

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ТИХООКЕАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Кошельков Антон Михайлович

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. ХАБАРОВСКА)

Направление 1.6.21 – Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор химических наук
Майорова Л.П.

Хабаровск – 2025

Содержание

Введение.....	4
Глава 1. Особенности и оценка экологического состояния городской среды..	12
1.1. Городская территория как объект исследования.....	12
1.2. Оценка отдельных показателей качества городской среды	17
1.3. Оценка радиационной обстановки и воздействия физических факторов....	34
1.4. Методологические и методические подходы к комплексной оценке экологического состояния урбанизированных территорий.....	40
Выводы по главе 1.....	47
Глава 2. Объекты и методы исследования	49
2.1. Природные условия исследуемой местности.....	49
2.2. Методы определения загрязнения почв.....	55
2.3. Методы обработки результатов исследований	60
2.4. Методологические подходы к созданию базы данных (БД)	63
Выводы по главе 2.....	64
Глава 3. Оценка уровня загрязнения компонентов окружающей среды....	66
3.1. Загрязнение почв	66
3.2. Оценка воздействия на атмосферный воздух.....	95
3.3. Оценка состояния водных объектов.....	100
3.4. Загрязнение подземных вод	106
3.5. Энергетическое загрязнение	107
3.6. Зеленые насаждения.....	112
3.7. Основные техногенные и природные аномалии.....	114
Выводы по главе 3.....	119
Глава 4. Комплексная оценка и управление экологическим состоянием городских территорий (на примере г. Хабаровска)	122
4.1. Комплексная оценка экологического состояния территории города	122
4.2. Разработка базы данных «Экологическое состояние почв города Хабаровска»	131
Выводы по главе 4.....	141

ВЫВОДЫ.....	142
Список литературы	144
Приложение А. Список сокращений и условных обозначений	177
Приложение Б. Словарь терминов	179
Приложение В. Анкета для опроса экспертов.....	184
Приложение Г. Содержания загрязняющих веществ в почвах г.Хабаровска...	187
Приложение Д. Описательная статистика содержания тяжелых металлов и мышьяка в почве г. Хабаровска.....	194
Приложение Е. Расчетные формулы использованных для оценки риска загрязнения почв показателей и индексов.....	195
Приложение Ж. Динамика загрязнения атмосферного воздуха в г.Хабаровске	197

Введение

Актуальность темы исследования. Современный город – это сложный, постоянно развивающийся природно-техногенный комплекс, экосистема которого находится под непрерывным, разнохарактерным и мощным антропогенным воздействием. Под влиянием техногенных факторов изменяются все природные составляющие, имеет место деградация компонентов экосистемы и условий жизнеобеспечения населения. Интенсивное развитие промышленности и транспорта ставит города на грань системного экологического кризиса, связанного с высоким массовым загрязнением атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод, донных отложений, растительности. Возросло влияние загрязняющих веществ квантовой и волновой природы (шум, электромагнитное излучение, радиация, вибрация, гравитация и т.д.). В городской среде в той или иной степени изменяются все природные компоненты: почвы, растительность, водные объекты, микроклиматические условия. Это ведет к появлению реальной экологической опасности с далеко идущими и непредсказуемыми последствиями. Соответственно, все более востребованными становятся исследования по комплексной оценке экологического состояния городской среды и определению степени комфортности условий для проживания населения.

Предлагаемые методики и подходы различаются трактовками терминов; перечнем выбранных показателей; способом количественной оценки выбранных показателей и нормативной базой; преобразованием количественных шкал исходных показателей в обобщенные шкалы критериев качества и обеспечением соизмеримости индивидуальных показателей между собой; вариантом свертки для получения обобщенного показателя. В качестве общих единиц измерения разных показателей вводятся баллы или ранги. Ряд методик комплексной экологической оценки урбанизированных территорий специализированы по

отдельным направлениям, фрагментарны, учитывают ограниченное количество факторов, часто оценивают воздействие только покомпонентно.

В связи с реализацией государственных программ развития гражданского и промышленного строительства, формирования современной городской среды, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности существенно возросла роль комплексной оценки экологического состояния окружающей среды на этапе инженерно-экологических изысканий (ИЭИ). Методологические и методические подходы к такой оценке в настоящее время отсутствуют, несмотря на то, что состав работ ИЭИ предусматривает достаточно широкий перечень исследований, учитывающий всестороннее рассмотрение условий и факторов.

Полигоном для проведения комплексной оценки экологического состояния городских территорий был выбран Хабаровский городской округ. При достаточной изученности этой территории по разным экологическим направлениям, подробная комплексная оценка, учитывающая наиболее значимые факторы воздействия, отсутствует. Сеть наблюдения на территории города недостаточно развита, а некоторые компоненты и факторы воздействия исследованы фрагментарно или их мониторинг отсутствует. Так, например, в Хабаровском крае мониторинг концентраций загрязняющих веществ в почвах не проводится, хотя почва – это самый показательный компонент геохимической системы города, результаты исследований которого объективно отражают процессы поступления, трансформации, миграции и концентрации загрязняющих веществ природной системы. Всестороннее рассмотрение состояния окружающей среды города Хабаровска позволит провести её качественную оценку, выявить очаги воздействия, уязвимые территории, спрогнозировать изменения и разработать реабилитационные мероприятия.

Необходимость разработки комплексной оценки результатов инженерно-экологических изысканий, дополненной покомпонентным анализом текущего экологического состояния городской территории, определяет актуальность данного исследования. Отсутствие единой методики, объединяющей эти

направления, создает значительный пробел в практике экологической оценки, специфика которой обуславливает важность представленной работы для научного сообщества и практического применения. Диссертационная работа подпадает под реализацию Указа Президента РФ от 18.06.2024 № 529, п. 19 критических технологий в части «Мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды», Указа Президента РФ от 19.04.2017 № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» по п. 15в: Развитие научных исследований и внедрение инновационных технологий в области охраны окружающей среды и п. 17 Формирование комплексных подходов к оценке и прогнозированию состояния окружающей среды, а также «Экологической доктрины РФ», предусматривающей развитие экологически ориентированной системы управления территориями.

Объект исследования: экологическое состояние компонентов окружающей среды на территории Хабаровского городского округа «Город Хабаровск».

Предмет исследования: методологические подходы к комплексной оценке экологического состояния городской территории.

Цель настоящей работы – разработка методологических подходов к комплексной оценке экологического состояния городской среды (на примере г. Хабаровска), позволяющей обобщить и наглядно интерпретировать данные инженерно-экологических изысканий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Рассмотреть особенности природных условий исследуемой территории, влияющих на ее экологическое состояние.

2. Оценить загрязнение компонентов окружающей среды Хабаровска с использованием актуальной нормативной документации, выявить современные техногенные геохимические аномалии (ТГА).

3. Разработать методологические подходы к комплексной оценке экологического состояния урбанизированных территорий, адаптированные для

целей инженерно-экологических изысканий (ИЭИ), и выполнить ранжирование административных районов города Хабаровска по уровню экологической напряженности.

4. Обобщить результаты исследования почв в базе данных «Экологическое состояние почв города Хабаровска».

Теоретической и методологической основой исследования послужили работы отечественных и зарубежных специалистов в области геохимии и городской экологии таких, как А.Е. Ферсман, А.И. Перельман, М.А. Глазовская, В.В. Добровольский, Г.В. Добровольский, Ю.А. Израэль, Э.Ю. Безуглая, В.С. Хомич, Ю.Е. Саэт, Ю.И. Пиковский, Н.С. Касимов, В.А. Алексеенко, А.В. Алексеенко, Б.И. Кочуров, В.И. Росликова, М.Н. Строганова, А.С. Яковлев, Т.М. Минкина, А.А. Околелова, Т.И. Подгорная, В.И. Стурман, Е.П. Янин, Ю.А. Пых, О.А. Джугарян, О.А. Макаров, С.Я. Трофимов, А.И. Обухов, Л.А. Матюшкина, В.Б. Калманова, Е. А. Жарикова, К.В. Корчагина, П.М. Виноградов, О.Н. Сокольская, Хуан Юймин, Binggan Wei, P.K.Govil, Yiming Sun, Gutao Shi, Celine Siu-lan Lee, Liu E, Rui Liu, D.K. Essumang, A.A. Gałuszka, M.Trapido, и многих других.

Методы исследований. В работе использованы методы: геосистемный, геохимический, моделирования, картографический, геоэкологического районирования городских территорий, сравнительно-географический и др. При выполнении работы использовались современные инструментальные, физико-химические методы. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием надстройки Excel «Пакет анализа» и метода Voxplots. Для создания цифровых моделей поверхности, обработки и визуализации двухмерных наборов данных использовалась программа Surfer.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. В группе факторов воздействия на окружающую среду наиболее выраженным является химическое загрязнение почв. Отмечено превышение санитарно-гигиенических требований по мышьяку – в 36,8 % проб, по

бенз(а)пирену (БП) – в 33,3 % проб, по цинку – в 13,2 % проб, по нефтепродуктам (НП) – в 7 % проб.

2. На территории города Хабаровска сложились 3 техногенные геохимические аномалии («центральная», «южная» и «северная»), обусловленные как техногенными, так и природными факторами. Аномалии образованы повышенными содержаниями токсикантов 1 класса опасности (тяжёлые металлы и бенз(а)пирен).

3. Предложенные методологические подходы к комплексной оценке экологического состояния городских территорий, в основу которых положен метод нормирования и взвешивания с экспертной оценкой весовых коэффициентов, учитывают значительное количество факторов различной природы, соответствующих составу инженерно-экологических изысканий, отличаются доступностью получения исходных данных и использованием нормативных документов в качестве базы сравнения, позволяют оценивать напряжённость экологической ситуации как отдельных зон, так и административных районов.

Научная новизна:

1. Получены данные по современному загрязнению городских почв нефтепродуктами (НП), бенз(а)пиреном (БП), тяжёлыми металлами (ТМ) и мышьяком.

2. На основании проведенных исследований и фондовых материалов разработаны карты загрязнения почв и физических воздействий на территории города.

3. Установлены техногенные геохимические аномалии (ТГА) на территории Хабаровска.

4. Разработаны алгоритмы комплексной оценки и зонирования территории по экологической напряженности.

5. Предложена методология комплексной оценки экологического состояния городской территории, апробированная на 5 административных районах г. Хабаровска.

Практическая значимость работы:

1. Разработаны и апробированы (на примере города Хабаровска) методологические подходы к оценке экологического состояния урбанизированных территорий, которые могут использоваться как для отдельных выделов, так и территории поселений в целом.

2. Предложено зонирование территории Хабаровска по напряжённости экологической ситуации с учётом выявленных аномалий и видов техногенных воздействий на окружающую среду.

