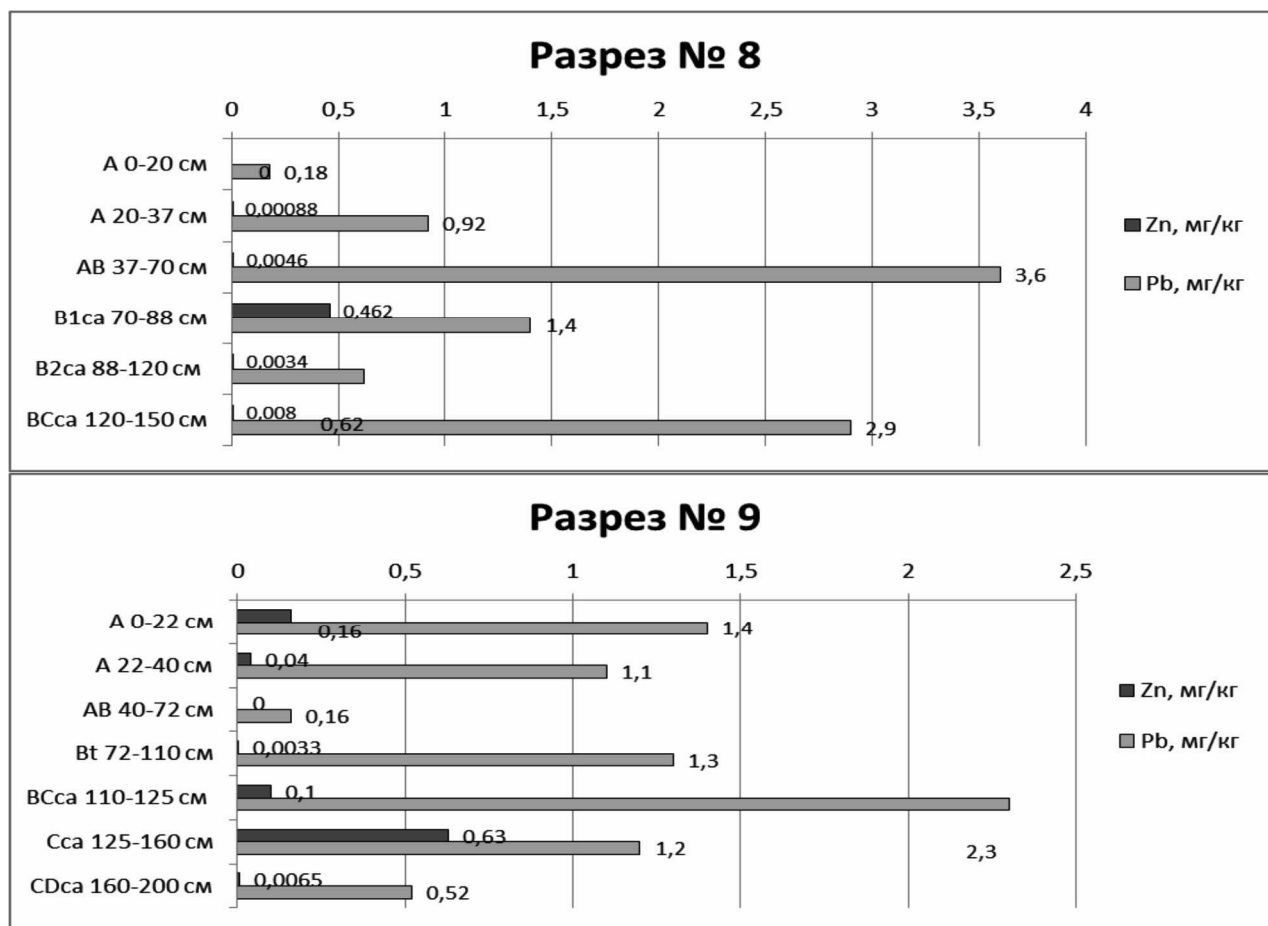


Рис. 3.15. Распределение подвижных форм Zn и Pb в профиле почв на фоновом участке города

Цинк является сравнительно подвижным элементом в почве. Нами не отмечено высоких концентраций цинка в верхних горизонтах поч-

венных разрезов. Увеличение концентраций цинка происходит с глубиной. Так, в разрезе №8 определенные условия способствовали минимальному накоплению цинка до глубины 70 см, но в горизонте B1ca на глубине 70-88 см разреза №8 происходит резкое увеличение содержания Zn в почве – нами отмечен ГХБ, накапливающий Zn. Затем появляется препятствие, которое мешает дальнейшему перемещению Zn в почве - переходный карбонатный горизонт B2ca на глубине 88-120 см. Точная ситуация повторяется и в разрезе №9 в горизонте Cca на глубине 125-160 см отмечается резкое увеличение содержания Zn, но ГХБ уже смещается с глубиной. Появляется в горизонте CDca на глубине 160-200 см.

Также нами отмечено, что в данных почвенных разрезах не зафиксировано превышение ПДК по Zn и Pb. Также в результате анализа нами не было обнаружено содержание Cd и Cu во всех почвенных горизонтах исследуемых разрезов.

Интересно рассмотреть распределение другого тяжелого металла – Mn в почвенном покрове (рисунок 3.16.).

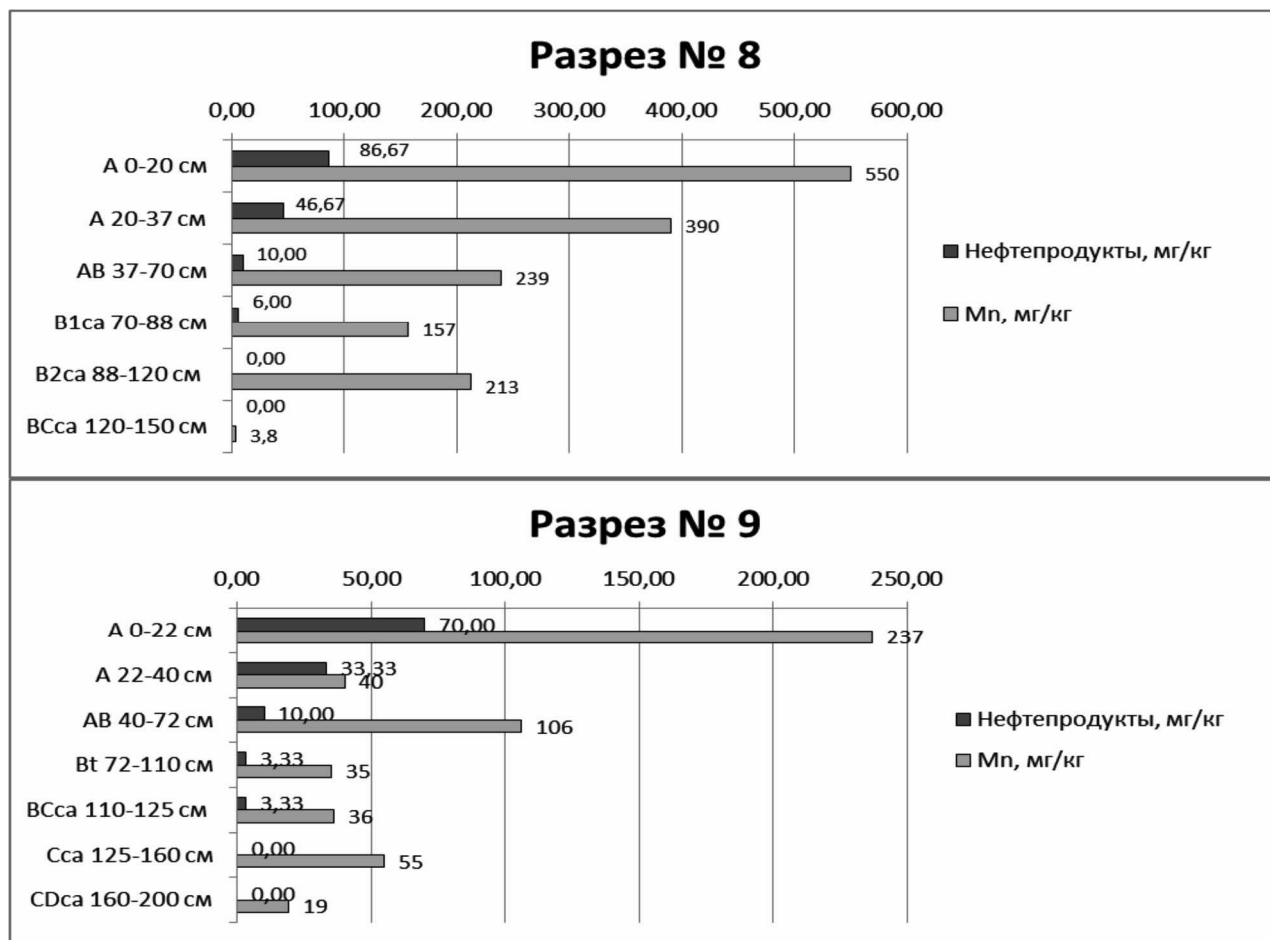


Рис. 3.16. Распределение нефтепродуктов и подвижной формы Mn в профиле почв на фоновом участке города

Максимальное содержание Mn нами отмечено в верхних слоях почвенного покрова. Снижение концентрации Mn наблюдается с глубиной, но отмечаются некоторые скачки по уровню содержания. Так, в разрезе №8 на глубине 88-120 см отмечается небольшое увеличение концентрации по сравнению с глубиной 70-88 см. В разрезе № 9 отмечалось 2 скачка увеличения содержания Mn – на глубине 40-72 см и на глубине 125-160 см.

Распределение нефтепродуктов в почвенном покрове проходило равномерно, постепенно уменьшаясь и приближаясь к нулевым концентрациям. Это является характерной особенностью накопления нефтепродуктов в почве, т.к. наибольшие концентрации по их содержанию отмечаются в верхних горизонтах почв. Но повышенное содержание нефтепродуктов в почвенном покрове приводит к изменению окислительно-восстановительных условий, увеличению подвижности гумусовых компонентов и ряда микроэлементов (таблица 3.13).

Схожее распространение с Pb по почвенным горизонтам в разрезе № 8 (рисунок 3.17) имеют элементы ванадий (V), стронций (Sr), никель (Ni), хром (Cr). Максимальные концентрации нами отмечены на глубине 70-88 см.

Таблица 3.13

Валовой химический состав в почвенном профиле фоновых почв

Горизонт	Соединение (%)											
	Cl	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
Почвенный разрез № 8												
A 4-20 см	0,02149	0,633	1,238	11,912	75,483	0,193	0,129	2,661	1,585	0,896	0,091	4,948
A ₁ 20-37 см	0,02101	0,701	1,38	12,256	74,952	0,142	0,091	2,707	1,834	0,88	0,08	4,766
AB 37-70 см	0,0207	0,628	1,741	11,316	61,507	0,145	0,135	2,315	14,232	0,843	0,099	6,188
B _{1ca} 70-88 см	0,02262	0,47	1,681	10,321	52,803	0,14	0,124	2,068	26,167	0,827	0,116	5,059
B _{2ca} 88-120 см	0,01832	0,468	1,57	10,614	55,101	0,105	0,116	2,279	22,839	0,853	0,168	5,645
BC _{ca} 120-150 см	0,02451	0,561	1,61	12,036	60,531	0,115	0,097	2,366	15,331	0,884	0,117	6,121
Почвенный разрез № 9												
A 0-22 см	0,01494	0,632	1,249	12,034	74,856	0,194	0,117	2,61	2,209	0,897	0,09	4,878
A ₁ 22-40 см	0,02592	0,686	1,242	11,901	75,395	0,189	0,113	2,641	1,532	0,909	0,091	5,039
AB 40-72 см	0,02112	0,673	1,376	12,283	74,612	0,128	0,049	2,795	1,523	0,934	0,073	5,308
B ₁ 72-110 см	0,02084	0,672	1,577	13,398	72,881	0,117	0,053	2,851	1,671	0,945	0,085	5,491
BC _{ca} 110-125 см	0,02593	0,527	1,509	11,259	62,806	0,166	0,118	2,613	14,173	0,962	0,086	5,527
C _{ca} 125-160 см	0,02116	0,532	1,516	11,487	64,497	0,161	0,126	2,516	13,014	0,888	0,079	4,952
CD _{ca} 160-200 см		0,55	1,359	10,43	72,269	0,12	0,091	2,234	8,047	0,799	0,061	3,848

Распределение циркония (Zr) и мышьяка (As) в почвенном профиле также имеет определенные сходства: концентрация возрастает к глубине 20-37 см, затем постепенно снижается и снова возрастает к глубине 120-150 см.

Такая же тенденция сохранилась и в распределении по почвенным горизонтам в разрезе № 9 (рисунок 3.18).

Повышенная концентрация не только Pb отмечена на глубине 110-125 см, но и таких элементов, как V, Sr, Ni, Cr. Стоит отметить, резкое увеличение концентрации Cr именно на этой глубине.

Распределение мышьяка происходит подобным образом в разрезе № 8, постепенно увеличиваясь в концентрации к глубине 40-72 см, затем наблюдается снижение концентрации, а к глубине 160-200 см – возрастание.

Содержание оксида кальция (CaO), напротив, снижено в верхних горизонтах почвы и возрастает к глубине 70-80 см, что согласуется с характеристикой почвенных разрезов, представленной в разделе 3.4.1.

Распространение элементов - галлий (Ga), рубидий (Rb), ниобий (Nb), барий (Ba), лантан (La), бром (Br) - представлено в таблице 3.14.

Таблица 3.14

Распределение валового содержания Ga, Rb, Nb, Ba, La, Br в почвенном профиле

Горизонт	Соединение (%)					
	Ga	Rb	Nb	Ba	La	Br
Почвенный разрез № 8						
A 0-20 см	0,00131	0,00948	0,00186	0,0698	0,00297	-
A ₁ 20-37 см	0,00146	0,00924	0,002	0,08616	0,00377	0,00359
AB 37-70 см	0,00124	0,00787	0,00174	0,06989	0,00445	0,00219
B _{1ca} 70-88 см	0,00109	0,00718	0,00157	0,06043	0,00455	0,00207
B _{2ca} 88-120 см	0,00105	0,00764	0,00158	0,05396	0,00382	-
BC _{ca} 120-150 см	0,00124	0,00773	0,0017	0,05838	0,00462	-
Почвенный разрез № 9						
A 0-22 см	0,00146	0,00986	0,00199	0,08743	0,004	-
A ₁ 22-40 см	0,00156	0,01011	0,00199	0,08452	0,00402	-
AB 40-72 см	0,00146	0,00982	0,00195	0,0865	0,00284	-
B _t 72-110 см	0,00164	0,00934	0,002	0,07902	0,00413	0,00367
BC _{ca} 110-125 см	0,00132	0,00877	0,0017	0,04565	0,00403	0,007
C _{ca} 125-160 см	0,0012	0,00863	0,00174	0,06411	0,0034	0,00678
CD _{ca} 160-200 см	0,00103	0,00742	0,00167	0,03709	0,00311	0,00341

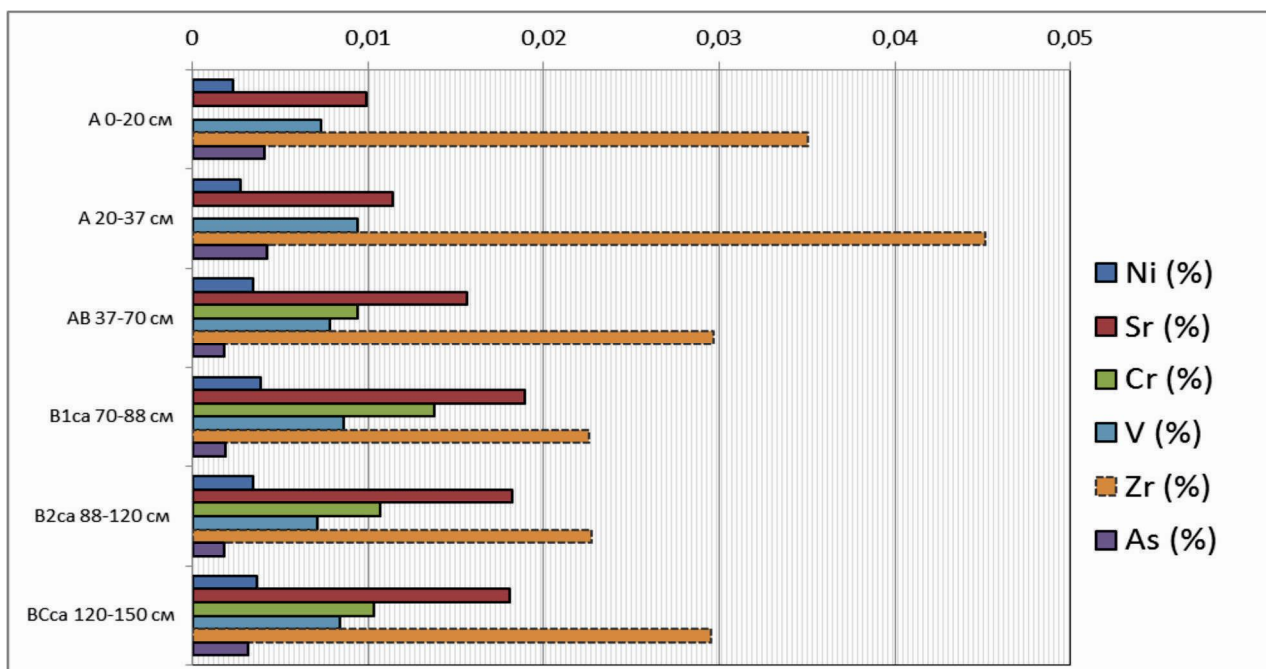


Рис. 3.17. Распределение Ni, Sr, Cr, V, Zr и As в профиле почв в разрезе №8

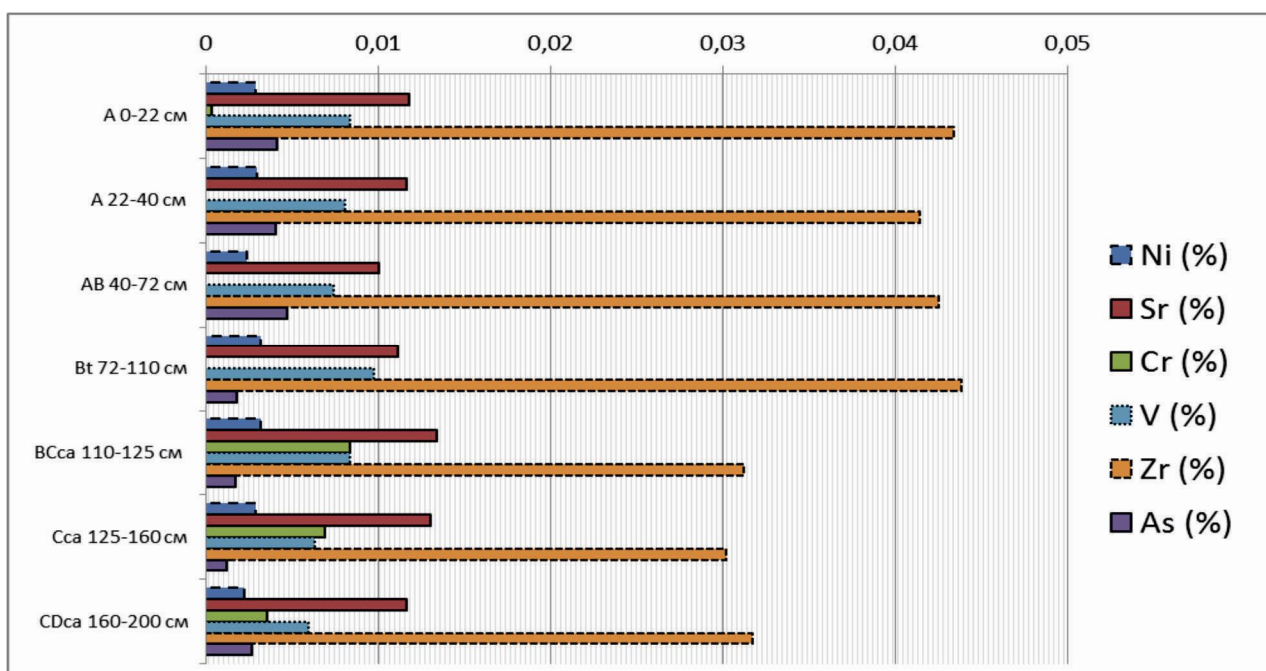


Рис. 3.18. Распределение Ni, Sr, Cr, V, Zr и As в профиле почв в разрезе №9

Распространение Ba и Rb в разрезе №8 схоже с распространением Zr в почвенном профиле: повышенные концентрации отмечены на глубине 20-37 см в горизонте A, затем отмечается постепенное снижение и к глубине 120-150 см – увеличение концентрации. Максимальная концентрация La наблюдается на глубине 120-150 см.

Повышенные концентрации Br, La, Nb, Ga отмечаются на глубине 72-110 см в разрезе №9. Также отмечено особое распространение элемента Br: повышение концентрации отмечалось только к глубине 72-

110 см, достигая максимальной концентрации на глубине 110-125 см. Распространение таких соединений вдоль по почвенному профилю свидетельствует о хорошей подвижности элементов.

Таким образом, можно отметить следующее:

- распространение подвижных форм микроэлементов в основном повторяет распространение внутри профиля валового содержания, многие из исследуемых токсичных элементов имеют схожее распространение внутри профиля: свинец, ванадий, стронций, никель и хром;

- в городской почве города Воронежа сформировался целый комплекс ГХБ, накапливающих тяжелые металлы на разной глубине: наибольшая концентрация Pb отмечена на глубине около 70 см, Zn – 70-110 см, Mn – 4-20 см (в зависимости от почвенного профиля); в основном распространены щелочные ГХБ;

- ГХБ в городском почвенном покрове выполняют важные экологические функции: способствуют регуляции вещественного состава техногенных миграционных потоков, накоплению ЗВ в отдельных горизонтах почвенного профиля или на локальных участках, препятствуя их дальнейшему распространению, а также переводя в малоподвижные и инертные формы и удерживая от проникновения в другие природные среды;

- распространение некоторых элементов проявляется специальным образом: Zn, Sr, Cr, Ni, Br не образует устойчивых связей с органическими комплексами в верхнем горизонте;

- распределение элементов на более глубокие горизонты свидетельствует о повышенном техногенном пресинге на почвенный покров, т.к. происходит изменение свойств почв.

3.4.4. Тяжелые металлы и нефтепродукты в почвенном покрове

Проанализировав загрязнение почвенного покрова г. Воронежа нефтепродуктами, можно отметить, что наибольшие концентрации наблюдаются вблизи наиболее интенсивных по грузопотокам перекрестках города и зонах промышленного влияния. Эта тенденция отмечается на протяжении всего периода мониторинга (рис. 3.19). Так, высокие концентрации нефтепродуктов в почве были обнаружены в районе ул. Димитрова (1916,7 мг/кг) - ул. Волгоградская (1673,3 мг/кг), Московский проспект - ул. Хользунова (1240,0 мг/кг) и др. Ранее проведенные исследования подтверждают, что в почве транспортных зон г. Воронежа обнаружено превышение ОДК (300 мг/кг) по нефтепродуктам в 3 раза, особенно в левобережной части города [108-110, 141, 165].

Наиболее низкие концентрации (менее 200 мг/кг) нефтепродуктов отмечены в зонах рекреации города: парке «Алые паруса» (166,7 мг/кг), парке «Дельфин» (170,0 мг/кг), ул. Дарвина (120,0 мг/кг) и др. Относительно чистые зоны, концентрация нефтепродуктов в которых составляет менее 400 мг/кг, располагаются в Коминтерновском районе (ул. Генерала Лизюкова, 73а (136,7 мг/кг), ул. Шишкова, 53 (200,0 мг/кг) и др.), некоторых участках Центрального (ул. Ломоносова, 1 (13,3 мг/кг) и др.) и Левобережного районов (ул. Черепанова, 18 (206,7 мг/кг), ул. Героев Стратосферы, 8 (223,3 мг/кг) и др.), где отсутствует интенсивное движение автотранспорта [132,134].

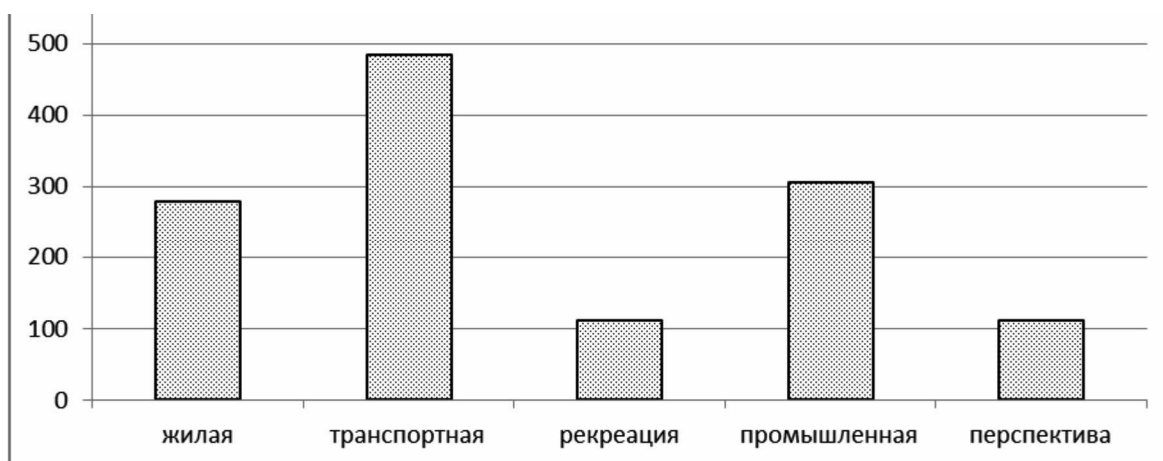


Рис. 3.19. Среднее содержание нефтепродуктов по функциональным зонам г. Воронежа

Наиболее высокие концентрации нефтепродуктов также отмечаются в транспортных зонах города: ул. 20-летия Октября, 94 (560,0 мг/кг), ул. Матросова, 6 (329,33 мг/кг).

В районах, перспективных под застройку, содержание нефтепродуктов составило от 13,33 мг/кг до 360,0 мг/кг. Высокий уровень загрязнения в транспортной зоне (до 2194 мг/кг) обусловлен малоэффективной дорожно-транспортной сетью города (отсутствием дублирующих автомобильных дорог, транспортных развязок), прогрессирующим нарастанием количества автотранспортных средств, и, как следствие, – увеличением количества заторов и «пробок» на дороге. Средний уровень содержания нефтепродуктов по городу составляет 300 мг/кг.

Результаты картографирования по уровню загрязнения нефтепродуктами почвенного покрова города показаны на рисунке 3.20.

Нами подтверждено, что загрязнение почвы нефтепродуктами в целом прямо пропорционально транспортной загруженности автодорог, интенсивности и средней скорости движения автомобилей. Так, очаги наиболее активного загрязнения сформировались на примагистральных

участках пересечений улиц Димитрова – Волгоградская, в районе ВАИ, Центрального автовокзала на Московском проспекте [86].

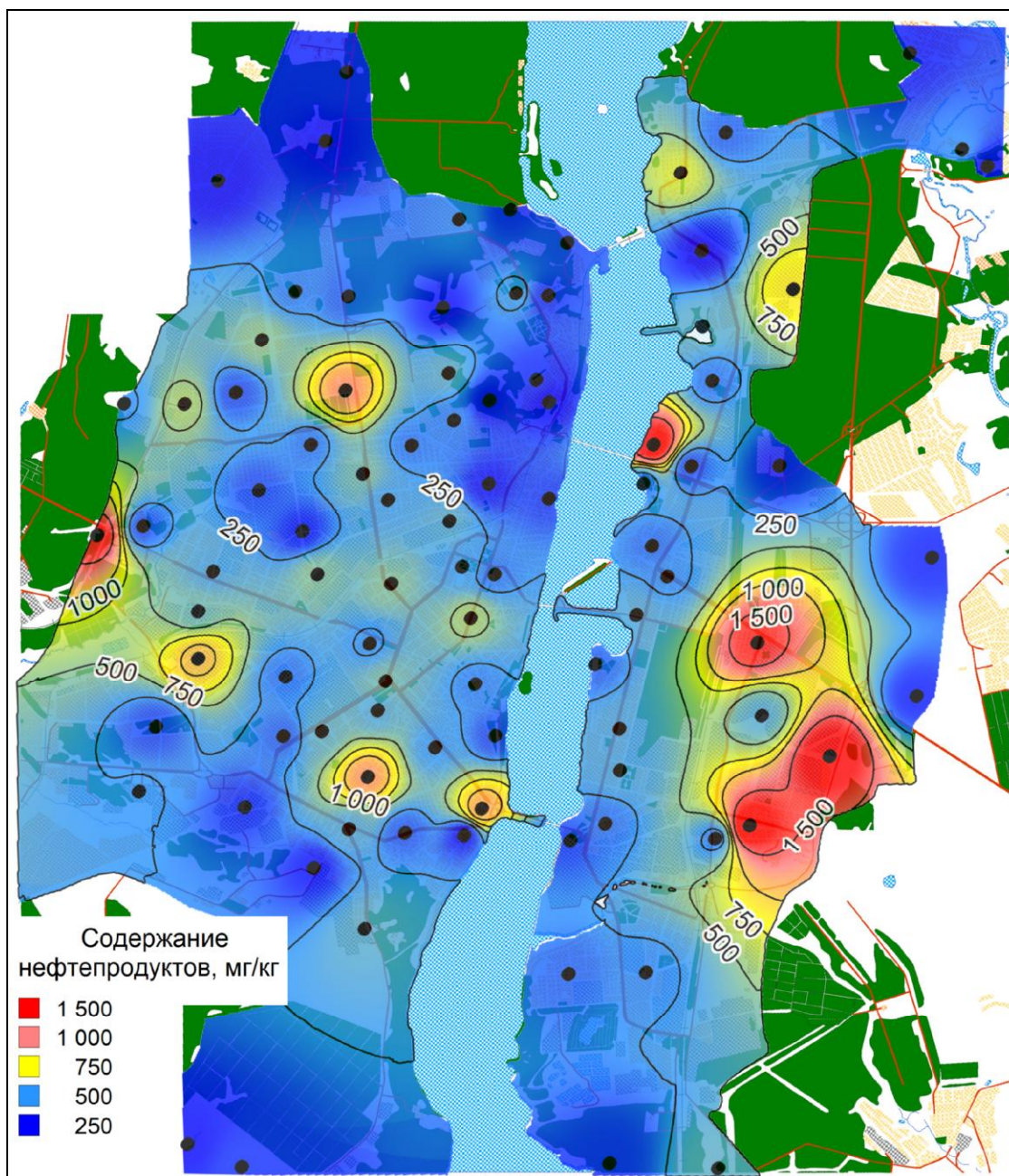


Рис. 3.20. Содержание нефтепродуктов в почвах города

Для выяснения индикационной роли тяжелых металлов в загрязнении городской среды проведен мониторинг валовых концентраций и подвижных форм свинца, кадмия, меди, цинка, марганца в поверхностном слое городских почв.

Опасность высокого загрязнения транспортных зон города Воронежа свинцом и кадмием (по подвижным формам) ранее уже отмечена Н.Н. Назаренко с соавт. [108-110]. Результаты наших аналитических исследований представлены на рисунке 3.21.

Основным приоритетным загрязнителем почв г. Воронежа является свинец. Повышенное загрязнение свинцом воздушного бассейна и почв обычно связано с автотранспортной нагрузкой, постепенно нарастающей в современных городах. Причем ионы свинца малоподвижны даже при низких значениях pH, что усиливает загрязнение свинцом поверхностных горизонтов почвы обычно до глубины 10-15 см [166].

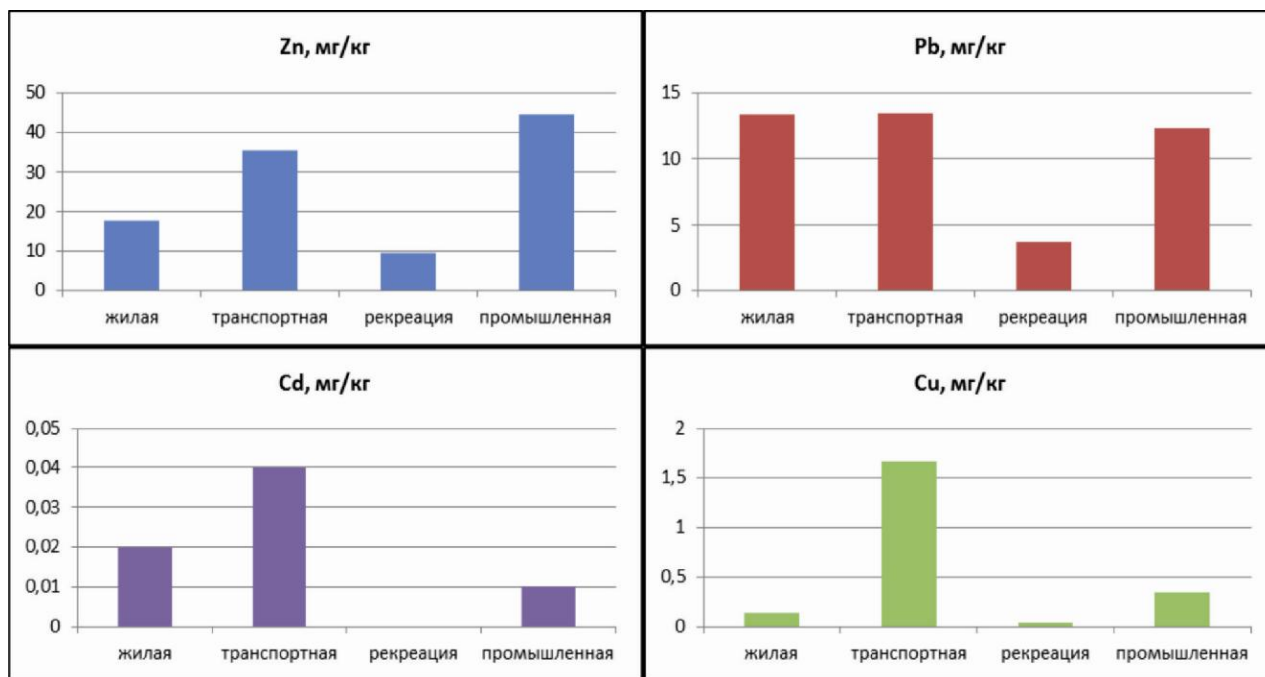


Рис.3.21. Загрязнение подвижными формами ТМ различных функциональных зон города

Нами отмечены повышенные концентрации свинца (до 2-4 ПДК) на транспортных перекрестках и вдоль крупных автодорог города – перекрёсток Московского пр-та и ул. Хользунова, ул.Грамши, ул. 9-е Января – ул. Антонова-Овсеенко, ул. Плехановской, ул. Кольцовской и др. В жилой зоне и зоне рекреации высоких концентраций свинца не было отмечено. На рисунке 3.22 показаны результаты геоинформационного картографирования по содержанию свинца.

Можно отметить геохимические аномалии по результатам исследований в юго-восточной части города на левом берегу в районе крупного промышленного сектора, а также интенсивных магистралей с большим скоплением машин в часы пик. Также отмечено превышение над фоновым уровнем в районе перспективной застройки (п.Отрадное).

Другим опасным загрязняющим веществом в городе является кадмий. Накопление данного металла в гумусе протекает менее интенсивно, чем накопление свинца. В ходе нашей работы высоких концентраций кадмия обнаружено не было. В промышленных и транспортных зо-

нах содержание кадмия было в 3-4 раза выше, чем в зонах рекреации и селитебной, но превышений ПДК не отмечалось.

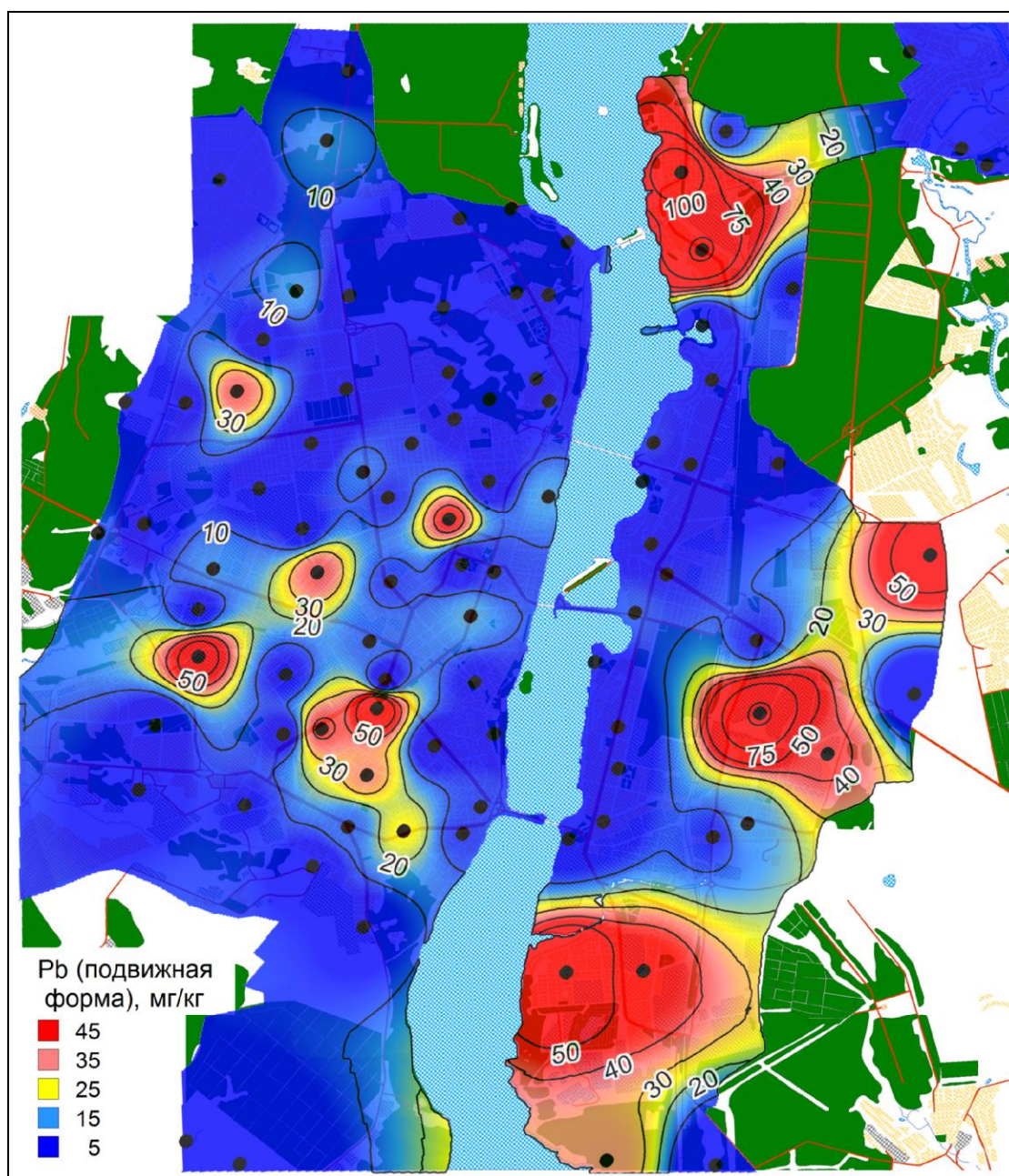


Рис. 3.22. Распространение подвижной формы Рb в почвах города

При анализе загрязнения почвы города Воронежа медью, обнаружены участки с превышением ПДК: точка 42 - ул.Ворошилова, точка 30 – в зоне влияния Воронежского механического завода (филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»), точка 14-ул. Б.Хмельницкого, 35 – в зоне влияния ОАО ХК «Мебель Черноземья» и Воронежского вагоно-ремонтного завода (филиал АО «Вагонреммаш») и точка 15 - ул. Куйбышева – ул. Панфилова – в транспортной зоне города, что свидетельствует о том, что данные промышленные объекты могут быть источником загрязнения городской среды медью.

Также стоит отметить, что высокие концентрации меди, близкие к величине ПДК, наблюдаются в зонах интенсивной транспортной нагрузки города (ул. Димитрова - ул. Волгоградская, Московский проспект - ул. Хользунова и др.).

К сравнительно подвижным элементам в почве также относят цинк. В ряде участков города наблюдается значительное превышение ПДК содержания в почве цинка; в основном это транспортные участки города (ул. Брусилова – Ленинский проспект, Московский проспект) и промышленная зона (ул. Пирогова, 79, ул. Богдана Хмельницкого, 35, ул. Кривошеина, 11) (рисунок 3.23). Отмечается несколько геохимических аномалий в 2014 году на территории города: ул. Волгоградская, 48 (превышение ПДК в 14 раз), ул. 9 Января, 262/1 (превышение ПДК в 23 раза), ул. 9 Января – ул. Антонова-Овсеенко (превышение ПДК в 14 раз) и ул. Депутатская, 12 (в 6 раз). В 2015 году также отмечено превышение над фоновым уровнем и уровнем ПДК в районе перспективной застройки – п. Отрадное (превышение над уровнем ПДК в 2-3 раза).