3. Сформирована и зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) база данных «Экологическое состояние почв города Хабаровска» (свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024621705 от 10.10.2024г.).

4. Разработанные карты могут быть использованы при принятии экологически ориентированных решений по развитию инфраструктуры города.

Достоверность результатов обеспечена проведением инструментальных исследований в аккредитованных лабораториях по аттестованным методикам с использованием современных физико-химических методов, сравнительным анализом фондовых материалов и актуальных нормативных документов, современных подходов и методик, применением сертифицированных программ, использованием статистических методов при обработке результатов исследования, согласованностью экспертных оценок, а также совпадением в частных случаях с результатами, полученными другими исследователями.

Личный вклад автора: Диссертант лично участвовал во всех этапах проведения исследовательских работ: подготовительного, полевого и камерального. Принимал участие в разработке методологических подходов к комплексной оценке экологического состояния городской территории, в подготовке анкет и в обработке результатов экспертного опроса при определении весовых коэффициентов значимости исследуемых факторов, в составлении шкал оценки и ранжирования, устанавливающих уровни

экологического состояния окружающей среды. Автором осуществлялся отбор образцов и их лабораторное сопровождение, выполнялось радиологическое обследование и замеры уровней воздействия физических факторов, контроль полученных результатов, их обработка и обобщение. При реализации задач диссертационного исследования автор разработал ряд карт, характеризующих воздействие на городскую среду и экологическое состояние отдельных ее компонентов. Картографирование исследуемых факторов воздействия позволило выявить техногенные геохимические аномалии и провести зонирование городской территории по напряжённости экологической ситуации.

Публикации: По теме диссертации опубликовано 26 работ, в том числе 8 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ (RSCI).

Апробация работы: Основные положения и результаты диссертации докладывались на научных конференциях различных уровней: VII Дружининские чтения. Всероссийская научная конференция с международным участием, посвящённая 50-летию Института водных и экологических проблем ДВО РАН, «Природные опасности, современные экологические риски и устойчивость экосистем» (Хабаровск, 2-5 октября 2018 года); Международная конференция, посвящённая 90-летию со дня рождения А. Д. Воронина, «Ключевые концепции физики грунтов: развитие, перспективы на будущее и современные приложения» (Москва, 27-31 мая 2018 года); Международная мультидисциплинарная конференция по промышленному инжинирингу и современным технологиям «FarEastCon» (Владивосток, остров Русский, 6-9 октября 2020 года); VIII Дружининские чтения. Всероссийская научная конференция с международным участием, посвящённая 300-летию Российской академии наук, 55-летию Института водных и экологических проблем ДВО РАН, 60-летию заповедников в Приамурье (Хабаровск, 4-6 октября 2023 года); X Всероссийская научная конференция с международным участием «Современные проблемы регионального развития» (Биробиджан, 20-22 мая 2024 года); XI, XII и XIII научно-практические конференции с международным участием «Философия современного природопользования в бассейне реки Амур»

(Хабаровск, 28 апреля 2022 года, 24 апреля 2023 года, 22-24 мая 2024 года); Международная научно-практическая конференция «Экологическая культура и охрана окружающей среды: IV Дорофеевские чтения» (Республика Беларусь, Витебск, 29 ноября 2024 г.); XIII Всероссийская научно-практическая конференция «Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, социальные и хозяйственные системы» (Владивосток, 24-25 апреля 2025 года).

Реализация работы: Данные исследований и разработанные подходы могут применяться при экологической оценке территорий других населённых пунктов ДФО, подготовке технических отчётов по инженерно-экологическим изысканиям, разработке проектных и градостроительных решений, использоваться в качестве исходных точек контроля состояния окружающей среды г. Хабаровска. Апробированы и внедряются в практику работы ООО «Изыскания ДВ». Материалы диссертации использовались в ходе реализации гранта № НИР 2.22-ТОГУ «Разработка методологических основ комплексной оценки экологического состояния окружающей среды урбанизированных территорий».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 254 наименования, и 7 приложений. Диссертация изложена на 200 страницах (включая 22 страницы приложений), содержит 21 таблицу и 43 рисунка. Дополнительно в Приложениях представлено 12 таблиц и 10 рисунков.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность за постановку задачи, критические замечания и неоценимую помощь научному руководителю профессору высшей школы «Управление природными ресурсами» ТОГУ, д.х.н. Майоровой Л.П.; сотрудникам ИВЭП ДВО РАН Харитоновой Г.В., Матюшкиной Л.А., Гаретовой Л.А., Имрановой Е.Л., Шестеркину В.П. и многим другим.

Глава 1. Особенности и оценка экологического состояния городской среды

1.1. Городская территория как объект исследования

Городская территория представляет собой сложный природно-антропогенный комплекс, формирующийся под влиянием естественных процессов и интенсивной хозяйственной деятельности человека и сочетающий в себе элементы природных ландшафтов и результаты антропогенной деятельности. Специфика комплекса предопределяет необходимость её конструктивного изучения как целостной системы [Хомич В.С., 2013].

Городская среда представляет собой динамичную систему, где взаимодействие природных и техногенных факторов определяет её экологическое состояние. В условиях урбанизации природные экосистемы подвергаются значительным изменениям, что приводит к нарушению их функций и снижению устойчивости. Трансформация природных ландшафтов в городских условиях сопровождается накоплением загрязняющих веществ, создавая объективную угрозу для экологического баланса.

Городские территории характеризуются высокой степенью фрагментации природных экосистем, особенности которых обусловлены строительством инфраструктуры, транспортных сетей и промышленных объектов. Это приводит к снижению биоразнообразия и нарушению экологических связей.

Городские территории отличаются высокой степенью трансформации природных ландшафтов, специфика которой проявляется в изменении почвенного покрова, гидрологического режима, атмосферных процессов и биологического разнообразия [Хомич В.С., 2013].

В городских условиях искажаются атмосферные процессы: имеет место формирование городских тепловых островов, изменение режима осадков, снижение проветриваемости и ухудшение качества воздуха. Температура воздуха в городе на 7-15 °С выше, чем в природной среде. На 10-20 % уменьшается приток солнечной радиации, воздух над городом в среднем суше

на 5-10 %. В районах с высокой плотностью застройки ухудшаются условия рассеивания и уровень загрязнения воздуха может превышать предельно допустимые нормы в несколько раз. Существенное влияние на качество городской среды оказывает транспорт, являющийся одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха.

В условиях урбанизированных территорий формируются, так называемые, антропогенно-преобразованные почвы и техногенные поверхностные образования [Герасимова М.И. и др., 2003а, 2024b]. Экологические функции городских почв отличаются от природных способностью:

- обеспечивать произрастание травянистой и древесно-кустарниковой растительности, а также жизнедеятельность почвенных организмов;
- поглощать загрязняющие вещества и предотвращать их проникновение в сопредельные природные среды;
- поддерживать биоразнообразие на территории города [Росликова В.И. и др., 2021].

Наиболее широкое распространение на территории города имеет техногенный литогенез, определяющий формирование новых отложений с различными свойствами [Подгорная Т.И., 2013].

Основными почвообразующими факторами формирования городских почв являются: 1) хозяйственные и функциональные особенности разных частей города (типы хозяйственного использования: жилая зона, промзона, природно-рекреационная зона и т.д.); 2) субстрат (физико-механические и химические особенности культурного слоя, насыпных, перемешанных и намывных грунтов, остатки естественных почв), 3) возраст (центр – современные микрорайоны на окраинах) [Карпачевский Л.О., Строганова М.Н., 1989].

Для городских почв вследствие антропогенных воздействий характерно изменение химического состава и свойств, в т.ч. обеспечивающих её восстановление [Тригуб В.И., 2011; Ковалева Г.В. и др., 2012; Герасимова М.И. и др., 2024 и др.]:

– Урбанизация приводит к значительным изменениям в структуре почвенного покрова, трансформация которой выражается в уплотнении, загрязнении и снижении биологической активности почв и биоразнообразия, появлении патогенных микроорганизмов. К особым физико-механическим свойствам почв относятся переуплотненность, повышенная объемная масса, пониженная влагоемкость, повышенная каменистость и уплотненность, изменение температурного режима.

– Имеет место нарушение природно-обусловленного расположения горизонтов (материнская порода – насыпные, перемешанные или намывные грунты, а также культурный слой), появление диагностического горизонта «урбик» (поверхностный насыпной и перемешанный органо-минеральный горизонт, включающий в себя урбоантропогенные материалы), включения бытового и строительного мусора в верхних горизонтах почвы.

– Увеличивается верхний горизонт за счет постоянного привнесения разного рода материалов и значительного эолового напыления.

– Отмечается значительная загрязненность городских почв тяжелыми металлами, нефтепродуктами, бенз(а)пиреном, сдвиг рН в щелочную область.

Гидрологический режим городских территорий претерпевает значительные изменения: это нарушение естественного стока, увеличение поверхностного стекания и загрязнение водных объектов, концентрация загрязняющих веществ в поверхностных водах промышленных городов часто превышает предельно допустимые нормы [Хомич В.С., 2013].

Важным фактором, влияющим на экологическое состояние городских территорий, является наличие зеленых насаждений. Зеленые насаждения играют ключевую роль в снижении уровня загрязнения воздуха, улучшении микроклимата и повышении качества жизни населения. Экологическое состояние городской среды определяется не только уровнем загрязнения, но и способностью экосистем к саморегуляции и восстановлению.

Химическое загрязнение компонентов городской среды нарушает

естественные циклы химических элементов и представляет серьёзную опасность для здоровья населения. Город представляет собой техногенную геохимическую систему, характеризующуюся проявлением на своей территории двух основных процессов – концентрирование больших масс химических элементов и их рассеивание.

Практика проведения экологических работ с применением геохимических методов показывает, что результаты геохимической оценки достаточно четко отражают различные уровни техногенной нагрузки, а разработанные классификации позволяют, хотя и условно, определять экологическую опасность установленного загрязнения.

Значительный вклад в разработку методологических подходов геохимического анализа города внесли ученые географического факультета МГУ, на базе которого сформировалась научная школа профессора Н. С. Касимова, продолжающего дело своих учителей географов-геохимиков А. И. Перельмана и М. А. Глазовской. Касимов Н. С. отводит важнейшую роль в оценке экологического состояния городов эколого-геохимическим методам и выделяет новое научное направление *«экогеохимия городских ландшафтов»*, предлагает геохимическую систематику городов и городских ландшафтов и отмечает для этих территорий характерные особенности техногенеза [Касимов Н.С., 2013].

При этом многие авторы выделяют почву как важный биокосный компонент геохимической системы, результаты исследований которого объективно отражают процессы поступления, миграции и концентрации загрязняющих веществ. Макаров О.А. (МГУ им. М.В. Ломоносова) в своих работах утверждает, что состояние почвы является важнейшим объектом экологического нормирования окружающей среды.

Известны работы учёных Южного федерального университета, посвящённые вопросам геохимии почв городских ландшафтов. Так, например, в монографии Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. «Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов» (2013) детально

разбираются методика определения кларков, общие закономерности их поведения в почвах населенных пунктов. Проводится сравнение их величин с кларками почв Земли и земной коры. Рассчитанные авторами средние содержания химических элементов в почвах населенных пунктов можно считать кларками почв населенных пунктов конца XX – начала XXI в. [В.А. Алексеенко, 2013].

К настоящему времени с использованием статистических методов выполнены эколого-геохимические съёмки многих городов России. На территории города Хабаровска в 1996 году были завершены геолого-экологические исследования и картографирование (ГЭИК) масштаба 1:200000, по результатам которых были выявлены очаги загрязнения почв. Территория Хабаровска отличается спецификой застройки, природными условиями и выраженными источниками антропогенного воздействия. В геоэкологическом отношении она достаточно изучена, но в последнее время имеет место ряд изменений, требующих изучения с помощью новых методов и подходов.

В работах Подгорной Т.И. рассмотрены комплексные техногенные воздействия на окружающую среду и выделены по орографическому принципу (основным бассейнам стока) 17 комплексных систем города Хабаровска [Подгорная Т.И., 2000].

Опираясь на районирование геоморфологических условий города и степень преобразованности ландшафтов, учёные ИВЭП ДВО РАН составили карту почвенно-экологических условий г. Хабаровска и его окрестностей в масштабе 1:25000 и охарактеризовали III основные группы почв, включающие 14 типов [Росликова В.И., Матюшкина Л.А., 2002; Росликова В.И. и др., 2021].

Исследованиями загрязнения почв г. Хабаровска занимались Матюшкина Л.А., Харитоновна Г.В., Гаретова Л.А., Имранова Е.Л. и др.

В рамках работы «Стратегия формирования экологического каркаса городской территории (на примере Хабаровска)», выполненной коллективом учёных ИВЭП ДВО РАН (Нарбут Н.А., Антонова Л.А., Матюшкина Л.А., Климина Е.М., Караванов К.П., 2002), проанализировано экологическое

состояние городских ландшафтных комплексов, растительного покрова, почвенно-экологических условий, поверхностных и подземных вод с целью обоснования природной составляющей экологического каркаса. Авторы поднимают актуальный вопрос о необходимости строгого регулирования правил землепользования и застройки как необходимого условия формирования экологического каркаса города [Нарбут Н.А. и др., 2002].

Исследование городских территорий как объекта экологического анализа имеет важное теоретическое и практическое значение. Полученные данные служат научной базой для разработки экологических программ и градостроительной документации, способствуя устойчивому развитию городов и улучшению качества жизни населения.

1.2. Оценка отдельных показателей качества городской среды

К показателям качества городской среды, как правило, относят состояние атмосферного воздуха, водных объектов и почвы. Последний компонент является менее динамичным в отличие от воды и воздуха, что делает его наиболее объективным индикатором качества среды. Однако, при оценке загрязнения почв следует учитывать их механический состав, уровень рН и особенности местных условий, региональную специфику. При этом для многих загрязняющих веществ (в т.ч. нефтепродуктов) нормативы не установлены, а фоновые содержания не определены. Поэтому обзор уровней загрязнения почв в разных городах помогает соотнести эти воздействия с нагрузкой на исследуемой территории.

Оценка загрязнения почв токсичными органическими соединениями

В городах с хорошо развитой промышленностью и инфраструктурой остро стоит проблема загрязнения окружающей среды супертоксикантами, к которым относится класс полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Агентство по охране окружающей среды США (US Environmental Protection Agency, US EPA) определило ПАУ как приоритетные загрязняющие вещества, так как они имеют свойства высокой канцерогенной и мутагенной активности

[Trapido M., 1999]. В РФ и за рубежом проводятся исследования содержания ПАУ в объектах окружающей среды, в т.ч. в городских почвах, являющихся главным компонентом ландшафта, депонирующим ПАУ [Essumang D.K. et al, 2006; Агапкина Г. И. и др., 2007; Кухарчик Т. И. и др., 2013; Амирова З. К., 2015; Шамишвили Г. А. и др., 2016; Чикидова А. Л., 2017; H Yu et al, 2019]. В РФ суммарное содержание ПАУ определялось в почвах Москвы, Санкт-Петербурга, Уфы, Тюмени. Авторами работ исследовалось содержание различного количества ПАУ в разных функциональных зонах городов. Результаты варьируют в широких пределах.

Высокая чувствительность различных организмов к бенз(а)пирену (БП) определяет использование его в качестве индикатора состояния окружающей среды для всех ПАУ [Бигалиев А. Б. и др, 2009]. В России БП подлежит обязательному контролю (СанПиН 2.1.3684-21, п.120). В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 ПДК БП в почве с учетом фона (кларка) составляет 0,02 мг/кг, класс опасности первый, лимитирующий признак вредности общесанитарный. Российский норматив является более жестким по сравнению с нормативами Германии, Дании, Нидерландов (таблица 1.1).

Таблица 1.1

Нормативные требования к содержанию БП в почвах [Бигалиев А. Б. и др., 2009]

Страна	Норматив для почв, мг/кг	Примечание
Россия	ПДКп 0,02	СанПиН 1.2.3685-21
Германия	Детские площадки – 2,0	Федеральный закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (в редакции от 8 августа 2024 года).
	Парки – 10,0	
	Промышленные территории – 12,0	
Дания	0,1	При содержании БП более 1,0 мг/кг рекомендуется проводить мероприятия по рекультивации или ремедиации
Нидерланды	0,052	Содержание БП в почве 7 мг/кг и более определяется как экотоксикологический риск

Мониторинговые исследования содержания БП в почвах охватывают незначительную часть территории РФ. Наблюдения за содержанием БП в почвах фоновых площадок проводились на территории Дальневосточного федерального округа (Приморского края) в 2017-2020 гг. (содержание БП <0,005 мг/кг), и на территории Оренбургской области (г. Медногорск, 2019 г., 0,018 мг/кг). Имеется ряд публикаций, характеризующих загрязнение почв БП в различных городах РФ.

Значительное загрязнение почвы бенз(а)пиреном (до 5,5 ПДК) отмечено в крупных городах Красноярского края [Головков В. В. и др., 2011]. В работе [Айдинов Г. Т. и др., 2021] представлены результаты исследований на содержание 3,4-бенз(а)пирена 660 проб почв из 19 мониторинговых точек в г. Таганрог за период 2013-2015 гг. Показано, что содержание 3,4-бенз(а)пирена является существенным фактором риска для здоровья населения – превышение ПДК выявлено в 65,28 % исследованных проб почвы при средней и максимальной концентрациях 2,45 и 38,05 ПДК соответственно. Наиболее детально исследованы почвы Москвы. Исследования А. И. Агапкиной с соавторами показали, что чуть более трети исследованных городских почв по содержанию БП классифицируются как «чистые», а около половины имеют допустимую категорию загрязнения [Агапкина Г. И. и др., 2007]. По данным А. Л. Чикидовой [Чикидова А. Л., 2017] в Восточном административном округе Москвы средняя концентрация бенз(а)пирена в почвах составляет 0,06-0,10 мг/кг, что превышает ПДК в среднем в 3-5 раз, в почвах Национального парка «Лосиный остров» – 0,005 мг/кг. В работе [Кошелева Н. Е., Цыхман А. Г., 2018] проанализировано временное и пространственное распределение бенз(а)пирена в почвенном покрове Москвы за 2007-2016 гг. в 2238 точках на территории 9 административных округов (АО) по данным наблюдений ГПБУ «Мосэкомониторинг». Анализ многолетних данных показал снижение концентраций БП в 4-8 раз почти во всех округах города. Пространственная неоднородность техногенных выпадений БП на территорию города усиливается под влиянием физико-химических свойств почв (гранулометрического состава,

кислотно-щелочных условий и содержания гумуса). Частота превышения ПДК за период 2007-2016 гг. снизилась более чем в 100 раз. Существенные различия между результатами ежегодного почвенного мониторинга и данными исследований других авторов могут быть обусловлены как аналитическими погрешностями, так и выбором мест опробования [Кошелева Н. Е., Цыхман А. Г., 2018]. Исследования накопления БП в дорожной пыли разных типов дорог Москвы показали, что на крупных автодорогах превышение ПДК в почвах составило 14 раз, в центре города содержание БП в пыли дворов достигает 1,02 мг/кг (51 ПДК). Основной путь воздействия БП – пероральный. Минимальный канцерогенный риск отмечен для дорог с преобладанием безостановочного движения [Кошелева Н. Е., 2022]. Для городских ландшафтов Алушты установлен чрезвычайно опасный уровень загрязнения частицами РМ10 почв почти на четверти, а дорожной пыли – на 70% территории города [Касимов Н. С. и др., 2019]. В работе Кошелевой Н.Е. [Кошелева Н. Е., 2022] отмечено, что содержание БП в почвах и дорожной пыли в Алуште превышает фоновые значения в среднем в 60 и 90 раз соответственно, в Ялте – в 139 и 64 раза, в Севастополе – в 260 и 89 раз. Чрезвычайно опасный уровень загрязнения характерен для половины территории Севастополя, 35% и 25% городских территорий в Ялте и Алуште соответственно. Частицы РМ10 концентрируют от 35 до 70% БП. В качестве основных источников загрязнения рассматриваются выбросы автотранспорта при торможении и начале движения и продукты сгорания угля и дров при печном отоплении.

Среднее содержание БП в поверхностных слоях почвы Московской области в 2010 году в 83 раза превышало уровень в незагрязненных фоновых почвах. Наибольший экологический риск характерен для промышленной зоны и районов расположения крупных автомагистралей. Выполнены расчеты критических нагрузок [Касимов Н. С. и др., 2017].

Таким образом, в большинстве опубликованных работ отмечается превышение нормативных требований по содержанию БП в почвах городских территорий. Имеет место пространственная неравномерность и приуроченность

участков с повышенным содержанием БП в городских почвах к зонам влияния техногенных источников, связанных со сжиганием топлива, и автомагистралям. Сведения о загрязнении БП почв городов Хабаровского края в литературе отсутствуют.