Основными источниками поступления цинка в окружающую среду являются ФГУП «Воронежский механический завод» и ОАО «Рудгормаш».

В таблицах 3.15 и 3.16 показаны результаты группировки результатов анализа проб по данным исследований 2014-2015 года на содержание подвижной формы тяжелых металлов. В 2014 году было определено 7 интервалов и в 2015 году – 6 интервалов для 5 тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu, Cd, Mn). Данные интервалы показывают концентрации тяжелых металлов и частоту их встречаемости среди проб. Этими значениями и величинами частот пользоваться намного проще и удобнее, чем всем объемом выборки. Так 76% от всех проб в 2014 году имеют концентрацию Zn до 37,1 мг/кг, в 2015 году 68,3% проб попадают в интервал до 12,8 мг/кг. По Pb в 2014 году 82,7 % проб попадали в интервал до 18,6 мг/кг, а в 2015 – 75,6% проб имели концентрации до 9,3 мг/кг.

Пределы содержаний химических элементов в подвижной форме по результатам анализа почвенного покрова следующие (max - максимальные значения, min - минимальные значения):

Pb min = 0,0053 мг/кг, max = 113 мг/кг;

Zn min = 0,000027 мг/кг, max = 260 мг/кг;

Cu min = 0,0071 мг/кг, max = 56 мг/кг;

Cd min = 0,00095 мг/кг, max = 0,6315 мг/кг;

Mn min = 3,8 мг/кг, max = 1878 мг/кг.

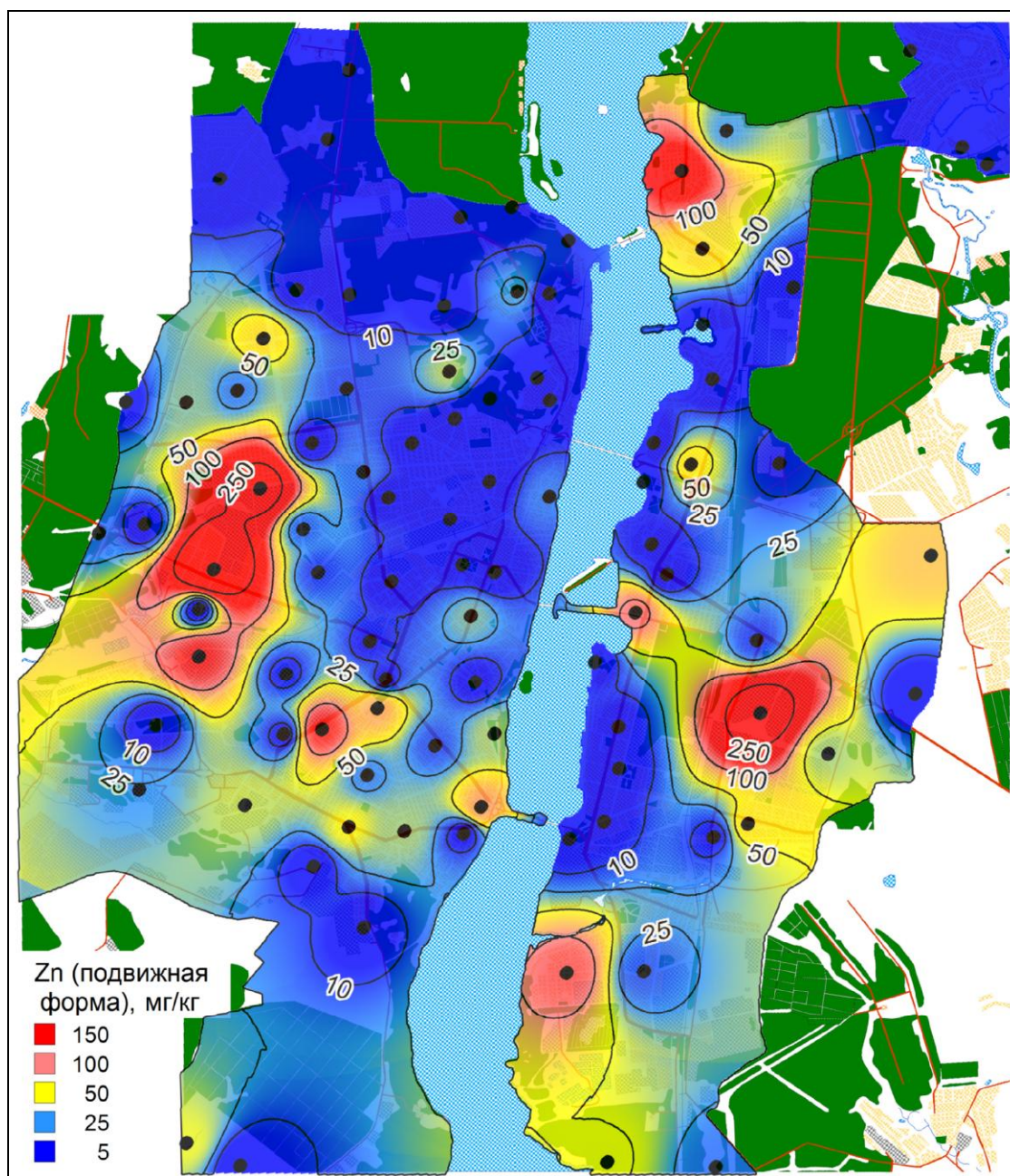


Рис. 3.23. Распространение подвижной формы Zn в почвах города

Таблица 3.15

Группировка результатов анализа проб в 2014 году на содержание тяжелых металлов в почвенном покрове Воронежа

Интервал содержания	Частота n_i	Относительная частота W_i , %	Интервал содержания	Частота n_i	Относительная частота W_i , %
Zn (подвижная форма)			Pb (подвижная форма)		
до 37,1	57	76,0	до 18,6	62	82,7
37,1-74,3	8	10,7	18,6-37,2	1	1,3
74,3-111,4	2	2,7	37,2-55,8	6	8,0
111,4-148,6	3	4	55,8-74,4	3	4,0
148,6-185,7	2	2,6	74,4-93,0	-	-
185,7-223,1	-	-	93,0-111,6	2	2,7
223,1-260,2	3	4	111,6-130,2	1	1,3

Интервал содержания	Частота n_i	Относительная частота W_i , %	Интервал содержания	Частота n_i	Относительная частота W_i , %
Cd (подвижная форма)			Cu (подвижная форма)		
до 0,1	72	96,0	до 9,2	74	98,7
0,1-0,2	1	1,3	9,2-18,4	-	-
0,2-0,3	-	-	18,4-27,6	-	-
0,3-0,4	1	1,3	27,6-36,8	-	-
0,4-0,5	-	-	36,8-46	-	-
0,5-0,6	-	-	46,0-55,2	-	-
0,6-0,7	1	1,3	55,2-64,4	1	1,3
Mn (подвижная форма)					
до 306,3	51	68,0	1225,2-1531,5	1	1,3
306,3-612,6	15	20,0	1531,5-1837,8	1	1,3
612,6-918,9	5	6,7	1837,8-2144,1	1	1,3
918,9-1225,2	1	1,3			

Таблица 3.16

Группировка результатов анализа проб в 2015 году на содержание тяжелых металлов в почвенном покрове Воронежа

Интервал содержания	Частота n_i	Относительная частота W_i , %	Интервал содержания	Частота n_i	Относительная частота W_i , %
Zn (подвижная форма)			Pb (подвижная форма)		
до 12,8	28	68,3	до 9,3	31	75,6
12,8-25,6	4	9,8	9,3-18,6	5	12,2
25,6-38,4	4	9,8	18,6-27,9	2	4,9
38,4-51,2	2	4,9	27,9-37,2	1	2,4
51,2-64,0	2	4,9	37,2-46,5	1	2,4
64,0-76,8	1	2,4	46,5-55,8	1	2,4
Cd (подвижная форма)			Cu (подвижная форма)		
до 0,017	36	87,8	до 1,89	40	97,6
0,017-0,034	-	-	1,89-3,78	-	-
0,034-0,051	1	2,4	3,78-5,67	-	-
0,051-0,069	1	2,4	5,67-7,56	-	-
0,069-0,086	1	2,4	7,56-9,45	-	-
0,086-0,103	2	4,9	9,45-11,34	1	2,4
Mn (подвижная форма)					
до 316,9	25	61,0	950,7-1267,6	3	7,3
316,9-633,8	8	19,5	1267,6-1584,5	1	2,4
633,8-950,7	3	7,3	1584,5-1901,4	1	2,4

Исследование валового химического (элементного) состава почвенных образцов было проведено с применением рентгенофлуоресцентного метода анализа в аккредитованной лаборатории Комплексных исследований Геологии ВГУ совместно с Центром Коллективного пользования ВГУ на спектрометре S8 Tiger, Bruker AXS GmbH, Германия. Данные на исследование тяжелых металлов и других элементов по

почвенным образцам за разные периоды исследования показаны в таблицах 3.17 и 3.18.

Таблица 3.17

Валовой химический состав почвенного покрова

Элемент	Функциональные зоны						
	Р	фон	ТЗ	ПЗ	ЖЗ СП	ЖЗ ЧС	ЖЗ ЦИ
V (%)	0,00350	0,00550	0,00836	0,00640	0,00216	0,00598	0,00446
Cr (%)	0,01280	0,02680	0,03774	0,04804	0,07667	0,02292	0,15149
Ni (%)	0,00656	0,01433	0,01447	0,01644	0,00695	0,01081	0,00811
Cu (%)	0,00940	0,01067	0,01264	0,01539	0,00988	0,01887	0,00888
Zn (%)	0,02616	0,02050	0,03712	0,06279	0,05003	0,09179	0,02826
Ga (%)	0,00061	0,01000	0,00088	0,00104	0,00061	0,00083	0,00101
Rb (%)	0,01068	0,01740	0,01301	0,01015	0,00732	0,01300	0,00925
Sr (%)	0,01596	0,02350	0,02694	0,02066	0,02052	0,02337	0,02040
Zr (%)	0,05923	0,10000	0,07905	0,05418	0,05343	0,05962	0,04099
Nb (%)	0,02258	0,06200	0,01795	0,02952	0,00160	0,03601	0,02775
Ba (%)	0,07811	0,08960	0,08565	0,08193	0,06700	0,10615	0,09170
La (%)	0,01443	0,03900	0,01615	0,02949	0,00188	0,00316	0,01982
Pb (%)	0,00419	0,00367	0,00596	0,00780	0,00854	0,01119	0,00668
As (%)	0,00500	0,00450	0,00567	0,00399	0,00394	0,00000	0,00465

**Р- зона рекреации, ТЗ – транспортная зона, ПЗ – промышленная зона, ЖЗ СП –жилая зона современной многоэтажной постройки, ЖЗ ЧС – частный сектор жилой зоны, ЖЗ ЦИ – центральная историческая часть города жилой зоны*

Наиболее высокое % содержание Zn было обнаружено в почвенных образцах № 50 - 0,215% (ул. Волгоградская, 48), №65 - 0,126 % (ул. 9 Января, 180), № 48 - 0,14% (ул. Ленинградская, 98а), №45: 0,128% (ул. Матросова, 6). Данный анализ подтвердил результаты исследований на тяжелые металлы вольтамперометрическим методом. Высокие концентрации цинка были отмечены в транспортной и промышленной зонах города, где наблюдается подщелачивание почвенного покрова.

Повышенное содержание Ni было отмечено в пунктах мониторинга, находящихся в промышленной зоне города: № 29 - 0,077% (Ясный проезд, 13), № 30 - 0,054 % (ул. 9 Января – ул. Антонова-Овсеенко), №38 – 0,09% (ул. Пирогова, 79). В 2014 году превышение над фоновым значением (точки № 71) в ряде образцов находилось в пределах 2-40 раз. Так, превышение содержание Cr в некоторых точках составило порядка 4 раз, Ni и Cu в 6 раз, Ba – в 2 раза. Стоит отметить, что загрязнение хромом достаточно сильно влияет на биологическую активность почвы. Распространение Cr в почвенном покрове неблагоприятно сказывается на здоровье человека и животных. Высокое содержание Cr

отмечается в поверхностном слое городских почв со щелочной реакцией среды.

По результатам исследования почвенных образцов высокая концентрация меди обнаружена в пункте № 42: 0,023% (ул. Ворошилова, 30), никеля - также в пункте мониторинга №45: 0,015% (ул. Матросова, 6), хрома - в пункте №2: 0,036 % (ул. Лебедева, 2). Повышенные концентрации свинца отмечены в пунктах №42: 0,017% (ул. Ворошилова, 30) и №80 - 0,0115% (ул. Острогжская, 148 /аэродром/). Полученные результаты в целом согласуются с ранее проведенными исследованиями с применением вольтамперометрического метода.

Таблица 3.18

Валовой химический состав почвенного покрова

ФЗ*	V (%)	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Zn (%)	Ga (%)	Rb (%)
Р	0,00640	0,00318	0,00321	0,00510	0,02815	0,00092	0,00795
фон	0,00800	0,00000	0,00300	0,00400	0,00800	0,00100	0,00900
ТЗ	0,00773	0,00670	0,00534	0,00567	0,03278	0,00132	0,00941
ПЗ	0,00226	0,00982	0,00201	0,00323	0,01331	0,00040	0,00416
Персп**	0,00637	0,00491	0,00425	0,00646	0,01455	0,00119	0,00778
ЖЗ СП	0,00818	0,00118	0,00260	0,00671	0,02960	0,00113	0,01001
ЖЗ ЧС	0,00607	0,00640	0,00669	0,00781	0,01581	0,00101	0,00764
ЖЗ ЦИ	0,00582	0,01342	0,00664	0,01008	0,02615	0,00099	0,01152
ФЗ	Sr (%)	Zr (%)	Nb (%)	Ba (%)	La (%)	Pb (%)	As (%)
Р	0,01078	0,03530	0,00191	0,07597	0,00338	0,00387	0,00300
фон	0,01100	0,04100	0,00200	0,08600	0,00400	0,00200	0,00500
ТЗ	0,01262	0,04263	0,00197	0,08726	0,00373	0,00404	0,00450
ПЗ	0,00655	0,02225	0,00132	0,05109	0,00192	0,00278	0,00000
Персп**	0,01114	0,03677	0,00189	0,06925	0,00330	0,00449	0,00421
ЖЗ СП	0,01252	0,03802	0,00189	0,06942	0,00349	0,00698	0,00503
ЖЗ ЧС	0,01034	0,02966	0,00188	0,07050	0,00337	0,00658	0,00000
ЖЗ ЦИ	0,02153	0,04625	0,00159	0,08202	0,00354	0,00652	0,00300

*См. примечание к табл. 3.17; **Персп – зона перспективной застройки.

Среди представленных элементов ванадий является опасным тяжелым металлом. В городских условиях, где почвам свойственно подщелачивание, опасность загрязнения ванадием возрастает. В почвенном покрове города Воронежа в ряде точек отмечается превышение V над фоновым значением в 10-11 раз.

Превышение над фоновым значением отмечалось по следующим элементам: V – в 1,5 раза, Cu – в 4 раза и Ba – в 1,2 раза в ряде точек отбора проб. Элемент Ba можно отнести к умеренно опас-

ным. Но избыток бария может привести к нарушению кальциевого обмена в почвенном покрове.

В зоне рекреации поллютанты образуют ряд: $Ba > Zr > Zn > Sr > Nb > Rb > La > Cr > Cu > V > Ni > Pb > As > Ga$, но в транспортной зоне ряд несколько меняется: $Cu > Ni > Cr > Nb > Zr > Zn > V > La > Sr > Pb > Ba > As > Rb > Ga$.

Также нами рассчитаны коэффициенты концентрации K_c и коэффициенты опасности K_o . Коэффициенты были рассчитаны для 2 подвижных форм тяжелых металлов – Pb и Zn (таблица 3.19). Так, в транспортной зоне по цинку отмечается превышение над фоновым значением в 20 раз, а в промышленной - почти в 26 раз.

Таблица 3.19

Коэффициенты концентраций и коэффициенты опасности в почве города подвижных форм цинка и свинца

К	Функциональные зоны						
	Р	ТЗ	ПЗ	ЖЗ СП	ЖЗ ЧС	ЖЗ ЦИ	Персп
Zn ($K_T=1,5$, I класс опасности)							
K_c	2,39	20,05	25,79	9,56	6,90	12,89	7,68
K_o	0,23	1,94	2,50	0,93	0,67	1,25	0,74
УЗ*	минимальный	средний	сильный	минимальный	минимальный	слабый	минимальный
Pb ($K_T=1,5$, I класс опасности)							
K_c	2,51	14,31	12,83	8,85	6,66	7,50	7,07
K_o	0,50	2,86	2,59	1,77	1,33	1,50	1,36
УЗ*	минимальный	сильный	сильный	средний	слабый	слабый	слабый

*УЗ – уровень загрязнения.

По Pb коэффициент концентрации выше всего в промышленной зоне и транспортной зонах города (превышение над фоном 13-14 раз). Стоит отметить, высокое значение коэффициента по Zn зоне современной многоэтажной застройки (превышение над фоном до 9 раз).

Анализируя коэффициенты опасности в разных ФЗ города, можно отметить, что минимальный уровень загрязнения Zn отмечается в зонах рекреации, жилой современной многоэтажной постройки, частного сектора и перспективной застройки. Слабое загрязнение установлено в зоне жилой зоне ЦИ, сильное загрязнение отмечено в транспортной и промышленной зонах. Сильное загрязнение Pb установлено по коэффициентам опасности также в транспортной и промышленной зонах города. Средний уровень загрязнения отмечен в жилой зоне «СП».

Приоритетными ЗВ в почвенном покрове являются тяжелые металлы /цинк, свинец, кадмий, медь/ и нефтепродукты. Наибольшие концентрации нефтепродуктов отмечены вблизи наиболее интенсивных по грузопотокам перекрестках города и зонах промышленного влияния (превышение ОДК в 3 и более раз). По среднему значению показателя содержания подвижной формы элемента в почве тяжелые металлы образуют следующий ряд: $Mn > Zn > Pb > Cu > Cd$. Результаты анализа валового содержания с помощью рентгенфлюоресцентного метода позволили расположить элементы в почвенном покрове города в следующий ряд: $Ba > Zr > Zn > Cr > Sr > Nb > La > Rb > Pb > Ni > V > Cu > As > Ga$.

Таким образом, повышение содержания тяжелых металлов в почвенном покрове происходит по мере увеличения антропогенной нагрузки в следующем ряду: рекреационная зона < жилая ЧС < зона перспективной жилой застройки < жилая СП < жилая ЦИ < транспортная зона < промышленная зона.

3.4.5. Локальные техногенные аномалии тяжелых металлов в почвенном покрове города

В результате экогеохимических анализов нами отмечено несколько локальных аномалий с высоким содержанием ЗВ, которые во много раз превышают средний уровень содержания поллютантов на территории города (таблица 3.20.).

Значительная часть выявленных аномалий располагается в транспортной и промышленной зонах города Воронежа. Отмечается в ряде пунктов мониторинга экстремальное превышение над фоновым значением. По нашим предположениям источники указанных аномалий различны. Точки №15,69,47 и 52 находятся в зоне интенсивных автотранспортных потоков, что способствует загрязнению Zn и Pb. Загрязнение Pb в транспортной зоне, связано, как правило, с интенсивным движением автомобилей, прежде всего – грузовых. Последние работают на дизельном топливе, содержание свинца в котором значительно выше, чем в бензине АИ-92, АИ-95 и АИ-98, которым заправляются легковые автомобили. Так, точка отбора № 47 на перекрестке улиц Саврасова и Заслонова (содержание свинца в 60 раз превышает фоновое значение) расположена вблизи улицы Новосибирской – одной из немногих магистралей города, по которой разрешено движение большегрузных автомобилей; точка отбора № 15 – пересечение улиц Куйбышева и Панфилова (превышение над фоном в 94 раза) находится вблизи трассы М4 –

«Дон». Некоторые пункты отбора располагаются в зоне влияния Воронежского механического завода и завода «Рудгормаш».

Таблица 3.20

Локальные среднеконтрастные техногенные аномалии
в почвенном покрове города Воронежа подвижных форм Zn и Pb

№ точки	Адрес	ФЗ	ТМ	С, мг/кг	Фон	К _с	Среднее по городу, мг/кг
84	ул. Рубежная, 35	перспектива	Zn	74,0	2,23	33,18	25,85
83	ул. Октябрьская, 105	перспектива		48,0		21,52	
92	Кольцевая, 76	жилая ЧС		51,0		22,87	
86	ул. Грамши, 70	жилая СП		38,0		17,04	
69	ул. Скрибиса, 16	транспортная		173,0		39,91	
67	ул. Дорожная, 15	промышленная		143,0		64,13	
41	ул. Депутатская, 12	жилая ЦИ		142,0		63,68	
47	ул. Саврасова – ул. Заслонова	транспортная		120,0		53,81	
52	ул. Брусилова – Ленинский проспект	транспортная		107,0		47,98	
40	ул. Моисеева, 11	жилая СП		86,0		38,57	
45	ул. Матросова, 6	транспортная		61,0		22,20	
62	ул. Набережная Массалитинова, 1	рекреация		38,0		9,08	
15	ул. Куйбышева – ул. Панфилова	транспортная	Pb	179,0	1,2	80,27	10,75
15	ул. Куйбышева – ул. Панфилова	транспортная		113,0		94,17	
50	ул. Волгоградская, 48	промышленная		101,0		84,17	
14	ул. Богдана Хмельницкого, 35	промышленная		101,0		84,17	
47	ул. Саврасова – ул. Заслонова	транспортная		72,0		60,00	
40	ул. Моисеева, 11	жилая СП		63,0		52,50	
67	ул. Дорожная, 15	промышленная		56,0		46,67	
1	ул. Ростовская, 44	жилая ЦИ		41,0		38,75	
84	ул. Рубежная, 35	перспектива		54,0		45,00	

В зоне жилой застройки также отмечены высокие концентрации ТМ. Скорее всего, связано с локальным воздействием бытового мусора во дворах жилых домов. Существенное воздействие оказывает и автотранспорт, т.к. современные дворы используются в основном как парковки для автотранспорта, а при остановке и начале движения автомобиль выбрасывает повышенное количество выхлопных газов.

Экстремально высокие значения коэффициентов концентрации в 2014 году свидетельствуют о высоком техногенном загрязнении почвенного покрова.

В 2015 году ряд пунктов мониторинга сменился, и нами отмечено резкое снижение значений коэффициентов концентрации. Но наблюдается распределение высоких концентраций в другие функциональные зоны. Так, экстремально высокие значения Zn в поверхностном слое почв отмечены в зонах перспективной жилой застройки и зоне рекреации. Пункты №84 и №83 располагаются в Отрадном и Шиловом – данные районы города сейчас активно застраиваются и заселяются жителями, что способствует повышенному воздействию на окружающую среду, кроме того в этих районах отмечена щелочная реакция среды, что способствует задержанию цинка в верхнем горизонте почв. Пункты №39 и №62 находятся в зоне влияния автомагистрали, которая проходит вдоль набережной на территории города.

Цинк широко применяется в литейном производстве как добавка к стали. Этим обусловлено расположение аномальных точек вблизи крупных промышленных предприятий, потребляющих большое число сталелитейной продукции. На правом берегу Воронежского водохранилища это, прежде всего ОАО «Финансово-промышленная компания «Космос-нефть-газ», ориентированная на машиностроение (точка отбора № 65; ул. 9 января, 180), завод «ТяжМехПресс» (точка отбора № 29, Ясный проезд, 13), ФГУП «Воронежский механический завод» (точки отбора № 40 – ул. Моисеева, 11 и № 41 – ул. Депутатская, 12).

На левом берегу основным потребителем металлургической продукции является ПАО «Воронежское акционерное самолётостроительное общество», завод «Рудгормаш» и Масловская промзона. Также следует отметить влияние выбросов производственного комплекса «Воронежсинтезкаучук», использующего большие объёмы цинка для производства автомобильных шин. Выбросы указанных предприятий приводят к тому, что аномальное содержание цинка обнаруживается в том числе и в жилых функциональных зонах (точка отбора № 1 - ул. Ростовская, 44; точка отбора № 92 – ул. Кольцевая, 76).

Нами подтверждено, что максимально высокое содержание подвижного Pb наблюдается в почвах старых жилых кварталов, крупных автомагистралей и промышленных зон [131].

Стоит отметить, что в ранее проведенных исследованиях почвенного покрова Воронежской области Н.А. Протасовой отмечалось обогащение почвенного покрова Zn, Co, As, B [128].

Также нами обнаружены среднеконтрастные (в разы и в десятки раз превышающие фоновые значения) техногенные аномалии по валовому содержанию Cr, V, Ni, Cu, Ba (таблица 3.21.).

Таблица 3.21

Локальные среднеконтрастные техногенные аномалии в почвенном покрове города Воронежа (валовое содержание ванадия, хрома, никеля, меди и бария)

№ точки	Адрес	ФЗ	ТМ	%	Фон	K _c	Среднее по городу, мг/кг
2014 год							
68	Патриотов проспект, 3	промышленная	V	0,009	0,003	3	0,0045
65	ул. 9 Января, 180	промышленная		0,009		3	
63	ул. Урицкого, 47	промышленная		0,009		3	
59	ул. Транспортная, 83а	транспортная	Cr	0,007	0,00183	4	0,002
13	ул. Землячки, 1	промышленная		0,0068		3,7	
57	Победы бульвар – ул. 60 Армии	транспортная		0,006		3,3	
46	ул. Краснознаменная – пер. Казарменный	транспортная	Ni	0,009	0,00088	10,3	0,002
28	ул. Машиностроителей, 8	промышленная		0,004		4,5	
22	ул. Хользунова, 102	транспортная	Cu	0,02	0,00185	11	0,005
57	Победы бульвар – ул. 60 Армии	транспортная		0,014		7,6	
2015 год							
83	ул. Октябрьская, 105	перспектива	V	0,01	0,008	1,25	0,006
87	проспект Революции, 45	жилая ЦИ	Ni	0,01	0,00057	18	0,004
82	ул. Хохольская, 9	перспектива		0,01		18	
37	ул. 20-летия Октября, 94	транспортная		0,005		9	
91	Ул. Солдатское поле, 285/5	промышленная	Cu	0,014	0,001	14	0,006
86	ул. Грамши, 70	жилая СП		0,013		13	
1	ул. Ростовская, 44	жилая ЦИ		0,012		12	
27	Московский проспект 36	транспортная	Ba	0,097	0,04874	2	0,069

Ванадий находит применение в сплавах, в основном для нержавеющих и инструментальных сталей. Этим, вероятно, обусловлена его аномальная концентрация в почве вблизи Воронежского тепловозремонтного завода (точка отбора № 63; ул. Урицкого, 47) и ОАО «ФПК «Космос-нефть-газ» (точка отбора № 65; ул. 9 января, 180).

Хром используется как компонент во многих легированных сталях (в частности, нержавеющей), а также и в ряде других сплавов. Добавка хрома существенно повышает твердость и коррозионную стойкость сплавов. Этим, скорее всего, обусловлена аномальная концентрация данного металла в почвенном покрове вблизи Воронежского завода стале-алюминиевых конструкций (точка отбора № 13; ул. Землячки, 1) и бывших цехов НПО «Энергия» - одного из крупнейших предприятий космической индустрии (точка отбора № 37; ул. 20-летия Октября, 94). Также стоит отметить, что Cr накапливается в верхнем горизонте почв с щелочной реакцией среды.

Аномальное содержание меди в расположенных рядом точках отбора № 1 (ул. Ростовская, 44) и № 91 (ул. Солдатское поле, 285/5) может быть обусловлено соседством с Масловской промзоной, в частности, с предприятиями по производству трансформаторов.

Возникшие на территории города геохимические аномалии, связанные с воздействием техногенеза увеличивают вариабельность содержания ТМ в городском почвенном покрове. Кроме того, они также способствуют пространственной неоднородности из-за дискретности источников загрязнения, что особенно заметно в жилой зоне.

3.4.6. Анализ уличного смета

При изучении уличного смета в разных пунктах мониторинга нами были исследованы 3 функциональные зоны: 9 пунктов в жилой зоне (4 пункта в жилой зоне современной многоэтажной застройки и 5 пунктов в жилой центрально-исторической части города), 6 пунктов в зоне рекреации и 6 пунктов – в транспортной зоне. Основным объектом изучения были зоны с сильным антропогенным воздействием на среду обитания.

Ракция среды в уличном смете по результатам анализа оказалась щелочной во всех исследуемых образцах, содержание органического углерода было близким к нулевым значениям за исключением точек в зоне рекреации и жилой зоне (таблица 3.22). В этих зонах на дорожное полотно выносятся частицы верхнего горизонта почвенного покрова, поэтому присутствие органического углерода вполне объяснимо.

Анализ загрязнения нефтепродуктами показал повышенный уровень по сравнению с содержанием в исследуемых зонах почвенного покрова. Так, среднее значение в уличном смете составило 968 мг/кг.

Наиболее высокий уровень отмечен в транспортной зоне города в точках № 7 – пересечение улиц Московский проспект и ул. Хользунова (1540 мг/кг) и №19 на ул. Грамши, 25 (1893 мг/кг), а также в жилых зо-

нах – в точке № 3 на ул. Ломоносова, 83 (1974 мг/кг) и в точке №13 на ул. Володарского, 60 (2167 мг/кг). Высокие уровни нефтепродуктов в почве жилой зоны обусловлены высокой нагрузкой от автотранспорта.

Таблица 3.22

Результаты анализа уличного смета в разных ФЗ города Воронежа

ФЗ	Нефтепродукты, мг/кг	pH	C, %	Zn, мг/кг	Pb, мг/кг	Cd, мг/кг	Cu, мг/кг	Mn, мг/кг
жилая СП	670,00	7,63	0,09	111,00	114,75	0,02	2,39	614,25
жилая ЦИ	1250,67	7,66	0,27	296,92	32,60	0,14	3,11	554,00
транспортная	1258,89	7,74	0,00	92,02	36,43	0,04	3,29	296,83
рекреация	639,22	7,71	0,33	15,59	10,51	0,01	10,84	668,17

Нами отмечена в точках №11 и №12, которые расположены по улице Ворошилова, 30, следующая особенность: содержание нефтепродуктов выше непосредственно на дороге, чем во дворе дома. В зоне рекреации также были исследованы 2 точки, находящиеся в парке «Динамо»: со стороны въезда в парк и на дороге, проходящей в глубине парка. Значения содержания нефтепродуктов были выше именно на въезде в парк, скорее всего, это обусловлено периодическими «пробками» и интенсивной проходимостью автомобилями.

Анализ подвижных форм тяжелых металлов показал высокое содержание Zn, Pb, Cu, Cd. Так, среднее значение содержания Zn составило 122,6 мг/кг, Pb – 43,03 мг/кг, Cd – 0,05 мг/кг, Cu – 5,23 мг/кг. Пределы обнаружения по тяжелым металлам следующие:

Pb min = 0,14 мг/кг, max= 260 мг/кг;

Zn min = 0,45 мг/кг, max= 673 мг/кг;

Cu min = 0,0063 мг/кг, max= 25 мг/кг;

Cd min = 0,0047 мг/кг, max= 0,41 мг/кг;

Mn min = 13 мг/кг, max= 2023 мг/кг.

Максимальное загрязнение уличного смета по уровню содержания подвижных форм тяжелых металлов обнаружено в точке №13, расположенной по адресу на ул. Володарского, 60 в жилой зоне центрально-исторической части города. Высокие уровни загрязнения также отмечены на ул. Моисеева, 11 (пункт мониторинга №9), ул. Депутатской, 12 (№10). Высокое загрязнение жилых зон, в первую очередь, обусловлено выбросами от автотранспорта.

В целом по результатам анализа дорожной пыли по уровню загрязнения ФЗ города можно расположить следующий ряд: рекреация<жилая СП<транспортная<жилая ЦИ.

Дорожная пыль, которая является составляющей частью уличного смета, содержит значительное количество опасных ЗВ, которые оказывают негативное влияние на состояние здоровья населения. ПДК, применяемые к почвенному покрову, не применимы к уличному смету. Нормирования уличного смета нет, уровни содержания ЗВ постоянно меняются.

Так называемые «пылевые бури», которые стали распространенным явлением в городе Воронеже последние несколько лет, способствуют увеличению заболеваний дыхательных путей среди населения и накоплению вредных веществ в организме человека. Поэтому необходимо проводить постоянный мониторинг уличного смета и пыли на уровни содержания тяжелых металлов и ряда других веществ.

3.4.7. Биотестирование почвенного покрова

Фитотоксичность является одним из наиболее информативных показателей оценки суммарного техногенного загрязнения. С помощью данного метода можно выявить токсичное действие загрязняющих веществ или стимулирующее влияние, активизирующее развитие тест-культур. Для оценки степени загрязнения почвенного покрова применяли следующие растения-индикаторы: кресс-салат (*Lepidium sativum*) и овес посевной (*Avena sativa*). Биологические тесты на прорастание семян успешно применяются для установления воздействия различных физиологически активных веществ. В качестве биотестов использовали однодольное и двудольное растения, по которым следили за морфологическими изменениями качественных показателей под влиянием действия поллютантов: энергии прорастания, всхожести семян, длины главного корня, длины проростка, общей биомассы.

Исследования загрязненности почвы с помощью растений-индикаторов в 2014-2018 г. на проростках кресс-салата (*Lepidium sativum*) и овса посевного (*Avena sativa*) показали, что почвенный покров в промышленной и транспортных зонах города подвержен сильному загрязнению, что подтверждается высоким уровнем фитотоксичности. Определение фитотоксичности почвы в жилой зоне показало, что она находится на уровне 40%, что свидетельствует о среднем (умеренном) уровне загрязнения.

Для образцов почвы, отобранных в зонах рекреации и фоновых участках, характерны высокая всхожесть и хорошее развитие проростков овса и кресс-салата (таблица 3.23.).

Таблица 3.23

**Изменение морфологических показателей тест-растений
в разных функциональных зонах города**

ФЗ	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина главного корня, см	Длина проростка, см	Биомасса, г
Овес посевной (<i>Avena sativa</i>)					
рекреация	23,26	79,64	8,35	10,70	0,71
фон	100,00	100,00	10,60	13,50	1,01
транспортная	15,34	46,81	6,00	9,35	0,32
промышленная	12,00	43,84	5,95	8,45	0,24
перспектива	29,00	61,00	7,40	10,50	0,50
жилая СП	29,17	53,34	6,75	10,65	0,56
жилая ЧС	19,15	59,72	8,50	10,55	0,52
жилая ЦИ	10,15	57,89	6,86	8,97	0,42
Кресс – салат (<i>Lepidium sativum</i>)					
рекреация	36,79	82,86	5,50	6,85	0,09
фон	100,00	100,00	6,85	7,50	0,16
транспортная	26,87	53,83	2,85	4,70	0,05
перспектива	10,00	44,00	3,60	3,80	0,04
промышленная	39,45	65,95	3,35	4,95	0,05
жилая СП	29,17	64,17	3,50	5,50	0,05
жилая ЧС	44,00	70,72	4,25	5,80	0,05
жилая ЦИ	30,15	71,43	4,09	5,76	0,07

Почвенный покров в этих зонах не подвержен существенному загрязнению. Напротив, в образцах почв из промышленной и транспортной зон города отмечалось сокращение длины корневой системы. Проростки растений на этих образцах почвы были тонкие и короткие.

Загрязнение нефтепродуктами и тяжелыми металлами привело к резкому снижению таких качественных показателей тест-объектов как всхожесть, рост и развитие проростков.

По результатам исследований овес посевной (*Avena sativa*) оказался более чувствительным к техногенному загрязнению; напротив, кресс-салат (*Lepidium sativum*) является более выносливым видом, т.к. отмечается хорошая всхожесть семян и небольшие деформации в процессе развития [4].

Повышенный уровень фитотоксического эффекта отмечался в зонах жилой современной многоэтажной застройки. Это обусловлено дефицитом мест для парковки автомобилей и использованием внутридворовых участков жилой зоны в качестве автомобильных стоянок, что приводит к загрязнению почв нефтепродуктами и тяже-

лыми металлами от выбросов автотранспорта в микрорайонах повышенной этажности (рисунок 3.24.).

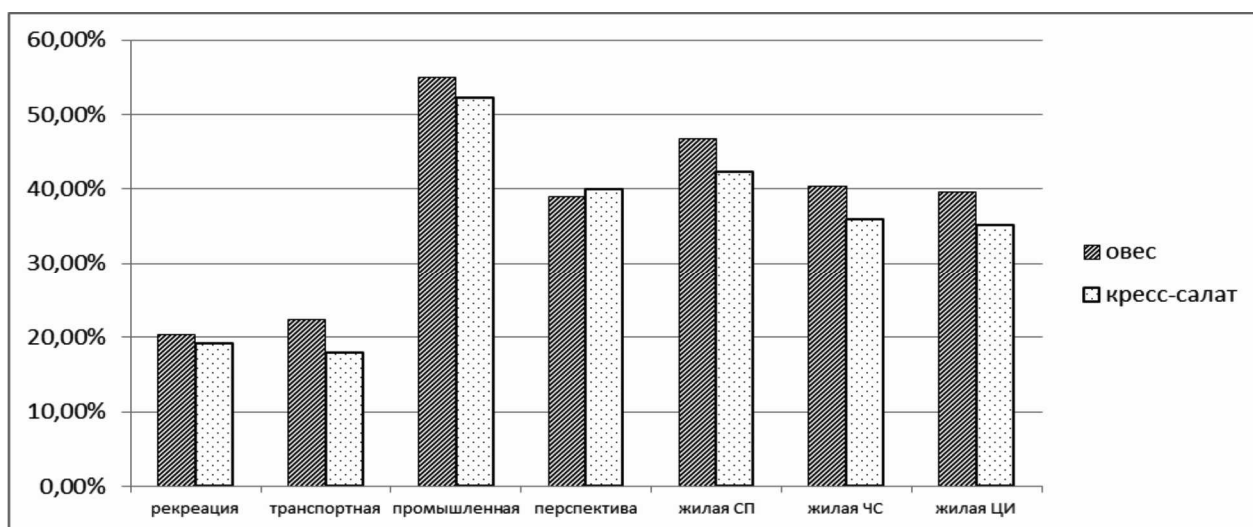


Рис. 3.24. Фитотоксический эффект почвенного покрова

Оценка уровня ФЭ показала, что фитотоксичность почв в транспортной зоне очень высокая и составляет около 70-80 %, а в некоторых точках достигает 100%. Сравнивая уровень ФЭ почвы в разных районах города, мы видим, что в зависимости от антропогенной нагрузки ФЭ городских почв изменяется в широком диапазоне: от 10-20% в парковой зоне до 50-60% в центре города и до 70-80% в промышленных зонах.

Слабое загрязнение почвенного покрова отмечается по результатам исследования в зоне рекреации. В зоне перспективной застройки отмечается средний уровень загрязнения почвенного покрова.

Энергия прорастания в образцах, отобранных в транспортной зоне города, снижена в 3-4 раза по сравнению с образцами, отобранными в зоне рекреации. Отмечено, что с увеличением техногенной нагрузки ухудшаются показатели роста и развития тест-растений. Происходит снижение темпа развития, уменьшается длина корневой системы. Корневая система проростков, выращенных на почве, отобранной в транспортной и промышленной зоне, развита более слабо, чем у проростков, выращенных на образцах почвы, взятых в других районах города. Длина корневой системы уменьшилась, а проростки здесь более тонкие и короткие. Так, длина главного корня в образцах из промышленной и транспортной зон города меньше в 2 раза по сравнению с фоном.

Результаты биотестирования уличного смета (рис.3.25) показали высокий уровень фитотоксического эффекта для обоих тест-растений.

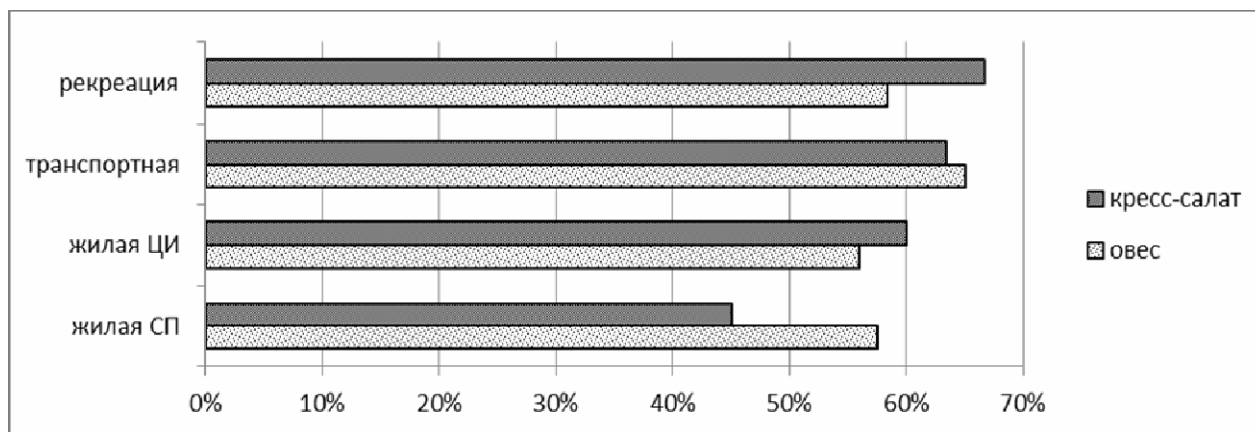


Рис. 3.25. Уровень фитотоксического эффекта в уличном смете

Нами было отмечено следующее: в большинстве образцов наблюдалась высокая всхожесть на 3-4 день, высокая длина стеблей, но на 6-7 день исследования отмечалась гибель тест-растений, а оставшаяся часть тест-растений была очень слабой. Эта особенность снова подтверждает тот факт, что высокое содержание тяжелых металлов провоцирует повышенный рост растений, но оказывает негативное влияние на рост и развитие растений.