Нефть и нефтепродукты (НП) являются одними из наиболее распространенных и токсичных загрязняющих веществ в окружающей среде. Экологические последствия загрязнения почв НП могут быть катастрофическими. Восстановление почв, загрязнённых НП, затруднено не только условиями внешней среды, но и особенностями их состава. В составе НП насчитывается более 1000 различных соединений, каждое из которых может действовать как отдельный токсикант и иметь разный период разложения. И если лёгкие фракции НП испаряются быстро, то тяжёлые фракции аккумулируются в почвенной среде и выводятся в течение продолжительного времени. Содержание НП в городских почвах, по литературным данным, изменяется в широких пределах и существенно превышает установленные по данным мониторинга для данной местности фоновые значения. Так, концентрации НП до 4961 мг/кг выявлены в почвах АЗС г. Владимира, эксплуатирующихся более 30 лет [Феоктистова М. Д., 2012]. В работе Прохорова И. С. показано, что среднее содержание НП в почвах Москвы в 2013 г. достигало 332,5 мг/кг (максимальное 2872 мг/кг, минимальное 14 мг/кг). Наиболее благоприятная ситуация по загрязнению почв НП отмечается в Восточном, Северном, Северо-Западном и Южном административных округах города, где содержание НП в среднем не превышало 274 мг/кг почвы [Прохоров И. С., 2015]. По данным мониторинговых исследований Росгидромета (Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2022 году: ежегодник, 2023), в 2020 г. содержание НП в почвах г. Казани превышало фон (Ф) в 2-6 раз. В почвах г. Самары среднее содержание НП составляло 553 мг/кг (11Ф), максимальное – 2243 мг/кг (45Ф), г. Ижевска – 406 мг/кг (7Ф) и 1257 мг/кг (22Ф) соответственно. В почвах Нагорной части г. Нижнего Новгорода среднее содержание НП

находилось на уровне 463 мг/кг (6Ф), максимальное – 11100 мг/кг (146Ф), в г. Чебоксары в целом по обследуемой территории среднее содержание НП составило 293 мг/кг (5Ф), максимальное – 976 мг/кг (17Ф). Высокое содержание НП зафиксировано в почвах городов Западной Сибири. Так, среднее содержание НП в почвах г. Томска составило 374,6 мг/кг, максимальное – 750 мг/кг, г. Новосибирска 298 мг/кг и 1448 мг/кг соответственно. Аналогичная картина наблюдается в почвах г. Улан-Батора (Республика Монголия). Здесь выявлено повышенное содержание НП (360-800 мг/кг почвы), практически вдоль всей центральной автомагистрали, а также в частном секторе, промзоне и в районе ТЭЦ. В районе нефтебазы Толгойт, где часто фиксируются протечки НП, содержание их в почве составляет от 800 до 1200-1500 мг/кг [Самбуу Гантомор, 2013]. В зарубежной литературе часто оценивают загрязнение почв по содержанию ПАУ, входящих в состав нефти и НП [Morillo E. et al., 2007; De-Gao Wang et al., 2009; Yufeng Jiang et al., 2016; Matar Thiombane et al., 2019; Haiyan Yu et al., 2019]. Сложный состав НП и наличие в них соединений, являющихся обязательными компонентами любой незагрязненной почвы [Околелова А. А. и др., 2019], обуславливают трудности в однозначном нормировании этого вещества как комплекса соединений, так и отдельных его составляющих. Содержание НП, при которых почвы, находящиеся в разных почвенно-климатических условиях, следует считать загрязненными, зависит как от их свойств и их самоочищающей способности, так и от вида и свойств НП [Пиковский Ю. И. и др., 2003; Яковлев А. С. и др., 2013].

Оценка загрязнения почв тяжёлыми металлами и металлоидами

Исследования содержания тяжелых металлов в почвах, в том числе урбанизированных территорий, проводятся во всем мире. В обзоре загрязнения почв Китая за 20 лет рассмотрено 713 научных статей, опубликованных с 2000 по 2019 год. Обсуждаются вопросы содержания тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий, промышленных зон, парков, городских почвах. Практически во всех приведенных исследованиях отмечено превышение по ряду металлов фоновых или нормативных значений. Показано, что средние

концентрации кадмия (Cd), свинца (Pb), цинка (Zn), меди (Cu), ртути (Hg), хрома (Cr), никеля (Ni) и мышьяка (As) в Китае составили 0,19; 30,74; 85,86; 25,81; 0,074; 67,37; 27,77 и 8,89 мг/кг соответственно. Наиболее загрязненными были районы средней части реки Янцзы, где доминирует промышленная деятельность [Yuan X, Xue N, Han Z., 2021]. В работе [Guanghui Guo et al., 2012] приведен анализ 63 образцов почв города Ибинь, провинция Сычуань. Средние концентрации As, Pb, Zn и Cu составили 10,55, 61,23, 138,88 и 56,35 мг/кг соответственно. Концентрации Pb, Zn и Cu превышали соответствующие фоновые значения. Делается вывод, что Pb, Zn и Cu в основном контролируются антропогенной деятельностью, а содержание As может быть обусловлено почвообразующими породами. В Индии (штат Андх-ра-Прадеш) при сравнении результатов исследований с Канадскими рекомендациями по качеству почвы (SQGL) выявлено, что большая часть промышленной зоны сильно загрязнена As, Pb и Zn, а отдельные территории – Cr, Cu и Ni. Жилая зона также загрязнена As, а некоторые небольшие участки – Cr, Cu, Pb и Zn (Govil P.K. et al., 2008). Существенное внимание уделяется содержанию ТМ в дорожной пыли. Исследованию содержания ТМ в городских почвах, городской дорожной пыли и сельскохозяйственных почвах за 10 лет посвящена работа (Binggan Wei, Linsheng Yang, 2010), в которой показано, что почти все концентрации Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, As, Hg и Cd выше, чем их фоновые значения в почве Китая. При сравнении уровней загрязнения городов отмечается, что концентрации ТМ варьируют в широком диапазоне. Как правило, уровни загрязнения Cu, Pb, Zn и Cd выше, чем у Ni и Cr. На основании геостатистического и многомерного статистического анализа был сделан вывод, что Pb, Zn и Cu в основном поступают от дорожного движения; почвенный Ni связан с естественной концентрацией; Cd в основном поступает из точечных источников промышленного загрязнения; Cr, Ni в пыли в основном связаны с высаживанием из атмосферы [Gutao Shi et al., 2008]. Отмечается [Binggan Wei, Linsheng Yang, 2010], что в городской дорожной пыли Шанхая, Ханчжоу, Гуанчжоу и Гонконга уровень загрязнения тяжелыми металлами выше, чем у городских и сельскохозяйственных почв. В Нанкине

выявлен высокий уровень загрязнения пылью от городских магистральных дорог. Степень загрязнения металлами варьировалась от минимальной до чрезвычайно высокой и в среднем ранжировалась следующим рядом: $Ca > Cu > Pb \approx Zn > Cr \approx Fe > Ni \approx Ba > Mn$ [Liu E et al., 2014]. Почвы в районах с более высокой степенью урбанизации и интенсивного автомобильного движения имеют более высокий риск накопления Cd, Cu, Pb и Zn [Rui Liu et al., 2016]. Уличная пыль отличается повышенным содержанием Zn, особенно вдоль основных магистралей [Celine Siu-lan Lee et al., 2006].

В РФ подобные исследования проводились в ряде городов: Москва, Петрозаводск, Екатеринбург, г. Кольчугино и др., где также отмечены превышения фоновых значений по ряду металлов и мышьяку. В г. Кольчугино наиболее загрязнены рекреационные территории города, которые находятся рядом с промышленной зоной и в центральном районе. Содержащиеся в почвах города Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co и Cr находятся примерно в равных соотношениях на всех реперных участках, что может свидетельствовать о совместном поступлении этих поллютантов, которые концентрируются главным образом в верхних слоях почвы, а их накопление имеет антропогенный характер. Для выявления приоритетных загрязнителей использовался показатель накопления (Пн), который убывает в ряду: $Cu > Zn > Pb > Ni > As > Co = Cr > V > Sr$ [Трифонова Т. А. и др., 2018]. На территории г. Екатеринбурга изучено содержание тяжелых металлов в почве рекреационных зон. К преобладающим загрязнителям на территории парков и лесопарков относятся Pb, Cu, Ni, Cr, Zn. Показатель суммарного загрязнения почв не превышает среднего уровня ($Z_c \leq 22$). Отмечено, что химический состав подстилающих горных пород может оказывать существенное влияние на суммарный уровень содержания тяжелых металлов в почве лесопарков города [Байтимилова Е. А. и др., 2016]. Наиболее детально исследованы почвы Москвы [Обухов А. И., Лепнева О. М., 1988а, 1989б; Строганова М. Н. и др., 2009; Юзефович А. М., Кошелева Н. Е., 2009; Корчагина К. В., 2014]. Анализ данных за 2018 г. Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы ГПБУ «Мосэкомониторинг»

показал, что по суммарному показателю загрязнения (Z_c) почвы на 92% площадок наблюдений относятся к категории слабого (допустимого) загрязнения, 6% – к умеренно-опасной и 2% – к опасной категории. Среди ТМ приоритетными загрязнителями считаются Pb, Cd, Zn. Их техногенное накопление в окружающей среде идёт высокими темпами. Превышения нормативов по валовому содержанию ТМ чаще встречаются в почве зон транспортной инфраструктуры (превышение норматива по содержанию Zn отмечено на 18,2% площадок наблюдения, Cd и As – в 9,1%) и, в меньшей степени, в почве жилых функциональных зон. Традиционно более загрязнены комплексом тяжёлых металлов почвы в ЦАО и ЮВАО [Ерофеева В. В., 2021]. Анализ долговременной динамики (с 2012 по 2019 год) выявил тенденцию к совокупному снижению содержания тяжелых металлов в почвенном покрове Москвы, более заметному для цинка, свинца, никеля и мышьяка. Количество меди и ртути в почвах в целом остается относительно постоянным на протяжении данного периода исследований [Худобахшов, Р. М., 2021]. В работе [Жарикова Е. А., 2021] показано, что под влиянием техногенной нагрузки в верхних горизонтах почв урболандшафтов г. Владивосток и г. Уссурийск накапливаются Cu (среднее содержание 81 мг/кг), Zn (259 и 156 мг/кг) и Pb (89 и 61 мг/кг).

Достаточно развёрнутые и детализированные исследования по загрязнению почв тяжёлыми металлами г. Хабаровска за последний период отсутствуют или приведены фрагментарно.

Таким образом, с возникновением избыточного содержания тяжелых металлов в природной среде, проблема загрязнения ими почв приобрела актуальность, а особенно в районе крупных промышленных центров. К наиболее распространенным металлополлютантам в почвах относятся: Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Pb и As. Для оценки уровня загрязнения тяжелыми металлами часто используют значения кларка и ПДК (ОДК). В то же время существует проблема отсутствия и несоответствия значений кларков и ПДК/ОДК для некоторых элементов (Cr и As и др.). Природные условия формирования почв и техногенные источники

загрязнения разнообразны, в связи с этим большое значение имеют исследования региональных особенностей загрязнения почв тяжелыми металлами. Для почв города Хабаровска во многом эти вопросы рассмотрены не в полной мере.

Оценка загрязнения атмосферного воздуха

Атмосферный воздух является приоритетным жизненно важным показателем качества среды комфортного проживания. В крупных городах на стационарных постах организуется ежедневный мониторинг воздуха по основным и специфическим по характеру выбросов загрязняющим веществам.

Сведения о состоянии атмосферного воздуха по данным Росгидромета ежегодно публикуются в Государственных докладах «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации». В 2023 году список городов с очень высоким уровнем загрязнения ($ИЗА \geq 14$) включает 33 города с общим числом жителей в них 10,1 млн чел. Тенденции загрязнения атмосферы российских городов за 1998-2003 гг. рассматривались в работе Стурман В. И., где проведена также их группировка по причинам неблагоприятного состояния воздушного бассейна, выполненная на основе экспертных оценок, без каких-либо количественных параметров [Стурман В. И., 2007].

Экологическим, в том числе атмосфероохранным проблемам городов посвящены исследования Ратановой М. П., Битюковой В. Р., их соавторов и последователей [Битюкова В. Р., 2009].

Важным фактором формирования качества воздуха являются метеоусловия, определяющие перенос, рассеивание и вымывание загрязняющих веществ. Видный вклад в их исследование внесли Берлянд М. Е., Безуглая Э. Ю. и другие специалисты Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова.

Для оценки качества атмосферного воздуха или степени суммарного загрязнения используется комплексный индекс загрязнения атмосферы $ИЗА_5$. Количественная характеристика суммарного загрязнения атмосферы пятью веществами, дающими наибольший вклад в загрязнение города, рассчитывается суммированием парциальных ИЗА. При этом учитывается относительное превышение средней концентрации над $ПДК_{cc}$ и класс опасности данной

примеси. ПДК_{сс} – предельно допустимая среднесуточная концентрация в воздухе городов, мг/м³. Уровень загрязнения атмосферы по ИЗА (комплексному индексу загрязнения атмосферы) определяется следующим образом: низкий – при значениях ИЗА меньше или равных 5, повышенный – при ИЗА от 5 до 7, высокий – при ИЗА от 7 до 14, очень высокий – при ИЗА больше или равном 14.

Большое влияние на уровень загрязнения воздушного бассейна на территории города оказывает рассеивание примесей в атмосфере, которое происходит благодаря трем основным факторам: температуре воздуха, режиму ветра и увлажненности территории. Усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы (УМПА) рассчитывается по формуле, учитывающей все три важнейших коэффициента самоочищения атмосферы – теплообеспеченности, ветра, осадков и определяется по формуле:

$$\text{УМПА} = K_t + K_v + K_{\text{осад}} = e^{0.176 \cdot t_{\text{ср}}} + \frac{P_{\geq 6}}{P_{0-1}} + \frac{O_{\text{год}}}{400}, \quad (1.1)$$

где:

$t_{\text{ср}}$ – среднегодовая температура воздуха, °С;

$P_{\geq 6}$ – повторяемость скорости ветра ≥ 6 м/с, %;

P_{0-1} – повторяемость скорости ветра 0-1 м/с, %;

$O_{\text{год}}$ – годовая сумма осадков, мм; 400 – годовая норма количества осадков, необходимая для очищения атмосферного воздуха, мм.

При УМПА ≥ 3 создаются хорошие условия для рассеивания примесей, при $3 < \text{УМПА} \leq 2$ условия неблагоприятные. Участки с таким значением УМПА считаются буферными зонами или зонами риска, в которых с одинаковой вероятностью могут наблюдаться метеоусловия, способствующие как загрязнению атмосферного воздуха, так и его самоочищению. При УМПА < 2 условия рассеивания примесей считаются крайне неблагоприятными [Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2023 году: ежегодник, 2024].

Оценка загрязнения поверхностных водных объектов

Не менее важным в санитарно-эпидемиологическом отношении является состояние поверхностных вод, которые являются объектами водопользования. При этом нормативы вод устанавливаются в зависимости от характера их использования.

Одной из главных причин загрязнения поверхностных природных вод является поступление в них хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, большая часть которых является загрязненной [Хотунцев Ю. Л., 2001]. Неблагоприятной экологической ситуации на реках также способствуют поступление с дождевыми стоками растворенных удобрений и ядохимикатов с полей, неочищенных сточных вод с сельских населенных пунктов, в частности с животноводческих ферм. Для многих регионов России стало характерным загрязнение поверхностных водоемов на уровне многих десятков ПДК нефтепродуктами, соединениями меди и марганца, железа, нитритного азота, органическими веществами, фенолом.

Таким образом, работы специалистов разных регионов страны показали, что многие крупные реки имеют экологические проблемы.

Малые реки, отличаясь от средних и крупных по водности, тем не менее, выполняют очень важную экологическую функцию. Именно они, дренируя большую часть площади водосбора, определяют водность, качество, режим и другие показатели более крупных водотоков. С другой стороны, незначительные их размеры, непосредственный контакт с результатами разносторонней деятельности человека определяют их уязвимость. В долинах рек быстрее и сильнее всего происходят все негативные изменения [Черняев А. М., 2001; Попченков В. Г., 2003; Рохмистров В. Л., 2004]. В жизни населения роль малых рек огромна, поскольку на их долю приходится 95 % общей протяженности гидрографической сети. На их водосборах и в прибрежных зонах сосредоточена большая часть жителей страны – до 44 % городских и 90 % – сельских, 127 тыс. малых рек используются для хозяйственных нужд. Малые реки – наиболее чувствительное звено гидрологической системы [Кислякова Е. Г., 2011].

Особую озабоченность вызывает качественный состав воды в малых реках в условиях антропогенного влияния в целом [Криволапов З. Ф., 1987; Кузнецова Л. А. и др., 1995], мелиорации [Пальцев В. П., Прокопенко Н. Ф., 1987], сельского хозяйства. Эти вопросы напрямую увязываются с гигиенической оценкой вод [Григорьева И. Л. и др., 2012; Искандаров Т. И. и др., 1986], их самоочищением [Калинин В. М. и др., 1998], эффективностью водоохранных мероприятий [Мороков В. В., 1987], стратегией и тактикой охраны водоемов (РД 5.2.24.643-2002).

Неудовлетворительное состояние малых рек, особенно качество воды в них, вызывает тревогу у специалистов и общественности.

Для комплексной оценки качества поверхностных вод суши используется индекс загрязненности воды (ИЗВ). Он позволяет не только сравнить качество воды в разных водных объектах, но и оценить, как временную, так и пространственную динамику качества воды – изменение его от года к году, от створа к створу, от пункта к пункту.

С 2005 года в соответствии с РД 5.2.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям» введен расчет удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ). Значение УКИЗВ может варьировать в водах различной степени загрязненности от 1 до 16. Большому значению индекса соответствует худшее качество воды в различных створах, пунктах и т. д. (РД 5.2.24.643-2002).

Для оценки экологического состояния водных объектов также используют уровни загрязнения донных отложений (ДО).

Большая часть загрязняющих веществ накапливается в донных отложениях, приводя к накоплению их в бентосных организмах, с последующей передачей по трофическим цепям, доходя до человека, что представляет угрозу для его здоровья [Стреха Н. Л., 1989; Томилина И. И., Комов В. Т., 2002]. Другой возможный путь влияния накопленных в ДО загрязняющих веществ на водные экосистемы и здоровье человека – вторичное загрязнение, которое возникает в процессе жизнедеятельности человека или действия природных факторов

(деятельность донных организмов, химические реакции, термические изменения и др.). В результате аккумулярованные вещества могут снова оказаться в воде. Техногенные потоки, поступающие в водные объекты, дают начало особому виду осадконакопления – техноседиментогенез, проявлением которого является образование техногенных донных осадков (илов). Скорость техноседиментогенеза в десятки и сотни раз выше скорости естественной аккумуляции вещества в незагрязнённых водных объектах (Касимов Н. С., 2013). Все это указывает на потребность в мониторинге пресноводных экосистем [Воробьёва Л. В., 1991; Линник П. Н., 1999].

Кроме того, модельными объектами гидроэкохимических исследований донного грунта давно приняты малые реки [Иванова И. Ю., 2009]. Особое внимание уделяется исследованию степени загрязнения донных отложений химическими веществами, прежде всего, тяжелыми металлами и нефтепродуктами [Томилина И. И. и др., 2008].

Металлы в природной среде, особенно в донных отложениях (ДО), пребывают в постоянной миграции. В естественных водоемах большая часть тяжелых металлов попадает в донные отложения. Сорбция тяжелых металлов донными отложениями зависит от особенностей их состава и содержания органических веществ. Концентрация металлов в ДО на несколько порядков выше, чем в воде [Панин М. С., 2011].

На сегодняшний день в работах зарубежных и отечественных авторов для оценки качества ДО используется триадный подход, который включает изучение состояния бентосного сообщества, показателей биотестирования и геохимических характеристик отложений [Charman, P. M., 1996; Баканов А. И., 2003; Томилина И. И. и др., 2008; Иванова И. Ю., 2009]. В то же время для ДО отсутствует понятие «предельные допустимые концентрации». Это связано с санитарно-токсикологической сущностью данного показателя, что значительно затрудняет представление смысла термина «загрязнение» [Фокин Д. П., Фрумин Г. Т., 2011].

Наиболее распространенной методикой оценки качества донных

отложений является определение их токсичности по содержанию тяжелых металлов. Оценка осуществляется либо по коэффициенту концентрации, либо по показателю накопления металлов, либо по суммарному показателю загрязнения. В основу всех методик положено сравнение фактического содержания элемента с ПДК или ОДК в почве, либо фоновым содержанием, либо кларком почв [Куракина Н. И., Шлыгина Н. С., 2017; СП 502.1325800.2021; Дрововозова Т. И., Булгакова Л. А., 2023].

Однако использование кларков и почвенных характеристик не позволяет дать достоверную оценку экологического состояния водоема. Почвенные оценки являются некорректными в связи с различием генезиса и физико-химических характеристик донных отложений и почв [Косинова И. И., Соколова Т. В., 2015].

Рассматривается использование подхода, основанного на уравнивании типов донных отложений с использованием средней характерной концентрации (СХК) приоритетных загрязняющих веществ в различных типах грунта исследуемого объекта [Кленкин А. А. и др., 2007], модифицированного суммарного показателя загрязнения для донных осадков [Куракина Н. И., Шлыгина Н. С., 2017], коэффициента донной аккумуляции (КДА) [Об утверждении...., 2014], индекса геоаккумуляции. Однако по мнению многих исследователей [Янин Е. П., 2002] показатель КДА не является объективным для аквальных ландшафтов, имеющих специфичные от природы условия распределения химических элементов в компонентах окружающей среды.