Результаты изменения морфологических показателей растений в почвенных разрезах № 8 и №9 показаны в таблице 3.24.

Таблица 3.24

Изменение морфологических показателей тест-растений
в почвенных разрезах

Горизонт	Энергия прорастания, %		Всхожесть, %		Длина главного корня, см		Длина проростка, см		Биомасса, г	
	овес	кресс-салат	овес	кресс-салат	овес	кресс-салат	овес	кресс-салат	овес	кресс-салат
Почвенный разрез № 8										
A 0-20 см	100	100	100	100	12	5	14	7	1,15	0,2
A ₁ 20-37 см	100	100	100	100	11	4	10	5	1,01	0,14
AB 37-70 см	60	50	80	80	6	3	7	4	0,75	0,08
B _{1ca} 70-88 см	40	40	70	60	3	1	3	2	0,21	0,04
B _{2ca} 88-120 см	20	20	40	40	2	1	2	1	0,05	0,01
BC _{ca} 120-150 см	67	60	90	90	10	4	12	6	1,01	0,14
Почвенный разрез № 9										
A 0-22 см	90	90	100	100	11	5	12	6	1,02	0,12
A ₁ 22-40 см	50	60	90	70	9	3	10	5	0,97	0,1
AB 40-72 см	50	30	80	70	6	3	7	4	0,75	0,08
B _t 72-110 см	30	10	50	50	3	2	4	3	0,25	0,05
BC _{ca} 110-125 см	10	10	20	30	2	2	2	1	0,07	0,03
C _{ca} 125-160 см	0	0	10	10	1	1	1	1	0,07	0,02
CD _{ca} 160-200 см	50	50	90	80	8	4	11	7	0,99	0,1

В верхних почвенных горизонтах наблюдаются максимальный рост и развитие растений, что обеспечивают следующие условия: низкая концентрация тяжелых металлов и благоприятные свойства почвенного покрова.

С глубиной отмечается изменение морфологических показателей: тест-растения становятся тонкими, невысокими. Но на уровне 150-160 см снова отмечаются высокие показатели всхожести и энергии прорастания. На этом уровне преобладает песчаная структура, что обеспечивает хорошую всхожесть и развитие растений.

Низкие уровни фитотоксического эффекта, а, следовательно, слабое загрязнение характерно для верхних горизонтов почвенного покрова до глубины примерно 40 см, на глубине 80-100 см отмечается высокое загрязнение и высокий уровень фитотоксичности, что подтверждается исследованиями на содержание тяжелых металлов (рисунки 3.26 и 3.27). Именно на этой глубине отмечаются повышенные концентрации тяжелых металлов (Zn, Pb, Cr, Ni).

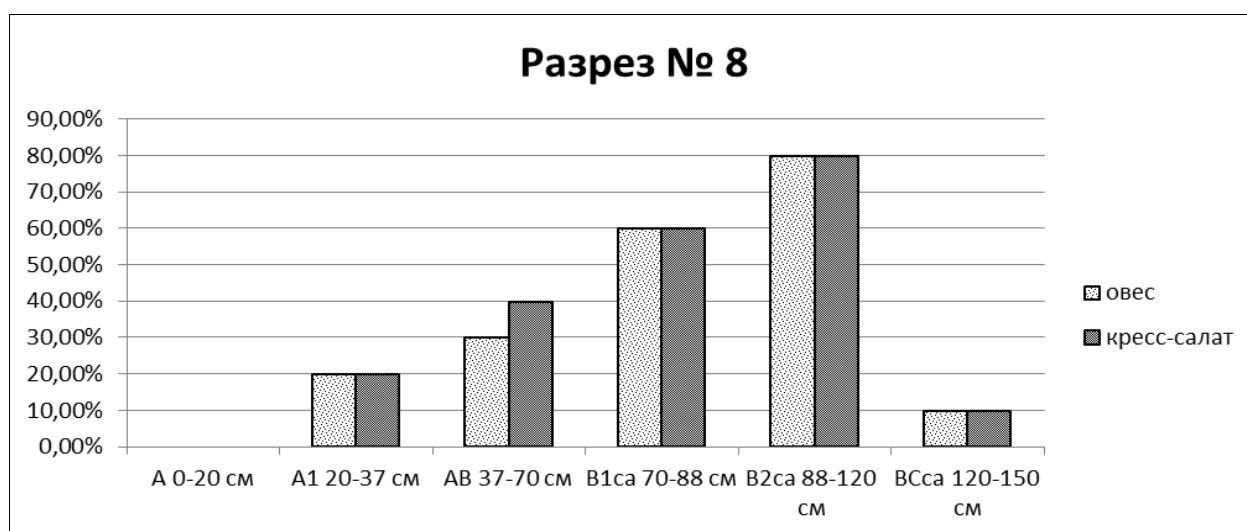


Рис. 3.26. Уровень фитотоксического эффекта в разрезе №8 фоновых почв

Картографирование уровней фитотоксического эффекта растения-индикатора «кресс-салат» по результатам мониторинга почвенного покрова показано на рисунке 3.28.

Результаты мониторинга почвенного покрова с применением методов биотестирования позволили выделить районы с интенсивной техногенной нагрузкой и высоким уровнем загрязнения почвенного покрова. Так, неблагоприятная ситуация отмечается в районах перспективной застройки в Отрадном и Шилово, а также в транспортной и промышленных зонах города.

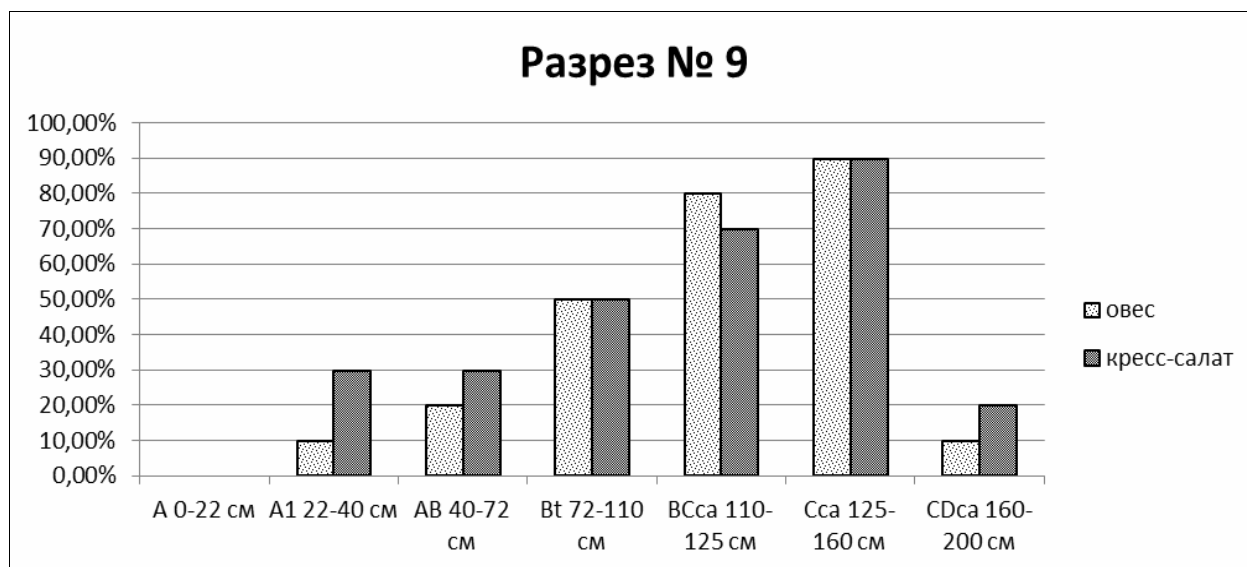


Рис. 3.27. Уровень фитотоксического эффекта в разрезе №9 фоновых почв

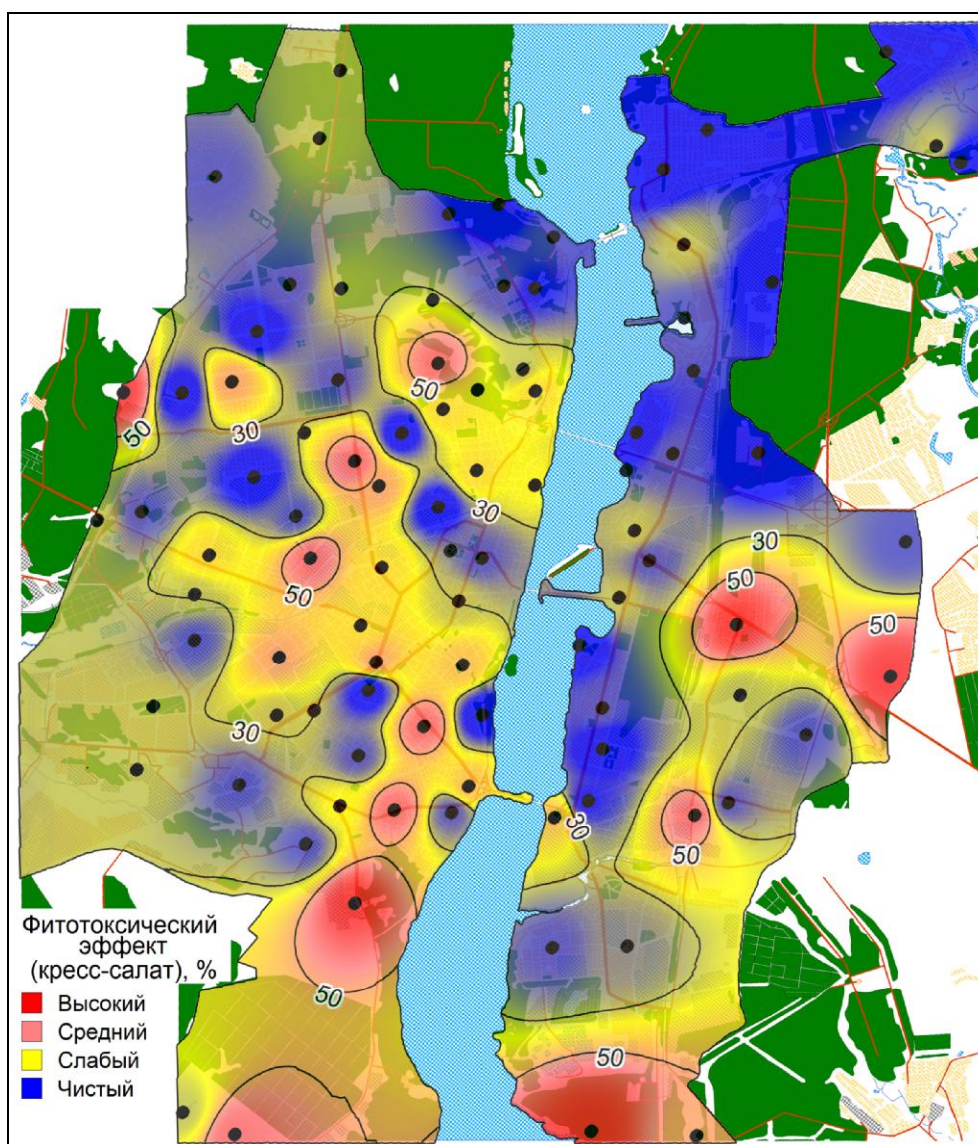


Рис. 3.28. Уровень фитотоксического эффекта (*Lepidium sativum*)

Зонами, подверженными экологическому риску, являются территория Масловской промышленной зоны, участки окружной дороги по ул. Антонова-Овсеенко, район Отрожки под влиянием вагоноремонтного завода и транспортных потоков города. Наиболее неблагоприятные внутригородские районы по данным биотестирования - Левобережный, Ленинский и Железнодорожный. Данные результаты в целом согласуются с выводами, полученными в результате исследований ПП на нефтепродукты и ТМ.

Картографирование уровней фитотоксического эффекта растения-индикатора «овес посевной» по результатам мониторинга почвенного покрова показано на рисунке 3.29.

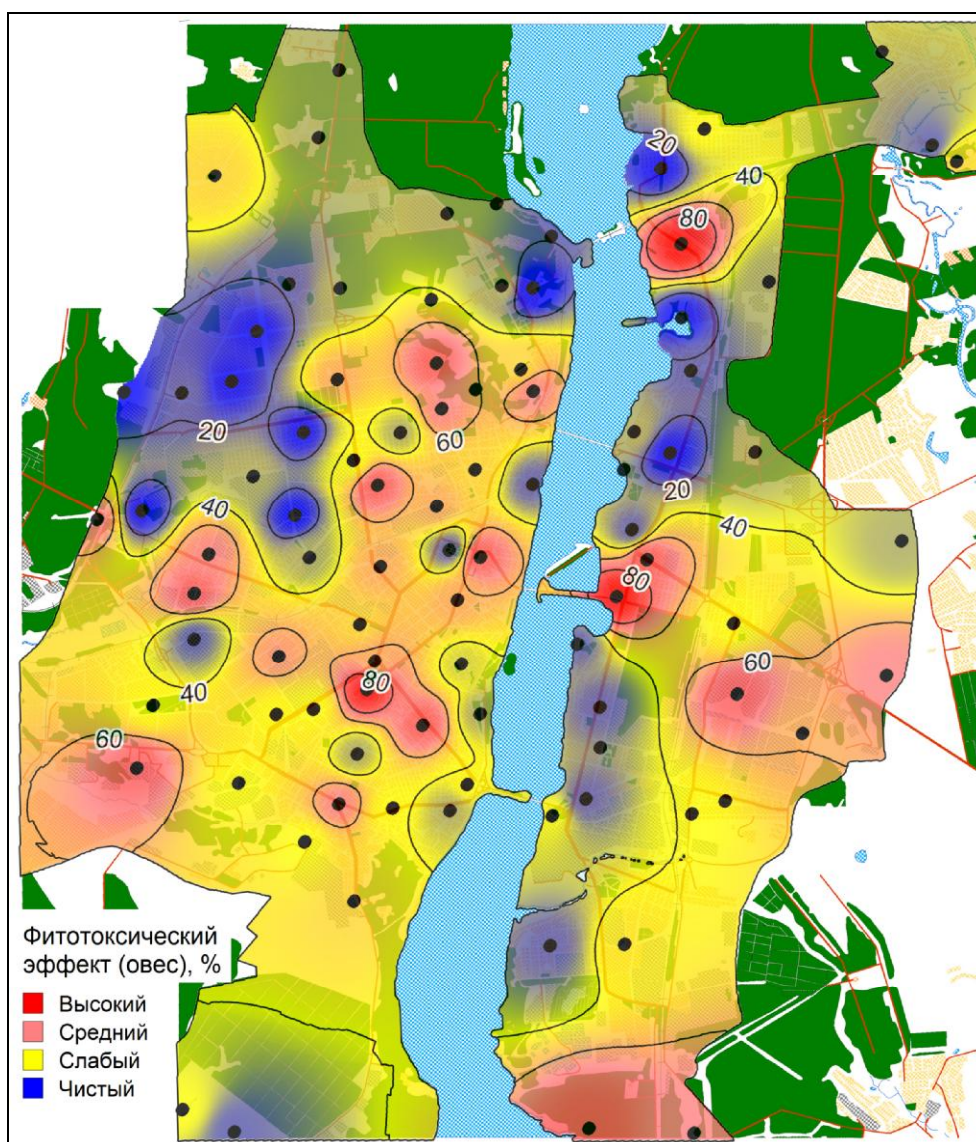


Рис. 3.29. Уровень фитотоксического эффекта (*Avena sativa*)

Таким образом, можно сделать следующие выводы по результатам анализа биотестирования:

- среди исследуемых тест-культур в качестве растений-индикаторов /овес посевной (*Avena sativa*) и кресс-салат (*Lepidium sativum*)/ наиболее чувствительной к антропогенному загрязнению тест-культурой является овес посевной;

- стрессовая реакция растений овса близка к прямо пропорциональной по отношению к степени воздействия: чем больше загрязнена среда, тем всхожесть меньше;

- ранняя диагностика степени загрязнения почв, использующая в качестве тест-системы проростки овса посевного, может успешно применяться для оперативной оценки влияния нефтепродуктов, тяжелых металлов и других загрязняющих веществ на активность прорастания и развития тест-растений.

- повышение фитотоксичности тест-растения овса посевного происходит по мере увеличения антропогенной нагрузки в следующей последовательности: рекреационная зона < жилая ЦИ < жилая ЧС < жилая СП < транспортная зона < промышленная зона. Территория промышленной зоны отличается наибольшим уровнем неблагоприятного техногенного воздействия.

3.4.8. Токсикологический анализ почвенного покрова

Оценка токсичности почвенного покрова является актуальным направлением исследований в городском мониторинге. Эффективным подходом для определения степени токсичности является использование методов токсикологического анализа. Их применение позволяет дать интегральную характеристику экологического состояния городов [14, 96, 137].

Результаты исследования показали, что для почвенных образцов, отобранных в промышленной зоне, характерно в основном превышение критерия токсичности, что составляет в среднем 30-50% (рисунок 3.30). Это стимулирует рост тест-культуры.

В ряде точек в промышленной зоне, напротив, отмечается подавление роста тест-культуры (ул. Землячки, 1; ул. Лебедева, 2).

Картографирование уровней относительной токсичности на тест-культуре «*Chlorella vulgaris*» по результатам мониторинга почвенного покрова показано на рисунке 3.31.

В образцах, отобранных в зонах перспективной застройки и жилой современной многоэтажной застройки, отмечена стимуляция роста-тест культуры (увеличение на 36-37%). В остальных функциональных зонах нами не выявлено высокого уровня относительной токсичности.

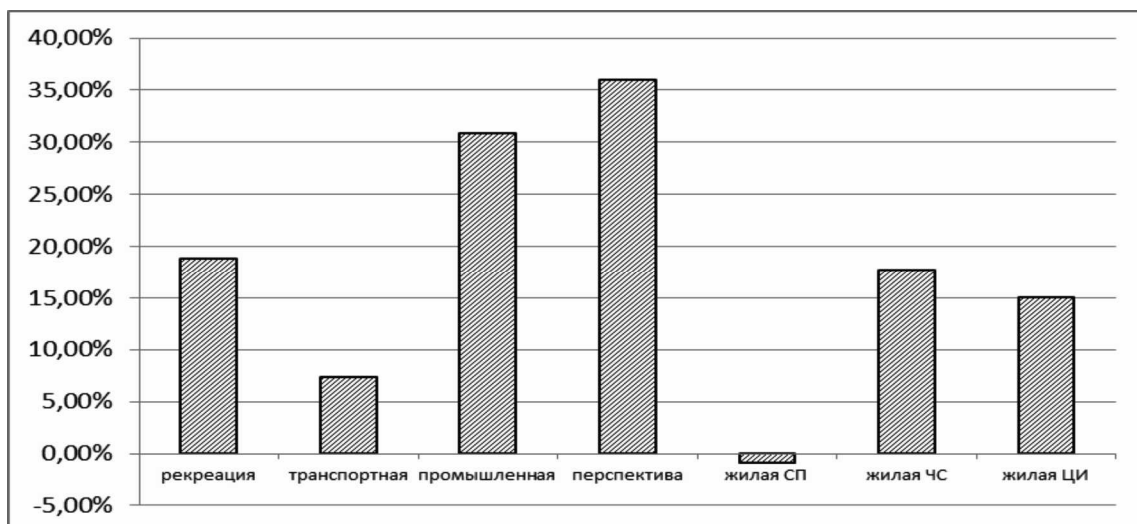


Рис. 3.30. Уровень относительной токсичности почвенного покрова на тест-культуре *Chlorella vulgaris*

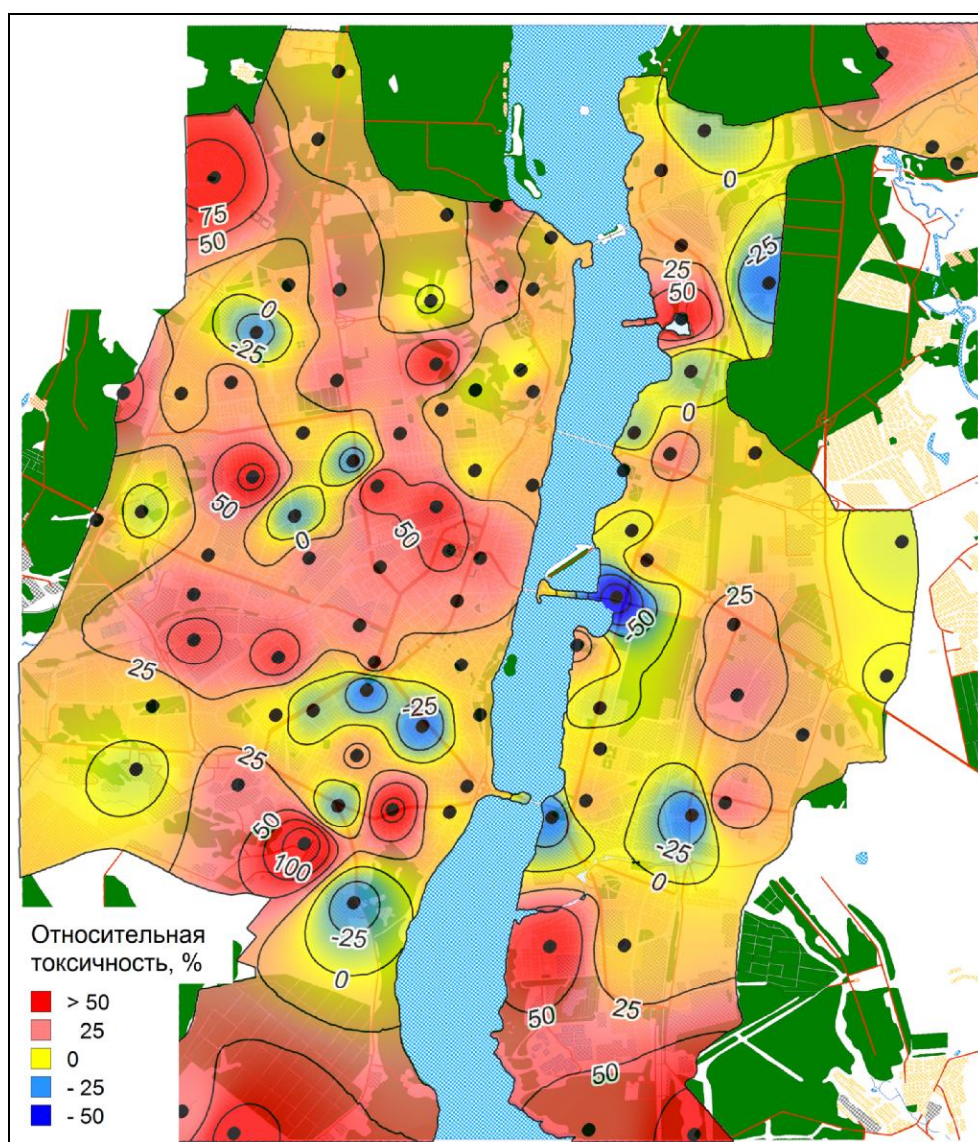


Рис. 3.31. Результаты токсикологического анализа почв города

В целом на территории города выделены следующие зоны с высоким уровнем относительной токсичности почвенного покрова: район перспективной застройки Шилово, Масловская промышленная зона, микрорайон Подгорное, а также территории, находящиеся под влиянием активных дорожных транспортных потоков (ул. 9 января, Московский проспект, проспект Революции, ул. Грамши и др.).

Исследование влияния уличного смета на уровень относительной токсичности показал, что высокий уровень загрязнения характерен для жилой зоны в центрально-исторической части города, т.к. отмечается подавление роста тест-объекта на 59% (рис. 3.32).

Опасный уровень загрязнения обеспечен за счет высокого уровня относительной токсичности в ряде точек, в которых наблюдается подавление тест-культуры на 58-87% (ул. Володарского, 60; ул. Депутатская, 12; ул. Ломоносова, 83). Следует также отметить, что именно в этих точках нами отмечены высокие уровни концентрации подвижной формы Zn – 228-673 мг/кг. Средний уровень загрязнения отмечен в зоне рекреации: происходит подавление тест-объекта на 40%. Стимуляция роста отмечена в точке №19 по ул. Грамши, 25 в транспортной зоне города, где происходит увеличение роста тест-культуры до 92%. Это связано с интенсивным транспортным потоком на улице и повышенным уровнем содержания ЗВ. Во многих точках зоны рекреации отмечено подавление тест-культуры до 59% (парк Динамо, ул. Дарвина, Петровская набережная). В этих точках отмечено повышенное содержание нефтепродуктов около 600-900 мг/кг.

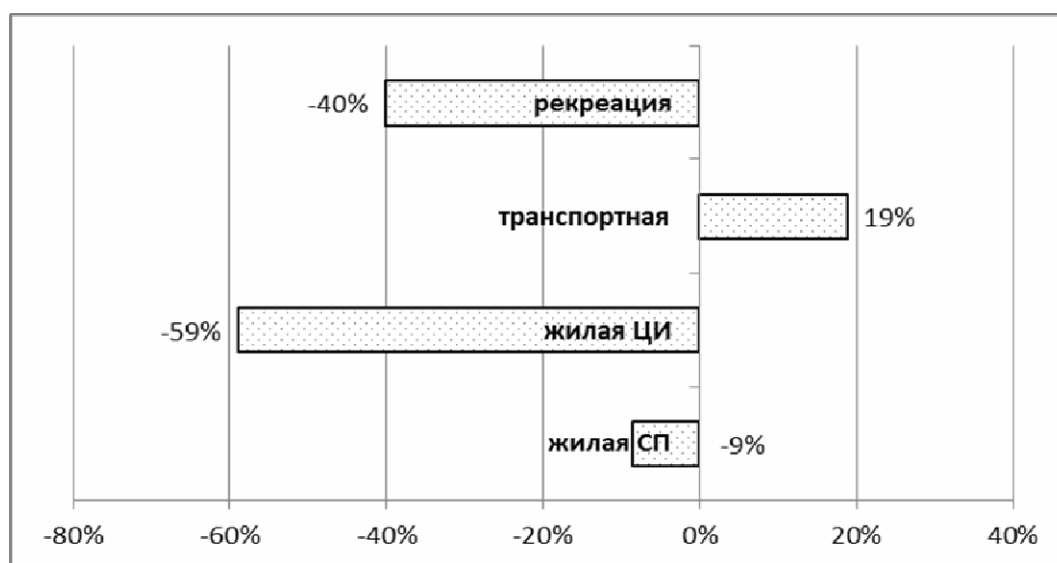


Рис. 3.32. Уровень относительной токсичности уличного смета

Уровни относительной токсичности в почвенных разрезах показаны на рисунке 3.33.

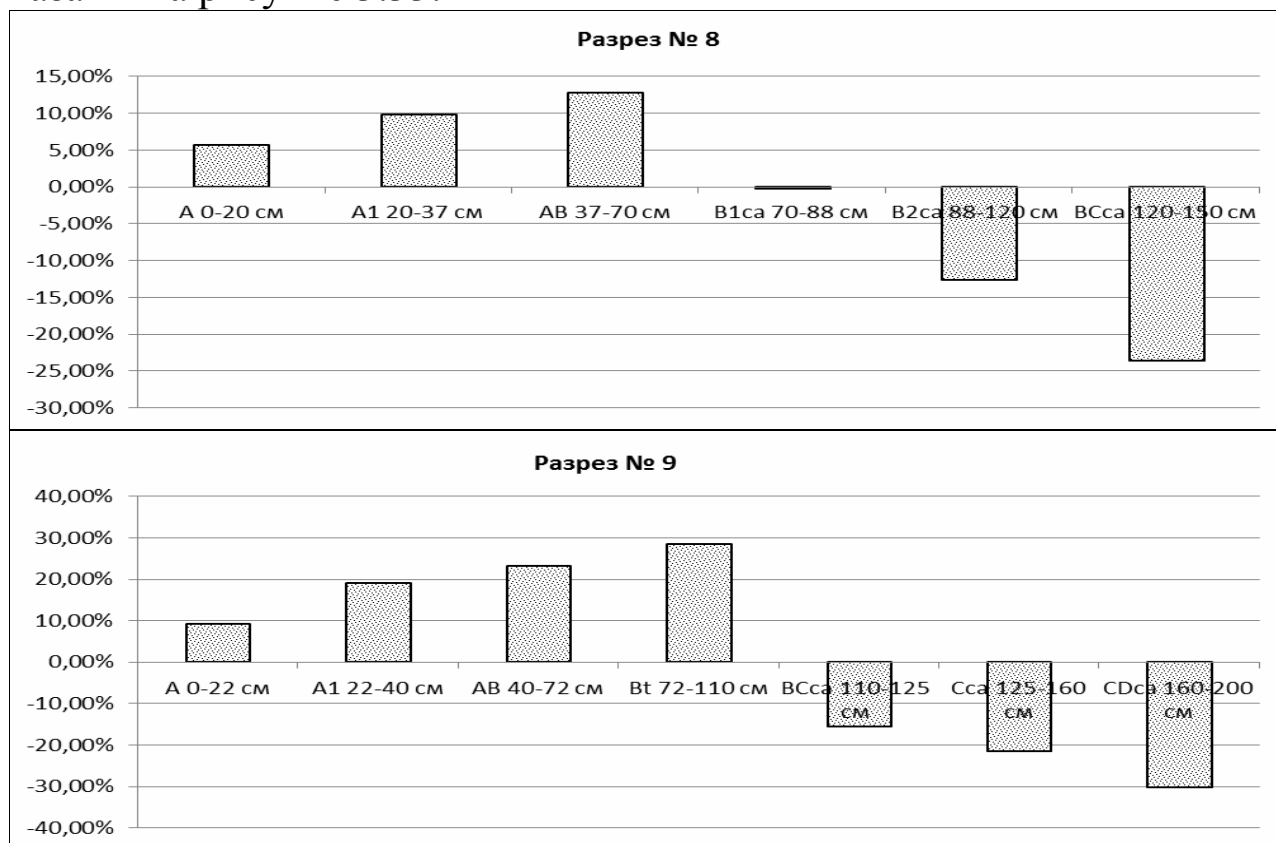


Рис. 3.33. Уровень относительной токсичности в почвенных разрезах

В целом анализ показателей относительной токсичности на примере тест-культуры «Хлорелла» (*Chlorella vulgaris*) показал, что повышение токсичности происходит по мере увеличения автотранспортного воздействия в следующей последовательности: жилая СП < жилая ЦИ < жилая ЧС < рекреационная зона < промышленная зона < транспортная зона. Территория транспортной зоны отличается наибольшим уровнем неблагоприятного техногенного воздействия.

Следует отметить, что о высоком уровне загрязнения свидетельствуют как подавление, так и стимуляция роста тест-культуры. Применение методов токсикологического анализа позволило дать интегральную оценку состояния почвенного покрова и уличного смета на территории города.

ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

4.1. Статистический анализ закономерностей формирования техногенного загрязнения почвенного покрова

Почвенный покров современного Воронежа концентрирует в себе опасные химические соединения, которые поступают от транспортных потоков, промышленных предприятий и коммунальных служб. Кроме того почвенный покров является мощным источником техногенных веществ, которые включаются в региональные миграционные циклы.

Весомый вклад в нарушение целостности почвенного покрова и его структуры вносят площадные и точечные строительные работы, транспортные магистрали, промышленное производство и другие сферы антропогенного влияния. Загрязнению почвенного покрова способствуют повышенные уровни ЗВ в атмосферном воздухе города. Высокие концентрации поллютантов в снежном покрове усиливают загрязнение почвенного покрова. Большой объем пыли, который поступает с дорожного полотна, также содержит значительное количество токсических элементов, возникающих в результате воздействия автотранспорта (истирание движущихся частей и механизмов автомобиля, а также выбросы загрязняющих веществ).

Особую опасность представляет то, что опасные химические соединения начинают проникать в более глубокие слои почвенного профиля, что может негативно сказаться и на состоянии других природных сред (растения, грунтовые воды, донные отложения).

Исходя из этого, важно определить основные закономерности формирования техногенного загрязнения почвенного покрова, а также оценить взаимосвязи в таких системах как «почвенный покров», «почвенный покров – снежный покров», «почвенный покров – уличный смет».

4.1.1. Статистический анализ системы «почвенный покров»

В первую очередь стоит рассмотреть взаимосвязи между компонентами почвенного покрова. Для этого нами проведен корреляционный анализ результатов исследований почвенного покрова по 78 показателям (приложение 2).

В приложении выделены те компоненты, корреляции по которым достигают порога средней степени связи ($r \geq |\pm 0,30|$) и более. Подробный анализ корреляционных связей в системе «почвенный покров» позволяет проследить некоторые общие черты влияния одних показателей состояния почвенного покрова на другие.

Так, мы видим, что с увеличением показателя pH будут наблюдаться изменения морфологических показателей растений. Например, в более кислых почвах будут произрастать хорошо развитые растения. В щелочных почвах - будут наблюдаться изменения в длине корневой системы и в целом общей биомассы. Это подтверждено связями между уровнем pH и морфологическими показателями тест-растений: корреляционные связи между ними средней степени и отрицательные.

На изменение морфологических показателей растений влияет и накопление тяжелых металлов в почвенном покрове. Так, при накоплении Ni корневая система растений изменяется, становится более тонкой и слабой. Это подтверждается средней степенью корреляционной связи между длиной корня тест-растения кресс-салат и содержанием Ni в почвенном покрове ($r = -0,31$).

На распространение тяжелых металлов в почве может влиять валовой химический состав почвенного покрова. Так, нами отмечено, что при преобладании в почвенном покрове SiO₂ происходит минимальное накопление Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Nb, Ba, Pb. Напротив, присутствие в почвенном покрове P₂O₅, K₂O, MgO, Al₂O₃ способствует накоплению этих элементов.

Также выявлены ассоциации токсичных элементов, что подтверждено достаточно сильными связями между Cu и Pb ($r = +0,50, +0,52$), Cd и V ($r = +0,61$), Ni и Mo ($r = +0,76$), Ni и Cu ($r = +0,52$), Rb и Zr ($r = +0,84$).

На накопление нефтепродуктов может влиять нахождение оксида серы в почвенном покрове, что, скорее всего, связано с влиянием выбросов от автотранспорта в почвенный покров города.

Интересно проследить изменения корреляционных связей между компонентами почвенного покрова по результатам анализа в 2015 году (приложение 2).

Анализируя полученные данные по результатам статистического анализа в 2015 году, можно сделать вывод о том, что сохранились многие взаимосвязи между показателями почвенного покрова, выявленными по результатам анализа в 2014 году.

Так, увеличение показателя рН способствует изменению морфологических показателей растений. Мы видим, что длина корневой системы и проростка меняется от значения рН: чем ниже значение, тем более развитые проростки и корни тест-растений. Это подтверждено средним уровнем связи между уровнем рН и морфологическими показателями тест-растений, а также отрицательным значением коэффициента корреляции. Также нами отмечено, что показатель фитотоксического эффекта будет выше в более щелочных почвах, что говорит о более высоком загрязнении именно щелочных почв.

Присутствие гумуса в почве способствует развитию проростков тест-растений, что подтверждается связью средней степени между содержанием гумуса и длиной проростка овса ($r = + 0,43$). А повышенные концентрации тяжелых металлов в почвенном покрове могут влиять на изменение морфологических показателей.

На уровень токсичности может влиять загрязнение почвенного покрова Cu (подвижной формы), отмечена положительная связь ($r=+0,41$).

Также сохранилась тенденция, что на накопление тяжелых металлов в почве влияет валовой химический состав почвенного покрова. Так, чем больше в почвенном покрове находится SiO_2 , тем почвенный покров менее подвержен загрязнению Cr, La, Ni. Также возможное нахождение в повышенном количестве Na_2O способствует снижению накопления Cr, Ni, Zr, но может оказать влияние на распространение V, Ga, Nb, Ba, La. Присутствие в почвенном покрове P_2O_5 в большом количестве способствует накоплению Cr, Ni, Zr, Ba. Высокий уровень TiO_2 , MnO, K_2O , Fe_2O_3 может провоцировать высокое содержание V, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Ba, Pb, Br. На нахождение Cr может оказывать влияние присутствие оксида кальция в почвенном покрове, нами отмечена сильная связь между показателями ($r=+0,74$).

Установлен ряд ассоциаций и зависимостей между загрязняющими веществами в почвенном покрове. Это подтверждено достаточно сильными связями между Cr и Ni ($r= +0,64$), Ni и Cu ($r=+0,68$), Cu и Sr ($r=+0,80$), Pb и Cu ($r=+0,79$), Cu и Zr ($r=+0,65$), Cu и Rb ($r=+0,67$), Zn и Pb ($r=+0,62$), Rb и Sr ($r=+0,87$), Rb и Zr ($r=+0,78$).

Ассоциации между поллютантами позволяют отследить возможные источники загрязнения соответствующими металлами. Наиболее сильная ассоциация выявлена между Rb и Sr ($r=+0,87$). Принимая во внимание те точки, где были обнаружены высокие концентрации этих химических элементов и области их промышленного применения, можно сказать о том, что основными вкладчиками, видимо, являлись НПО «Энергия» и завод «Электроприбор», которые во второй половине

XX века были крупными производителями электроники военного и авиакосмического назначения.

Одновременное высокое содержание Cr и Ni встречается вблизи территории ПАО «Воронежское акционерное самолётостроительное общество», что связано с использованием данных металлов как легирующих компонентов. Тот факт, что Pb и Cu широко применяются в электротехнической промышленности, обусловил их совместную высокую концентрацию в точках отбора вблизи Масловской промзоны.

Ассоциации Ni и Mo обнаружены в точках отбора, расположенных поблизости от завода «ТяжМехПресс» и бывшего экскаваторного завода им. Коминтерна (ул. Машиностроителей, 8). Скорее всего, это связано с использованием данных металлов в качестве легирующих добавок к стали. Наиболее заметные ассоциации цинка и свинца характерны для участков вблизи оживленных транспортных магистралей, особенно тех, где ранее были расположены трамвайные пути либо недалеко проходит железнодорожное полотно. Их появление – результат загрязнения, вызванного интенсивным движением автомобильного и рельсового транспорта.

Также важно рассмотреть возможные связи между показателями состояния почвенного покрова в почвенных разрезах. В таблице 4.1 отмечены корреляционные связи со значением $r \geq |\pm 0,30|$. Можно отметить, что на распространение нефтепродуктов в почвенных разрезах влияют высокие концентрации подвижных форм кадмия, марганца.

Повышенный уровень содержания нефтепродуктов способствует высокому уровню токсичности почвенного покрова ($r=+0,38$). Высокий уровень pH может обеспечивать более высокое содержание Pb ($r=+0,39$) и препятствует распространению Cd ($r=-0,43$).

Уровень фитотоксического эффекта будет выше при повышенном содержании в почвенном покрове таких поллютантов, как Cr, Ni, Sr и Br. Как показали результаты корреляционного анализа, на развитие и рост тест-растений влияют многие элементы. Так, высокое содержание Cr, Ni, Sr, Br обеспечивает слабое развитие проростков и корневой системы тест-растений, напротив, высокое содержание Cu, Zn, As может способствовать росту проростков, но в дальнейшем негативно сказываться на развитии растений.

Нами подтверждено, что на накопление тяжелых металлов в почве может влиять валовой химический состав почвенного покрова. Так, чем больше в почвенном покрове SiO_2 , тем почвенный покров менее подвержен загрязнению Zn, Ga, Rb, Zr, Nb, Ba. Также повышенное содержание Na_2O способствует снижению загрязнения от Cr, Ni, Sr, но может оказать влияние на распространение V, Zn, Nb, Rb, Ba, As.

Таблица 4.1

Корреляционные связи между показателями в почвенных разрезах

Показатели	Коэффициенты корреляции ($r \geq \pm 0,30 $)					
	Нефте- продукты	Гумус	pH	Zn (н.ф.)	Pb (н.ф.)	Cd (н.ф.)
Cd (н.ф.)	0,50	0,52	-0,43	-	-	-
Mn (н.ф.)	0,78	0,65	-0,19	-	-	-
Pb (н.ф.)	-0,31	-0,35	0,39	-	-	-
pH	-0,60	-0,78	1,0	-	0,39	-0,43
Токсичность	0,38	0,56	-0,68	-0,30	-	-
ФЭ кресс-салат	-0,61	-0,63	0,34	0,55	-	-0,33
ФЭ овес	-0,67	-0,64	0,33	0,54	-	-0,39
Na ₂ O (%)	0,50	0,69	-0,48	-	-	-0,72
MgO (%)	-0,71	-0,77	0,23	0,64	-0,38	0,72
SiO ₂ (%)	0,59	0,72	-0,80	-0,38	-0,46	-
P ₂ O ₅ (%)	0,74	0,73	-0,63	-	-	0,45
K ₂ O (%)	0,39	0,57	-0,83	-0,30	-	-
CaO (%)	-0,58	-0,72	0,82	0,42	0,37	-
Cr (% вал)	-0,59	-0,73	0,84	0,39	0,53	-
Ni (% вал)	-0,44	-0,52	0,53	-	0,65	-
Cu (% вал)	0,51	0,42	-0,32	-	0,44	0,37
Zn (% вал)	0,51	0,62	-0,73	-0,43	-	0,40
Ga (% вал)	0,38	0,57	-0,83	-0,30	-	-
Rb (% вал)	0,60	0,80	-0,96	-	-0,34	0,34
Sr (% вал)	-0,50	-0,64	0,81	-	0,51	-
Zr (% вал)	0,49	0,68	-0,85	-0,36	-0,30	0,33
Nb (% вал)	0,56	0,74	-0,87	-0,32	-	0,34
Ba (% вал)	0,52	0,73	-0,72	-	-	0,36
La (% вал)	-	-0,34	0,36	-	0,78	-
Pb (% вал)	-	-	-	-	0,56	0,39
As (% вал)	0,67	0,80	-0,60	-0,45	-0,41	0,31
Br (% вал)	-0,40	-0,42	-	0,46	-	-
Показатели	Токсич- ность	ФЭ кресс- салат	ФЭ овес	Длина проро- стка кресс- салата	Длина про- ростка ов- са	Длина главно- го кор- ня овса
Na ₂ O (%)	0,75	-0,63	-0,58	0,53	0,52	0,58
MgO (%)	-	0,57	0,56	-0,60	-0,57	-0,62
Al ₂ O ₃ (%)	0,64	-0,31	-0,34	-	-	0,30
SiO ₂ (%)	0,47	-0,65	-0,62	0,60	0,62	0,61
P ₂ O ₅ (%)	-	-	-	0,33	-	0,38
SO ₃ (%)	-0,37	-	-	-	-	-
K ₂ O (%)	0,60	-	-	-	-	-
CaO (%)	-0,55	0,63	0,61	-0,57	-0,58	-0,59
TiO ₂ (%)	0,43	-	-	-	-	-
MnO (%)	-	0,35	0,33	-	-0,38	-
Fe ₂ O ₃ (%)	-	-	-	-	-0,35	-
V (%)	0,57	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 4.1

<i>Показатели</i>	<i>Токсичность</i>	<i>ФЭ кресс-салат</i>	<i>ФЭ овес</i>	<i>Длина проростка кресс-салата</i>	<i>Длина проростка овса</i>	<i>Длина главного корня овса</i>
Cr (% вал)	-0,56	0,57	0,54	-0,51	-0,53	-0,53
Ni (% вал)	-	0,46	0,43	-0,46	-0,52	-0,42
Cu (% вал)	0,33	-0,40	-0,47	0,42	0,31	0,44
Zn (% вал)	0,50	-0,62	-0,62	0,58	0,53	0,57
Ga (% вал)	0,79	-0,33	-0,32	-	-	-
Rb (% вал)	0,66	-0,36	-0,35	0,30	-	0,37
Sr (% вал)	-0,43	0,42	0,40	-0,38	-0,42	-0,37
Zr (% вал)	0,66	-0,53	-0,52	0,43	0,43	0,49
Nb (% вал)	0,74	-0,52	-0,50	0,43	0,40	0,49
Ba (% вал)	0,85	-0,40	-0,36	-	-	0,39
As (% вал)	0,41	-0,81	-0,80	0,77	0,71	0,82
Br (% вал)	-0,34	0,63	0,58	-0,57	-0,51	-0,56
<i>Показатели</i>	Na ₂ O (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)
V (% вал)	0,40	-	0,57	-	-	-
Cr (% вал)	-0,85	0,80	-0,68	-0,98	-0,38	0,61
Ni (% вал)	-0,48	0,78	-	-0,82	-0,30	0,69
Cu (% вал)	0,30	-	0,36	-	0,55	-
Zn (% вал)	0,74	-0,59	0,77	0,74	0,48	-0,37
Ga (% вал)	0,85	-0,40	0,89	0,69	0,35	-0,40
Rb (% вал)	0,78	-0,71	0,73	0,81	0,60	-0,44
Sr (% вал)	-0,74	0,75	-0,56	-0,94	-0,44	0,78
Zr (% вал)	0,91	-0,62	0,81	0,90	0,32	-0,61
Nb (% вал)	0,94	-0,61	0,84	0,87	0,41	-0,52
Ba (% вал)	0,80	-0,36	0,71	0,56	0,36	-
La (% вал)	-	0,62	-	-0,56	-	0,45
Pb (% вал)	-	-	-	-	0,36	-
As (% вал)	0,67	-0,76	0,39	0,71	0,35	-0,30
Br (% вал)	-	0,30	-	-	-	-0,40
<i>Показатели</i>	V (%)	Cu (%)	Zn (%)	Ga (%)	Rb (%)	Zr (%)
Ni (% вал)	0,43	0,30	-0,32	-	-0,51	-0,54
Cu (% вал)	0,61	-	0,46	0,33	-	-
Zn (% вал)	0,37	0,63	-	0,83	0,80	0,78
Rb (% вал)	0,30	0,33	0,80	0,87	-	0,86
Sr (% вал)	-	-	-0,60	-0,63	-0,79	-0,82
Zr (% вал)	0,42	-	0,78	0,89	0,86	-
Nb (% вал)	0,44	0,31	0,81	0,93	0,91	0,98
Ba (% вал)	0,49	0,30	0,59	0,80	0,77	0,76
La (% вал)	0,59	0,52	-	-	-0,35	-
Pb (% вал)	0,57	0,85	0,54	0,38	-	-
As (% вал)	-	-	0,61	0,47	0,64	0,67

Присутствие в почвенном покрове P₂O₅ в большом количестве может способствовать накоплению Cu, Zn, Rb, Nb. Высокий уровень

MnO может спровоцировать высокое содержание Cr, Ni, Sr, La. Нахождение Cr может оказывать влияние присутствие оксида магния в почвенном покрове, т.к. нами отмечена сильная связь между показателями ($r=+0,80$).

Нами подтверждены результаты данных корреляционного анализа по поверхностному слою почвенного покрова в разных ФЗ города: отмечаются ассоциации ряда загрязняющих веществ и связи между концентрациями. Это подтверждается сильными связями между V и Cu ($r=+0,61$), V и Ga ($r=+0,63$), Cu и Pb ($r=+0,85$), Zn и Ga ($r=+0,83$), Zn и Rb ($r=+0,80$), Zn и Zr ($r=+0,78$), Ga и Ba ($r=+0,80$), Rb и Zr ($r=+0,86$), Ba и Zr ($r=+0,76$).

Таким образом, статистический анализ показателей системы «почвенный покров» позволил выявить определенные закономерности по накоплению поллютантов в почвенном покрове:

- выявлены ассоциации между элементами в поверхностном горизонте почв и сильные связи между ними: Cr и Ni ($r=+0,64$), Ni и Cu ($r=+0,52$, $r=+0,68$), Cu и Sr ($r=+0,80$), Pb и Cu ($r=+0,50$ - $+0,79$), Cu и Zr ($r=+0,65$), Cu и Rb ($r=+0,67$), Zn и Pb ($r=+0,62$), Rb и Sr ($r=+0,87$), Rb и Zr ($r=+0,78$, $r=+0,84$), Cd и V ($r=+0,61$), Ni и Mo ($r=+0,76$);

- на распределение тяжелых металлов в почвенном покрове влияет валовой химический состав, показатель кислотности и уровень содержания органического углерода. Отмечена связь между повышенным уровнем содержания в почве SiO_2 и пониженной концентрацией Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Nb, Ba, Pb, напротив, при повышенном содержании P_2O_5 , K_2O , MgO , Al_2O_3 наблюдается увеличение концентрации этих элементов;

- на изменение морфологических показателей растений может влиять нахождение тяжелых металлов, уровень кислотности. Так, при накоплении Ni и повышенном уровне кислотности в почвенном покрове происходит изменение корневой системы растений, она становится более тонкой и слабой, общая биомасса снижается.

4.1.2. Анализ системы «почвенный покров – снежный покров»

Анализ состава снежного покрова является экспрессной эколого-геохимической диагностикой загрязнения воздушного бассейна городской среды, т.к. снег обладает высокой сорбционной способностью. Причем высокий уровень загрязнения снежного покрова способствует проникновению и накоплению ЗВ в почвенный покров города. Поэтому целесообразно рассмотреть взаимосвязи между пока-

зателями в системе «почвенный покров – снежный покров». Нами был проведен статистический анализ данных по результатам исследований, результаты отображены в таблице 4.2.

Отмечены связи между высоким уровнем минерализации в снежном покрове и повышенным содержанием поллютантов в почвенном покрове (Cr, Ni, Cu, Zn, Sr, Zr, Ba). Это подтверждает, что уровень минерализации снежного покрова - индикатор уровня техногенной нагрузки. Также pH в снежном покрове будет совпадать в зонах повышенного загрязнения с pH в почвенном покрове. Для этих зон будет характерен высокий уровень pH, щелочная реакция среды. Именно для таких зон характерно загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами Cr, Ni, Cu, Zn.

Между содержанием взвешенных веществ в снежном покрове и содержанием нефтепродуктов в почвах отмечен средний уровень связи ($r = +0,42$). Повышенные значения хлоридов и азотистых соединений в снеге могут способствовать уменьшению содержания гумуса в почвенном покрове, это подтверждается отрицательным коэффициентом корреляции и средним уровнем связи ($r = -0,24-0,47$). Также заметна положительная связь между содержанием хлора в почвенном покрове и хлоридов в снежном покрове ($r = +0,51$).

Заслуживает внимания значительная связь между содержанием NH_4^+ в снежном покрове и нахождением в почве таких элементов, как La ($r = +0,44$), As ($r = +0,48$), Mo ($r = +0,65$), Nb ($r = +0,50$). Также заметна связь между уровнем хлоридов в снеге и содержанием Cr ($r = +0,44$), Ni ($r = +0,49$), Cu ($r = +0,53$), Zn ($r = +0,37$), Sr ($r = +0,58$), Zr ($r = +0,40$), Ba ($r = +0,45$) в почвенном покрове. Отмечена достоверная связь между высоким уровнем токсичности почвенного покрова и повышенным содержанием взвешенных веществ ($r = +0,65$), высоким уровнем минерализации в снежном покрове ($r = +0,41$).

По результатам анализа нами отмечены связи между содержанием подвижных форм тяжелых металлов (Zn, Pb, Cd, Mn) в почве и содержанием взвешенных веществ в снежном покрове. Это свидетельствует о том, что последствия высокой техногенной нагрузки на снежный покров будут наблюдаться в почвенном покрове и выражаться в повышенном уровне загрязнения.

На высокий уровень pH в почвенном покрове может влиять высокое содержание карбонатов и хлоридов в снеге, что подтверждает тот факт, что использование противогололёдных смесей в зимний период способствует подщелачиванию почвенного покрова.

Таблица 4.2

Корреляционные связи между показателями в системе «почвенный покров - снежный покров».

Показатели по снегу/почве	Коэффициенты корреляции ($r \geq \pm 0,30 $)										
	pH	взвешенные вещества	минерализация	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃	SO ₄	Cl	NH ₄ ⁺	NO ₂	NO ₃
нефтепродукты	0,42	0,38	0,46	-	-	0,40	-	0,70	-	-	-
гумус	-0,56	-0,59	-	-0,36	-	-	0,36	-	-0,36	-0,38	-0,47
pH	0,32	-	-	-	-	0,37	-	0,39	-0,34	-	-
Zn (п.ф.)	0,34	0,32	-	-	0,39	-	-	-	-	-	-
Pb (п.ф.)	-	0,45	-	-	0,58	-	-	-	-	-0,35	-
Cd (п.ф.)	0,36	0,33	-	0,38	0,33	-	0,43	-	0,31	-	-
Cu (п.ф.)	-	-0,35	-	-0,47	-	-	-	-	-	-	-
Mn (п.ф.)	-0,55	-0,35	-	-	-0,30	-	-	-0,35	-0,43	-	-
Токсичность	0,53	0,65	0,41	0,33	-	0,64	-	0,43	-	-	-
Cl (%)	-0,48	0,32	-	-	-	-	-	0,51	-0,40	-0,30	-0,40
Na ₂ O (%)	-0,60	-0,30	-0,54	-	-0,39	-	-0,30	-0,53	-0,44	-	-
SiO ₂ (%)	-0,62	-0,31	-0,34	-	-	0,31	-	-0,59	-	-	-0,41
CaO (%)	0,47	0,48	0,39	-	-	-	-	0,38	-	-	0,32
Fe ₂ O ₃ (%)	0,54	-	0,35	-	-	-	-	0,63	-	-	0,30
Cr (% , вал)	0,51	0,34	0,31	0,34	-	-	-	0,44	-	-	0,38
Ni (% , вал)	0,52	0,30	0,30	-	-	-	-	0,49	-	-	0,32
Cu (% , вал)	0,49	-	0,39	-	-	-	-	0,53	-	-	-
Zn (% , вал)	0,36	-	0,46	-	-	-	0,37	0,37	-	-	-
Sr (% , вал)	0,49	0,47	0,35	0,30	-	0,30	-	0,58	-	-	0,35
Zr (% , вал)	0,32	0,30	0,38	-	-0,53	-	-	0,40	-	-	-
Ba (% , вал)	0,30	0,30	0,38	-	-0,57	0,36	-	0,45	-0,51	-	-
La (% , вал)	-	-	-	-	0,58	-	-	-	0,44	-	-
As (% , вал)	-	-	0,35	-	0,34	0,38	-	-	0,48	-	-
Mo (% , вал)	-	-	-	-	0,52	-	-	-	0,65	-	-
Nb (% , вал)	-	-	-	-	0,59	-	-	-	0,50	-	-
CeO ₂ (%)	0,34	0,59	-	0,52	-	-	-0,43	-	0,03	0,83	0,63

Отмечена нами также положительная связь средней степени между содержанием кадмия в почвенном покрове и уровнем рН в снеге ($r=+0,36$), что подтверждает закономерность: в зонах техногенного загрязнения снежного и почвенного покрова будут наблюдаться высокое содержание ряда тяжелых металлов и щелочная реакция среды.

Следует отметить, что получены более высокие корреляционные значения, в частности по минерализации, что свидетельствовало о высоком уровне техногенной нагрузки.

Таким образом, по результатам анализа выявлены следующие закономерности:

- отмечены связи между высоким уровнем минерализации в снежном покрове и высоким содержанием ряда поллютантов в почвенном покрове (Cr, Ni, Cu, Zn, Sr, Zr, Ba), что свидетельствует об интенсивности техногенного воздействия на городскую среду;

- характер загрязнения в разных ФЗ города снежного и почвенного покрова будет схожим: для промышленной зоны характерен высокий уровень рН, щелочная реакция среды в снеге и почве, а также высокие концентрации в почвенном покрове тяжелых металлов (Cr, Ni, Cu, Zn);

- установлены связи между повышенным содержанием взвешенных веществ в снежном покрове и повышенным содержанием нефтепродуктов в почвах, пониженным содержанием гумуса в почве и высокими значениями хлоридов и азотистых соединений в снеге;

- загрязнение снежного покрова способствует проникновению поллютантов в почвенный покров и усиливает его загрязнение, что подтверждено достоверными положительными коэффициентами корреляции между показателями в системе «почвенный покров - снежный покров».

4.1.3. Анализ системы «почвенный покров – уличный смет»

Составляющей частью уличного смета является дорожная пыль, содержащая большое количество опасных поллютантов, которые могут оказывать влияние на состояние городской биоты и здоровье населения. В настоящее время не существует нормирования уличного смета. Кроме того уровни содержания ЗВ постоянно меняются. Поэтому важно проанализировать взаимосвязи в системе «почвенный покров – уличный смет». Данный анализ позволит вы-

явить определенные закономерности между ЗВ в уличном смете и почвенном покрове.

Так, нами отмечена заметная связь между уровнем рН в уличном смете и почвенном покрове. Чем выше уровень рН в почвенном покрове, тем выше он и в уличном смете (таблица 4.3).

Таблица 4.3

Корреляционные связи между показателями в системе
«почвенный покров - уличный смет»

Показатели сметы/почвы	Коэффициенты корреляции								
	Нефте-продукты	рН	Zn (н.ф.)	Pb (н.ф.)	Cd (н.ф.)	Cu (н.ф.)	Токсичность	ФЭ овес	ФЭ кресс-салат
рН	-	0,45	-	-	-	-	-	-0,37	-0,30
Zn (н.ф.)	-	-	-	0,47	0,76	-	0,73	-	-0,38
Pb (н.ф.)	-0,34	-	-	0,86	-	-	0,36	-	-0,47
Cd (н.ф.)	-	-0,35	-	-	0,94	-	0,66	-	-
Cu (н.ф.)	-	0,30	-	-	-	0,36	-0,32	-0,69	-0,54
Токсичность	-	-	-	0,55	-	-	0,31	0,36	-
Cr (% вал)	-	0,32	-	-	-	-	-	0,44	-
Ni (% вал)	-	0,42	-	-	-	-	-	0,36	-
Cu (% вал)	-	0,46	-	0,43	-0,32	-	-	-	-
Zn (% вал)	-	0,49	-	0,64	-0,35	-	-	-	-0,39
As (% вал)	0,51	-0,54	0,56	-	-	-0,30	-	-	-
Mo (% вал)	0,62	-0,32	0,53	-	-	-	-	-	-
Ba(% вал)	-	0,75	-0,40	-	-0,68	-	-0,49	-	-

На реакцию среды в уличном смете может влиять содержание тяжелых металлов в почвенном покрове, что подтверждено положительными корреляционными связями: Cu ($r=+0,46$), Cr ($r=+0,32$), Ni ($r=+0,42$), Zn ($r=+0,49$), Ba ($r=+0,75$). Чем выше концентрация этих металлов в верхних горизонтах почвенного покрова, тем выше уровень рН и более щелочная реакция среды. Снова отмечается высокая индикаторная роль кислотности почвенного покрова и уличного смета, которая возрастает в промышленно-транспортных зонах относительно жилых зон и зон рекреации.

Заслуживает внимания средней степени связь между рядом тяжелых металлов в уличном смете и почвенном покрове. Так, нами отмечена положительная связь между содержанием подвижной формы свинца в уличном смете и подвижных форм свинца и цинка в почвенном покрове города, а также присутствием в почве меди.

На высокий уровень токсичности в почве влияют высокие концентрации подвижной формы свинца в уличном смете, что подтверждено достаточно сильной связью ($r=+0,55$).

Уровень фитотоксичности в уличном смете ниже там, где небольшое содержание в почвенном покрове Cr, Ni и Cu.

Сильная связь наблюдается между содержанием подвижной формы кадмия в уличном смете и такой же формы в почвенном покрове. Коэффициент корреляции положительный и равен $r=+0,94$. Можно заключить, что высокое загрязнение уличного смета кадмием способствуют загрязнению почвенного покрова, т.к. многие поллютанты переносятся с дороги на почвенный покров и оседают в верхних горизонтах. Положительные связи также отмечены между подвижными формами меди, свинца в почвенном покрове и уличном смете.

Стоит отметить, что частицы почвенного покрова могут переноситься обратно на дорогу, в дальнейшем образуя опасные соединения от выбросов автотранспорта, т.к. концентрация тяжелых металлов в дорожной пыли в несколько раз превосходит концентрацию в почвенном покрове. Так, среднее содержание свинца в почвенном покрове составляет 10,8 мг/кг, цинка – 25,8 мг/кг, а в уличном смете среднее содержание свинца – 43 мг/кг, цинка – 123 мг/кг. Такие повышенные концентрации тяжелых металлов только усиливают загрязнение почвенного покрова и способствуют появлению различных заболеваний среди населения. Особенно это характерно для заболеваний органов дыхания с аллергическим компонентом, поскольку в современном мире уровень заболеваний с аллергическим компонентом постепенно увеличивается.

В настоящее время в городе Воронеже получили распространение «пылевые бури», в результате которых уличный смет, содержащий значительное количество опасных соединений, поднимается вверх и оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Поэтому очень важно уделять внимание мониторингу уличного смета и пыли по содержанию тяжелых металлов и ряду других веществ, а также изучению взаимосвязей накопления ЗВ в уличном смете и почвенном покрове.

4.2. Применение методов кластерного анализа в оценке состояния почвенного покрова

Кластерный анализ – один из методов многомерной статистики, успешно применяемый в эколого-геохимических исследованиях. Применение кластерного анализа позволило осуществить классификацию функциональных зон и районов города по комплексу экогеохимических показателей. Он является удобным инструментом в эколого-географических исследованиях, т.к. не накладывает ограничений на вид

рассматриваемых объектов и позволяет рассматривать множество разных данных, делая их при этом компактными и наглядными.

Нами было применено несколько методов кластерного анализа в системе STATISTICA для более достоверной классификации функционально-планировочных зон и административных районов города по характеру загрязнения среды и ответным реакциям тест-растений.

В частности, нами применен метод Joining (tree clustering) - объединение (древовидная кластеризация), а также несколько методов сходства для определения оптимального - Single Linkage (алгоритм одиночной связи "принцип ближайшего соседа"), Complete Linkage (алгоритм полной связи "принцип дальнего соседа"), Weighted pair-group average (взвешенное попарное среднее), Ward's method (Метод Варда). Наиболее адекватным оказался «метод Варда». Он отличается от всех остальных методов анализа, т.к. применяет методы дисперсионного анализа для оценки расстояний между кластерами. Недостатком метода Варда является стремление создавать кластеры небольшого размера.

Метод «ближайшего соседа», метод полной связи и взвешенное попарное среднее также могут быть применимы для кластерного анализа подобного рода исследований.

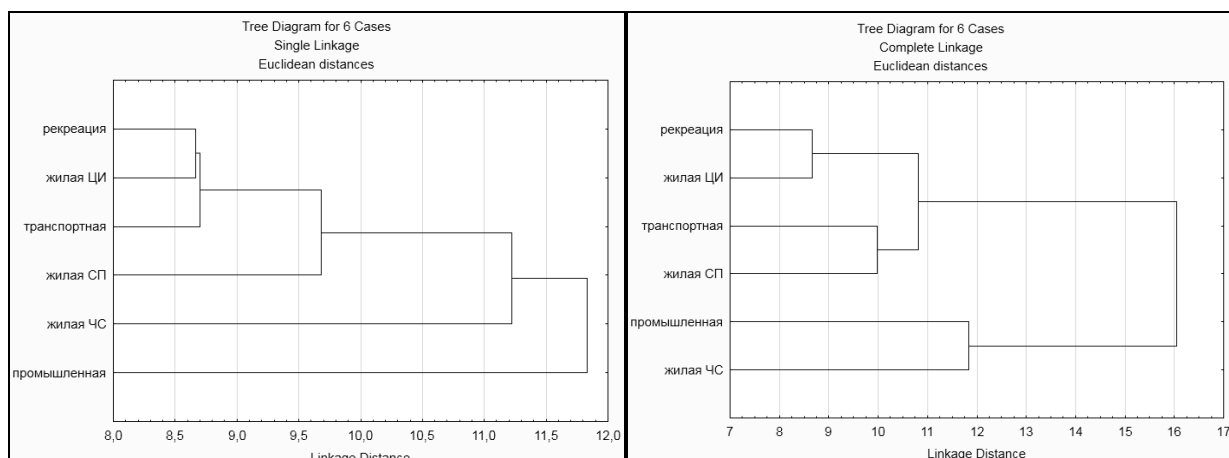
Кластерный анализ функционально-планировочных зон города проведен с учетом 78 показателей состояния почвенного покрова.

Данные кластерного анализа с применением различных методов показаны на рисунке 4.1. По результатам кластерного анализа с применением метода Варда было образовано несколько кластеров, объединяющих ФЗ города:

- 1) кластер - зона рекреации и жилая зона центрально-исторической части города - наиболее экологически комфортные, зоны слабого загрязнения;
- 2) кластер - транспортная зона и жилая зона современной многоэтажной застройки - территории умеренного, но опасного загрязнения;
- 3) кластер - промышленная зона и частный сектор жилой зоны - наиболее техногенно загрязненные.

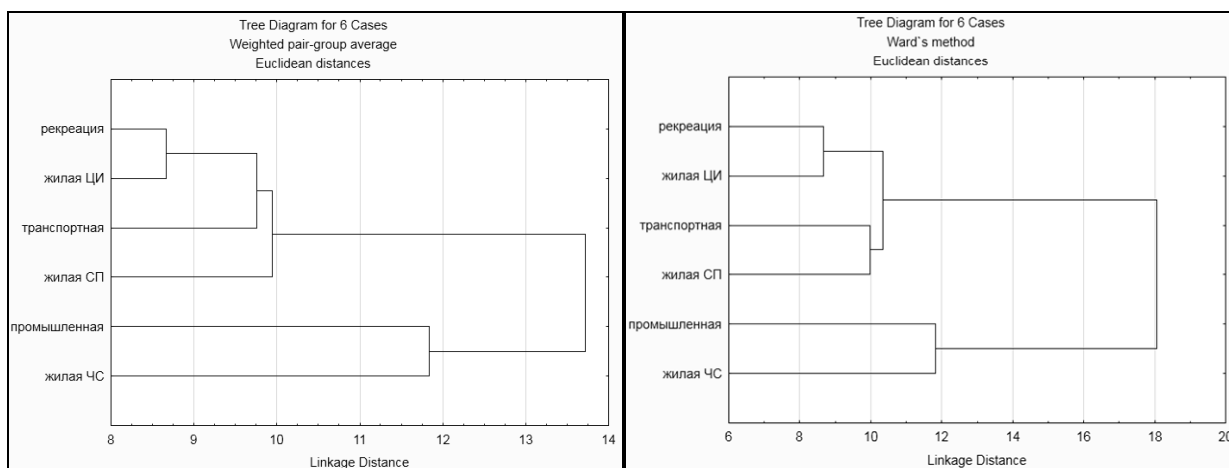
Жилая зона центрально-исторической части города по целому ряду показателей оказалась наиболее комфортной для проживания, хотя результаты биотестирования показывают повышенные уровни фитотоксичности в некоторых точках. Благоприятная ситуация в данной зоне обусловлена повышенным уровнем внимания городских властей к территории, постоянным контролем и улучшением почвенного покрова (пополнение поверхностного слоя почвы черноземом, рекультивационные работы, озеленение). Частный сектор в городе располагается в основном в

зонах, подверженных влиянию промышленности и автотранспорта. Также на его территории, начиная с послевоенного времени, существовало большое количество несанкционированных свалок, что также сказывается на загрязнении почвенного покрова.



а) алгоритм одиночной связи

б) алгоритм полной связи



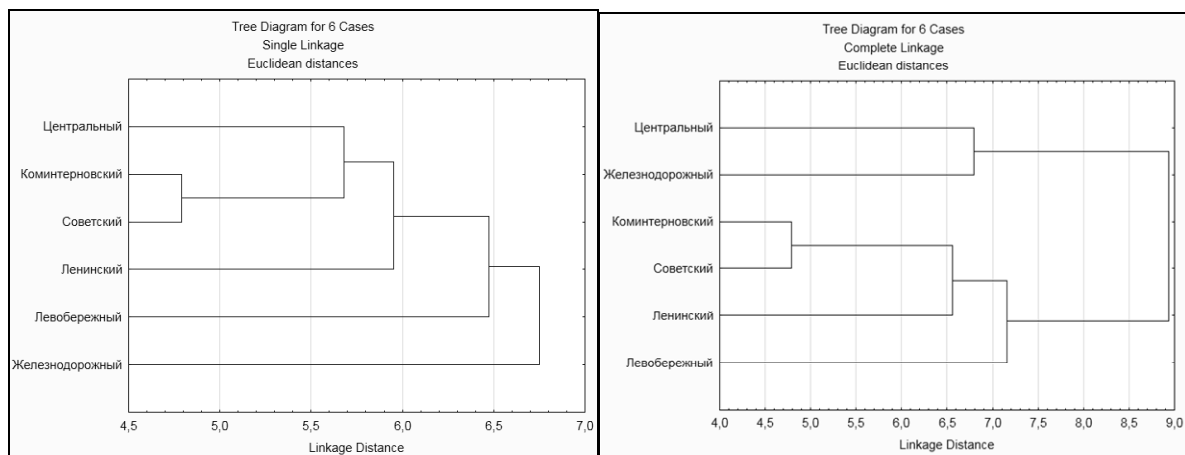
в) взвешенное попарное среднее

г) метод Варда

Рис. 4.1. Кластерная дендрограмма сходства функционально-планировочных зон по критериям состояния почвенного покрова. Linkage Distance - дистанционный коэффициент, характеризующий среднее внутрикластерное расстояние

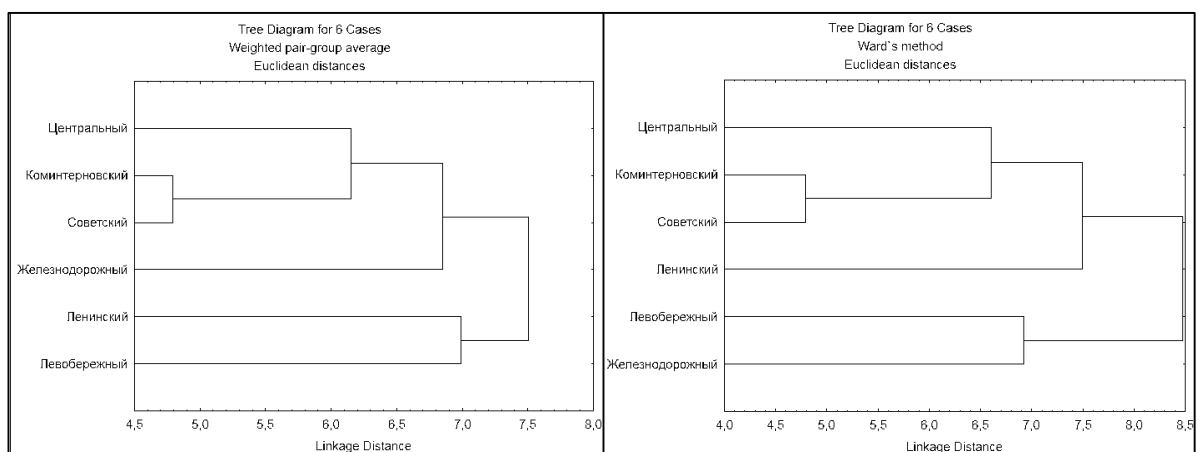
Результаты кластерного анализа районов города позволили выявить некоторое сходство среди внутригородских районов по результатам мониторинга (рисунок 4.2.).

Применение кластерного анализа позволило не только классифицировать районы и ФЗ города, но и позволило классифицировать показатели состояния почвенного покрова по сходству количественных значений. Результаты классификаций показаны на дендрограммах сходства (рисунок 4.3).



а) алгоритм одиночной связи

б) алгоритм полной связи



в) взвешенное попарное среднее

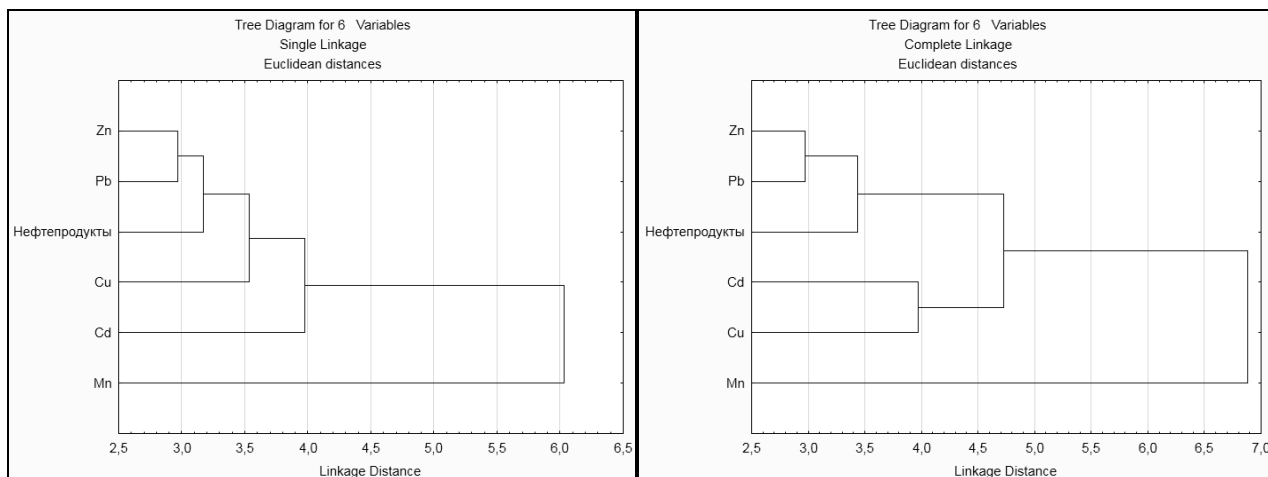
г) метод Варда

Рис. 4.2. Кластерная дендрограмма сходства внутригородских районов по критериям состояния почвенного покрова

Результаты кластерного анализа ряда подвижных форм тяжелых металлов и нефтепродуктов в почве по данным почвенного мониторинга позволили объединить некоторые ЗВ в отдельные кластеры и выделить ассоциации:

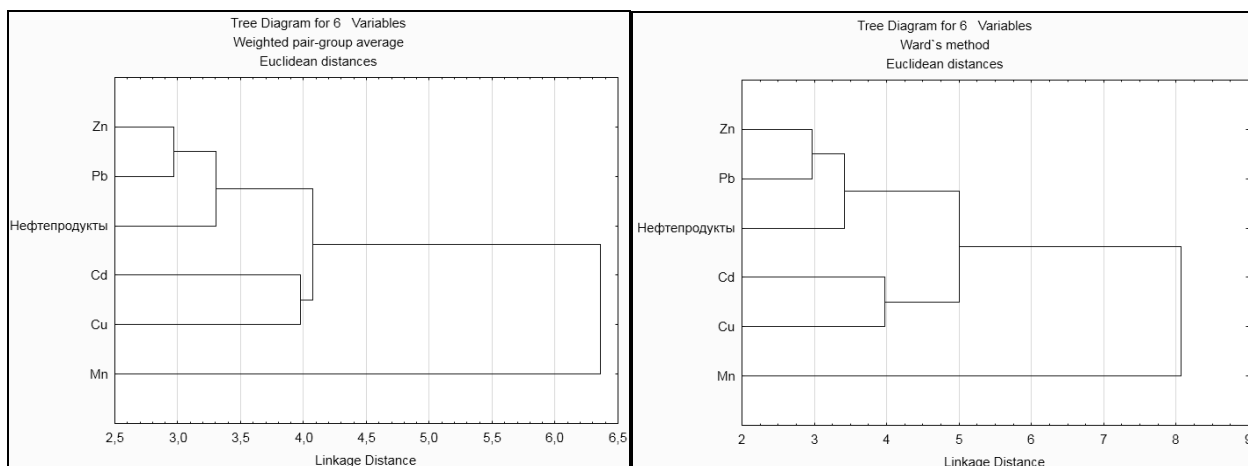
- Zn и Pb – отмечается однотипность аккумуляции: при высоком содержании цинка будет отмечено высокое содержание свинца;
- Zn, Pb и нефтепродукты - при высоком уровне загрязнения нефтепродуктами будут выявлены высокие концентрации цинка и свинца в почве;
- Cd и Cu – выявлена однотипность накопления: загрязнению может способствовать одинаковые источники загрязнения.

Результаты классификаций более обширных показателей в разные годы исследований показаны на дендрограммах сходства (рисунки 4.4 и 4.5).



а) алгоритм одиночной связи

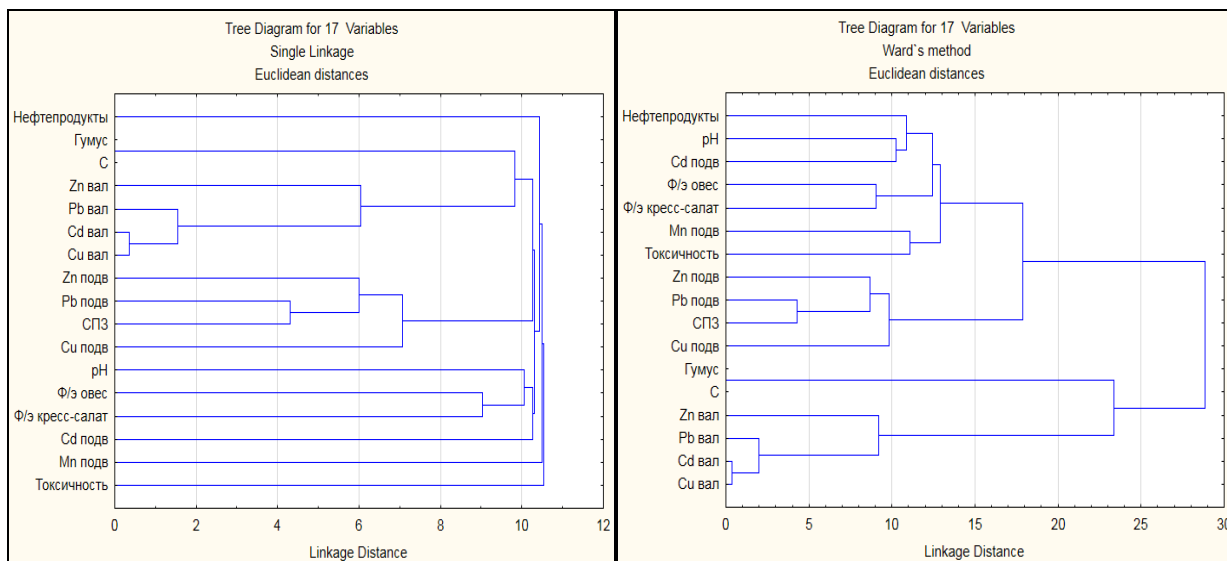
б) алгоритм полной связи



в) взвешенное попарное среднее

г) метод Варда

Рис.4.3. Кластерная дендрограмма сходства тяжелых металлов и нефтепродуктов в ПП. Linkage Distance - дистанционный коэффициент, характеризующий среднее внутрикластерное расстояние



а) алгоритм одиночной связи

б) метод Варда

Рис.4.4. Кластерная дендрограмма сходства показателей ПП за 2014 год. Linkage Distance - дистанционный коэффициент, характеризующий среднее внутрикластерное расстояние

Уровень СПЗ зависит от содержания свинца, цинка и меди в почве, поскольку именно эти элементы являются приоритетными ЗВ в почвенном покрове города. На уровень токсичности почвенного покрова может оказывать влияние содержание марганца. Марганец – необходимый питательный компонент многих растений. На высокий уровень фитотоксичности может оказывать влияние высокое содержание подвижной формы кадмия, нефтепродуктов и более щелочная реакция среды. Высокое содержание гумуса и органического углерода может провоцировать накопление валовых форм тяжелых металлов (Zn, Cd, Cu, Pb).

Результаты классификаций за 2015 год показаны на дендрограммах сходства на рисунке 4.5.

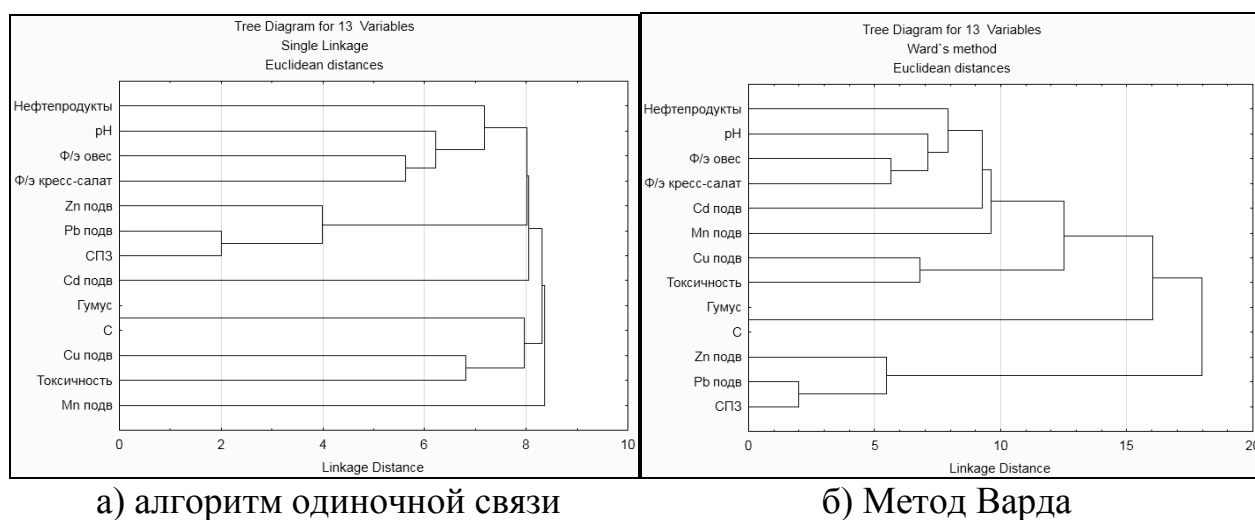


Рис.4.5. Кластерная дендрограмма сходства показателей ПП за 2015 год. Linkage Distance - дистанционный коэффициент, характеризующий среднее внутрикластерное расстояние

Некоторые общие черты по ряду показателей, отмеченных в 2014 году, были отмечены и в 2015 году. Так, на показатель фитотоксичности почвенного покрова оказывает влияние высокая концентрация подвижной формы кадмия, нефтепродуктов и щелочная реакция среды. Причем на уровень токсичности может оказывать влияние не только марганец, но и присутствие меди в почве.