В РФ утверждены нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга, содержащие четыре класса загрязненности [Нормы и критерии, 1996; Куракина Н. И., Шлыгина Н. С., 2017].

В США разработан простой метод оценки загрязнения водных объектов, основанный на содержании ТМ в донных отложениях – нормативы USEPA по качеству донных отложений [Косинова И. И., Соколова Т. В., 2015]. Для условий РФ метод не применим.

Созданы региональные нормативы содержания некоторого перечня загрязняющих веществ в донном грунте различных пресноводных водоемов

мира с применением разных подходов: фоновые значения [Persaud D. et al., 1993], интервалы (либо предельные уровни) соответствующего негативного воздействия на гидробионты [Ingersoll C.G. et al., 1996; Cabbage J. et al., 1997], равновесное распределение загрязняющего вещества [Di Toro D.M et al., 1991; Wepener V. et al., 2000].

В России сходные работы находятся на стадии развития, можно отметить лишь единичные разработки экологических нормативов содержания химических соединений в донных отложениях с использованием геохимического [Бреховских В. Ф. и др., 2002] и токсикологического [Томилина И. И. и др., 2008] подходов.

Предложен удельный комбинаторный индекс загрязненности ДО (УКИЗДО), предполагающий использование частотных характеристик рядов данных, балльную оценку этих характеристик, обобщение балльных оценок с приведением их к соответствующим классам чистоты по аналогии с РД 52.24.643–2002. В алгоритме расчета УКИЗДО заложены корректирующие коэффициенты, учитывающие класс опасности загрязняющих веществ и особенности накопления поллютантов в зависимости от гранулометрического состава отложений. Градация показателя УКИЗДО представлена 5 классами качества, разделенными на 9 разрядов и соответствующих им степеней загрязненности: от чистых 1 класса ($\text{УКИЗДО} < 1$) до экстремально грязных 5 класса ($\text{УКИЗДО} > 11$). [Валиев В. С. и др., 2019].

По мнению авторов [Косинова И. И., Соколова Т. В., 2015] ведущим показателем формирования экологогеохимических ситуаций в донных отложениях является их гранулометрический состав, который становится основополагающим критерием методик эколого-геохимических оценок.

Проведенное исследование показало, что оценка отдельных показателей качества городской среды является важным этапом в комплексном анализе экологического состояния урбанизированных территорий. Качество городской среды определяется совокупностью факторов, включая состояние атмосферного воздуха, почвенного покрова, водных объектов и зеленых насаждений. В рамках

исследования были проанализированы ключевые показатели, такие как уровень загрязнения воздуха, содержание тяжелых металлов в почвах, качество поверхностных и подземных вод, а также состояние зеленых насаждений.

Результаты исследования подтвердили, что уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Хабаровске является высоким, особенно в районах с интенсивной транспортной нагрузкой и промышленными объектами. Концентрация оксидов азота и углерода в атмосфере промышленных городов часто превышает предельно допустимые нормы, создавая угрозу для здоровья населения. В условиях г. Хабаровска высокий уровень загрязнения требует разработки мер по снижению выбросов и внедрению экологически чистых технологий.

Состояние почвенного покрова также вызывает серьезные опасения. Загрязнение почв тяжелыми металлами и нефтепродуктами приводит к снижению их биологической активности и ухудшению экологических функций. В г. Хабаровске, где промышленные зоны соседствуют с жилыми массивами, необходимы программы по рекультивации загрязненных почв и мониторингу их состояния.

Качество водных объектов и зеленых насаждений также играет важную роль в формировании экологического состояния городской среды. Очистка сточных вод и восстановление гидрологического режима позволяют улучшить качество водных объектов, а озеленение городских территорий способствует снижению уровня загрязнения воздуха и улучшению микроклимата. В г. Хабаровске, где значительная часть территории занята лесами и парками, результаты исследования могут быть использованы для разработки программ по охране водных ресурсов и озеленению.

Таким образом, оценка отдельных показателей качества городской среды позволяет выявить ключевые проблемы и разработать меры по улучшению экологического состояния урбанизированных территорий. Полученные данные служат научной базой для разработки стратегий устойчивого развития и улучшения качества жизни населения.

1.3. Оценка радиационной обстановки и воздействия физических факторов

Комплекс воздействий физических факторов и факторов радиационной природы объединён общим термином «энергетическое загрязнение». К этой группе факторов относят уровни радоноопасности, мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, радионуклидный состав компонентов среды, шумовые и электромагнитные воздействия (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1. Факторы энергетического загрязнения и их источники (составлено автором)

Радиационную обстановку характеризует комплекс факторов, определяющих эффективные дозы облучения населения в условиях проживания.

Основными источниками радиационного загрязнения являются естественные и искусственные радионуклиды, которые при распаде своих дочерних продуктов испускают излучение (α -распад, β -распад, γ -излучение). Наибольшей радиоактивностью среди природных источников отличаются уран и торий с продуктами их распада, среди которых особо опасным является газ радон

(²²⁶Ra).

Радоноопасность территорий обусловлена прежде всего геологическими особенностями местности, наличием тектонических разломов, проницаемостью подстилающих пород и грунтов, отсутствием природных экранов в виде грунтовых вод, снегового покрова, промерзания грунтов и др. Скорость эманации радона зависит от сезонности и метеорологических условий.

Основным методом оценки потенциальной радоноопасности является измерение уровней плотности потока радона (ППР) с поверхности почвы. Предельно допустимые уровни (ПДУ) для ППР установлены (согласно п. 4.22 МР 2.6.1.0361-24, СП 502.1325800.2021):

- 80 мБк/(м² · с) – при проектировании жилых зданий;
- 250 мБк/(м² · с) – при проектировании производственных зданий.

Для установления надёжности радонозащитных мероприятий проводят измерения объёмной активности (ОА) радона и эквивалентной равновесной объёмной активности (ЭРОА) радона в воздухе подвальных помещений и/или помещений первых этажей. Нормы содержания ДПР изотопов радона в воздухе зданий (среднегодовая ЭРОА радона), согласно требованиям, СанПиН 2.6.1.2523-09 (п. 5.3.2, п. 5.3.3) установлены:

- 100 Бк/м³ – при проектировании новых зданий жилого и общественного назначения;
- 200 Бк/м³ – для эксплуатируемых зданий жилого и общественного назначения.

При распаде радиоактивных веществ наблюдается γ -излучение (гамма-излучение), которое по своей природе является ионизирующим. Это потоки фотонов и других элементарных частиц или атомных ядер, способные ионизировать вещество. Гамма-излучение, как и рентгеновское излучение, относят к типу «коротковолнового электромагнитного излучения», что обуславливает его ярко выраженные корпускулярные свойства и проникающую способность.

Для количественного выражения действия ионизирующего излучения на

организм человека используется понятие «доза». Для учёта особенностей действия всех видов ионизирующего излучения на биологическую ткань (или орган) человека принято понятие «эквивалентная доза», а её единицей измерения – зиверт (Зв). Отношение приращения эквивалентной дозы за малый промежуток времени к его длительности называют «мощностью эквивалентной дозы» (МЭквД) или «мощностью амбиентного эквивалента дозы» (МАЭД) гамма-излучения (ГИ). Единицы измерения МЭквД (МАЭД) ГИ в системе СИ – зиверт в секунду (Зв/с). В практике радиационных обследований и нормирования ионизирующих излучений применяют единицы – микрозиверт в час (мкЗв/ч).

Радиационный уровень, соответствующий естественному фону 0,1–0,2 мкЗв/ч, принято считать нормальным. Согласно МР 2.6.1.0361-24 (п. 4.8) для МЭквД гамма-излучения приняты следующие ПДУ:

- 0,3 мкЗв/ч – на земельных участках под строительство жилых и общественных зданий;
- 0,6 мкЗв/ч – на участках под строительство производственных зданий и сооружений.

Одним из методов исследования радиационной обстановки является оценка содержания естественных и техногенных радионуклидов в компонентах окружающей среды (почва, донные отложения). Количество радиоактивного элемента в почвах и грунтах измеряется в беккерелях на килограмм (Бк/кг).

Основными исследуемыми показателями содержания радиоактивных веществ в почвах и грунтах являются:

- 1) Естественные радионуклиды – торий-232 (^{232}Th), радий-226 (^{226}Ra) и калий-40 (^{40}K);
- 2) Искусственные радионуклиды – цезий-137 (^{137}Cs).

Для характеристики суммарной радиоактивной загрязнённости грунтов естественными радионуклидами рассчитывается показатель эффективной активности ЕРН ($A_{эфф}$) по формуле (п.5.3.4 СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009», п. 4.1 МР 2.6.1.0361-24):

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3 \cdot A_{Th} + 0,09 \cdot A_K, \text{ Бк/кг} \quad (1.2)$$

где A_{Ra} и A_{Th} , Бк/кг – удельная активность ^{226}Ra и ^{232}Th , находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов соответственно, A_K – удельная активность ^{40}K .

Суммарный показатель содержания естественных радионуклидов (эффективная активность ЕРН) позволяет выполнить оценку радиоактивного содержания почв и грунтов и определить для них класс строительного материала. Пригодным абсолютно для любых целей строительства считается грунт (почва), расчётное значение $A_{эфф}$ которого не превышает 370 Бк/кг.

Таким образом, уровни облучения населения изотопами радона, а также гамма-излучением природных радионуклидов определяют радиационную обстановку исследуемой местности (МУ 2.6.1.1088-02).

Акустическое (шумовое) загрязнение представляет собой воздействие звуков антропогенного происхождения различной частоты и интенсивности. Источниками акустических воздействий являются транспортные средства (автомобили, железнодорожные поезда, авиатранспорт), а также промышленные предприятия, строительные и ремонтные работы, системы вентиляции, шумы бытового происхождения и др.

Важной акустической характеристикой являются частота звука. Человек способен слышать звук в диапазоне частот от 16 Гц до 20 кГц. Шум в частотах ниже этого диапазона называют инфразвуком (1 Гц – 20 Гц), выше – ультразвуком (12,5 кГц – 100 кГц).

По изменению шума во времени выделяют:

- постоянный шум – шум, скорректированный по А, уровень звука которого изменяется за время оценки не более чем на 5 дБ при измерениях на характеристике S шумомера по ГОСТ Р 53188.1-2019 (СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003);

- непостоянный шум, не удовлетворяющий приведенному выше условию.

Нормируемыми параметрами постоянного шума являются уровни звукового давления, дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц и уровни звука L(A), дБА.

Для непостоянного шума нормируются эквивалентные уровни звука ($L_{Aэкв.}$), дБА и максимальные уровни звука ($L_{Aмакс.}$), дБА.