Результаты кластерного анализа химических элементов за 2014 и 2015 год в почве показаны на рис. 4.6.

Определенные кластеры были образованы по результатам применения метода Варда к показателям валового химического состава почв за 2014 и 2015 годы. Так, в 2014 году отмечено несколько кластеров: Br и Ba; Zn и Cr; Zn, Cr, Pb и Ni; Nb и Zr; Ga и V. Стоит отметить, что выявленные ассоциации характеризуются однотипностью аккумуляции.

В 2015 году были образованы несколько другие кластеры: Ga и V, La и Nb, Pb и Zn, Zr и Rb. Общие тенденции были сохранены: выявленные ассоциации отмечены однотипностью накопления.

При высоком содержании Pb, Zn, Cu отмечается и высокая концентрация Ni. Определенные связи наблюдаются между накоплением La, Nb и Cr в почве, а также Zr и Rb.

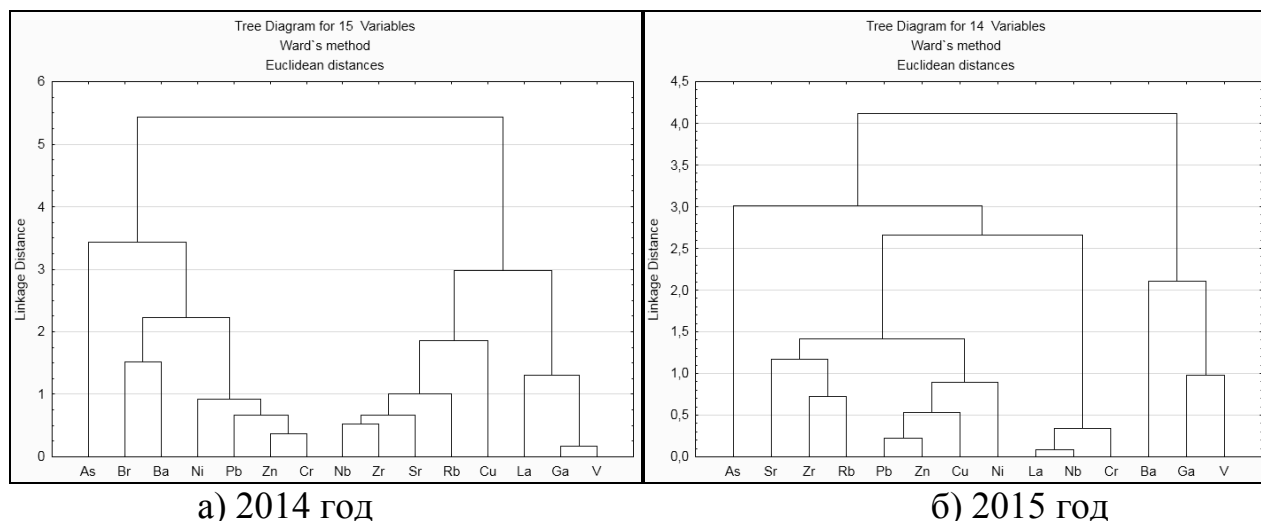


Рис.4.6. Кластерная дендрограмма сходства показателей валового химического состава ПП методом Варда. Linkage Distance – дистанционный коэффициент, характеризующий среднее внутрикластерное расстояние

На рисунке 4.7. показана таблица результатов со схемой объединения кластерного анализа по данным 2015 года. Первый столбец таблицы содержит расстояния для соответствующих кластеров. Каждая строка отражает состав кластера на данном этапе классификации.

Amalgamation Schedule (Spreadsheet11)														
Ward's method														
Euclidean distances														
linkage distance	Obj. No. 1	Obj. No. 2	Obj. No. 3	Obj. No. 4	Obj. No. 5	Obj. No. 6	Obj. No. 7	Obj. No. 8	Obj. No. 9	Obj. No. 10	Obj. No. 11	Obj. No. 12	Obj. No. 13	Obj. No. 14
,0868458	Nb	La												
,2214429	Zn	Pb												
,3420394	Cr	Nb	La											
,5337251	Cu	Zn	Pb											
,7227164	Rb	Zr												
,8975667	Ni	Cu	Zn	Pb										
,9754304	V	Ga												
1,167309	Rb	Zr	Sr											
1,417055	Ni	Cu	Zn	Pb	Rb	Zr	Sr							
2,108414	V	Ga	Ba											
2,659477	Cr	Nb	La	Ni	Cu	Zn	Pb	Rb	Zr	Sr				
3,009480	Cr	Nb	La	Ni	Cu	Zn	Pb	Rb	Zr	Sr	As			
4,116656	V	Ga	Ba	Cr	Nb	La	Ni	Cu	Zn	Pb	Rb	Zr	Sr	As

Рис. 4.7. Схема объединения результатов кластерного анализа (2015г.)

Таким образом, кластерный анализ концентраций загрязняющих веществ в почвенном покрове позволил выделить ассоциации химических элементов, поступающих из общих источников, а также провести классификацию внутригородских районов и функционально-планировочных зон по характеру загрязнения почвенного покрова.

4.3. Интегральная оценка состояния почвенного покрова города

Общую характеристику состояния почвенного покрова можно провести с помощью интегральной оценки качества почвенного покрова с использованием суммарного показателя загрязнения Z_c (СПЗ) и суммарного показателя токсичного загрязнения СПТЗ, учитывающего класс опасности загрязняющих веществ. Завершающим этапом интегральной оценки почвенного покрова было создание карт, отражающих градиентные различия СПТЗ и Z_c . Построенная карта (рисунк 4.9.) иллюстрирует территориальные различия, достигающие примерно 10-х кратного уровня по различиям СПТЗ в благополучных «спальных» микрорайонах, зонах рекреации с промышленными и транспортными зонами города. Метод IDW-интерполяции достаточно объективно характеризует общую экологическую обстановку почв города.

Данные по интегральной оценке показаны в таблице 4.4. Приоритетными загрязнителями, по которым проводили расчет Z_c и СПТЗ, являлись цинк, свинец. Расчет проводили по подвижным формам тяжелых металлов.

По исследованиям 1 пункт мониторинга по показателю СПТЗ – точка №15 (ул. Куйбышева – ул. Панфилова), находящийся в транспортной зоне города Воронежа, относится к категории «чрезвычайно опасный уровень загрязнения» и представляет угрозу для городских жителей и биоты. Опасный уровень отмечен в ряде точек по показателю СПТЗ: № 14 (ул. Богдана Хмельницкого, 35), № 47 (ул. Саврасова – ул. Заслонова), №50 (ул. Волгоградская, 48), № 65 (ул. 9 Января, 180). Допустимые уровни загрязнения отмечены в остальных точках города, минимальный уровень суммарного загрязнения отмечен в рекреационных зонах города.

Средний СПТЗ по городу составил 34, что соответствует опасному уровню загрязнения по данному показателю. Показатель СПТЗ рекомендуется в качестве приоритетного критерия оценки опасности загрязнения почв, т.к. учитывает класс опасности веществ. Для города Воронежа показатель СПТЗ был рассчитан по подвижным фор-

мам 2 тяжелых металлов I класса опасности. Средний уровень Z_c составил 10,43, что свидетельствует о допустимом уровне загрязнения: интегральный показатель не превышает 16 единиц.

Таблица 4.4

СПТЗ и Z_c почвенного покрова по подвижным формам ТМ

№ пробы	Z_c	СПТЗ	№ пробы	Z_c	СПТЗ	№ пробы	Z_c	СПТЗ
1	45	68	34	6	9	67	110	165
2	2	4	35	10	16	68	11	17
3	7	10	36	4	7	69	46	69
4	2	3	37	2	4	70	1	1
5	1	1	38	6	9	71	1	1
6	51	76	39	17	26	72	5	7
7	9	14	40	90	136	73	1	1
8	1	2	41	97	146	74	1	1
9	2	4	42	4	7	75	45	68
10	25	38	43	1	1	76	0	1
11	2	4	44	22	34	77	1	1
12	3	5	45	30	46	78	0	1
13	4	6	46	37	56	79	1	1
14	111	166	47	113	170	80	1	2
15	173	261	48	1	2	81	0	1
16	16	25	49	38	57	82	1	1
17	1	1	50	198	298	83	21	31
18	2	3	51	01	1	84	77	116
19	1	2	52	55	83	85	1	1
20	11	17	53	4	7	86	37	56
21	13	21	54	5	8	87	27	41
22	17	26	55	1	2	88	3	5
23	40	61	56	3	5	89	0	1
24	6	9	57	28	42	90	2	4
25	4	7	58	19	29	91	8	12
26	6	9	59	0	1	92	50	76
27	18	27	60	6	9	93	7	11
28	9	14	61	1	1	94	6	9
29	117	176	62	21	32	95	0	0
30	15	24	63	37	56	96	11	17
31	2	3	64	36	55	102	0	1
32	6	9	65	125	187	103	1	2
33	1	2	66	1	1			

Данные по уровням СПТЗ и Z_c в разных функциональных зонах города показаны на рисунке 4.8.

Как видно, по уровню СПТЗ наиболее неблагополучными зонами являются транспортная и промышленная зоны. В ряде участков этих зон были отмечены опасные и чрезвычайно опасные уровни загрязнения, представляющие угрозу для городской биоты и здоровья населения.

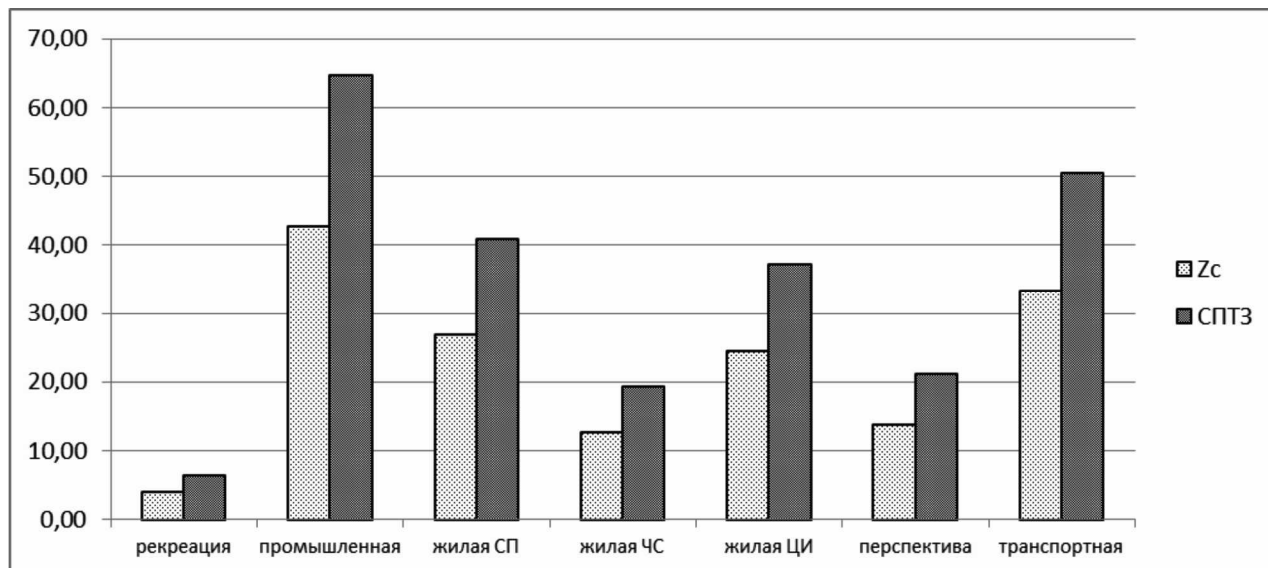


Рис. 4.8. Уровни СПТЗ и Z_c в разных функциональных зонах города

Повышенному уровню загрязнения в 2014-2018 гг. в жилой зоне современной многоэтажной постройки и центрально-исторической части города способствует высокая плотность застройки, интенсивность движения автотранспорта и использование прилегающих территорий к зданиям в качестве парковочных мест для автомобилей. Показатели состояния почвенного покрова по ФЗ города показаны в приложении 3. По загрязнению почвенного покрова ФЗ города образуют следующий ряд: рекреация < жилая ЧС < перспектива < жилая ЦИ < жилая СП < промышленная < транспортная зона.

По результатам мониторинга выявлены несколько «очагов», в которых СПТЗ превышает допустимый уровень. «Очаг» на правом берегу располагается в зоне сосредоточения промышленных объектов в Коминтерновском районе (ТЭЦ-2, завод «ТяжМехПресс», бывший завод им. Коминтерна, выпускавший шагающие экскаваторы, а также ряд более мелких производств).

Крупный «очаг загрязнения» также отмечен в микрорайоне Отрожка (север левобережной части города). На данной территории исторически располагались крупные предприятия, связанные с обслуживанием и ремонтом железнодорожного транспорта. Кроме того там находятся железнодорожная развязка, железнодорожный мост и оживленный участок трассы М-4. В частном секторе Отрожки рас-

пространены несанкционированные свалки, в том числе опасных бытовых и промышленных отходов.

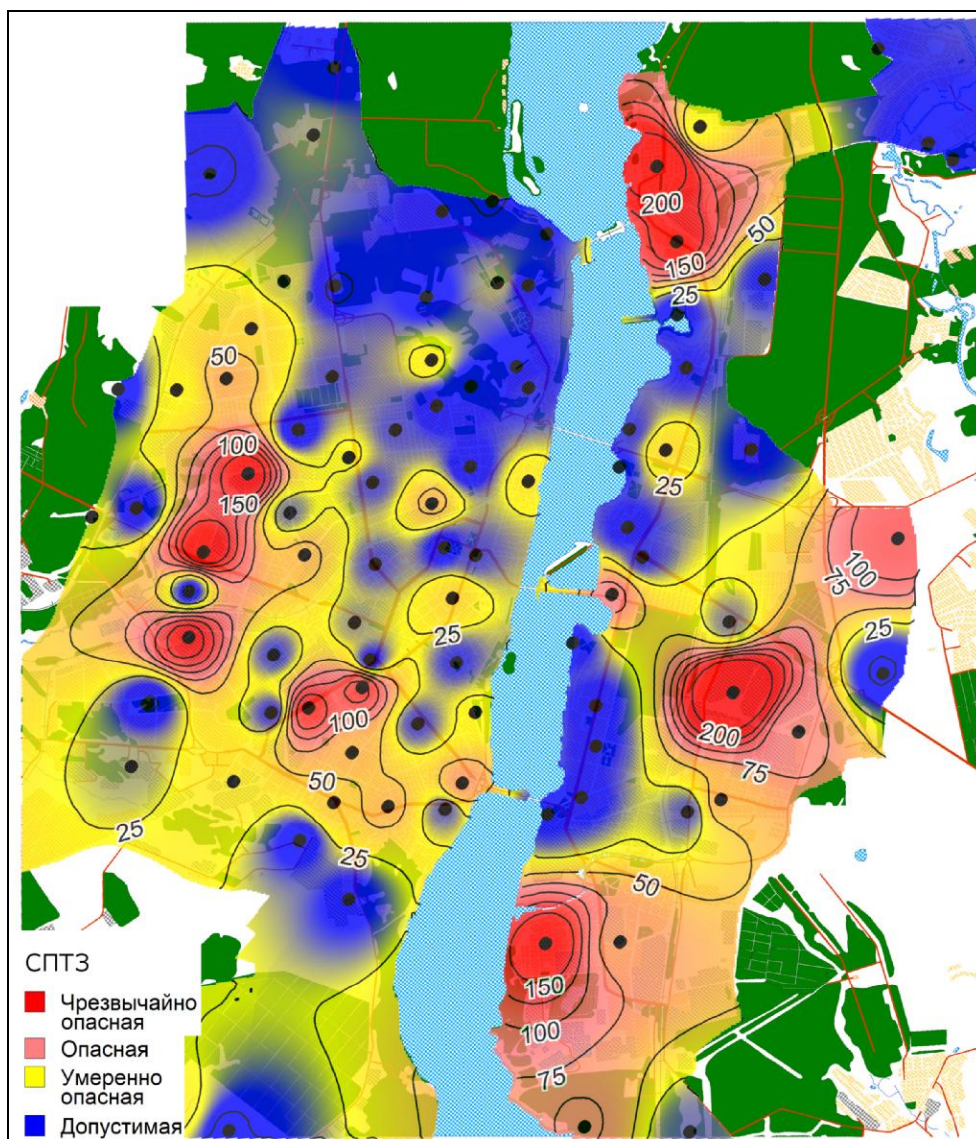


Рис. 4.9. Суммарный показатель токсичного загрязнения по подвижным формам тяжелых металлов почвенного покрова

Высокий уровень СПТЗ зафиксирован в районе влияния цехов авиастроительного завода, функционирующего с 30-х годов XX века. Также в этом районе наблюдается интенсивное движение грузового автотранспорта.

Опасный уровень СПТЗ наблюдается и в южной части левого берега водохранилища, в зоне влияния ТЭЦ-1 и заводов «Воронеж-синтезкаучук», «Рудгормаш».

Современные ПДК, применяемые к почвенному покрову, не совсем применимы для урбаноземов городской среды. Целесообразно рассмотреть интегральную оценку почвенного покрова с использованием коэффициента Z_c по подвижным формам ТМ (цинк, свинец).

Данные интегральной оценки загрязнения почвенного покрова по Z_c имеют общие черты с данными интегральной оценки по СПТЗ почв города. Так, наиболее опасный уровень загрязнения был отмечен в транспортных зонах города с интенсивным потоком автомобилей (рисунок 4.10.). Превышение над фоновым значением было в 50-100 раз. Высокие уровни коэффициента загрязнения отмечены и в промышленной зоне города.

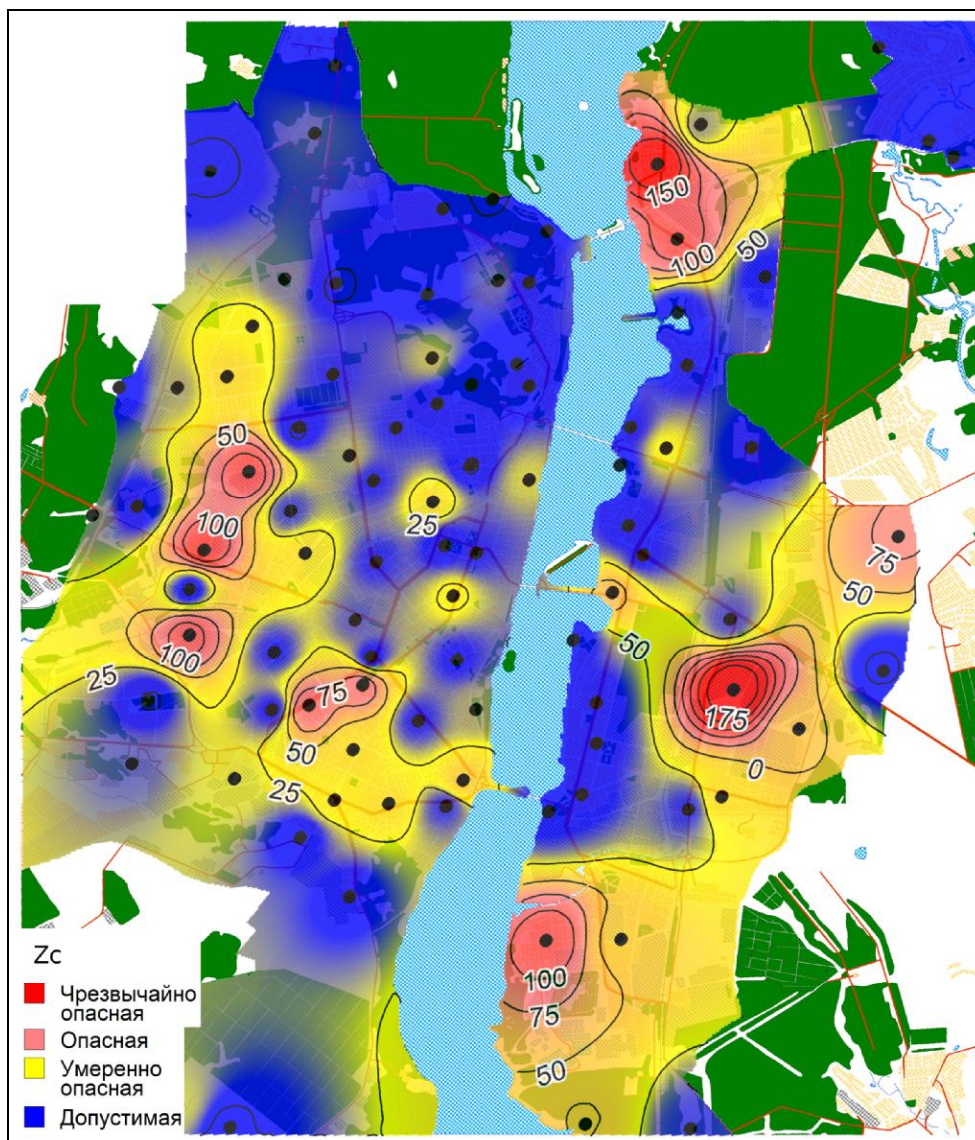


Рис. 4.10. Интегральная оценка загрязнения почвенного покрова по коэффициенту Z_c по подвижным формам ТМ

По уровню коэффициента Z_c ПП Воронежа подвержен «высокому» и «очень высокому» уровню загрязнения. Городские почвы сильно преобразованы, даже в лесопарковых зонах наблюдается преобразование ПП. Кроме того нами рассчитан показатель Z_c по валовому содержанию поллютантов в почве города, для расчета взяли элементы с $K_c > 1,5$. Данный показатель был рассчитан для 6 загрязняющих ве-

ществ: никеля, галлия, рубидия, циркония, ниобия и свинца. Z_c по валовому содержанию поллютантов в почве города составил 37, что соответствует опасной категории загрязнения почвенного покрова.

Для более точной оценки состояния почвенного покрова целесообразно рассмотреть загрязнение почвенного покрова не только по функционально-планировочным зонам, но и по внутригородским районам, показанным на рисунке 4.11.

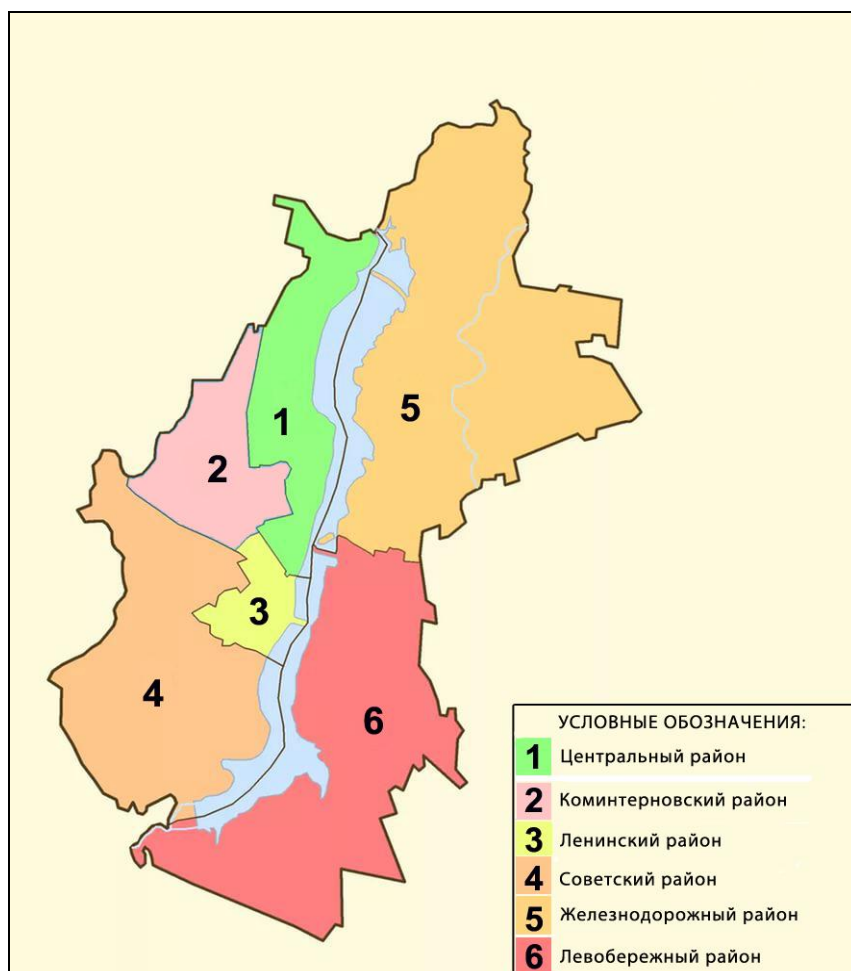


Рис. 4.11. Внутригородские районы города Воронежа (по возрастанию показателя Z_c ; см. табл. 4.5)

Наиболее высокое загрязнение почвенного покрова нефтепродуктами отмечается в Ленинском и Левобережном районах города Воронежа. Это индустриально-развитые районы с интенсивным грузопотоком по магистралям города. Наиболее низкое содержание нефтепродуктов отмечено в Центральном районе города, именно в этом районе было большое количество точек отбора в зоне рекреации, что способствовало высокому значению органического углерода в почвенном покрове и более низкому показателю актуальной кислотности.

Почвы, близкие к щелочным, распространены в Ленинском и Левобережном районах города, что определяется характером техно-

генной и антропогенной нагрузок. Эта особенность присуща почвам промышленных и транспортных зон города. Именно в этих районах в поверхностном слое ПП идет накопление Zn других поллютантов.

Наибольшее содержание подвижной формы Zn было отмечено в 2014 году в Коминтерновском районе (59,82 мг/кг), далее следовали Левобережный (49,03 мг/кг), Ленинский (48,6 мг/кг) и Советский (46,17 мг/кг). В 2015 году наибольшее содержание Zn отмечено уже в Ленинском районе (21,68 мг/кг), далее следовали Левобережный (18,84 мг/кг) и Железнодорожный (14,52 мг/кг) районы.

Высокое содержание подвижной формы Pb в 2014-2018 гг. отмечено в Левобережном (22,97-15,09 мг/кг) и Железнодорожном (22,14-10,68 мг/кг) районах города. Минимальные уровни содержания отмечены в Центральном районе города.

Высокое загрязнение медью отмечено в Левобережном районе города. Минимальные уровни содержания Cu и Cd отмечены в Центральном районе города.

В Ленинском районе города на протяжении всего периода исследований наблюдался высокий уровень фитотоксичности для всех исследуемых тест-культур. Для территории Советского района также характерен высокий уровень фитотоксичности, что свидетельствует о загрязнении почвенного покрова и возможном негативном влиянии на зеленые насаждения, а также на здоровье населения. В Коминтерновском районе города отмечался средний и высокий уровень фитотоксического эффекта. Для данного района характерны высокие темпы строительства, а применение методов биотестирования может спрогнозировать возможные нарушения.

Таким образом, по состоянию почвенного покрова и по показателю СПТЗ районы города можно расположить в следующий ряд: Центральный < Коминтерновский < Советский < Ленинский < Железнодорожный < Левобережный, а по показателю Zс районы города располагаются в следующем ряду: Левобережный > Железнодорожный > Советский = Ленинский > Коминтерновский > Центральный. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что высокий уровень загрязнения почвенного покрова характерен для территории левого берега водохранилища в пределах города Воронежа, где располагаются основные промышленные предприятия города и интенсивные городские магистрали с «автомобильными пробками» в часы пик. Левобережный и Железнодорожный районы города наименее благополучные среди остальных районов города по состоянию почвенного покрова.

Таблица 4.5

Состояние почвенного покрова в районах города

Район го- рода	Показатель											
	Нефтепро- дукты		С, %		рН _{Н2О}		Zn, мг/кг		Pb, мг/кг		Cd, мг/кг	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Централь- ный	205,76	115,08	2,92	2,75	6,92	7,18	4,30	10,09	4,32	5,23	0,01	0,01
Коминтер- новский	446,48	112,38	1,92	2,73	7,41	7,43	59,82	5,21	10,58	6,60	0,01	0,01
Ленинский	634,50	171,04	2,51	2,80	7,61	7,40	48,60	21,68	16,63	7,37	0,10	0,02
Левобереж- ный	595,62	158,80	1,84	1,98	7,66	8,04	49,03	18,84	22,97	15,09	0,01	0,00
Железнодорож- ный	437,06	77,78	1,46	1,53	7,32	6,75	30,03	14,52	22,14	10,68	0,02	0,00
Советский	382,38	148,00	2,63	1,71	7,98	6,97	46,17	12,16	14,73	3,15	0,06	0,00
Район горо- да	Токсичность, %		Ф/э овес, %		Ф/э кресс- салат, %		Mn, мг/кг		Cu, мг/кг		Zc	СП ТЗ
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015		
Централь- ный	26,73	15,4	35,45	32,5	20,91	32,5	319,3	511,9	0,00	0,00	6	9
Коминтер- новский	24,44	37,7	38,33	47,1	25,00	52,9	301,9	406,1	0,04	0,01	23	35
Ленинский	12,05	26,9	51,25	50,0	17,50	47,8	174,4	250,2	0,06	1,31	25	39
Левобереж- ный	7,36	26,9	37,14	60,0	22,86	56,0	447,0	374,4	5,68	0,00	36	55
Железнодорож- ный	7,94	14,8	26,36	35,0	13,64	25,0	292,8	553,7	1,02	0,03	27	40
Советский	21,87	28,6	52,86	42,0	30,00	44,0	231,6	247,2	0,00	0,19	25	38

Минимальный уровень загрязнения отмечен в Центральном районе города, что свидетельствует о высоком уровне комфортности для населения и городской биоты. Но, к сожалению, этот район сейчас также интенсивно застраивается, что может привести к ухудшению экологической ситуации. В целом уровень загрязнения почвенного покрова г.Воронежа близок к «допустимому», однако, локально (в зонах интенсивной техногенной нагрузки) имеет «умеренно опасный» и «опасный» уровень загрязнения, требующий снижения экологического риска.

4.4. Сравнительный анализ загрязнения почвенного покрова городов

Загрязнение почвенного покрова города характерно не только для Воронежа. В качестве сравнения нами исследовано состояние почвенного покрова города Мюнхена в Баварии (Германия). Для

сравнительного анализа нами было отобрано несколько почвенных образцов в разных функциональных зонах немецкого г. Мюнхена в ходе специального экогеохимического обследования в 2016 г.

Мюнхен – крупный промышленный центр Германии. В городе проживает около 1,45 млн. жителей.

Для города характерен умеренный климат, с переходным от морского к континентальному. Зимы мягкие и малоснежные, в среднем температура января -1°C , но иногда могут наблюдаться сильные морозы из-за влияния антициклонов. В летний период много дождей, средняя температура воздуха $+18^{\circ}\text{C}$. Для города характерен неоднородный рельеф, что в определенной степени сближает его с Воронежем, преобладает холмистая поверхность. Почвенный покров также разнообразный, в достаточной мере нарушенный. Из всех видов почв преобладает бурозем, во многом уже нарушенный под влиянием техногенной нагрузки. Поэтому для города также характерно формирование урбаноземов – городских почв. В южной части располагаются покрытые лесом предгорья, а южнее начинаются Альпы.

Стоит отметить, что в Баварии почвенному мониторингу уделяется повышенное внимание. Еще в 1985 году на территории земли была создана сеть из 133 площадок для длительного мониторинга и охраны почв. Также на территории Германии создан Немецкий центр по наблюдению земли, состоящий из 16 филиалов, в том числе и в Мюнхене. В центре занимаются исследованием качества воздуха, почвенного и снежного покровов, водных объектов с использованием данных дистанционного зондирования.

Государственный контроль и мониторинг в Германии находится в компетенции Федерального ведомства по охране природы и Федеральной службы по охране окружающей среды. Кроме того функционируют Федеральные ведомства по картографии и геодезии, по радиационной безопасности, морского судоходства и гидрографии, по геонаукам и сырью. За мониторинг и контроль водных ресурсов отвечает Федеральный институт гидрологии.

В Мюнхене находится Баварское земельное министерство по охране окружающей среды и защиты потребителей. Оно занимается сохранением природы и управлением состоянием ландшафтов, контролем за загрязнением водных ресурсов, почвенного покрова и атмосферного воздуха, системой обращения с отходами и управлением переработкой отходов, контролем за уровнем шума и электромагнитного излучения, радиационной безопасностью и иными вопросами. В подчинении министерства находятся следующие учреждения:

Баварское агентство по охране окружающей среды, Баварское агентство по охране здоровья и безопасности продуктов питания, Академия сохранения природы и управления ландшафтами, Фонд сохранения природы и Лесной национальный парк.

В настоящее время из-за процесса урбанизации происходит нарушение целостности почвенного покрова, изменение его физико-химических свойств. Так, одной из распространённых проблем является подщелачивание почвенного покрова. Возникает подщелачивание из-за поступления карбонатной пыли, бикарбонатных атмосферных осадков и противогололёдных солей. Все это способствует ослаблению миграции ТМ и их накоплению в почве [124, 157].

Подщелачивание почвенного покрова характерно для многих крупных городов, не исключением являются Воронеж и Мюнхен.

Нами отмечены некоторые общие черты по данным актуальной кислотности в разных функциональных зонах городов. Так, для рекреационной зоны характерна более кислая реакция среды, что обусловлено слабым техногенным воздействием.

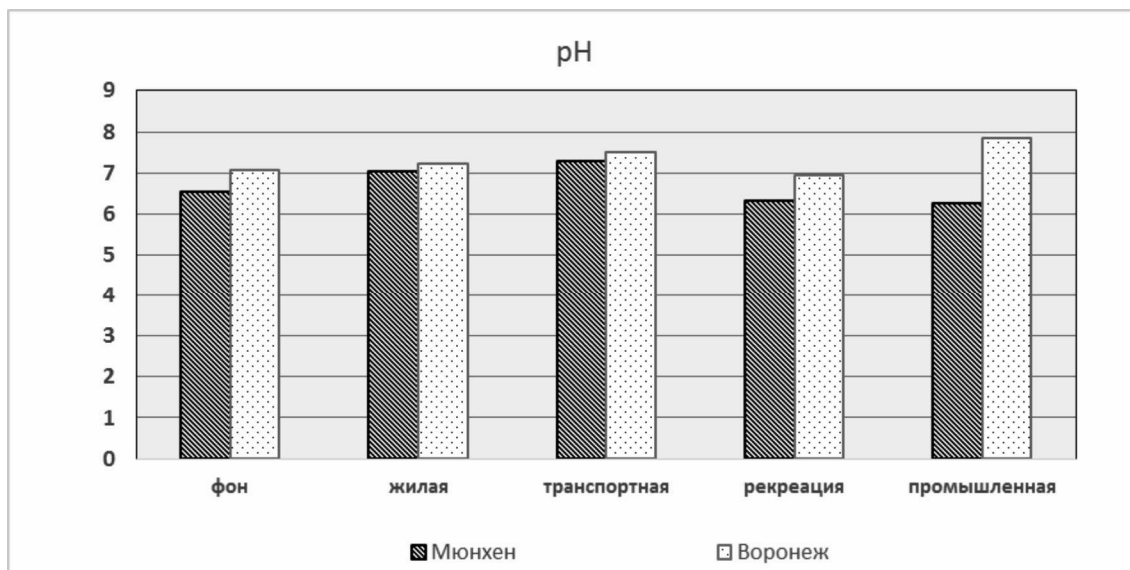


Рис. 4.12. Показатель pH почвенного покрова городов Мюнхен и Воронеж

В жилой и транспортной зонах наблюдается подщелачивание почвенного покрова, особенно это отчетливо прослеживается в транспортной зоне городов. Подщелачивание почвенного покрова происходит за счет внесения пыли с автомагистралей, а также из-за внесения на открытые поверхности противогололедных реагентов.

Различия по значениям актуальной кислотности наблюдаются в промышленной зоне городов. Скорее всего, это определяется более развитыми и практически экологически чистыми производствами в

городе Мюнхен. На ряде производств используются современные технологии очистки, замкнутые циклы водопользования, активно применяется переработка отходов, выбросы в окружающую среду не превышают установленных норм. Для Воронежа же, напротив, характерны менее развитые производства.

Ранее проведенные исследования по распределению pH в почвенном покрове Берлина, где подщелачивание исходно кислых лесных почв получило широкое распространение, подтверждают наши исследования [124, 157]. В России увеличение щелочности поверхностного горизонта почвы достигло 3-4 единиц pH.

Техногенное воздействие влияет и на увеличение содержания органического углерода и гумуса в поверхностных горизонтах почвенного покрова. Происходит это из-за загрязнения почв битумно-асфальтовыми смесями, битуминозными веществами, сажей, нефтью, нефтепродуктами, органическими взвешенными веществами и др. Поэтому для городских почв характерно накопление именно техногенного органического углерода, а не гумуса – показателя плодородия почв. Данная тенденция наблюдается и в городе Мюнхен, и в городе Воронеж.

Высокое содержание гумуса остается только лишь в некоторых точках зонах рекреации, фоновых точках городов, в зонах частного сектора жилой застройки, где почва обновляется за счет привозной почвы лучшего качества. Высокое содержание органического углерода наблюдается в большинстве точек промышленной зоны города Воронежа. Для города Мюнхен не характерно повышенное накопление органического углерода в промышленной и транспортных зонах, что свидетельствует о более «экологическом подходе» к городскому хозяйству.

Интересно рассмотреть существенные различия по уровню загрязнения нефтепродуктами почвенного покрова 2-х городов. Так, среднее содержание нефтепродуктов в транспортной зоне города Воронежа было в 6 раз больше, чем в городе Мюнхен.

Повышенное содержание также было отмечено в промышленной и жилой зонах города Воронежа, разница между значениями в Мюнхене составила 4 и 10 раз соответственно. В городе Мюнхен наблюдались более низкие показатели содержания нефтепродуктов в поверхностных горизонтах почв. Но сохранился одинаковый с Воронежем ряд по распределению ТМ в ФЗ города: фон < рекреация < жилая < промышленная < транспортная зона.

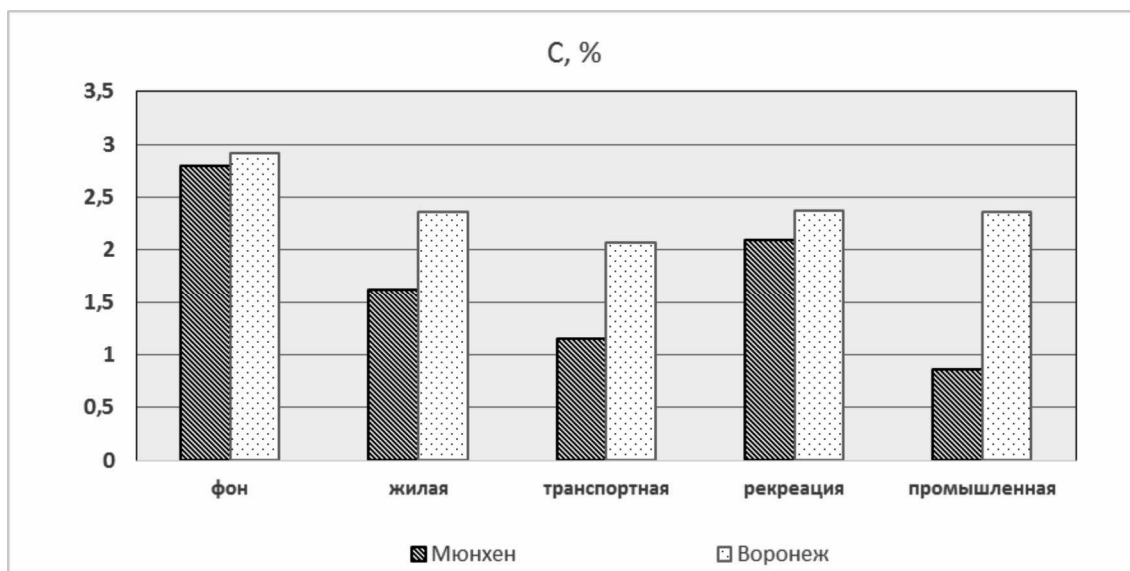


Рис. 4.13. Содержание органического углерода в почвах городов Мюнхен и Воронеж

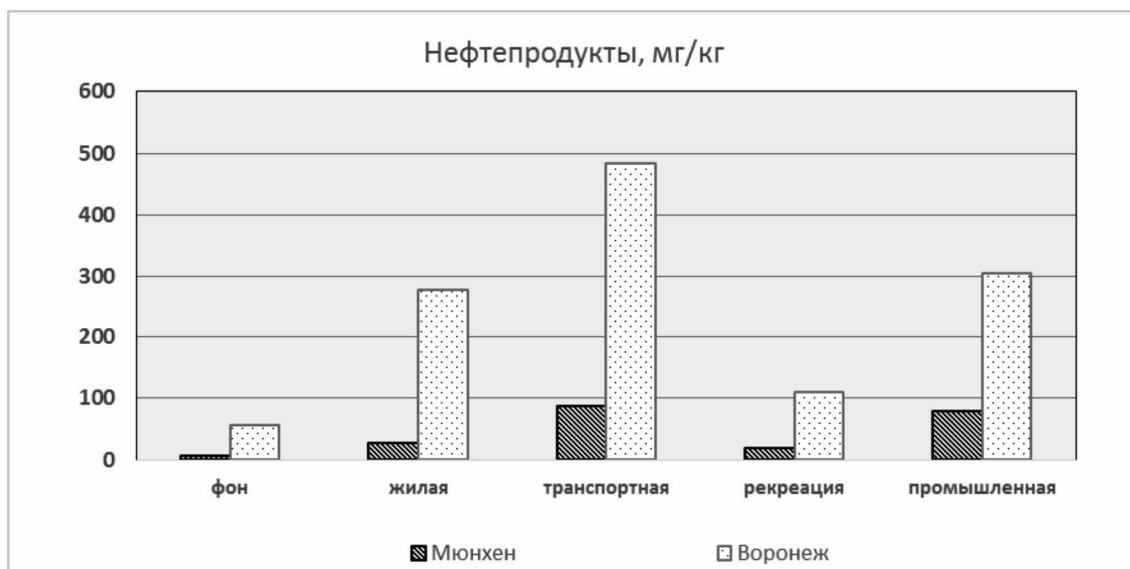


Рис. 4.14. Содержание нефтепродуктов в почвах городов Мюнхен и Воронеж

По своему составу техногенные выбросы в городах очень разнообразны. Оценка содержания тяжелых металлов в почвенном покрове городов показала, что в почвах накапливается Pb, Zn, Cu, Cd, Mn, Ni, Cr. Сравнительный анализ распределения ряда подвижных форм тяжелых металлов в поверхностных горизонтах почв разных функциональных зон городов показан на рисунке 4.15.

Выбросы от автотранспорта в городах Мюнхен и Воронеж способствуют загрязнению почв цинком и свинцом, а также кадмием. Стоит отметить, что высокое загрязнение цинком характерно больше для Воронежа, чем для Мюнхена. По распределению этого элемента в ФЗ Воронежа ряд складывается следующим образом: фон < рекреация < жилая < транспортная < промышленная зона. В Мюн-

хене ряд несколько отличается: фон < жилая < рекреация < жилая < транспортная < промышленная зона. Однако, нами отмечено сходство в повышенном накоплении Zn в промышленной зоне городов. Разница между содержанием Zn в транспортной и жилой зонах городов составила в Мюнхене 5 раз, в Воронеже – 2 раза.

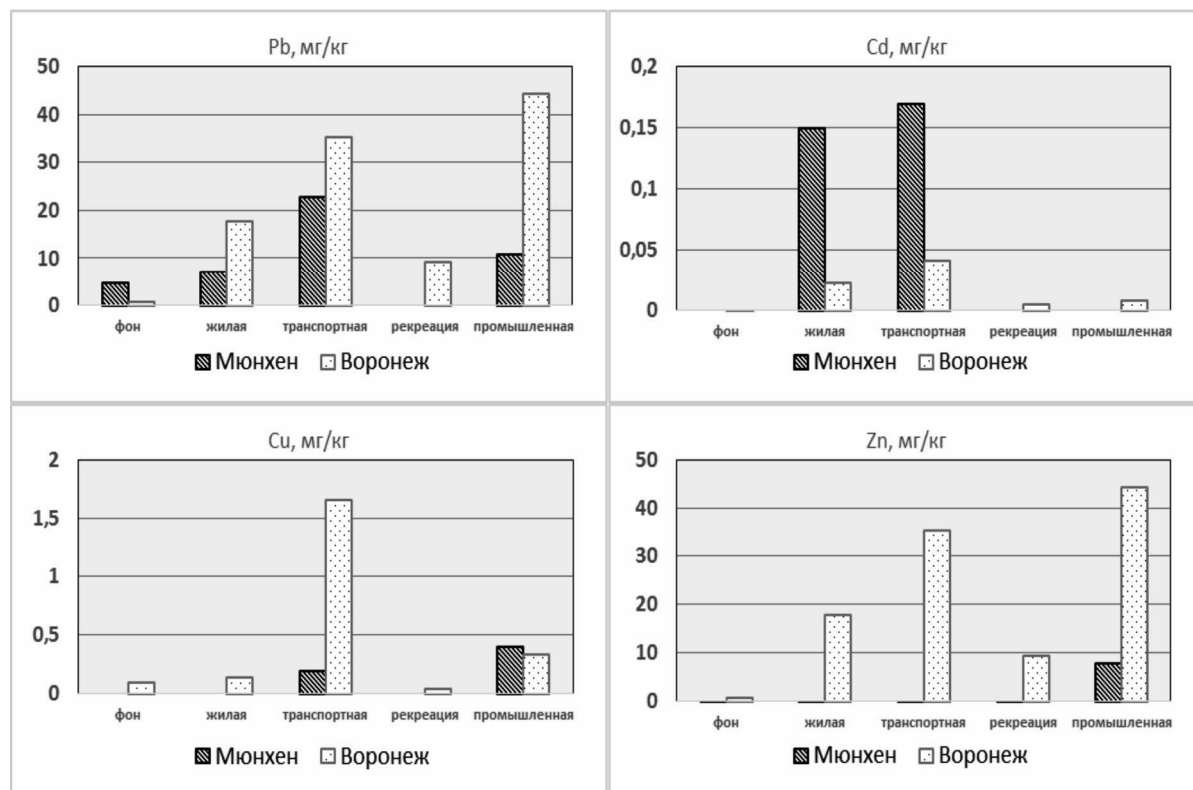


Рис. 4.15. Тяжелые металлы в разных ФЗ в почвенном покрове городов Мюнхен и Воронеж

По загрязнению Pb в городе Воронеже отмечается схожий ряд с Zn: фон < рекреация < жилая < транспортная < промышленная зона. В Мюнхене напротив, наиболее высокое содержание отмечено в транспортной зоне города: рекреация < фон < жилая < промышленная < транспортная. Нами отмечено, что для Воронежа характерно более высокое загрязнение свинцом поверхностных горизонтов почв. В основном это связано с тем, что в европейских городах качество бензина значительно выше и содержание Pb ниже, а также автомобильный ряд в городах значительно моложе, чем в России. Особенно это характерно для Мюнхена, т.к. в Баварии установлены определенные правила, стимулирующие приобретение автомобилей с гибридной двигательной установкой и электромобилей. Например, во вновь строящихся жилых домах на подземных парковках обязательно наличие специальных розеток для зарядки гибридных автомобилей и электромобилей.

Загрязнение кадмием характерно для жилой и транспортной зоны в городе Мюнхен, а в Воронеже отмечаются небольшие концентрации кадмия во всех ФЗ города. По загрязнению Cd в Воронеже ряд складывается следующим образом: фон=рекреация <промышленная <жилая<транспортная зона. В Мюнхене ряд имеет несколько отличий: фон=рекреация=промышленная<жилая<транспортная зона. Нами отмечено сходство в повышенном загрязнении Cd в жилой и транспортной зонах городов. Это обусловлено высоким количеством автотранспортных средств и качеством бензина в городах. Несмотря на то, что в новом стандарте бензина «Евро-5» предъявляются более жесткие требования к содержанию Pb, в отношении иных тяжелых металлов нет жестких ограничений. В результате сложилась ситуация, когда одновременно со снижением содержания свинца в бензине параллельно имеет место увеличение содержания кадмия.

Загрязнение медью в городах в основном свойственно для транспортных и промышленных зон. В Воронеже распределение Cu образует следующий ряд: рекреация <фон <жилая< промышленная< транспортная зона, а в Мюнхене: фон = рекреация = жилая < промышленная < транспортная зона.

Следует отметить, что нами не было отмечено превышения установленных норм в Германии во всех точках по исследуемым тяжелым металлам. Напротив, в Воронеже нами были отмечены целый ряд локальных техногенных аномалий на территории города по Zn, Pb.

Результаты биотестирования почвенного покрова Мюнхена также не показали существенного загрязнения по всем ФЗ города.

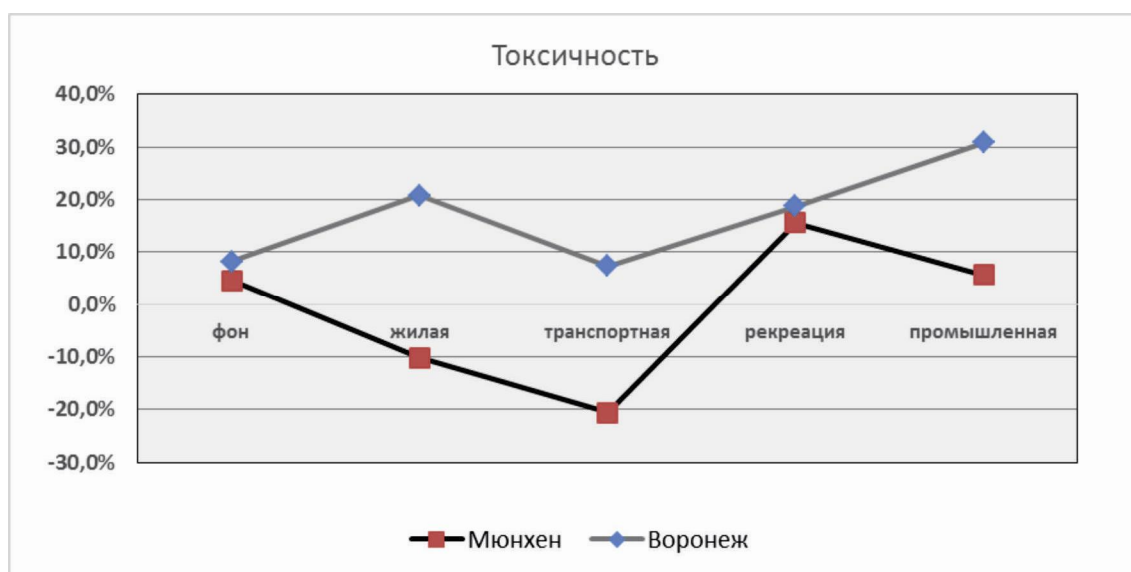


Рис. 4.16. Токсичность почвенного покрова разных ФЗ городов Мюнхен и Воронеж

Схожие данные с Воронежем наблюдались по относительной токсичности в рекреационной зоне городов (15-18%).

Средний уровень фитотоксического эффекта по тест-растению «овес посевной» отмечен в транспортной зоне города Мюнхен. В жилой, промышленной, рекреационной зоне отмечен слабый уровень фитотоксичности и низкий уровень загрязнения.

По тест-культуре «кресс-салат» нами, напротив, выявлен средний уровень фитотоксического эффекта в промышленной зоне, а в остальных зонах (кроме фона) - слабый уровень (рисунки 4.16, 4.17).

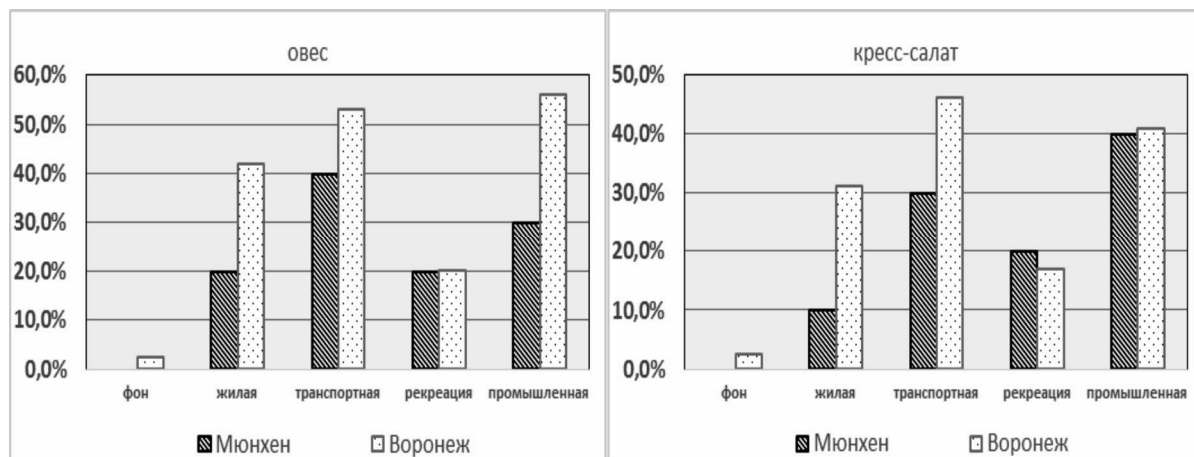


Рис. 4.17. Уровень фитотоксичности почвенного покрова разных ФЗ городов Мюнхен и Воронеж

Исходя из данных по фитотоксичности ряд в городах наиболее подверженные загрязнению следующие зоны: транспортная, промышленная, а также жилая.

Данные по изменению морфологических показателей тест-растений показаны в таблице 4.6. В целом сохраняются схожие тенденции с Воронежем, отмеченные по результатам биотестирования почвенного покрова. Так, проростки растений-индикаторов были более развитые и крупные в зоне рекреации и в промышленной зоне городов. В транспортной и жилой зоне городов отмечены более слабые проростки тест-растений.

Результаты химического анализа почвенного покрова Мюнхена представлены в таблице 4.7.

В промышленной и транспортной зонах Мюнхена отмечается повышенное содержание Ba, Zr, Zn, Cr, Pb, As. Для зоны рекреации свойственны минимальные значения содержания ряда опасных поллютантов. В жилой зоне характерен повышенный уровень содержания Cr, Zn, Ni. Данная особенность характерна и для почвенного покрова Воронежа.

Таблица 4.6

Изменение морфологических показателей тест-растений в
разных функциональных зонах (ФЗ) города Мюнхена

ФЗ	Энергия прорастания, %	Всхо- жесть, %	Длина главного корня, см	Длина проростка, см	Биомасса, г
Овес посевной (<i>Avena sativa</i>)					
рекреация	60	80	12	15	0,88
фон	100	100	9	12	0,67
транспортная	40	60	7	8	0,51
промышленная	30	70	10	10	0,72
жилая	40	80	6	7	0,6
Кресс – салат (<i>Lepidium sativum</i>)					
рекреация	40	80	6	7	0,11
фон	100	100	5	6	0,08
транспортная	20	70	3	4	0,07
промышленная	30	60	5	7	0,09
жилая	50	90	5	4	0,06

Таблица 4.7

Химический состав почвенного покрова города Мюнхена

ФЗ	V (%)	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Zn (%)	Ga (%)	Rb (%)	Sr (%)
Ф	0,008	0,021	0,005	0,006	0,012	0,001	0,007	0,008
Ж	0,005	0,075	0,01	0,012	0,029	0,001	0,006	0,016
ТЗ	0,00699	0,03644	0,00799	0,00828	0,01742	0,00097	0,00845	0,01269
Р	0,007	0,021	0,012	0,01	0,014	0,001	0,008	0,012
ПЗ	-	0,034	0,017	0,032	0,075		0,023	0,055
ФЗ	Zr (%)	Nb (%)	Ba (%)	La (%)	Pb (%)	As (%)		
Ф	0,011	0,001	0,037	0,005	0,003	-		
Ж	0,01	0,001	0,045	0,004	0,01	-		
ТЗ	0,017	0,00153	0,04441	0,00394	0,00579	0,002		
Р	0,038	0,002	0,075	0,004	0,002	-		
ПЗ	0,147	-	0,131	-	0,017	0,002		

Таким образом, сравнительный анализ экогеохимической ситуации 2-х крупных промышленных центров позволяет сделать следующие выводы.

1. В городских почвах Воронежа и Мюнхена отмечается подщелачивание почвенного покрова, особенно в транспортной зоне городов.

2. Техногенное воздействие оказывает влияние на увеличение содержания органического углерода и гумуса в поверхностных горизонтах почв.

3. Приоритетными загрязняющими веществами почвенного покрова в Мюнхене и Воронеже являются нефтепродукты и тяжелые металлы.

4. Увеличение количества автотранспорта в городах Мюнхен и Воронеж способствует загрязнению почв цинком и свинцом, а также кадмием. Однако, в городе Мюнхен отмечается в целом пониженный уровень техногенного загрязнения почвенного покрова.

В задачи сравнительной оценки городов также входил анализ загрязнения почвенного покрова города Ростов-на-Дону. Для анализа были использованы результаты исследований ученых Южного Федерального университета: Д.Ю. Шишкиной, Н.В. Громаковой, С.Н. Горбова, Т.М. Минкиной, О.С. Безугловой и др. [101, 152].

Ростов-на-Дону – крупнейший город на юге Российской Федерации; административный центр Ростовской области и Южного федерального округа. По состоянию на 1 января 2018 года численность города составляет 1 130 305 человек.

Рельеф территории Ростова-на-Дону носит равнинный, овражно-балочный характер. У Ростова-на-Дону высота правого берега достигает до 80 м. На левом берегу поднимается невысокая Батайская гряда, высотой около 10 м и только у города Азова левый берег Дона значительно возвышается над правым

Зональным типом почв на территории города Ростова-на-Дону, являются черноземы обыкновенные среднемощные малогумусные суглинистые карбонатные (североприазовские). Мощные и среднемощные черноземы выделены на плакорных пространствах; в поймах рек развиты аллювиально-луговые, лугово-черноземные, луговые темноцветные и лугово-болотные почвы [152]. Естественный почвенный покров на большей части города уничтожен или претерпел кардинальные изменения, как и в Воронеже.

Ростов-на-Дону – крупный промышленный центр России. Визитной карточкой города являются такие предприятия, как ООО «Ростсельмаш», ОАО «Роствертол», ОАО «Балтика-Дон», «Донской табак», «Тавр», «Юг Руси», «Глория Джинс», «Астон», ТагАЗ, ОАО «Донавтовокзал», ОАО «Алмаз», ОАО «Горизонт», ОАО Ростовский завод «Прибор».

Продукция ОАО «Ростсельмаш» охватывает около 60 % рынка России, «Донской табак» — 12 %, а «Балтика-Дон» — 96 % регионального рынка. ОАО «Роствертол» является единственным предприятием на территории Российской Федерации, обеспечивающим про-

изводство вертолётов различного назначения, «Юг Руси» известен как крупнейший производитель и экспортёр подсолнечного масла.

За последнее время в Ростове-на-Дону, также как и во многих других городах, наблюдается значительный рост автомобильного парка, расширение прилегающих к городу территорий, отводимых под застройки различного целевого назначения. В большей степени урбанизация распространяется на территорию между городами Ростов-на-Дону и Новочеркасск. Здесь за последние десятилетия появились новые жилые территории, крупные транспортно-логистические и торговые центры, завершилось строительство международного аэропорта. Все эти объекты привязаны к основной автомагистрали – федеральной трассе – М 4 «Дон». Ввиду этого дополнительно увеличивается количество транспортных дорог, их нагруженность, что негативно скажется на экологическом состоянии окружающей среды, в частности, на состоянии почвенного покрова.

Основными загрязняющими веществами в почвенном покрове Ростова-на-Дону являются тяжелые металлы (Pb, Cu, Zn, Cr и др.) и нефтепродукты. Так, в работе М.Н. Дубининой с соавторами установлено, что в антропогенно-преобразованных почвах содержания свинца и цинка в горизонте «урбик» нередко возрастают до величин, превышающих ОДК.

Гумусное состояние почв г. Ростов-на-Дону характеризуется рядом особенностей. Так, в лесопарковой зоне наблюдается значительное увеличение содержания гумуса (до 7,0-7,5 %) в поверхностном слое почвы. Гумусовый профиль приобретает черты лесного: отмечено довольно резкое уменьшение содержания гумуса с глубиной. Для антропогенно-преобразованных почв характерно не только уменьшение содержания гумуса (с 5,7 %, присущих для черноземов данной территории, до 2,4-3,9 %), но и перестройка его фракционно-группового состава. Уменьшение гумусированности урбаноземов и экраноземов вполне понятно, т.к. рушится связь «почва-растение» и прекращается характерный для степной зоны круговорот веществ. Следует отметить, что для почв Ростова-на-Дону также, как и для Воронежа, характерно снижение содержания гумуса в почвенном покрове.

Эколого-геохимическая оценка городов, проведенная Д.Ю. Шишкиной [152], показала, что наибольшая доля загрязненных проб (48%) выявлена на территории промышленных ландшафтов, далее следуют селитебные (36%) и рекреационные (29%). Перечень поллютантов включает 6 элементов – цинк, свинец, кадмий, мышьяк, медь и

ванадий. Содержание ртути, никеля и марганца по результатам исследований не достигали санитарно-гигиенических нормативов.

Цинковое загрязнение характерно для промышленных урбандо-ландшафтов. Уровень его, в основном, низкий, но зафиксированы три случая среднего (800-1000 мг/кг). В г.Ростове-на-Дону, согласно данным С.Н. Горбова и др. (2003), имели место почвенные аномалии цинка, свинца, меди, ванадия, кадмия, ртути и других металлов, при этом самые высокие концентрации были характерны для хрома, меди, свинца и цинка. Аномалии цинка, по данным на конец 80-х годов XX столетия, захватывали весь «старый центр» города (до 4-х и более ПДК). Особое место в загрязнении города цинком принадлежит заводу лакокрасочных изделий «Эмпилс».

На 6% площади установлено слабое загрязнение почв ванадием. Максимальная концентрация достигала 200 мг/кг (низкий уровень загрязнения).

Содержание свинца колеблется от 150 до 600 мг/кг, максимальное значение отмечалось в почве селитебных ландшафтов.

В целом моноэлементное и комплексное загрязнение почвенного покрова г.Ростова-на-Дону невысоко. Но для центральной части города с активной многоэтажной застройкой характерен высокий и очень высокий уровни полиэлементного загрязнения. Наибольшие значения суммарного показателя загрязнения отмечаются именно в селитебных ландшафтах города [152].

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Для городских почв Воронежа характерен высокий уровень загрязнения в промышленной и транспортных зонах, а для Ростова-на-Дону наибольшие значения суммарного показателя загрязнения отмечаются в селитебных ландшафтах города.

2. Для города Воронежа свойственно увеличение содержания органического углерода в промышленных зонах города, для Ростова-на-Дону характерно уменьшение гумусированности урбаноземов и экраноземов.

3. Для городов свойственно увеличение количества автотранспорта в последнее десятилетие, что способствует загрязнению тяжелыми металлами. Приоритетными загрязняющими веществами почвенного покрова являются тяжелые металлы: цинк, свинец, медь, кадмий.

4. В Ростове-на-Дону и Воронеже отмечаются высокие уровни загрязнения почвенного покрова в жилой зоне многоэтажной застройки.

4.5. Рекомендации по совершенствованию системы геоэкологической оценки городских почв с применением геоинформационных технологий /научно-прикладные аспекты/

Опыт полевых и лабораторных исследований позволил нам сформулировать ряд рекомендаций по совершенствованию геоэкологической оценки почвенного покрова, осуществляемого с применением геоинформационных технологий. Эти рекомендации представляют собой неотъемлемый элемент городской экологической политики и включают следующие принципы.

1. *Соответствие мониторинга требованиям единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ).* ЕГСЭМ - комплексная, иерархически построенная информационно-аналитическая система, информационное наполнение которой осуществляется посредством сбора, хранения, обработки, передачи и управления данными органов и учреждений, осуществляющих экологические функции. Функционирование ЕГСЭМ основывается на системе экологического нормирования и максимально широком применении современных технических средств контроля состояния окружающей среды. Организационно-техническое построение ЕГСЭМ учитывает необходимость информационного взаимодействия различных ведомств, учреждений, предприятий, вовлеченных в процесс сбора экологической информации, ее хранения и обработки. В настоящее время актуальным становится применение методов обработки «больших данных» в решении задач мониторинга и управления качеством среды обитания.

2. *Системность организации баз данных, содержащих информацию о состоянии почвенного покрова.* Информационные блоки сведений о состоянии почв должны быть иерархически увязаны друг с другом и структурированы применительно к конкретным индустриально развитым городам, что проиллюстрировано в работе на примере Воронежа. К числу приоритетных контролируемых сред должны относиться атмосфера, снежный покров, почвенный покров, уличный смет. Нами выделены основные показатели, значения которых должны быть определены при проведении геоэкологического мониторинга почвенного покрова. В условиях растущего уровня урбанизации существует необходимость в регулярном наблюдении за изменением физико-химических свойств почвы и миграцией опасных поллютантов.

3. *Равномерный и полный охват территории города сетью постов экологического мониторинга почвенного покрова.* Для объективного мониторинга почвенного покрова необходима более равномерная густая сеть исследований, охватывающая всю территорию города. В настоящее время концентрации поллютантов отмечаются только на стационарных и передвижных постах (всего 10 пунктов), в остальных точках исследования проводятся по жалобам населения или при надзорных мероприятиях разово, что не обеспечивает адекватную оценку состояния почвенного покрова. При этом значительное внимание уделяется лишь мониторингу за состоянием атмосферы города, а почвенный покров города исследуется слабо. Поэтому существует необходимость в равномерной сети почвенного мониторинга в функционально-планировочных зонах города с разным уровнем техногенного воздействия.

4. *Диверсификация критериев почвенного мониторинга, связанных с системой нормирования.* Концепция экологического нормирования должна исходить из того, что ПДК и нормативы служат критериями уровня риска неблагоприятного воздействия на население. Но это не значит, что соблюдение нормативов автоматически означает отсутствие вредного эффекта неблагоприятных факторов в отношении биоты. Недостатком для почвенного мониторинга в России является «устаревшее» нормирование качества почвенного покрова: существует необходимость в увеличении количества ПДК для почв, т.к. их установлено всего около 40 показателей, в то время как для воды – 1200, а для воздуха – 600. Следует принять успешный опыт ряда зарубежных стран в этом вопросе, где осуществлено нормирование почвенного покрова по разным функционально-планировочным зонам города (Голландия, Италия, Германия). В почвенном мониторинге следует принимать во внимание коэффициенты концентраций и суммарный показатель Z_c , рассчитанные по фоновым участкам в городе. Их применение позволит дать интегральную оценку состояния почвенного покрова и выявить зоны локальных техногенных аномалий.

5. *Комплексный подход к геоэкологическому мониторингу почвенного покрова с применением биологических, эколого-аналитических, математических методов и геоинформационных технологий.* Городские почвы аккумулируют информацию о происходящих процессах и изменениях в течение продолжительного времени. Под воздействием поллютантов техногенного происхождения в городских почвах резко меняются зональные физико-химические и

морфологические свойства, процессы функционирования и миграции химических элементов. Применение комплекса методов биологических, эколого-аналитических, математических методов и геоинформационных технологий позволит провести интегральную оценку состояния почвенного покрова. В качестве экспресс-методов рекомендуется использовать биологические методы (биотестирование и токсикологический анализ). Так, фитотоксичность и относительная токсичность почвенного покрова является одним из наиболее информативных показателей оценки суммарного техногенного загрязнения. Применение математических методов позволит выделить ассоциации химических элементов, поступающих из общих источников, а также провести классификацию внутригородских районов и функционально-планировочных зон по уровню и характеру загрязнения почвенного покрова.

6. *Синхронность систем наблюдения, используемых различными природоохранными ведомствами.* Целесообразно создать единое информационное поле геоэкологического мониторинга почвенного покрова на базе объединения информационных потоков различных природоохранных служб (данные по уровню содержания тяжелых металлов, микробиологическому состоянию и т.д.). Это позволит повысить эффективность мониторинговых наблюдений и экологического управления.

7. *Информационная доступность, включая создание картографической базы данных состояния почв.* Важным аспектом будет внедрение геоинформационных технологий в систему экологического мониторинга за почвенным покровом. Картографические базы данных должны регулярно обновляться с учетом проведенных исследований. При этом важным аспектом будет создание интегральных карт загрязнений и карт распространения приоритетных ЗВ в почвенном покрове, которые будут отражать территории локальных техногенных аномалий. Использование геоинформационных технологий сможет повысить оперативность принимаемых решений и дать практикующим экологам и гигиенистам более разнообразную информацию для принятия решений по оптимизации экологического контроля и управления за состоянием почвенного покрова и в целом окружающей среды.

В настоящее время в Воронеже особенно остро стоит проблема снижения негативного воздействия автотранспорта – главного источника техногенного загрязнения городской среды Воронежа.

Кроме того, к основным нерешенным вопросам по улучшению состояния почвенного покрова на территории г. Воронежа относят:

- проблему отходов: отсутствие производств по сортировке, переработке и уничтожению мусора и отходов; неорганизованность вывоза бытовых отходов с территорий частных домовладений в ряде населенных пунктов области и города; проблема нерационального использования строительных отходов и проблема слабой вместимости контейнеров в городских районах;

- слабую материально-техническую базу объектов жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивающих санитарную очистку населенных мест;

- наличие несанкционированных свалок на территории, приводящих к загрязнению почвы, грунтовых вод, атмосферного воздуха и способствующих размножению мышевидных грызунов;

- проблему транспорта: высокий уровень износа дорожно-транспортных средств, низкое качество бензина и «дорожных одежд», недостаточное количество экологически чистых видов транспорта.

Для снижения уровня загрязнения почвенного покрова и оздоровления городской среды необходимо дополнение экологической политики следующими мероприятиями:

- реконструкция транспортных сетей города и увеличение их пропускной способности, улучшение качества дорожного покрытия, создание «скоростных транспортных коридоров» и «зеленых волн» движения, строительство новых дорожных развязок в городе, а в перспективе – строительство «легкого метро», развитие электро-транспорта;

- стимулирование юридических и физических лиц на обновление парка автотранспортных средств и переходу к более экологически чистым видам топлива и автомобилям на электродвигателях и гибридных двигателях, контроль за качеством бензина;

- модернизация подхода промышленных предприятий города к охране окружающей среды (вторичная переработка ресурсов, замкнутый цикл производства, уменьшение количества выбросов за счет применения современных технологий, энергосбережение);

- контроль за количеством внесения и качеством противогололедных средств в зимнее время года; в летнее время привнесение удобрений, способствующих сокращению подщелачивания почв;

- ликвидация несанкционированных свалок на территории города и усовершенствование системы обращения с отходами (переход к разделительному сбору мусора);

- грамотная градостроительная политика городских властей: четкое разделение селитебных зон и вынос основных промышленных предприятий за черту города;

- увеличение площади зеленых насаждений в городе и применение системы «вертикального озеленения» крыш и стен домов.

Поэтапное внедрение указанных мероприятий позволит снизить техногенный прессинг на почвенный покров города Воронежа и среду обитания в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преобладающими факторами почвообразования в городах являются процессы урбанизации и техногенез. Их действие способствует формированию природно-антропогенного и антропогенного почвенного покрова, в разной степени измененным человеком. Широкое распространение среди них получили искусственно созданные почвы и почвоподобные образования с измененным строением естественного морфологического профиля, преобразованием водно-физических, физико-химических, химических свойств и режима функционирования.

Развитие галогенеза и осолонцевания городских почв, не свойственного природным ландшафтам, происходит из-за внесения на открытые поверхности противогололедных реагентов, использования минеральных удобрений для развития растений, а также пыли, поступающей с автомагистралей [129, 164].

Благоприятные условия для роста и развития зеленых насаждений должны обеспечивать городские почвы. Кроме того, почвенный покров города должен обладать способностью к поглощению разного рода поллютантов, препятствовать их распространению в грунтовые воды, а также содействовать процессам минерализации ряда токсичных соединений. Загрязнение почвенного покрова способствует снижению средозащитных функций городских почв, а также приводит к деградации некоторых видов почв. Данные тенденции характерны для целого ряда крупных промышленных городов, в том числе и Воронежа. Поэтому регулярно необходимо проводить комплексную эколого-геохимическую оценку почвенного покрова, которая позволяет определить состояние почв в городе, спрогнозировать возможные нарушения и дать рекомендации по улучшению его состояния.

Методическая схема исследования включала три этапа: информационный, аналитический, прогнозно-рекомендательный. Использованы три группы методов: полевые и лабораторные инструментальные эколого-аналитические, вероятностно-статистические, геоинформационно-аналитические. В ходе проведения натурных эколого-химических исследований и исследований по биотестированию и токсикологии с использованием фондовых статистических данных о промышленно-транспортной инфраструктуре, функциональном зонировании города сформирована база данных о параметрах геоэкологического состояния почвенного покрова города за 2014-2018 гг. С

помощью методов математического анализа и ГИС-картографирования осуществлена интегральная оценка экологического состояния почвенного покрова городской среды и создана обзорная почвенная карта города. В среде MapInfo созданы карты интегральной оценки состояния почвенного покрова, распределения подвижных форм тяжелых металлов (Zn, Pb), а также уровни фитотоксичности и токсичности почв на территории города с элементами сравнительного анализа ситуации в г.Воронеже с другими крупными промышленными центрами России (г.Ростов-на-Дону) и Германии (г.Мюнхен).

Проведенные исследования позволяют сделать следующие основные **выводы**.

1. Созданная почвенная карта города Воронежа свидетельствует, что в почвенном покрове города преобладают урбанозёмы (около 60% территории). Наименьший удельный вес в почвенном покрове (около 20% территории) составляют почвы с минимальным техногенным воздействием в лесопарковых зонах.

2. Установлено, что основной вклад в загрязнение городской среды вносит автотранспорт, определяющий поступление тяжелых металлов и нефтепродуктов в среду обитания, а особую опасность представляют подвижные формы тяжелых металлов. Сравнительный анализ загрязнения почвенного покрова внутригородских районов показал, что наиболее техногенно загрязненными являются промышленно развитый левобережный сектор города (Левобережный и Железнодорожный районы), а минимальный уровень загрязнения отмечен в Центральном районе.

3. Результаты анализа с помощью рентгенфлюоресцентного метода позволили расположить элементы в почвенном покрове города в следующий ряд: Ba > Zr > Zn > Cr > Sr > Nb > La > Rb > Pb > Ni > V > Cu > As > Ga. В зоне рекреации поллютанты образуют ряд: Ba > Zr > Zn > Sr > Nb > Rb > La > Cr > Cu > V > Ni > Pb > As > Ga, в транспортной зоне ряд несколько меняется: Cu > Ni > Cr > Nb > Zr > Zn > V > La > Sr > Pb > Ba > As > Rb > Ga. По результатам исследований повышение содержания тяжелых металлов в почвенном покрове происходит по мере увеличения антропогенной нагрузки в следующем ряду: рекреационная зона < жилая зона (малоэтажный «частный сектор») < зона перспективной жилой застройки < жилая (современная многоэтажная) зона < жилая (центральная историческая) зона < транспортная зона < промышленная зона.

4. Анализ взаимосвязей в системе «снежный покров-почвенный покров» показал, что загрязнение снежного покрова усиливает накопление поллютантов в почве. По степени загрязнения снежного покрова исследуемые городские зоны можно расположить в следующий убывающий ряд: транспортная > промышленная > перспективная застройка > жилая > рекреация, а исследуемые жилые подзоны образуют ряд: частный сектор > современная многоэтажная застройка > жилая историческая часть города.

5. Анализ систем «почвенный покров» и «почвенный покров – уличный смет» позволил выявить особенности накопления и распределения загрязняющих веществ. Накопление Zn происходит в почвах с щелочной реакцией почвенной среды и низким содержанием гумуса. Наиболее низкие концентрации Pb отмечаются в слабокислых почвах в рекреационных зонах (Парк «Алые паруса», СОК «Олимпик»), составляющие в среднем 2-3 мг/кг, а более высокие концентрации (12-13 мг/кг) – в щелочных почвах (транспортная и промышленная зоны). Концентрация тяжелых металлов в уличном смете превышает их концентрацию в почве в 15-20 раз.

6. Высокий уровень загрязнения нефтепродуктами наблюдается в большинстве зон воздействия промышленных объектов и крупных автотранспортных магистралей, а также в зоне современной многоэтажной застройки. Высокий уровень загрязнения в транспортной зоне (до 2194 мг/кг) обусловлен малоэффективной дорожно-транспортной сетью города (отсутствием дублирующих автомобильных дорог, «транспортных развязок»), прогрессирующим нарастанием количества автотранспортных средств, и, как следствие, – увеличением количества заторов и «автопробок» на дороге. Средний уровень содержания нефтепродуктов по городу составляет 300 мг/кг.

7. Применение биоиндикационных методов подтвердило, что наиболее комфортные зоны города также подвержены загрязнению тяжелыми металлами. Фитотоксичность почвы жилой зоны соответствует уровню 40%, что свидетельствует о среднем (умеренном) уровне загрязнения. В промышленной и транспортной зонах отмечен высокий уровень фитотоксического эффекта (50-60%).

8. Для городских почв крупных промышленных центров характерно подщелачивание почвенного покрова, особенно в транспортной зоне ($pH \geq 7,5$), что способствует накоплению поллютантов в верхнем слое городских почв. Уровень техногенного воздействия влияет на увеличение содержания органического углерода в поверхностных почвенных горизонтах. Установленные закономерности техногенно-

го загрязнения городских почв могут являться основой эколого-геохимического мониторинга городской среды и учитываться в перспективном градостроительстве.

9. Проведен сравнительный анализ почвенного покрова урбанизированных территорий на примере промышленно развитых городов Воронеж, Мюнхен и Ростов-на-Дону. Для почв г.Воронежа и г.Мюнхена характерно подщелачивание почвенного покрова, особенно для транспортной зоны городов. Уровень техногенного воздействия влияет на увеличение содержания органического углерода и гумуса в поверхностных почвенных горизонтах. В г. Ростове-на-Дону отмечается снижение гумусированности урбаноземов и экраноземов. Возрастание количества автотранспорта в городах Мюнхен, Воронеж и Ростов-на-Дону способствует загрязнению почв цинком, свинцом, а также кадмием.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГИС - геоинформационные системы

ГХБ – геохимический барьер

ЕГСЭМ - единая государственная система экологического мониторинга

ЖЗ – жилая зона

ЗВ – загрязняющие вещества

П - передвижные посты наблюдений

ПЗ – промышленная зона

ПП – почвенный покров

РЗ – рекреационная зона

С – стационарные посты наблюдений

СП – современная многоэтажная застройка

СПП – структура почвенного покрова

ТЗ – транспортная зона

ТМ – тяжелые металлы

УЗ – уровень загрязнения

ФЗ – функционально-планировочные (-ая) зоны (-а)

ФЭ - фитотоксический эффект

ЦИ – центральная историческая часть

ЧС – частный сектор городской застройки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 15-е Заседание МГС : Проблемы есть, нет разногласий // Стандарты и качество. - 1999. - №7. – С. 3-6.
2. Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия : учебник / В. А. Алексеенко. – М. : Логос, 2000. – 627 с.
3. Андреева, М. В. Оценка состояния окружающей среды в насаждениях в зонах промышленных выбросов с помощью растения-индикаторов : автореф. дис. ... канд. сельскохозяйств. наук : 06.03.03 / Андреева Марина Владимировна. – СПб., 2007. – 20 с.
4. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. 1970. - 488 с.
5. Ашинов, Ю. Н. Почва и социум / Ю. Н. Ашинов, Т. А. Зубкова, И. И. Имгрунт, Л. О. Карпачевский. – Майкоп : Полиграфиздат Адыгея, 2006. - 152 с.
6. Багдасарян, А. С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов : дис... канд. биол. наук : 03.00.16 / Багдасарян Александр Сергеевич. - Ставрополь, 2005. – 159 с.
7. Бажа, С. Н. Эколого-геохимическое состояние почв г. Улан-Батор (Монголия) / С. Н. Бажа, П. Д. Гунин, Н. С. Касимов, Н. Е. Кошелева, О.И. Сорокина, С. Энх-Амгалан // Почвоведение. – 2011. - №7. - С. 771-784.
8. Безуглая, Э. Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах: результаты экспериментальных исследований / Э. Ю. Безуглая. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 199 с.
9. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 272 с.
10. Берлянт, А. М. Географические информационные системы в науках о Земле / А. М. Берлянт // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 5. – С. 66-73.
11. Берлянт, А. М. Геоинформационное картографирование / А. М. Берлянт – М. : Астрей, 1997. – 64 с.
12. Беспалова, Е. В. Оценка геохимического состояния снежного покрова г. Воронежа / Е. В. Беспалова, Т. И. Прожорина, С. А. Куролап // Вестник Воронежского гос. университета. Серия География. Геоэкология. – 2013. - №1. - С. 137-141.
13. Биодиагностика почв: методология и методы исследований: / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников - Ростов-на-Дону. – Изд-во Южного федерального университета, 2012. - 260 с.