Эквивалентный (по энергии) уровень звука, дБА – это уровень звука постоянного шума, который имеет то же самое среднеквадратическое звуковое давление, что и исследуемый непостоянный шум в течение определенного интервала времени.

Максимальный уровень звука, дБ – скорректированный по А уровень звука непостоянного шума, соответствующий максимальному показанию измерительного прямопоказывающего прибора (шумомера) при визуальном отсчете, или скорректированный по А уровень звука, превышаемый в течение 1% длительности измерительного интервала при регистрации шума автоматическим оценивающим устройством.

Нормирование ведется в зависимости от градации помещений и территорий, и времени суток (дневное и ночное время) (СП 51.13330.2011, СанПиН 1.2.3685-21). Оценку постоянного и непостоянного шума на соответствие нормам проводят одновременно по обоим нормируемым параметрам. Превышение одного из этих уровней над нормой считается невыполнением норм предельно допустимого или допустимого шума.

Функциональное зонирование, дифференциация улично-дорожной сети по составу транспортного потока, использование шумозащитных свойств рельефа, сосредоточение источников шума на территории промышленных зон в отдельных комплексах, формирование общегородской системы зелёных насаждений являются обязательными мерами, позволяющими снизить шумовую нагрузку на жилые территории города.

Электромагнитное излучение (ЭМИ) представляет собой процесс распространения в пространстве изменений состояния электромагнитных полей (ЭМП). Характеристики электромагнитного излучения определяются рядом параметров, которые позволяют количественно оценить его интенсивность и воздействие. Ключевыми величинами, характеризующими ЭМИ, являются:

- напряжённость электрического поля (ЭП), обозначается «Е», измеряется в

единицах «киловольт на метр» (кВ/м);

- напряжённость магнитного поля (МП) или индукция МП, обозначается «В», измеряется соответственно в единицах «ампер на метр» (А/м) или «микротесла» (мкТл).

ПДУ для характеристик ЭМИ устанавливаются в зависимости от вида исследуемых объектов, их функционального назначения и частотного диапазона. Так, например, согласно СанПиН 1.2.3685-21 (таблица 5.41) ПДУ уровней ЭМП промышленной частоты 50 Гц на территории жилой застройки составляют: для «Е» – 1,0 кВ/м, для «В» – 8,0 А/м или 10,0 мкТл.

Опасность ЭМП недооценивается, так как организм не ощущает эти воздействия и их последствия имеют отдалённый характер. Исследования влияния ЭМП на организм человека показали, что степень заболевания зависит от интенсивности и длительности воздействия [Графкина М. В., Свиридова Е. Ю., 2015; Каляда Т. В., Плеханов В. П., 2019; Дудоров В. Е., 2019; Никитина В. Н. и др., 2019].

Источники ЭМП могут быть природным и искусственными. Природные представлены естественным электромагнитным полем Земли, космическими источниками радиоволн (Солнце и другие звёзды), процессами, происходящими в атмосфере Земли (молнии, колебания в ионосфере). Искусственные источники ЭМИ можно разделить на 2 группы:

1) устройства, специально созданные для излучения электромагнитной энергии (радио и телевизионные вещательные станции, радиолокационные установки, физиотерапевтические приборы, системы радиосвязи и т. п.);

2) устройства, не предназначенные для излучения электромагнитной энергии в пространство (линии электропередач и трансформаторные подстанции, бытовая и организационная техника и т. п.).

Антропогенными источниками ЭМИ, формирующими воздействие в условиях населённых мест, являются все источники колебательных контуров и генераторы волн. Их группировка по частотам излучения выполняется в соответствии с общепринятой классификацией согласно МР 2.1.10.0061-12.

Наибольшую опасность для здоровья человека представляют источники ЭМИ КНЧ (крайне низких частот), среди которых наибольшее распространение имеют объекты ЭМИ промышленной частоты (50 Гц). При этом такие источники как воздушные линии (ВЛ) электропередач во много раз превышают интенсивность естественного электромагнитного фона и имеют достаточно протяжённые по территории коридоры воздействия. Согласно с общепринятой классификацией высоковольтными считаются ЛЭП напряжением от 110 кВ и выше. Как правило, высоковольтные ЛЭП выносят за пределы жилой застройки, прокладывают по периметру городской территории или размещают в промышленных зонах. Сверхвысокие и ультравысокие прокладывают за пределами населённых пунктов.

В целях защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи (ВЛ), устанавливаются санитарные разрывы вдоль трассы высоковольтной линии, за пределами которых напряженность электрического поля не превышает 1 кВ/м (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов" (с изменениями и дополнениями).

При соблюдении правил размещения объектов электросетевого хозяйства, учитывающих расположение жилой застройки за границами охранных зон и санитарно-защитных разрывов, воздействие ЭМИ на население сведено к минимуму и проявляется локально. В местах, где имеется необходимость присутствия людей в охранных зонах (промышленные зоны, электротранспорт) защита осуществляется ограничением времени пребывания.

1.4. Методологические и методические подходы к комплексной оценке экологического состояния урбанизированных территорий

Рост городов, реализация государственных программ развития гражданского и промышленного строительства, формирования современной городской среды ведет к появлению реальной экологической опасности с далеко

идущими и непредсказуемыми последствиями и обуславливает необходимость проведения инженерно-экологических изысканий и оценки состояния городских территорий. В связи с этим все более востребованными и перспективными становятся исследования по комплексной (интегральной) оценке экологического состояния городской среды и определению степени комфортности условий для проживания населения на конкретных территориях

Методология исследования экологического состояния городской среды, ее комплексной оценки и создания систем регионального геоэкологического мониторинга с применением информационных технологий базируется, прежде всего, на трудах Израэля Ю.А., Безуглой Э.Ю., Хомича В.С., Виноградова П.В., Кочурова Б.И., Осипова В.И., Арманда Д. Л., Реймерса Н. Ф., Глазовской Н. Ф. и др.

Как правило, для урбанизированных территорий выполняется интегральная экологическая оценка степени суммарного воздействия техногенных факторов на основе наиболее представительных показателей [Джугарян О.А., 2000]. Это могут быть уровень загрязнения водного и воздушного бассейнов, почвенно-растительного покрова, уровень заболеваемости населения, зависящие от многих факторов (физико-географических особенностей территории, величины города (площадь, количество населения), его специализации в территориальном разделении труда, функционально-планировочной структуры, уровня развития инфраструктуры в целом) [Пых Ю.А., 1996].

Общепризнанной методики интегральной оценки городской среды нет [Хомич В.С. и др., 2013]. Неопределенность и абстрактность понятия интегральной оценки делает разработку методики субъективной, зависимой, в определенной степени, от подхода к этому вопросу отдельного исследователя. Разнообразие методик и отсутствие единого стандарта обусловлено следующими основными причинами [Виноградов П. М., 2015]:

1. Множество критериев оценки (санитарно-гигиенические, социально-экономические нормативы и др.), отличающихся по величине, единицам измерения и т.д.;

2. Специфичность территории (климат, рельеф, производственно-промышленный потенциал и др.). Методика, разработанная и апробированная для одной территории, может быть не совсем удачна для другой.

3. Территориальная неоднородность (функциональные зоны, тип застройки, доминирующие техногенные воздействия и др.):

4. Сложность синтеза разнородных данных и, как следствие, необходимость поиска путей унификации всех показателей.

5. Выявление подхода, имеющего решающее значение для оценки качества городской среды. Выделяются два наиболее распространенных подхода: «природный» (оценка, характеризующая общее отклонение состояния среды от нормы) и «гуманистический» (оценка показателя комфортности среды для проживания человека) [Виноградов П. М., 2015].

Некоторые подходы к комплексной оценке экологического состояния городских территорий рассмотрены ниже.

Важным этапом интегральной оценки качества городской среды является синтез очень различающихся значений отдельных диагностических критериев. Метод, предложенный Язиковым Е.Г. [Язиков Е.Г., 2014], основывается на комплексном, системном, синхронном и максимально сближенном в пространстве обследовании компонентов окружающей среды. Позволяет получить комплексные химико-аналитические данные по обширному перечню загрязняющих веществ в исследуемых средах, а также прослеживать пути миграции ЗВ в биогеохимической модели «техногенная аномалия – организм человека». Фактически речь идет о наборе интегральных показателей качества среды. Единый комплексный показатель не предложен.

Лопаткова Н.А. и Волкова И.В. предлагают для экологической оценки состояния городской среды два принципиально разных подхода: физико-химический и биологический. Первый основан на определении концентраций

загрязняющих веществ и их сравнении с ПДК (санитарно-гигиенические нормы, ориентированные на человека и не учитывающие влияние на другие живые организмы). Биологический метод (биоиндикация) позволяет определить интегральное влияние токсикантов, выявить общебиологический эффект их действия. При сравнении результатов по загрязнению атмосферного воздуха г. Астрахани, полученных с использованием биоиндикационных и физико-химических методик, отмечена их идентичность [Лопаткова Н.А., Волкова И.В., 2009].

Предлагаемая Битюковой В.Р. методика комплексной оценки состояния среды базируется на серии замеров и карт загрязненности различных природных компонентов на территории города, составленных специалистами в каждой области. На первом этапе с учетом территориального распределения различных ингредиентов загрязнения в различных средах, определяется математическое ожидание состояния каждого природного компонента. В результате логарифмирования шкалы опасностей по каждому из природных компонентов и приведения их к одному основанию (начальному показателю опасности), получается одномасштабная шкала, позволяющая ввести коэффициент гигиенической опасности для состояния здоровья населения, а также перевести все показатели, выраженные в разных единицах измерения, в единую систему безразмерных индексов, что дает возможность в дальнейшем их суммировать и получить интегральный индекс загрязнения городской среды. Окончательная оценка состояния среды в городе определяется как сумма математических ожиданий, умноженных на экспертно оцененный вклад каждого вида среды [Битюкова В.Р., 2002].

В реальных условиях исходные данные о состоянии геосистем часто отсутствуют, а список нормативов и региональных фоновых величин часто не содержит ряда необходимых для оценки показателей. В этом случае может быть применен метод «эталон» [Емельянов А.Г. и др., 2010], предусматривающий подбор и изучения состояния геосистем – «эталон». Объект оценивания и

«эталон» необходимо сравнивать на основе одних и тех же показателей и единиц их измерения.