14. Биологический контроль окружающей среды (биоиндикация и биотестирование) : Учеб. пос. / под ред. О. П. Мелеховой, Е. И. Егоровой. - М. : Академия, 2007. - 288 с.
15. Битюкова, В. Р. Социально-экологические проблемы развития городов России / В. Р. Битюкова – М. : Эдиториал УРСС, 2004. - 448 с.
16. Богданов, В. Н. Геоинформационное картографирование городской среды / В. Н. Богданов; [отв. ред. А. Н. Антипов]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2006. – 80 с.
17. Болотов, М. П. О содержании Pb и Cu в уличной пыли и в почве городов / М. П. Болотов // Гигиена и санитария. - 1938. - №5. - С. 43-50.
18. Борисов, В. М. Географическая информационная система для характеристики воздушного загрязнения территории / В. М. Борисов, С. А. Громов, В. С. Тикунов // География и природные ресурсы. – 1992. – № 2. – С. 151-154.
19. Бугаевский, Л. М. Геоинформационные системы / Л. М. Бугаевский, В. Я. Цветков. – М. : Златоуст, 2000. – 222 с.
20. Букс, И. И. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) : учеб. пособие / И. И. Букс, С. А. Фомин. – М. : МНЭПУ, 1999. – Т. 1. – 128 с.
21. Булгаков, Н. Г. Контроль природной среды как совокупность методов биоиндикации, экологической диагностики и нормирования / Н. Г. Булгаков // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов: Обзорная информация. – М. : ВИНТИ. - 2003. - № 4. - С. 33–70.
22. Буштуева, К. А. Методы и критерии оценки состояния здоровья населения загрязнением окружающей среды / К. А. Буштуева, И. С. Случанко. – М. : Медицина, 1979. – 160 с.
23. Важенин, И. Г. Полевое обследование и картографирование уровня загрязненности почвенного покрова техногенными выбросами через атмосферу : метод. указания / И. Г. Важенин. – М. : Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. - 1980. – 25 с.
24. Варламов, А. А. Содержание и методы получения, сбора и хранения земельно-кадастровой информации / А. А. Варламов, С. А. Гальченко, Г. В. Ломакин // Прикладная геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг : сб. тр. / МАИ (ГЭИ) ; Ин-т литосферы РАН. – М. : 1995. – Вып. 1. – С. 81-93.
25. Васильева, К. И. Мониторинг концентраций тяжелых металлов в почвах Центрального района города Новокузнецк /

К.И.Васильева, О.И.Подурец // Почва как базовый компонент наземных экосистем. – Новосибирск: Издательство Окарина, 2013. – С.124-126.

26. Вильнер, М. Я. Документы территориального планирования. Методологические основы разработки [Электронный ресурс] / М. Я Вильнер // Управление развитием территории – 2007. – № 2. – Режим доступа: <http://www.gisa.ru/39500.html>.

27. Виноградов, П. М. Геоинформационное обеспечение геоэкологического мониторинга крупного промышленного центра (на примере города Воронежа) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. : 25.00.36 / Виноградов Павел Михайлович. – Воронеж, 2015. – 24 с.

28. Винокуров, Ю. И. и др. Информационное обеспечение регионального медико-экологического картографирования / Ю. И. Винокуров, И. Н. Ротанова, И. А. Хлебович // ГИС для устойчивого развития территорий. Мат-лы Межд. конф. (22-24. 08. 2000 г., Апатиты, Россия). – Апатиты : Изд-во Кольского научного центра РАН, 2000. - Т. 1. - С. 132- 139.

29. Власов, Д. В. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы / Д. В. Власов, Н. С. Касимов, Н. Е. Кошелева, Е. В. Терская // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5 : География. - 2012. - №4. - С. 14-24.

30. Волгин, Д. А. Фоновый уровень и содержание тяжелых металлов в почвенном покрове Московской области / Д. А. Волгин // Вестник Московского государственного областного ун-та. География (электронный журнал). - 2011. - № 1. – С. 26-33.

31. Воробьев, В. Г. Охрана атмосферы и нефтехимия / В. Г. Воробьев, В. М. Прусаков, К. К. Душутин. - Л. : Гидрометеиздат, 1985. - 232 с.

32. Генеральный план городского округа г. Воронеж : Экологические аспекты. – Воронеж : Воронежпроект, 2006. – 2 т.

33. Геннадиев, А. Н. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами / Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н. // Почвоведение. - 2003. - № 9. - С. 1132-1140.

34. Геоэкологические проблемы устойчивого развития городской среды / под ред. В. И. Федотова, С. А. Куролапа. – Воронеж : Изд-во Квадрат, 1996. - 328 с.

35. Глазовская, М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов: Учеб. пособие. / М. А. Глазовская. - М. : Географический факультет МГУ, 2007. - 350 с.

36. Глазовская, М. А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям / М. А. Глазовская. - М. : Изд-во Моск. ун-та, 1997. - 102 с.
37. Глазовская, М. А. Теория геохимии ландшафтов в приложении к изучению техногенных потоков рассеяния и анализу способности природных систем к самоочищению / М. А. Глазовская // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. - М. : Наука, - 1981. - С. 7- 41.
38. Глазовская, М. А., Основные понятия геохимии ландшафтов, существенные для фоновоего мониторинга / М. А. Глазовская, Н. С. Касимов, А. И. Перельман // Ландшафтно-геохимические основы фоновоего мониторинга природной среды. - М. : Наука. - 1989. - С. 8-25.
39. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2006. - № 10.
40. ГОСТ 17.4.1.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 4 с.
41. ГОСТ 17.4.3.01–83 (СТ СЭВ 3847-82) Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 4 с.
42. ГОСТ 17.4.4.02–84 Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. – М. : Издательство стандартов, 1984. – 4 с.
43. ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 7 с.
44. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 8 с.
45. ГОСТ 28168–89 Почвы. Отбор проб. – М. : Издательство стандартов, 1989. – 4 с.
46. ГОСТ ИСО 22030-2009, 2010 Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. – М. : Стандартиформ, 2010. – 20 с.
47. Григорьевская, А.Я. Флора города Воронежа / А.Я. Григорьевская. – Воронеж : ВГУ, 2000. – 200 с.
48. Дерябкина, Л. А. Мониторинг микробиоценоза почв селитебных территорий индустриального города / Л. А. Дерябкина. – М. : Изд-во «Наука», 2000. - 243 с.

49. Джувеликян, Х. А. Экология, город, человек / Х. А. Джувеликян. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1996. – 104 с.
50. Дмитриев, Е. А. Математическая статистика в почвоведении / Е. А. Дмитриев. - М. : Изд-во Моск. ун-та, 1995. - 320 с.;
51. Добровольский, В. В. Географии микроэлементов. Глобальное рассеивание / В. В. Добровольский. – М. : Мысль, 1983. – 269 с.
52. Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в городском округе город Воронеж в 2014 году» / И. И. Механтьев, Ю. И. Стёпкин. – Воронеж : Управление Роспотребнадзора по Воронежской области, 2015. – 117 с.
53. Доклад «О состоянии окружающей среды на территории Воронежской области в 2014 году» / Департамент природных ресурсов и экологии Воронежской области. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015. – 232 с.
54. Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в городском округе город Воронеж в 2013 году» / М. И. Чубирко, Ю. И. Стёпкин. – Воронеж : Управление Роспотребнадзора по Воронежской области, 2014. – 107 с.
55. Доклад о санитарно-эпидемиологической обстановке в Воронежской области в 2006 году. – Воронеж : УФС по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области, 2006. – 123 с.
56. Доклад о состоянии окружающей среды и природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2013 г. / под ред. Ю. В. Яковлева, В. Н. Дрыгина – Воронеж : Изд-во «Цифровая полиграфия», 2014. – 66 с.
57. Донченко, В. К. Актуальные проблемы изучения техногенного загрязнения окружающей среды / В. К. Донченко // Экологическая безопасность. - 2007. - № 1-2. - С. 4-24.
58. Евменова, А. В. Современное состояние и проектные решения по развитию системы озеленения города Воронежа // А. В. Евменова // Лесной вестн. – Воронеж, 2010. – Вып.3. – С. 182 - 192.
59. Епринцев, С. А. Оценка влияния городской застройки и загрязнения воздушного бассейна на здоровье населения г. Воронежа / С. А. Епринцев, С. А. Куролап, О. В. Клепиков // Вестник Тамбов. университета. Сер. Естественные и технические науки. - 2009. – Т. 14, Вып. 3. – С. 600-604.
60. Епринцев, С. А. Оценка качества городской среды с использованием ГИС-технологий (на примере г. Воронежа) / С. А. Еп-

ринцев, С. А. Куролап, О. В. Клепиков // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях при техногенных катастрофах: материалы научно-практической конференции. – Воронеж : Изд-во «Научная книга», 2006. – С. 161-163.

61. Закруткин В.Е. Методика оценка опасности загрязнения почв подвижными формами тяжелых металлов на территории угледобывающих предприятий/ В.Е. Закруткин, Д.Ю. Шишкина // Учебно-методическое пособие для студентов-бакалавров, обучающихся по направлению «Экология и природопользование». Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2011 – 54 с.

62. Захаров, В. М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход) / Захаров В. М. – М. : Наука, 1987. – 216 с.

63. Захаров, В. М. Биотест. Интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов / В. М. Захаров, Д. М. Кларк. – М. : Московское отд. Междунар. фонда «Биотест», 1993. – 68 с.

64. Зимовец, А. А. Геохимические условия распределения тяжелых металлов в наземных и аквальных ландшафтах (на примере устьевой области реки Северная Двина : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. : 25.00.23 / Зимовец Алина Александровна. – Воронеж, 2013. – 24 с.

65. Зубкова, Т. А., Почва и здоровье человека / Т.А. Зубкова, Карпачевский Л. О., Ашинов Ю. Н. // Сборник материалов конференции «Проблемы культурно-природного синтеза» к 15-летию совета. М. : Изд-во Института иностранных языков, 2009. - С. 48-53.

66. Ильин, В. Б. Тяжёлые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1991. – 148 с.

67. Интегральная экологическая оценка состояния городской среды: монография / под общ. ред. С. А. Куролапа и О. В. Клепикова. – Воронеж : Научная книга, 2015. – 232 с.

68. Казьмина, И. Г. Создание экологического веб-атласа Воронежской области на основе ГИС-технологий / И. Г. Казьмина, Н. В. Мозговой, Л. Т. Рязанцева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2013. – № 3(47). – С. 76-84.

69. Касимов, Н. С. Атласная изученность экологического состояния территории России / Н. С. Касимов, В. С. Тикунов, Т. В. Котова // Український географічний журнал. – 2013. – № 1. – С. 53–59.

70. Касимов, Н. С. Геоинформационное ландшафтно-геохимическое картографирование городских территорий (на примере ВАО Москвы). 2. Ландшафтно-геохимическая карта / Н. С. Каси-

мов, Е. М. Никифрова, Н. Е. Кошелева, Т. С. Хайбрахманов // Геоинформатика. - 2013. - № 1. - С. 28-32.

71. Касимов, Н. С., Экологическое состояние городов России / Н. С. Касимов, В. Р. Битюкова, Д. В. Власов // Геохимия ландшафтов и география почв. - М. : АПР, 2012. - С. 157-185.

72. Касимов, Н. С. Геохимическая систематика городских ландшафтов / Н. С. Касимов, А. И. Перельман // Вестн. МГУ.: Сер. Геогр. - 1994. - №4. - С. 36-42.

73. Кириллов, С. Н. Комплексная геоэкологическая оценка территории Волгограда / С. Н. Кириллов, Ю. С. Половинкина // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2011. – № 1. – Т. 3. – С. 239-245.

74. Колесников, С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Пономарева С.В. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами: Ва, Мп, Sb, Sn, Sr, V, W. Ростов-на-Дону: Эверест, 2008. - 200 с.

75. Колесников, С.И., Казеев К.Ш., Денисова Т.В., Даденко Е.В. Нормирование химического загрязнения почв по степени нарушения их экологических функций // Экология и промышленность России. - 2011.- С. 56-59

76. Комплексное экологическое картографирование (Географический аспект) / Под ред. Н. С. Касимова – М. : Изд-во МГУ, 1997. - 147 с.

77. Константинов В. М. Охрана природы / В. М. Константинов. - М. : Академия, 2000. - 190 с.

78. Коровина, Е. В. Комплексная оценка загрязнения придорожных зон г. Ульяновска : автореф. дис. ... канд. биол. наук. : 03.00.16 / Коровина Елена Вадимовна. – Тольятти, 2010. – 18 с.

79. Кочуров, Б. И. Экодиагностика и сбалансированное развитие : учебное пособие / Б. И. Кочуров. – М., Смоленск : Маджента, 2003. – 384 с.

80. Кошелева, Н. Е. Геохимия ландшафтов Улан-Батора / Н. Е. Кошелева, Н. С. Касимов, О. И. Сорокина // Известия РАН. Серия географическая. – 2013. – № 5. – С. 111-126.

81. Кошкарев, А. В. Геоинформатика / А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов. – М. : Картгеоцентр Геодезиздат, 1993. – 213 с.

82. Кривошеин, Д. А. Экология и безопасность жизнедеятельности / Д. А. Кривошеин. - М. : ЮНИТИ, 2000. - 447 с.

83. Кузнецов, О. Л. Геоинформатика, геоинформация, геоинформационные технологии в природопользовании. / О. Л. Кузнецов, Е. Н. Черемисина // Геоинформатика. - 2003. - №2. - с. 3-10.

84. Кулешов, Л. Н. Научные основы мониторинга земель Российской Федерации / Л. Н. Кулешов, Ш. И. Литвак. – М. : Наука, 1992. – 174 с.
85. Куролап, С. А. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска / С. А. Куролап и др. – Воронеж : Истоки, 2010. – 207 с.
86. Куролап, С. А. Геоэкологические основы мониторинга и эколого-гигиеническое зонирование городской среды / С. А. Куролап, В. И. Федотов // Вестник ВГУ. Сер. География и геоэкология. – 2000. – № 4. – С. 120-123.
87. Куролап, С. А. Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды / С. А. Куролап, Н. П. Мамчик, О. В. Клепиков. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2006. – 220 с.
88. Куролап, С. А. Экологическая экспертиза и оценка риска здоровью / С. А. Куролап, О. В. Клепиков, С. А. Епринцев. – Воронеж : Научная книга, 2012. – 108 с.
89. Линник, В. Г. Построение геоинформационных систем в физической географии / В. Г. Линник. - М. : Изд-во МГУ, 1990. - 80 с.
90. Луканин, В. Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда: учебное пособие для вузов / В. Н. Луканин, А. П. Буслаев. - М. : ИНФРА - М, 1998. - 408 с.
91. Лурье, И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков / И. К. Лурье. – М. : КДУ, 2008. - 423 с.
92. Любимова, А. В. Компьютерная технология комплексной оценки геоэкологического состояния территории. / А. В. Любимова // Геоинформатика. – 2003. - №2. - с. 44-47.
93. Макаров, В. З. Эколого-географическое картографирование городов. / В.З. Макаров, Новаковский Б. А., Чумаченко А. Н. – М. : Научный мир, 2002. - 196 с.
94. Малхазова, С. М. Медико-географический анализ территорий: картографирование, оценка, прогноз / С. М. Малхазова. - М. : Научный мир, 2001. - 240 с.
95. Мамчик, Н. П. Комплексный подход оценки состояния окружающей среды и риска для здоровья в системе обеспечения гигиенической безопасности населения / Н. П. Мамчик, О. В. Клепиков, В. И. Чернов, П. В. Чернов // Прикладные информационные аспекты медицины. – Т2. – № 2. – Воронеж : Воронежск. госуд. мед. акад., 1999. – С. 6-11.

96. Маячкина, Н. В. Особенности нормирования биотестирования почв с целью их экотоксикологической оценки / Н. В. Маячкина, М. В. Чугунова // Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. Серия Биология. – 2009. - №1. - С. 84-93.
97. Меженский, В. Н. Растения-индикаторы. / В. Н. Меженский. – М : АСТ, 2004. – 80 с.
98. Меркулова, М. Ю. Оценка эколого-биологического состояния почв функциональных зон г. Саратова с учетом особенностей овражно-балочной сети : автореф. дис. ... канд. биол. наук. : 03.02.08 / Меркулова Мария Юрьевна. – Ростов-на-Дону., 2016. – 23 с.
99. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве (МЗ СССР, 19 мая 1976 г. № 1427-76) // М. : Минздрав, 1982. – 6 с.
100. Методические рекомендации по оценке загрязненности городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами / Составители: В. А. Большаков, Ю. Н. Водяницкий, Т. И. Борисочкина, З. Н. Кахнович, В. В. Мясников. - М. : Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, - 1999. - 32 с.
101. Минкина, Т. М. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. / Т. М. Минкина, Г. В. Мотузова, О. Г. Назаренко, - Ростов-на-Дону : Изд-во «Эверест», 2009. - 208 с.
102. Моисеенков, О. В. Эколого-геохимический анализ промышленного города (на примере г. Тольятти) : дисс. ... канд. геогр. наук : 11.00.01 / Моисеенков Олег Владимирович. - М., 1989. - 243 с.
103. Мотузова, Г.В. Экологический мониторинг почв / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. – М. : Академический Проект ; Гаудеамус, 2007. – 237 с.
104. МУ 31-11/05 (ПНД Ф 16.1:2:2:2:3.48-06) Количественный химический анализ проб почв, тепличных грунтов, илов, донных отложений, сапропелей, твердых отходов. – Томск: ФГУ «Томский центр стандартизации, метрологии и сертификации», 2006. – 44 с.
105. Мырлян, Н. Ф. Эколого-геохимический атлас Кишинева / Н. Ф. Мырлян, К. Е. Морару, Г. И. Настас. - Кишинев: Штиинца, 1992. – 116 с.
106. Назаренко, А. В. Исследование уровня загрязнения воздуха г. Воронежа при использовании аэросиноптического материала / А. В. Назаренко, С. А. Дьяков // Высокие технологии в экологии : сб. материалов VI Межд. науч.-практ. конф. - Воронеж, 2003. - С. 41-45.
107. Назаренко, А. В. Классификация синоптических процессов в целях геоэкологического мониторинга воздушного бассейна /

А. В. Назаренко // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Серия География и Геоэкология. - 2006. - №1. - С. 39 -46.

108. Назаренко, Н. Н. Биодинамика и загрязнение тяжелыми металлами и нефтепродуктами почв г. Воронежа / Н. Н. Назаренко, И. Д. Свистова // Экология и биология почв: матер. междунар. науч. конф.. Ростов-на-Дону, 2014. – С. 557-560.

109. Назаренко, Н. Н. Биоиндикация почвы транспортных зон г. Воронежа / Н. Н. Назаренко, И. И. Корецкая, И. Д. Свистова // Вестник Воронежского государственного университета: Сер. География и геоэкология. - 2015. - №1. - С. 46-50.

110. Назаренко, Н. Н. Содержание бенз[а]пирена в почвах урбанизированных территорий (на примере города Воронежа) / Н. Н. Назаренко, И. Д. Свистова // Успехи современного естествознания. - 2016. - № 1. - С. 142-146.

111. Негробов, О. П. Экологические основы оптимизации и управления городской средой. Экология города / О. П. Негробов, Д. М. Жуков, Н. В. Фирсова // Учеб. Пособие. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2000. – 271 с.

112. Нестеров, Е. М. Мониторинг поведения тяжелых металлов в снежном и почвенном покрове Центральной части Санкт-Петербурга / Е. М. Нестеров, Л. М. Зарина, М. А. Пискунова // Вестник МГОУ. – 2009. - № 1. - С. 27-34;

113. Никифорова, Е. М. Геоинформационное ландшафтно-геохимическое картографирование городских ландшафтов (на примере ВАО Москвы) / Е. М. Никифорова, Н. Е. Кошелева, И. А. Лабутина, Т. С. Хайбрахманов // ИнтерКарто/ИнтерГИС-17 Устойчивое развитие территорий : теория ГИС и практический опыт. Материалы межд. науч. конф. – М. : КНОРУС, 2011. – С. 248-254.

114. Николаева, О. Н. Опыт применения ГИС в экологогигиеническом картографировании окружающей среды промышленного центра / О. Н. Николаева, Л. А. Ромашова, О. А. Волкова // ИнтерКарто/ИнтерГИС-17 Устойчивое развитие территорий : теория ГИС и практический опыт. Материалы межд. науч. конф. – М. : КНОРУС, 2011. – С. 270-272.

115. Окружающая среда и здоровье человека: Учебное пособие. / Малхазова С. М., Королева Е. Г. – М. : Географический факультет МГУ, 2009. - 180 с.

116. Орлов, Д. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / Д. С. Орлов. - М. : Высшая школа, 2002. - 244 с.

117. Основы геоинформатики : в 2 т. / под ред. В.С. Тикунова. – Т. 1. - М. : Академия, 2004. – 352 с.
118. Основы геоинформатики : в 2 т. / под ред. В.С. Тикунова. – Т. 2. - М. : Академия, 2004. – 346 с.
119. Оценка риска для здоровья населения от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха в г. Клин (рабочий доклад) / О.В. Пономарева [и др.]. – М. : Консультат. центр по оценке риска, 1997. – 55 с.
120. ОЭСР. Организация экономического сотрудничества и развития: Мониторинг окружающей среды // Монографии по охране окружающей среды. - 1988. - № 16. - 64 с.
121. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – М. : Астрей-2000, 1999. – 768 с.
122. Подурец, О. И. Почвенные ресурсы. Кемеровская область. Часть 1. Природа и население / Коллективная монография под редакцией В. П. Удодова. – Новокузнецк : Афина, 2009. - 116 с.
123. Попова, Л. Ф. Эколого-аналитическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова городов Архангельской промышленной агломерации / Л. Ф. Попова, К. С. Васюк, А. И. Васильева, О. Н. Репницына, И. Н. Бечина, Т. В. Усачева // Фундаментальные исследования. Химические науки. – 2012. - №11 – С. 731-734
124. Почва, город, экология / под общ. ред. Г.В. Добровольский. – М. : Фонд «За экономическую грамотность», 1997. – 320 с.
125. Программа «Экология и природные ресурсы Воронежской области на 2010-2014 годы». – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2009. – 40 с.
126. Прожорина, Т. И. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Воронежа по состоянию снежного покрова / Т. И. Прожорина, Н. И. Якунина // Астраханский вестник экологического образования. – 2014. – № 1(27). – С. 111-114.
127. Прокачева, В. Г., Усачев В. Ф. Снежный покров в сфере влияния города / В. Г. Прокачева, В. Ф. Усачев. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 176 с.
128. Протасова, Н. А. Редкие и рассеянные элементы (Mn, Cr, V, Ni, Cu, Zn, Co, Mo, Be, Ti, Zr, Ga, Sr, Ba, I, B) в почвообразующих породах Центрального Черноземья / Н. А. Протасова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. - 2003. - № 2. - С. 164-171.

129. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Под редакцией Н. С. Касимова. М. : ИП Филимонов М. В., 2014. – 560 с.

130. Решетников, М. В. Тяжелые металлы в почвах на территории памятника природы «Городской парк культуры и отдыха города Саратова» / М. В. Решетников, Е. В. Прокофьева, В. Н. Ерёмин, А.С. Шешнёв // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2016. - Т. 18. - № 1-1. - С. 34-38.

131. Рыжов, А. В. Геохимия дорожной пыли (Западный округ Москвы) // А. В. Рыжов, Н. С. Касимов, Д. В. Власов // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана. Доклады Всерос. науч. конф.. 18-20 октября 2016 г., Москва).- М. : Географический факультет МГУ, 2016. . – С. 464-467.

132. Сает, Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. – М. : Недра, 1990. – 335 с.

133. Сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации [электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/>

134. Сайт проекта «Гармонизация экологических стандартов (ГЭС) II» [электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.ippr-russia.org/>

135. Синцов, А. В. Изменение почвенного покрова города Астрахани под воздействием техногенных факторов городской инфраструктуры / А. В. Синцов, И. С. Шарова, Д. И. Ивенская // Экология России: на пути к инновациям: межвузовский сборник научных трудов, Астрахань : Изд-во Нижневолжского экоцентра, 2013. – Вып.8. – С. 76-79.

136. Семашко, К. И. Некоторые закономерности распределения ветрового потока / К. И. Семашко // Оздоровление окружающей среды городов. – М. : Стройиздат, 1973. – С. 99-108.

137. Серeda, Л. О. Экологическая оценка почвенного покрова методами биоиндикации и биотестирования / Л. О. Серeda, М. А. Клевцова // Научное обозрение. – 2015. – № 20. – С. 81-85.

138. Серeda, Л. О. Загрязнение нефтепродуктами почвенного покрова г. Воронежа / Л. О. Серeda, С. А. Куролап // Экологические проблемы промышленных городов: сборник научных трудов по материалам 7-й Всерос. науч.-практ. конф. Часть 1., - Саратов : Изд-во СГТУ, 2015. – С.91-94.

139. Серeda, Л. О. Тяжелые металлы в почвенном покрове функциональных зон города Воронежа / Л. О. Серeda, С. А. Куролап

// Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана. Доклады Всерос. науч. конф.. 18-20 октября 2016 г., Москва).- М. : Географический факультет МГУ, 2016. – С. 513-517.

140. Серeda, Л. О. Мониторинг эколого-геохимического состояния почвенного покрова города Воронежа / Л. О. Серeda, Л. А. Яблонских, С. А. Куролап // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. - Сер. 11, Естеств. науки. - 2015. - №2 (12) - С.66-73.

141. Серeda, Л. О. Оценка эколого-геохимического состояния почвенного покрова городского округа город Воронеж / Л. О. Серeda, Л. А. Яблонских, С. А. Куролап // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. – 2015. - № 4. - С. 59-65;

142. Скрипальщикова, Л. Н. Биоиндикационные показатели стабильности развития насаждений в нарушенных ландшафтах / Л. Н. Скрипальщикова, В. В. Стасова // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 2. – С. 62-72.

143. Сладкопeвцев, С. А. Геоэкологическая картография / С. А. Сладкопeвцев. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1996. – 108 с.

144. Смoльянинов, В. М. Комплексная оценка антропогенного воздействия на природную среду при обосновании природоохран-ных мероприятий / В. М. Смoльянинов, П. С. Русинов, Д. Н. Панков. – Воронеж : ВГАУ, 1996. – 126 с.

145. Сорокина, О. И. Тяжелые металлы в ландшафтах г. Улан-Батора : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. : 25.00.23 / Сорокина Ольга Игоревна. – М., 2013. – 24 с.

146. Социально-гигиенический мониторинг в Воронежской области. Информационно-аналитические аспекты / М. И. Чубирко, Н. П. Мамчик, С. А. Куролап [и др.] – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1997. – 364 с.

147. Строганова, М. Н. Городские почвы как особая группа почв / М. Н. Строганова, Т. В. Прокофьева // Тез. Докл. 3 съезда Докучаевского общества почвоведов (11-15 июля 2000 г., Суздаль) : Книга 3. – М. : Изд-во «Проспект», 2000. – С. 101.

148. Стурман, В. И. Экологическое картографирование : учебное пособие / В. И. Стурман. – М. : Аспект-Пресс, 2003. – 251 с.

149. Тигеев, А. А. Структура региональной экологической ГИС Тюменской области / А. А. Тигеев // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2009. – № 10. – С. 210-213.

150. Тикунов, В. С. Устойчивое развитие территории : картографо-геоинформационное обеспечение / В. С. Тикунов, Д. А. Цапук. – М., Смоленск : Изд-во СГУ, 1999. – 176 с.

151. Трифонова, Т. А. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях : учебное пособие для вузов по экологическим специальностям / Т. А. Трифонова, Н. В. Мищенко, А. Н. Краснощеков. – М. : Академический проект, 2005. – 352 с.

152. Тяжелые металлы в почвах Ростова-на-Дону: монография/ Д.Ю. Шишкина; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. – 98 с.

153. Умывакин, В. М. Графо-аналитический подход к экологическому картированию (районированию) и его программная реализация / В. М. Умывакин // Методология экологического нормирования : тез. докл. Всесоюз. конф., 16-21 апр. 1990 г. – Харьков, 1990. – С. 185-186.

154. Федорова, А. И. Биоиндикация и биотестирование состояния окружающей среды : учебное пособие / А. И. Федорова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2006. – 39 с.

155. Федорова, А. И. Загрязнение поверхностных горизонтов почв г.Воронежа тяжелыми металлами / А. И. Федорова, Е. В. Шунелько // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2003. - №1 - С.74-82;

156. Федорова, А. И. Кислотность почв под зелеными насаждениями г.Воронежа как индикационный признак состояния городской экосистемы / А.И. Федорова, Е. В. Шунелько // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2000. - №4 - С.77-84;

157. Финкельштейн, М. Я. Развитие инструментальных средств ГИС ИНТЕГРО / М. Я. Финкельштейн, К. В. Деев // Геоинформатика. – 2003. - №2. - С. 49-51.

158. Фомин, Г. С. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник / Г. С. Фомин, А. Г. Фомин. - М. : Протектор, 2001. - 304 с.

159. Хайбрахманов, Т. С. Картографическая база данных по качеству городской среды (на примере Восточного административного округа г. Москвы) / Т. С. Хайбрахманов // Инженерные изыскания. - 2012. - № 11. - С. 42-49.

160. Хомич, В. С. Городская среда : геоэкологические аспекты : монография / В.С. Хомич и др. – Минск : Беларус. навука, 2013. – 301 с.

161. Хузина, Г. Р. Характеристика флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа липы мелколистной (*Tilia*

- cordata L.) / Г. Р. Хузина // Вестник Удмуртского университета. – 2011. – Вып. 3. – С. 47-52.
162. Чендев, Ю. Г. Тенденции и закономерности антропогенной эволюции черноземов в агролесомелиоративных ландшафтах на территории лесостепи центра Восточной Европы / Ю. Г. Чендев, А. Н. Петин, Л. Л. Новых, Е. А. Заздравных, Т. Д. Соэр, Р. Б. Холл // Проблемы региональной экологии. - 2012. - № 2. - С. 7-13.
163. Швер, Ц. А. Климат Воронежа / Ц. А. Швер, С. А. Павлов. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 104 с.
164. Шумилова, М. А. Исследование загрязненности снежного покрова на примере города Ижевска / М. А. Шумилова, О. В. Садидуллина, В. Г. Петров // Вестник Удмуртского ун-та. Сер. Физика. Химия. - 2012. – Вып. 2. – С. 83-89.
165. Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н. С. Касимова. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – 336 с.
166. Экологическая оценка и картографирование состояния городской среды : Сб. науч. статей / под общ. ред. С. А. Куролапа и О. В. Клепикова. – Воронеж: Цифровая полиграфия, 2014. – 167 с.
167. Экологическая оценка состояния городской среды: Сб. науч. статей / под общ. ред. С. А. Куролапа и О. В. Клепикова. – Воронеж : Научная книга, 2016. – 151 с.
168. Экологические проблемы урбанизированных территорий. – Иркутск : ИГ СО РАН, 1998. - 200 с.
169. Экологические функции городских почв. / под ред. Курбатовой А.С. и Башкина В.Н. - М. : Манджента, 2004. - 228 с.
170. Экология города / под ред. А. С. Курбатовой, Н. С. Касимова, В. Н. Башкина. - М. : Научный мир, 2004. - 624 с.
171. Экология человека : учебное пособие / под ред. Б. П. Прохорова. – М. : Изд-во МНЭПУ, 2001. – 440 с.
172. Эколого-аналитические методы исследования окружающей среды: учеб.пособие / Т. И. Прожорина и др. – Воронеж : Истоки, 2010. – 304 с.
173. Эколого-гигиенические основы мониторинга и охраны городской среды / Н. П. Мамчик и др. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. - 332 с.
174. Якушев, А. Б. Экологическая оценка воздействия автотранспорта на воздушный бассейн городов Центрального Черноземья / А. Б. Якушев, С. А. Куролап, М. А. Карпович. – Воронеж : Научная книга, 2013. – 207 с.

175. Al-Chalabi A.S., Hawker D., Distribution of vehicular lead in roadside soils of major roads of Brisbane, Australia // *Water, Air and Soil Pollution*. 2000. Vol. 118. pp. 299–310;
176. Batjargal T., Otgonjargal E., Baek K., Yang J.-S. Assessment of Metals Contamination of Soils in Ulaanbaatar, Mongolia // *J. of Hazardous Materials*. 2010. Vol. 184. pp. 872-876;
177. Birch, G.E., Scollen, A. Heavy metals in road dust, gully pots and parkland soils in a highly urbanised subcatchment of Port Jackson, Australia. // *Australian Journal of Soil Research*. 2003. Vol. 41. pp. 1329–1342
178. Burghardt W., Ohlemann S. Bodenfysikalische Merkmale der urban-industriell über für niter Boden in Oberhausen-Brücktorviertel. // *Mitt. Dtsch. Boden-kundl.* 1993. Ges. 72. ss. 855-858
179. Engelhard C., De Toffol S., Lek I. Environmental impacts of urban snow management – The alpine case study of Innsbruck // *Sci. of Tot. Environ.*, 2007. vol. 328. iss. 2-3. pp. 286-294.
180. Fatoki, O.S. Trace zinc and copper concentration in roadside surface soils and vegetation / A measurement of local atmospheric pollution in Alice, South Africa. *Environmental Interpretation*. 1996. Vol. 22. pp. 759–762.
181. García, R., Millán, E., Assessment of Cd, Pb and Zn contamination in roadside soils and grasses from Gipuzkoa (Spain). // *Chemosphere*. 1998. Vol. 37. pp. 1615–1625.
182. Gulson, B.L., Tiller, K.G., Mizon, K.J., Merry, R.H. Use of lead isotopes in soils to identify the source of lead contamination near Adelaide, South Australia. // *American Chemical Society*. 1981. V. 15(6). pp. 691–696.
183. Haiyan W., Stuanes A.O. Heavy metal pollution in air-water-soil-plant system of Zhuzhou city, Hunan province, China // *Water, Air, and Soil Pollution*. Vol. 147. 2003. pp. 79-107.
184. Ho Y.B. Elevated levels of lead and other metals in roadside soil and grass and their use to monitor aerial metal depositions in Hong Kong / Y.B. Ho, K.M. Tai // *Environmental Pollution*. 1988. Vol. 49. pp. 37–51.
185. Integrated assessment and GIS-mapping of the environmental state of the city of Voronezh (Russia) / Semen A. Kurolap, Oleg V. Klepikov, Pavel M. Vinogradov, Tatyana I. Prozhorina, Liudmila O. Sereda // *Geography, Environment, Sustainability* 2015. No 4. (v. 08). – pp. 42-53;

186. Lasat M.M. Phytoextraction of Toxic Metals: a review of Biological Mechanisms // *Journal of Environmental Quality*. 2002. Vol. 31. pp. 109–120.
187. Maestri E., Marmiroli M., Visioli G., Marmiroli N. Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment. // *Environmental and Experimental Botany*. 2010. Vol. 68. pp. 1–13
188. McGrath SP, Zhao FJ, Lombi E. Plant and rhizosphere process involved in phytoremediation of metal-contaminated soils. // *Plant Soil*. 2001. Vol. 232. pp. 207-214.
189. Meinardi C.R. Soil quality. Fertile ground for standardization // *ASTM Standardization News*. 1996. No 2. pp. 8-12\$
190. Minkina T. M., Pinskii D. L., Samokhin A. P., Kryshchenko V. S., Gaponova Y. I., Mikailsoy F.D. Effect of Attendant Anions on the Adsorption of Zinc, Copper, and Lead by Chernozems // *Eurasian Soil Science*. 2009. Vol. 42. № 5. pp. 516-522.
191. Mullins, C.E. Physical properties of soils in urban areas. / In: Bullock P, Gregory PJ, editors. *Soils in the urban environment*. Oxford: Blackwell. 1991. - pp. 87–118.
192. Munch D. Vorkommen and Eluirverhalten von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Schwermetallen in teerhaltigem Strabenaufbruch // *Bitumen*. 1992. Vol. 54. No 3. ss. 108-114.
193. Pollard A.J. Metal hyperaccumulation: a model system for co-evolutionary studies. *New Phytologist*. 2000. Vol. 146. pp. 179 -181;
194. Pulford, I.D., Riddell-Black, D., Stewart, C. Heavy metal uptake by willow clones fromsewage sludge-treated soil: the potential for phytoremediation. // *International Journal Phytoremediation*. 2002. Vol. 4. pp. 59–72.
195. Punshon, T., Dickinson, N.M. Heavy metal resistance and accumulation characteristics in willows. // *International Journal of Phytoremediation*. 1999. Vol. 1. pp. 361 – 385.
196. Raskin I., Smith R.D., Salt D.E. Phytoremediation of metals: using of plants to remove pollutants from environment. // *Current Opinion in Biotechnology*. 1997. Vol. 8(2). pp. 221 – 226.
197. Sánchez Martín M.J. Cadmium and lead contents in suburban and urban soils from two medium-sized cities of Spain / M.J. Sánchez Martín, M. Sánchez Camazano, L.F. Lorenzo // *Influence of traffic intensity. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2000. Vol. 64. pp. 250–257.

198. Smolders, E., Degryse, F. Fate and effect of zinc from tire debris in soil // *Environmental Science and Technology*. 2002. Vol. 36. pp. 3706–3710;
199. Sutherland, R.A., Day, J.P., Bussen, J.O., Lead concentrations, isotope ratios and source apportionment in road deposited sediments, Honolulu, Oahu, Hawaii. // *Water, Air and Soil Pollution*. 2003. Vol. 142. pp. 165–186.
200. Turer D., Maynard J.B., Sansalone J.J. Heavy metal contamination in soils of urban highways: comparison between runoff and soil concentrations at Cincinnati, Ohio // *Water, Air and Soil Pollution*. 2001. V. 132. pp. 293–314.
201. Turiel I. Indoor air pollution. Stanford University Press // Stanford, CA. - 1985. - 124 p.
202. Van Assche F., Clijsters H. Effects of metals on enzyme activity in plants. // *Plant Cell and Environment*. 1990. Vol. 13. 195-206.
203. Viklander M. Particle size distribution and metal content in street sediments // *Journal of Environmental Engineering*. 1998. Vol. 124. pp. 761–766.
204. Wang X.S., Qin Y. Spatial distribution of metals in urban topsoils of Xuzhou (China): controlling factors and environmental implications. / Springer-Verlag, 2005. pp. 905-914.
205. Wanner H. Monitoring and Modelling Airflow and Air Pollution as a Base for Landuse Planning // The case of Biel. Switzerland. International Geographical Congress. Washington. 1992. pp. 230-256.
206. Ware J.Y. Assessment of the health effects of atmospheric sulfur dioxide and particulate matter: evidence from observational studies / J.Y. Ware, L.A. Thibodeau, F.E. Speizer // *Environ. Health Perspect.* 1981. pp. 255-276.
207. World Health Organization. Air Quality for Europe. WHO Regional Publications. No 23. Copenhagen. 1987. 220 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Фотоматериалы объектов исследования (почвенный покров, выборочно).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Результаты статистического анализа закономерностей формирования техногенного загрязнения почвенного покрова.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Показатели состояния почвенного покрова в разных функционально-планировочных зонах города по итогам мониторинга.

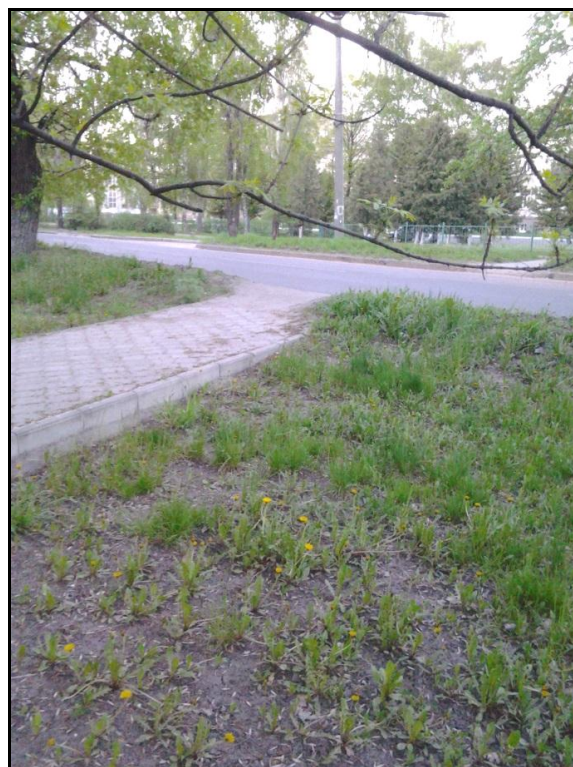
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Результаты геоинформационного картографирования почвенного покрова на почвенной картосхеме города (фрагмент по загрязнению почв цинком).

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Элементы базы данных по состоянию почвенного покрова.

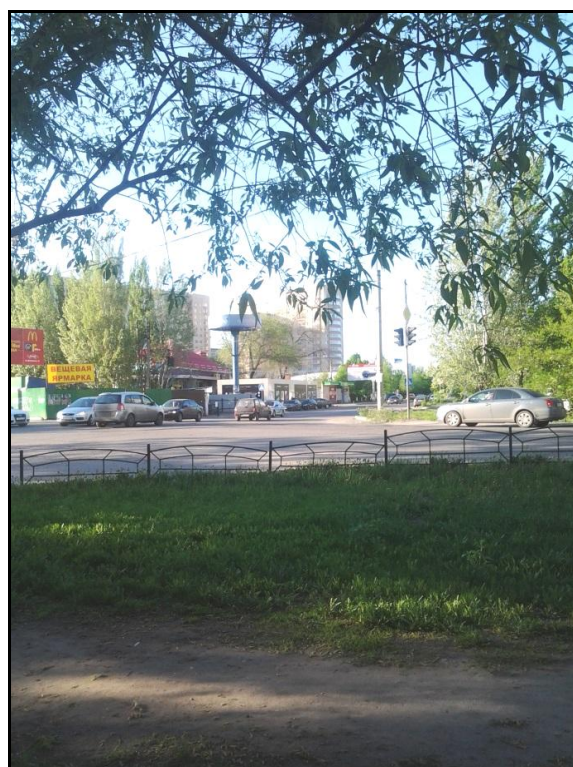
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Фотоматериалы объектов исследования (почвенный покров, выборочно)



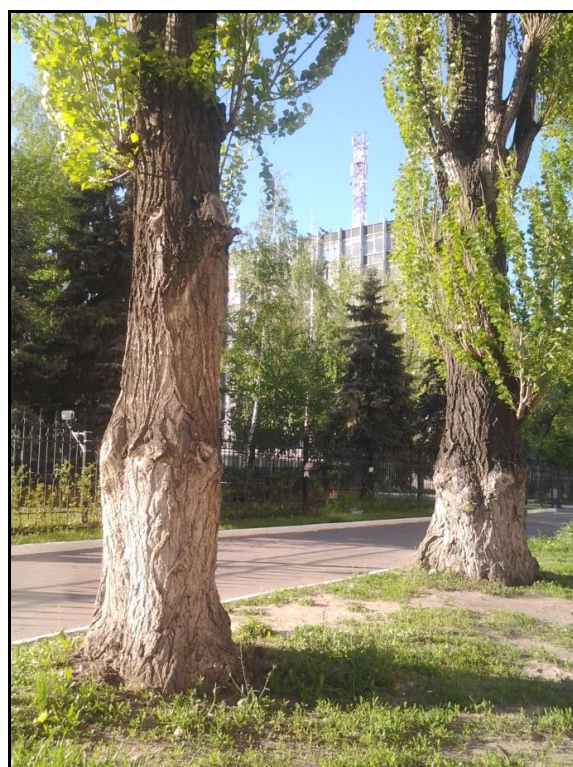
Пункт отбора № 10
(Ленинский проспект, 149)



Пункт отбора № 48
(ул. Ленинградская, 98а)



Пункт отбора № 53
(ул. Димитрова - ул. Ленинград-
ская, 149)

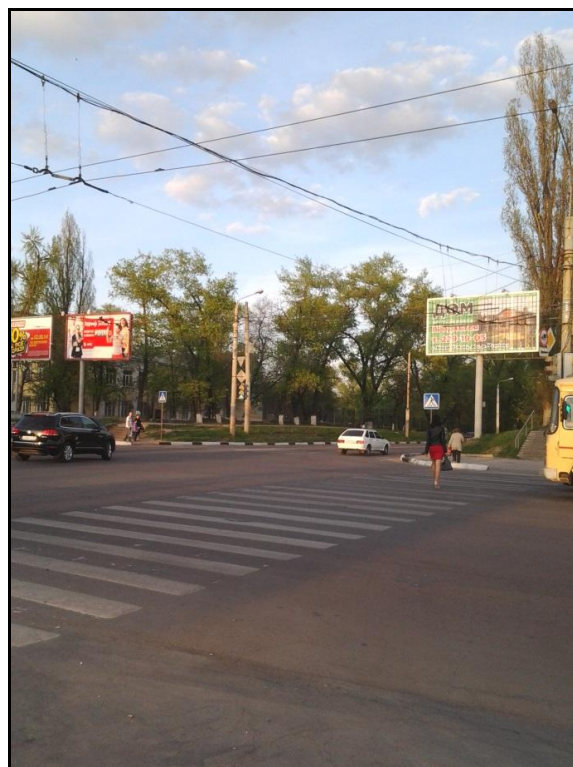


Пункт отбора № 8
(ул. Старых Большевиков, 47)

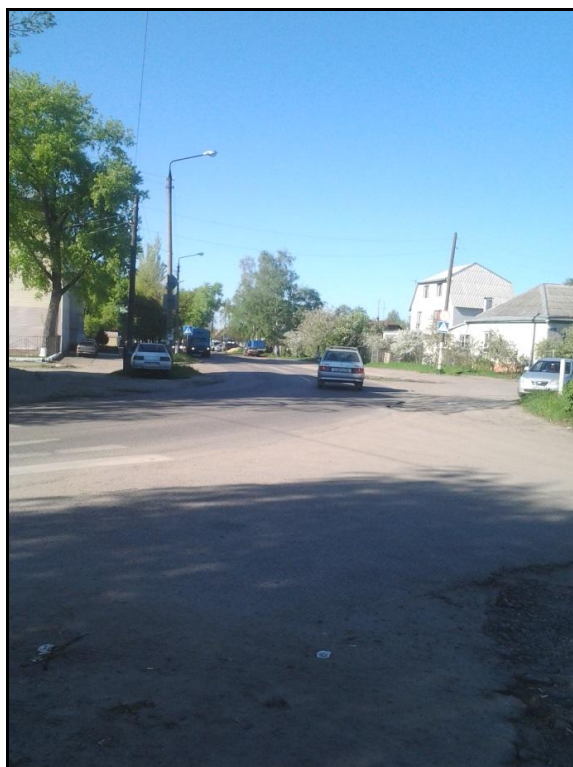
Продолжение приложения 1



Пункт отбора № 9
(Парк «Дельфин»)



Пункт отбора № 52
(ул. Брусилова – Ленинский проспект)



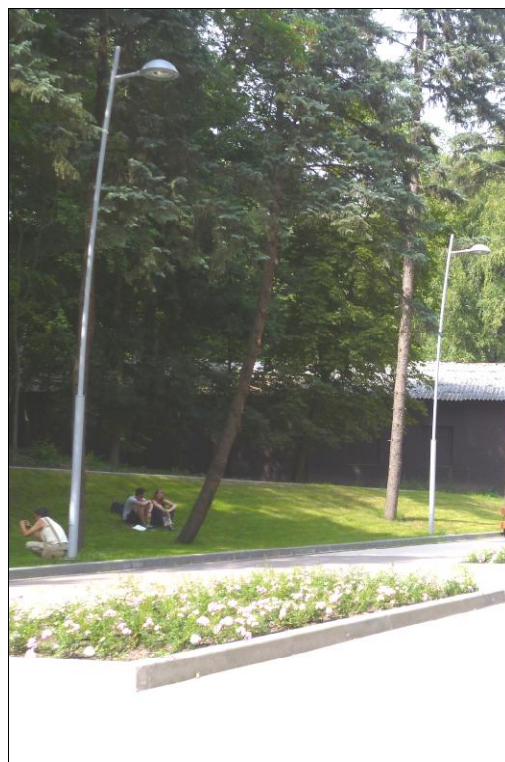
Пункт отбора № 15
(ул. Куйбышева – ул. Панфилова)



Пункт отбора № 13
(ул. Землячки, 1)



Пункт отбора № 51
(Парк «Алые паруса», РЗ)



Пункт отбора № 102
(парк «Динамо», РЗ)



Почвенный разрез № 8



Почвенный разрез № 9

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Результаты статистического анализа закономерностей формирования техногенного загрязнения почвенного покрова

Корреляционные связи между показателями почвенного покрова по результатам анализа в 2014 году (2.1)

Показатели	Коэффициенты корреляции (r)						
	Нефтепродукты	Гумус	pH _{H2O}	Zn (н.ф.)	Pb (н.ф.)	Cd (н.ф.)	Cu (н.ф.)
SO ₃ (%)	0,30	0,13	0,24	0,14	0,39	-0,06	0,03
Nb (%)	0,01	0,32	-0,07	-0,10	0,01	-0,09	-0,05
Длина проростка кресс-салата	-0,31	0,15	-0,37	-0,25	-0,17	-0,12	-0,18
ФЭ* кресс-салат	0,07	-0,10	0,3	0,04	0,00	-0,07	-0,05
Длина главного корня кресс-салат	-0,09	0,25	-0,37	-0,21	-0,02	-0,07	-0,06
Биомасса кресс-салат	-0,10	-0,04	-0,33	-0,22	-0,04	-0,04	-0,03
Биомасса овес	-0,10	0,14	-0,34	-0,14	-0,24	-0,02	-0,14
Pb (п.ф.)	0,11	0,07	0,21	0,41	1,0	0,12	0,50
СПЗ	0,11	0,05	0,24	0,75	0,87	0,15	0,64
Zn (%)	0,06	0,27	0,22	0,32	0,25	-0,05	-0,07
Cu (п.ф.)	0,04	-0,03	0,10	0,19	0,50	0,07	1,0
V (%)	-0,03	0,03	0,18	0,07	0,04	0,61	0,0
As (%)	0,16	-0,20	0,04	-0,09	-0,08	0,33	-0,07
Показатели	Токсичность	ФЭ* овес	Длина главного корня кресс-салат	Cl (%)	Na ₂ O (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)
Na ₂ O (%)	-0,31	-0,01	0,11	0,62	1,00	0,47	0,20
Mo (%)	0,32	0,05	-0,30	-0,09	-0,14	-0,20	-0,17
MgO (%)	-0,14	0,31	-0,01	0,0	0,47	1,00	0,62
Al ₂ O ₃ (%)	-0,12	0,38	-0,10	-0,25	0,20	0,62	1,0
Pb (%)	0,06	0,32	-0,04	-0,15	-0,08	0,30	0,22
Ni (%)	0,23	0,10	-0,31	-0,32	-0,49	-0,24	-0,07
P ₂ O ₅ (%)	0,18	0,0	-0,10	-0,41	-0,75	-0,21	-0,08
K ₂ O (%)	-0,03	0,11	-0,01	-0,34	-0,33	0,33	0,34
TiO ₂ (%)	0,04	0,13	-0,05	-0,46	-0,54	0,22	0,33
MnO (%)	0,09	0,04	0,02	-0,45	-0,50	0,16	0,28
Fe ₂ O ₃ (%)	0,02	0,17	-0,08	-0,44	0,49	0,23	0,35
Cu (%)	0,10	0,10	-0,16	-0,42	-0,59	-0,05	0,13
Ga (%)	-0,15	0,19	0,07	0,21	0,71	0,76	0,42
Zr (%)	0,11	0,13	-0,05	-0,26	-0,37	-0,03	0,12
Nb (%)	-0,12	-0,22	-0,02	-0,18	-0,32	-0,12	-0,04
SiO ₂ (%)	0,05	-0,29	0,13	0,27	0,18	-0,46	-0,56
V (%)	0,0	0,23	-0,13	-0,03	0,27	0,49	0,34
Ba (%)	-0,02	0,23	-0,07	0,01	0,21	0,40	0,28
Rb (%)	0,04	0,25	0,04	-0,21	-0,17	0,21	0,31

Продолжение приложения 2.1

<i>Показатели</i>	<i>SiO₂ (%)</i>	<i>P₂O₅ (%)</i>	<i>SO₃ (%)</i>	<i>K₂O (%)</i>	<i>TiO₂ (%)</i>	<i>MnO (%)</i>	<i>Fe₂O₃ (%)</i>
P ₂ O ₅ (%)	-0,51	1,0	0,25	0,66	0,75	0,68	0,71
SO ₃ (%)	-0,42	0,27	1,0	0,20	0,03	0,10	0,19
K ₂ O (%)	-0,81	0,66	0,20	1,00	0,93	0,86	0,92
CaO (%)	-0,65	0,35	0,63	0,33	0,23	0,26	0,38
TiO ₂ (%)	-0,74	0,75	0,03	0,93	1,00	0,89	0,92
MnO (%)	-0,69	0,68	0,10	0,86	0,89	1,00	0,84
Fe ₂ O ₃ (%)	-0,85	0,71	0,19	0,92	0,92	0,84	0,80
Cu (%)	-0,60	0,75	0,17	0,65	0,70	0,64	0,55
Zn (%)	-0,59	0,47	0,63	0,42	0,39	0,42	0,56
Rb (%)	-0,47	0,30	-0,05	0,64	0,61	0,58	0,61
Sr (%)	-0,62	0,47	0,31	0,63	0,51	0,53	0,46
Zr (%)	-0,31	0,41	-0,17	0,52	0,59	0,55	0,40
Nb (%)	-0,31	0,41	0,15	0,28	0,33	0,28	0,31
Ba (%)	-0,39	0,06	0,16	0,40	0,29	0,29	0,56
Pb (%)	-0,44	0,29	0,35	0,32	0,26	0,32	0,39
Ni (%)	-0,24	0,47	-0,01	0,30	0,34	0,31	0,41
Ga (%)	0,03	-0,59	-0,01	0,65	-0,28	0,64	0,80
La (%)	-0,21	0,31	0,15	0,42	0,24	0,42	0,55
<i>Показатели</i>	<i>V (%)</i>	<i>Cr (%)</i>	<i>Ni (%)</i>	<i>Cu (%)</i>	<i>Zn (%)</i>	<i>Ga (%)</i>	<i>Rb (%)</i>
Ga (%)	0,44	-0,29	-0,42	-0,43	-0,12	1,0	-0,10
As (%)	0,35	0,13	-0,03	-0,09	-0,26	0,05	0,30
Ni (%)	-0,02	0,51	1,0	0,52	0,15	-0,42	-0,07
Mo (%)	-0,05	0,35	0,76	0,10	-0,05	-0,14	-0,07
Cu (%)	-0,05	0,24	0,52	1,0	0,50	-0,43	0,44
Sr (%)	0,01	0,04	0,39	0,56	0,36	-0,33	0,67
Zr (%)	0,44	-0,29	0,31	0,38	0,07	-0,32	0,84
Zn (%)	0,01	0,04	0,15	0,50	1,0	-0,12	0,13
Rb (%)	0,44	-0,29	0,30	0,44	0,13	-0,10	1,0
Nb (%)	-0,16	-0,05	0,04	0,32	0,28	-0,27	-0,43
Pb (%)	0,26	0,02	0,22	0,52	0,52	0,07	0,43
Ba (%)	0,26	0,02	0,12	0,20	0,24	0,22	0,76
La (%)	-0,14	-0,06	0,01	0,27	0,24	-0,21	-0,41

*ФЭ – фитотоксический эффект, п.ф. – подвижная форма, % - элементный анализ

Корреляционные связи между показателями почвенного покрова по результатам анализа в 2015 году (2.2)

Показатели	Коэффициенты корреляции (r)					
	Гумус	pH _{H2O}	Zn (н.ф.)	Pb (н.ф.)	Cd (н.ф.)	Cu (н.ф.)
Длина проростка овса	0,43	-0,06	-0,16	0	0,15	0
K ₂ O (%)	0,33	-0,04	0,03	0,04	-0,02	0,11
V (%)	0,37	-0,01	0,07	-0,07	0,12	0,10
Ni (%)	-0,31	-0,11	0,06	-0,01	0,17	-0,07
ФЭ кресс-салат	0,03	0,35	0,16	0,08	-0,08	0
ФЭ овес	0,04	0,53	0,10	0,14	-0,04	-0,12
Длина проростка кресс-салата	-0,07	-0,34	-0,18	-0,18	0,04	0,01
Длина главного корня овса	0,19	-0,37	-0,25	-0,15	0,11	0,01
Длина главного корня кресс-салата	-0,03	-0,32	-0,22	-0,25	0,03	-0,06
Биомасса овес	0,15	-0,43	-0,28	-0,16	0,08	0,20
Pb (н.ф.)	-0,18	0,18	0,60	1,0	0,02	-0,09
Mn (н.ф.)	0,02	0,04	-0,32	-0,24	-0,17	-0,10
СПЗ	-0,11	0,19	0,77	0,94	0,02	0,11
Zn (%)	0,11	-0,01	0,31	0,06	0,20	-0,01
Pb (%)	-0,10	-0,07	0,35	0,36	0,07	0,02
Cl (%)	-0,28	0,18	-0,07	0,35	-0,13	-0,07
MgO (%)	0,03	-0,07	-0,09	0,06	0,56	-0,03
SiO ₂ (%)	0,01	0,11	0,10	-0,04	-0,43	-0,01
SO ₃ (%)	0,05	0,12	-0,05	0,10	0,33	0,08
CaO (%)	-0,11	0,03	-0,08	0,10	0,59	-0,05
Cr (%)	-0,26	0,06	0,0	0,07	0,48	-0,09
Токсичность	0,12	-0,13	-0,03	-0,06	-0,17	0,41
Показатели	Na ₂ O (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	SO ₃ (%)
Al ₂ O ₃ (%)	0,55	0,24	1,0	-0,35	-0,12	-0,22
K ₂ O (%)	0,31	0,04	0,55	-0,29	0,35	-0,13
V (%)	0,74	0,30	0,77	-0,29	-0,22	-0,13
Cr (%)	-0,32	0,48	-0,24	-0,46	0,37	0,60
Ni (%)	-0,33	0,07	-0,04	-0,21	0,60	0,29
Ga (%)	0,60	0,18	0,78	-0,13	-0,24	-0,06
Zr (%)	-0,36	-0,27	0,18	-0,08	0,44	-0,18
Nb (%)	0,57	-0,16	0,44	0,11	-0,40	-0,28
Ba (%)	0,34	-0,23	0,38	-0,13	0,42	0,06
La (%)	0,73	0,46	0,62	-0,31	-0,30	-0,03
Показатели	Na ₂ O (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	SO ₃ (%)
SiO ₂ (%)	-0,23	-0,72	-0,35	1,0	-0,19	-0,27
CaO (%)	0,09	0,85	0,04	-0,75	0,17	0,52
TiO ₂ (%)	0,08	-0,03	0,65	-0,30	0,36	-0,17
Fe ₂ O ₃ (%)	0,09	0,19	0,55	-0,47	0,50	0,09
Pb (%)	-0,16	0,07	0,03	-0,34	0,58	0,38

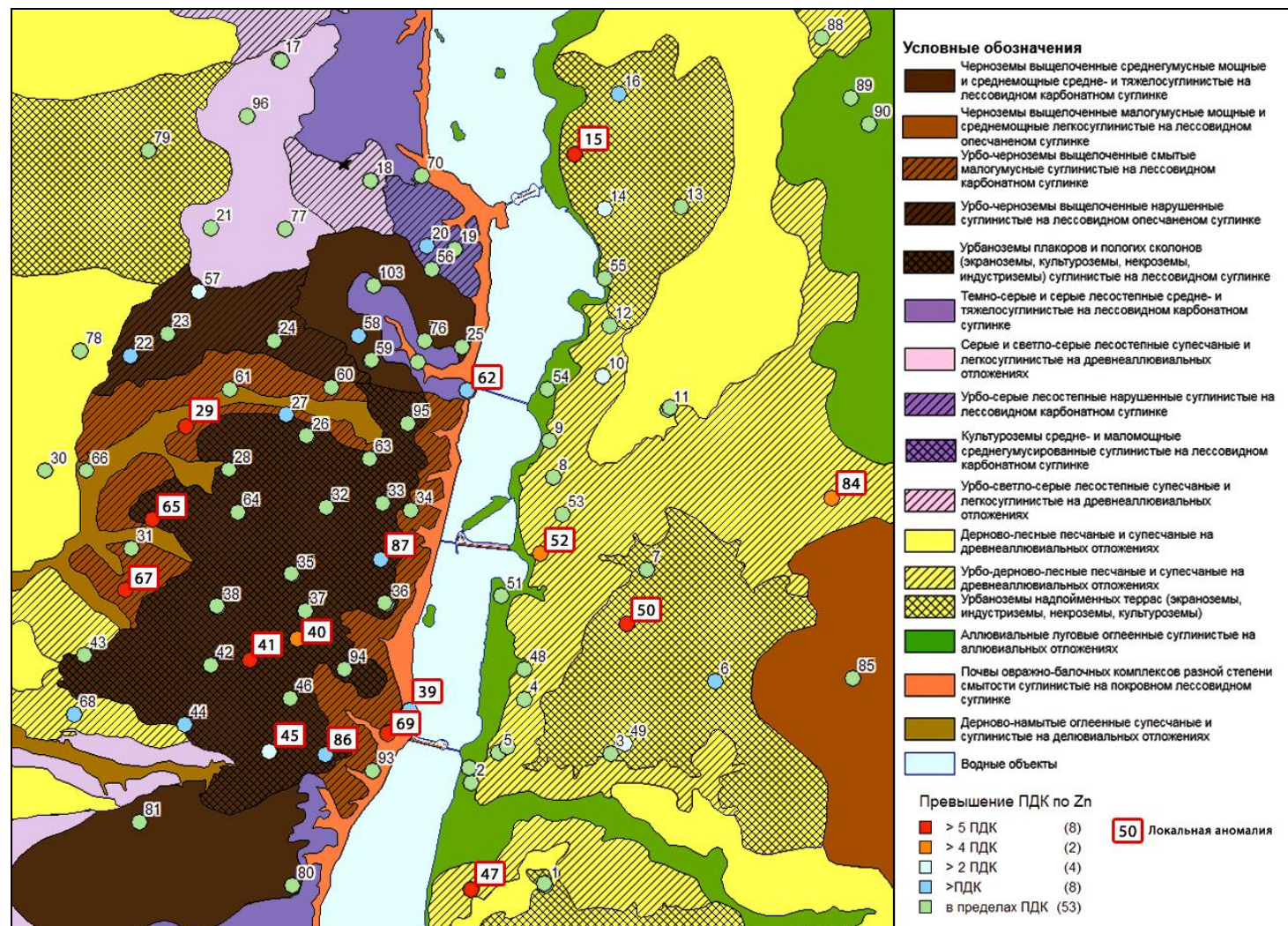
Продолжение приложения 2.2

<i>Показатели</i>	<i>K₂O (%)</i>	<i>CaO (%)</i>	<i>TiO₂ (%)</i>	<i>MnO (%)</i>	<i>Fe₂O₃ (%)</i>	<i>V (%)</i>
TiO ₂ (%)	0,86	-0,02	1,0	0,55	0,87	0,40
MnO (%)	0,38	0,36	0,55	1,0	0,61	0,17
Fe ₂ O ₃ (%)	0,85	0,26	0,87	0,61	1,0	0,17
V (%)	0,40	0,06	0,36	0,17	0,17	1,0
Cu (%)	0,46	0,32	0,50	0,43	0,73	-0,14
Zn (%)	0,37	0,16	0,31	0,21	0,50	-0,03
Rb (%)	0,88	0,09	0,84	0,54	0,89	0,08
Sr (%)	0,69	0,27	0,69	0,44	0,83	-0,16
Zr (%)	0,57	-0,11	0,76	0,39	0,69	-0,24
Ba (%)	0,67	-0,11	0,59	0,25	0,61	0,29
Pb (%)	0,36	0,33	0,32	0,29	0,55	-0,18
Br (%)	0,32	-0,10	0,34	0,12	0,27	0,06
Nb (%)	-0,06	-0,36	-0,01	-0,12	-0,26	0,70
Cr (%)	-0,14	0,74	-0,08	0,35	0,23	-0,31
Ni (%)	0,12	0,23	0,20	0,39	0,41	-0,25
Ga (%)	0,20	0,00	0,29	0,15	0,17	0,78
La (%)	0,10	0,24	0,04	0,08	0,01	0,84
<i>Показатели</i>	<i>Cr (%)</i>	<i>Ni (%)</i>	<i>Cu (%)</i>	<i>Zn (%)</i>	<i>Rb (%)</i>	<i>Sr (%)</i>
Ni (%)	0,64	1,0	0,68	0,50	0,36	0,50
Cu (%)	0,48	0,68	1,0	0,56	0,67	0,80
Zn (%)	0,34	0,50	0,56	1,0	0,46	0,54
Sr (%)	0,34	0,50	0,80	0,54	0,87	1,0
Nb (%)	-0,58	-0,41	-0,52	-0,22	-0,34	-0,55
Pb (%)	0,41	0,46	0,79	0,62	0,55	0,68
Zr (%)	0,08	0,39	0,65	0,31	0,78	0,78
Rb (%)	0,10	0,36	0,67	0,46	1,0	0,87
La (%)	-0,21	-0,25	-0,31	-0,15	-0,19	-0,29

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Показатели состояния почвенного покрова в разных функционально-планировочных зонах города

Показатель	ФЗ города			
	жилая	транспортная	рекреация	промышленная
Нефтепродукты, мг/кг	278,59	484,01	110,88	304,76
Органический углерод, %	2,36	2,07	2,37	2,37
Гумус, %	4,08	3,57	4,09	4,08
pH _{H2O}	7,23	7,52	6,93	7,85
Zn, мг/кг (подвижная)	17,91	35,47	9,41	44,51
Pb, мг/кг (подвижная)	13,31	13,40	3,67	12,30
Cd, мг/кг (подвижная)	0,02	0,04	0,0	0,01
Cu, мг/кг (подвижная)	0,14	1,66	0,04	0,34
Mn, мг/кг (подвижная)	334,70	329,57	392,85	414,13
СПТЗ	32	51	6	65
Уровень СПТЗ	Умеренно опасная	Опасная	Допустимая	Опасная
Z _c	21	33	4	43
Уровень Z _c	Умеренно опасная	Опасная	Допустимая	Опасная
Токсичность, %	20,8	7,4	18,8	30,8
Категория токсичности	норма	норма	норма	повышенная
Ф/э овес	42,2	53,2	20,4	56,2
Уровень ф/э овес	средний	средний	слабый	средний
Ф/э кресс-салат	31,2	46,2	17,1	41,1
Уровень ф/э кресс-салат	средний	средний	слабый	средний
Cl (%)	0,029	0,032	0,041	0,044
Na ₂ O (%)	0,486	0,489	0,496	0,419
MgO (%)	0,861	0,932	0,866	0,632
Al ₂ O ₃ (%)	9,150	9,195	8,402	6,590
SiO ₂ (%)	74,769	74,451	77,706	75,384
P ₂ O ₅ (%)	0,495	0,521	0,457	0,486
SO ₃ (%)	0,351	0,347	0,245	0,471
K ₂ O (%)	2,361	2,669	2,382	2,049
CaO (%)	4,495	4,645	3,568	4,680
TiO ₂ (%)	0,788	0,884	0,791	0,662
MnO (%)	0,110	0,110	0,105	0,082
Fe ₂ O ₃ (%)	4,975	5,366	4,692	4,229
V (%) (валовое)	0,005	0,008	0,005	0,004
Cr (%) (валовое)	0,045	0,022	0,008	0,029
Ni (%) (валовое)	0,007	0,010	0,005	0,009
Cu (%) (валовое)	0,009	0,009	0,007	0,009
Zn (%) (валовое)	0,038	0,035	0,027	0,038
Ga (%) (валовое)	0,001	0,001	0,001	0,001
Rb (%) (валовое)	0,009	0,011	0,009	0,007
Sr (%) (валовое)	0,016	0,020	0,013	0,014
Zr (%) (валовое)	0,043	0,061	0,047	0,038
Nb (%) (валовое)	0,012	0,010	0,012	0,015
Ba (%) (валовое)	0,079	0,086	0,077	0,067
La (%) (валовое)	0,006	0,010	0,009	0,016
Pb (%) (валовое)	0,007	0,005	0,004	0,005
As (%) (валовое)	0,003	0,005	0,004	0,002

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Результаты геоинформационного картографирования почвенного покрова на почвенной картосхеме города (фрагмент по загрязнению почв цинком)



Превышение ПДК цинка в подвижной форме /по пунктам отбора проб/

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Элементы базы данных по состоянию почвенного покрова

№ точки	Адрес	Район города	Функциональная зона	Нефтепродукты, мкг/т	Гумус, %	C, %	pH	Zn	Pb	Cd	Cu	Mn	СПЗ	Токсичность	Фитотоксический эффект				Длина проростка, см		Длина главного корня, см		Общая, см		Биомасса, г						
															ошс	нхт/т/ошс	нхс/с/ошс	выс/ошс	ошс	нхс/с/ошс	ошс	нхс/с/ошс	ошс	нхс/с/ошс	ошс	нхс/с/ошс	ошс	нхс/с/ошс	ошс	нхс/с/ошс	
1	ул. Ростовская, 44	Левобережный	жилая ЦИ	40,67	1,43	0,83	7,8	20,00	41,00	0,00	0,00	45,00	8	21,60%	40%	средняя	50%	высокая	9	4	5	3	14	7	0,29	0,05					
2	ул. Лебедева, 2	Левобережный	промышленная	140,00	4,18	2,42	8,8	4,20	0,021	0,00	0,00	555,00	0	-41,36%	70%	высокая	80%	высокая	4	2	5	1	9	3	0,15	0,02					
5	ул. Гварея Стратосферы, 8	Левобережный	жилая ЦИ	160,00	2,00	1,22	8,3	0,009	0,160	0,00	0,00	44,00	0	21,55%	40%	средняя	30%	слабая	7	2	9	4	16	11	0,32	0,08					
11	большая Электроника	Железнодорожный	рекреация	46,67	0,51	0,30	5,1	13,00	0,05	0,00	0,00	178,00	1	8,93%	40%	средняя	10%	слабая	6	6	6	5	12	11	0,46	0,09					
17	СОК «Олимпик»	Центральный	рекреация	13,33	4,42	2,56	7,9	2,90	0,07	0,00	0,00	246,00	0	5,72%	30%	слабая	40%	средняя	11	4	8	4	19	8	0,81	0,05					
19	ул. Давыда, 1	Центральный	рекреация	60,00	6,77	3,93	6,2	0,05	8,00	0,00	0,00	1020,00	1	24,50%	10%	слабая	10%	слабая	10	6	11	5	21	11	0,69	0,09					
26	ул. Лидия Рябенко, 51/5	Коминтерновский	промышленная	133,33	6,55	3,80	8,2	2,60	7,40	0,00	0,05	116,00	1	68,78%	90%	высокая	90%	высокая	7	3	3	2	10	5	0,18	0,01					
27	Московский проспект, 36	Коминтерновский	транспортная	86,67	6,40	3,71	7,7	31,00	24,00	0,00	0,00	198,00	5	-25,71%	60%	высокая	90%	высокая	11	2	4	1	15	3	0,26	0,02					
35	ул. 9 Января, 49	Ленинский	транспортная	16,67	2,78	1,61	7,6	8,70	15,10	0,089	0,00	201,00	3	35,70%	50%	средняя	60%	высокая	12	4	8	3	20	7	0,43	0,04					
36	ул. Володарского, 60	Центральный	жилая ЦИ	100,00	1,93	1,12	7,5	4,00	4,50	0,066	0,00	309,00	1	18,64%	40%	средняя	60%	высокая	9	4	9	2	18	6	0,38	0,04					
37	ул. 20-летия Октября, 94	Ленинский	транспортная	560,00	3,17	1,84	8,0	7,20	1,30	0,00	0,06	282,00	1	39,09%	80%	высокая	70%	высокая	10	3	4	2	14	5	0,4	0,03					
38	ул. Пирогова, 79	Советский	промышленная	46,67	2,70	1,57	8,0	6,20	8,30	0,00	0,60	640,00	2	64,21%	70%	высокая	30%	слабая	12	4	6	6	18	10	0,12	0,07					
39	Петровская Набережная	Ленинский	рекреация	53,33	7,47	4,33	8,2	97,00	0,51	0,00	0,30	45,00	3	15,29%	30%	слабая	0%	чистая	11	5	4	4	15	9	0,33	0,09					
42	ул. Боршюлова, 30	Советский	жилая ЦИ	220,00	4,54	2,63	7,3	6,40	4,90	0,00	0,35	150,00	1	-8,03%	30%	слабая	30%	слабая	13	2	8	4	21	9	0,94	0,08					
45	ул. Матрсова, 6	Ленинский	транспортная	329,33	4,21	2,44	7,9	61,00	13,00	0,086	0,00	47,00	5	-24,47%	50%	средняя	60%	высокая	10	3	6	2	16	5	0,37	0,04					
49	ул. Транспортная, 83а	Коминтерновский	жилая СП	126,67	6,08	3,52	7,5	0,07	0,71	0,10	0,00	526,00	0	21,43%	60%	высокая	40%	средняя	11	5	4	4	12	9	0,62	0,05					
62	ул. Набережная	Центральный	рекреация	73,33	5,04	2,34	6,9	38,00	14,00	0,04	0,00	112,00	4	31,76%	20%	слабая	40%	средняя	12	1	14	2	20	8	0,58	0,05					
69	ул. Скобеля, 16	Ленинский	транспортная	93,33	4,10	2,34	6,3	5,00	2,50	0,00	0,14	737,00	1	22,32%	30%	средняя	80%	высокая	12	3	5	2	19	5	0,52	0,01					
76	ул. Березовая роща, 24	Центральный	Агроуниверситет	73,33	8,47	4,91	7,1	2,70	0,022	0,012	0,00	53,00	0	0,34%	50%	средняя	30%	слабая	15	4	9	7	5	24	9	0,28	0,07				
77	Московский проспект, 90/1 (за)	Коминтерновский	Агроуниверситет	166,67	7,27	4,22	7,1	0,008	0,006	0,00	0,00	66,00	0	38,18%	30%	слабая	30%	слабая	16	5	12	4	28	9	0,91	0,06					
79	ул. Антонова-Овсеенко, 20 (а)	Коминтерновский	Донская	240,00	0,58	0,34	6,8	2,80	0,04	0,00	0,00	700,00	0	56,19%	10%	слабая	70%	высокая	7	3	7	2	14	5	0,63	0,02					
79	п. Подгорное, ул. Царевская	Коминтерновский	Донская	13,33	2,10	1,22	7,3	0,01	0,024	0,00	0,00	229,00	0	81,64%	50%	средняя	20%	слабая	9	6	2	4	11	10	0,19	0,07					
80	ул. Осоргинская, 148 (крайняя)	Советский	Аэродром	360,00	1,42	0,82	8,1	0,18	2,50	0,01	0,00	476,00	0	-32,05%	50%	средняя	70%	высокая	10	4	5	2	15	6	0,26	0,02					
81	ул. Краснозавиенная, 226	Ленинский	Аэродром	33,33	6,48	3,76	7,7	0,90	0,87	0,00	11,00	128,00	4	110,34%	40%	средняя	20%	слабая	10	5	8	3	18	8	0,88	0,06					
82	ул. Халовская, 9	Советский	Шилово	86,67	5,23	3,03	6,2	0,019	0,005	0,00	0,00	36,00	0	79,19%	20%	слабая	60%	высокая	16	3	12	2	28	5	0,74	0,02					
83	ул. Октябрьская, 106	Советский	Шилово	26,67	0,62	0,48	5,4	48,00	0,041	0,00	0,00	34,00	2	39,53%	40%	средняя	30%	слабая	4	6	7	5	11	11	0,37	0,07					
84	ул. Рубежная, 35	Железнодорожный	Отрадное	60																											
85	ул. Славянская, 90	Железнодорожный	Отрадное	53																											
86	ул. Грамши, 70	Ленинский	жилая СП	158																											
87	проспект Революции, 45	Центральный	жилая ЦИ	54																											
88	50 лет Советской армии, 153	Железнодорожный	жилая ЧС	53																											
89	Украинская, 51	Железнодорожный	промышленная	23	1,239	11,455	73,047	0,32	0,25	3,009	3,493	0,956	0,108	5,298	0,00429	0,00508	0,00219	0,00039	0,01073	0,00097	0,0096	0,02263	0,02624	0,00137	0,08412	0,00416	0,00				
90	Липецкая, 16	Железнодорожный	жилая ЧС	20	0,284	2,969	89,983	0,124	0,374	0,785	1,916	0,329	0,044	2,372	0,001	0,038	0,001	0,001	0,005	0	0,002	0,004	0,022	0,001	0,025	0,001	0				
91	Ул. Солдатское поле, 285/5	Левобережный	промышленная	37	1,553	11,949	68,752	0,246	0,218	2,879	7,523	0,882	0,089	5,258	0,008	0,004	0,003	0,005	0,017	0,001	0,009	0,016	0,032	0,002	0,085	0,004	0				
92	Колыцевая, 76	Левобережный	жилая ЧС	80	0,304	4,24	91,819	0,118	0,081	0,906	0,256	0,402	0,043	1,488	0,00036	0	0,00057	0,00039	0,0029	0,00035	0,00326	0,00371	0,02942	0,00149	0,04874	0,00224	0,00				
93	Средняя, 6	Ленинский	жилая ЧС	406	0,888	8,368	77,95	0,39	0,237	2,221	4,163	0,779	0,159	4,282	0,005	0,001	0,002	0,003	0,007	0,001	0,007	0,008	0,037	0,002	0,087	0,003	0				
94	20 лет Октября, 77	Ленинский	Транспортная	267	1,372	12,714	71,347	0,827	0,331	2,912	3,081	0,919	0,115	5,905	0,008	0,001	0,003	0,007	0,079	0,001	0,011	0,015	0,034	0,002	0,097	0,004	0				
95				37	0,7	7,621	7,494	82,128	0,585	0,584	1,977	2,032	0,972	0,074	3,222	0,004	0,008	0,004	0,005	0,022	0,001	0,005	0,009	0,015	0,001	0,053	0,002	0			
96				80	1,049	10,124	76,163	0,513	0,201	2,847	3,204	0,972	0,11	4,907	0,007	0,002	0,002	0,005	0,024	0,017	0,012	0,009	0,05688	0,00197	0,07956	0,00344	0,00				
97				406	1,019	10,129	77,499	0,388	0,123	2,861	3,261	0,972	0,11	4,907	0,007	0,002	0,002	0,005	0,024	0,017	0,012	0,009	0,05688	0,00197	0,07956	0,00344	0,00				
98				406	1,884	12,553	68,76	0,235	0,275	2,711	5,849	0,859	0,1	4,407	0,008	0,001	0,006	0,008	0,013	0,001	0,009	0,016	0,032	0,002	0,09	0,004	0				
99				267	1,532	12,883	71,987	0,19	0,139	2,609	3,492	0,905	0,102	5,361	0,00957	0,00158	0,00324	0,00457	0,01588	0,00156	0,00946	0,01304	0,03845	0,00194	0,08085	0,00421	0,00				
100				8	0,845	8,994	74,055	0,307	0,608	1,984	7,787	0,478	0,062	3,851	0,00429	0,00508	0,00207	0,00614	0,02856	0,00102	0,00882	0,01677	0,02824	0,00182	0,00362	0,00					
101				9	1,492	11,614	69,124	0,343	0,24	2,833	8,976	0,9	0,1	5,883	0,009	0,007	0,004	0,008	0,042	0,001	0,008	0,013	0,028	0,002	0,076	0,004	0				
102				2	0,651	8,202	68,638	0,919	0,378	4,508	4,821	1,375	0,188	9,741	0,008	0,003	0,016	0,023	0,094	0,004	0,024	0,039	0,12	0,003	0,093	0,001	0				
103				5	1,083	9,914	73,212	0,625	0,836	2,388	4,916	0,708	0,112	5,017	0,006	0,031	0,015	0,011	0,128	0,006	0,014	0,025	0,002	0,113	0,003	0,113	0,001	0			
104				9	1,036	10,178	72,337	0,494	0,279	2,775	3,051	0,937	0,122	5,082	0,00738	0,00036	0,00222	0,00442	0,0102	0,00128	0,01001	0,01104	0,04104	0,00177	0,04284	0,00238	0,00				
105				80	1,571	12,734	68,673	0,332	0,221	2,793	6,396	0,889	0,083	5,453	0,0079	0,007	0,004	0,007	0,038	0,001	0,009	0,016	0,032	0,002	0,087	0,004	0				
10																															

Научное издание

**Людмила Олеговна Серeda
Семен Александрович Куролап
Лидия Александровна Яблонских**

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА
ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ**

(монография)

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 05.12.2018 г.
Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 12,5.
Тираж 300 экз. Заказ № 2057.

ООО Издательство «Научная книга»
394077, Россия, г. Воронеж, ул. 60-Армии, 25-120
<http://www.sbook.ru>

Отпечатано с готового оригинал-макета
В ООО «Цифровая типография»
394036, г. Воронеж, ул. Ф. Энгельса, д. 52
Тел. (473) 261-03-61, e-mail: zakaz@print36.ru