Значительное количество публикаций посвящено разработке различных комплексных (интегральных) критериев и коэффициентов. Коэффициент напряженности экологической ситуации (Кнэс), предложенный в работе [Петрищев В. П., Дубровская С. А., 2013], рассчитывается с учётом показателей состояния атмосферного воздуха, загрязнения почв, шумового загрязнения, индекса экологической опасности, показателя удельного веса воздействующих факторов, плотности населения и показателя средоохранной и средовоспроизводящей емкости территории. По рассчитанному безразмерному коэффициенту могут быть построены картосхемы с ранжированием различных зон от «условно благоприятная» до «критическая». Комплексный экологический анализ выполнен для территории г. Орск. Для определения качества урбосреды г. Биробиджана использовался интегральный средневзвешенный показатель экологического состояния (ПЭКС), представляющий собой отношение суммы произведений оценки в баллах i -того показателя среды на его весовой коэффициент, к сумме весовых коэффициентов. Учитывались суммарные показатели концентрации тяжелых металлов в растительности (кора, листва), почве, снеге и состояние городской растительности. Ранжируется 5 уровней оценки экологического состояния [Калманова В.Б., Коган Р.М., 2007]. Результаты были использованы при организации мониторинга качества городской среды и экологического картографирования. Количественную оценку комфортности городской среды для проживания населения предложено оценивать с использованием комплексного индекса геоэкологической комфортности среды (КИГКС), учитывающего значения весовых коэффициентов важности воздействующих факторов в различных функциональных зонах города [Сокольская Е.В., 2019].

С целью обеспечения соответствия геоэкологических условий задачам комфортного проживания населения Сокольской Е.В. реализована формализация геоэкологической оценки качества среды жизни на основе

многофакторной модели с использованием результатов комплексной оценки геоэкологической ситуации и анализа экспертных мнений. Предложен комплексный показатель качества среды (КПКС) на основе обобщенной функции желательности, адаптированной для характеристики городской среды. Применение разработанной методики для жилого микрорайона «Текстильщиков» г. Тирасполя позволило разработать рекомендации, при реализации которых возможно повышение уровня геоэкологической комфортности среды жизни от категории «низкая» до категории «высокая» [Сокольская Е.В., 2019].

Комбинированный способ агрегирования балльных оценок [Рыбак В. А., 2015] предусматривает усреднение частных оценок по трём доминирующим компонентам окружающей среды, выбор которых для каждой функционально-ландшафтной зоны производится отдельно. Один из трех компонентов выбирается в зависимости от основного вида использования территорий, два других – по максимальным баллам напряжённости для данной зоны. Качество каждого из 3-х исследуемых компонентов ранжируется на 5 уровней в диапазоне от 0 до 5 баллов, сумма которых – *интегральный показатель экологического состояния территории*. Данная методика с применением ГИС-технологий использована при разработке Территориальных комплексных схем охраны окружающей среды. Беларуси. Отличается расширенным перечнем учитываемых параметров, функционально-ландшафтным зонированием территории, способом балльных оценок и алгоритмом агрегирования. Позволяет выявлять зоны повышенной экологической напряжённости и целенаправленно разрабатывать природоохранные мероприятия. Подбор весовых коэффициентов не требуется.

Комплексный показатель загрязнения окружающей среды (КПЗОС) урбанизированных территорий в разрезе субъектов Российской Федерации по данным мониторинга Росгидромета, методология его расчета, карты и сравнительные таблицы приведены на сайте ИГКЭ. Для каждого субъекта РФ рассчитываются количественные приоритетные характеристики загрязнения

трех базовых природных компонент: (1) для атмосферного воздуха – взвешенная суммарная численность населения городов, в которых определяется качество приземного воздуха по комплексному показателю ИЗА 5, задающему величину весового коэффициента; (2) для поверхностных пресных вод – общее количество случаев «высокого» и «экстремально высокого» загрязнения; (3) для почвенного покрова – отношение площади территории, хронически загрязненной токсикантами промышленного происхождения, к площади субъекта. Полученные значения характеристик приводятся к 5-балльной шкале: для поверхностных пресных вод и почвенного покрова – методом кластеризации данных k-средних характеристик; для атмосферного воздуха – на основе классификации городов по Г.М. Лаппо. КПЗОС рассчитывается суммированием баллов характеристик загрязнения отдельных природных сред по каждому субъекту. Ранжированные по КПЗОС субъекты РФ группируются по пяти категориям, характеризующим антропогенную нагрузку по загрязнению окружающей среды: «очень высокая», «высокая», «средняя», «умеренная» и «низкая» [Жадановская Е.А., Громов С.А, 2019].

В ряде работ применяются модификации метода «нормирования и взвешивания» ((Rating and Weighting Technique) [Черп О.М. и др, 2001]. И здесь встает проблема определения весовых коэффициентов, которой посвящен ряд работ, описывающих разнообразные методы и подходы. Одним из простых и распространённых способов определения весовых коэффициентов является метод экспертных оценок. В работе [Макарова И.Л., 2015] рассмотрены методы ранжирования и приписывания баллов. Используют также методы парного сравнения критериев: классический, на основе фиксированного или плавающего предпочтения, экспоненциального плавающего предпочтения, метод последовательного сравнения критериев, известный как «метод Черчмена – Акоффа», методы арифметической и геометрической прогрессии, базового критерия. «числовой»; анализа иерархий; модифицированной первой главной компоненты; рандомизированных сводных показателей (МРСП); формулы Фишберна, не требующие опроса экспертов [Баранов Ю.Г., 2013; Саати Т.Л.,

1993; Михайлов Я.В., 2011; Ногин В.Д. и др., 2007]. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев рассмотрены в работе [Постников В. М., Спиридонов С.Б., 2015].

Таким образом, предлагаемые в литературе методики и подходы различаются трактовками терминов «интегральный», «комплексный» или «обобщенный» показатель; подмножеством исходных показателей, выбранных для обобщения; способом количественной оценки выбранных показателей; преобразованием количественных шкал исходных показателей в обобщенные шкалы критериев качества и обеспечением соизмеримости индивидуальных показателей между собой; вариантом свертки для получения обобщенного показателя. В качестве общих единиц измерения разных показателей вводятся баллы или ранги.

Неравномерно распределённые по территории Хабаровска промышленные объекты, наличие несанкционированных свалок, радоноопасных зон и очагов загрязнения поверхностных и подземных вод, большая протяженность автомобильных дорог с недостаточной пропускной способностью, неудовлетворительное состояние некоторых рекреационных территорий определяют совокупность разнородных воздействий, мозаичность их распределения и требуют проведения комплексной оценки экологической ситуации на территории города с учетом этих особенностей.

Выводы по главе 1

1. Городская территория представляет собой природно-техногенную систему (ПТС), в пределах которой в ходе антропогенного воздействия отмечается значительное изменение практически всех элементов природной системы, в первую очередь – микроклимата и почв.

2. Важным индикатором степени антропогенной нагрузки и остроты экологической ситуации является состояние почв, которые претерпевают изменения физических и физико-химических свойств.

3. Энергетическое загрязнение на территории городов обусловлено в основном радиоактивным, шумовым и электромагнитным воздействиями техногенного характера.

4. Единая методика комплексной оценки экологического состояния городской территории отсутствует, что обусловлено в основном ориентацией на конкретные условия и выбранным подходом (природный или гуманистический).

Глава 2. Объекты и методы исследования

2.1. Природные условия исследуемой местности

Географическое положение: город Хабаровск – административный центр Хабаровского края, крупный транспортно-логистический и промышленный центр Дальнего Востока. По состоянию на 01.01.2019 г. в Хабаровске проживало 617,5 тыс. чел. [Котляков В. М., Бакланов П. Я., 2020]. Территория города составляет 388,7 км² и расположена в уникальной по своим природным условиям местности. Город расположен в южной части Хабаровского края на правом берегу реки Амур в месте ее слияния с рекой Уссури, вытянут на 33 км вдоль Амура и Амурской протоки. Вблизи Хабаровска по острову Большой Уссурийский проходит государственная граница с КНР, расстояние до которой от черты города – 17 км [Котляков В. М., Бакланов П. Я., 2020].

Географическое положение города определяет характер протекающих на его территории природных и техногенных процессов.

Геологическое строение: в пределах г. Хабаровска геологический комплекс представлен триасово-юрскими кремнистыми, кремнисто-глинистыми и терригенными отложениями, меланжем, содержащим пермские сланцы и известняки в позднеюрско-раннемеловом матриксе. Вулканыты встречаются редко, известны их выходы в пределах Хабаровска и на сопке Двух братьев в его окрестностях [Войнова И. П., 2016]. Наиболее древними на данной территории являются палеозойские отложения карбонового и пермского возраста (абсолютный возраст 345-280 млн. лет) [Подгорная Т. И., 2007]. Они слагают Воронежские, Львовские и Хабаровские высоты. Отложения верхнего карбона воронежской свиты (C₃ vr) выходят на поверхность в береговых обнажениях Амура в Краснофлотском районе. Они представлены вулканогенно-осадочными породами: кремнисто-глинистыми, углисто-глинистыми, кремнистыми сланцами, туфами, песчаниками, пластовыми залежами диабазовых порфитов и линзами известняков. Строение свиты сложное, породы значительно «смяты в

складки», нарушены послойными срывами. Её контакт с вышележащими отложениями пермского возраста – тектонический. Он отмечен к северу от мясокомбината вблизи ул. Осиповки, выражается в виде резкой смены литологического состава осадочных пород, а также многочисленных водопроявлений вдоль оврага, прорезающего западный склон холма у пос. Энергетиков.

Осадочные породы пермского возраста разделены на две свиты: утанакскую и хабаровскую [Подгорная Т. И., 2013]. Породы утанакской свиты изучены в береговых обнажениях в центре Хабаровска и в откосах вблизи с. Красная речка. В состав толщи утанакской свиты входят чередующиеся слои печаников, алевролитов, глинистых и кремнисто-глинистых сланцев, среди которых могут встречаться пласты вулканогенных пород – диабазовых порфиритов, спилитов и туфов. Породы хабаровской свиты распространены в пределах Львовских и Хабаровских высот и обнажаются в береговых обрывах Амура между заводом «Дальдизель» и железнодорожным мостом. Свита сложена хлорито-глинистыми, глинистыми и филлитовидными сланцами, кремнистыми породами, туфами, туффитами, брекчиями, песчаниками с прослоями туфов, спилитов и линзами известняков. Более «молодые» мезозойские отложения триасового и мелового возраста распространены в южной части Хабаровска и пригородной зоне и слагают хр. Хехцир и Вятско-Елабужские увалы.

Такое сложное геологическое строение территории города определяет не только его рельеф, но и наличие радоноопасных зон, приуроченных к тектоническим разломам.

Рельеф: Хабаровск расположен в юго-восточной части Среднеамурской равнины. Территория города характеризуется преимущественным развитием аккумулятивного типа рельефа и значительно меньшим распространением денудационно-эрозионного, денудационно-аккумулятивного и эрозионно-аккумулятивного типов рельефа [Подгорная Т. И., 2007].

Денудационно-эрозионный рельеф представлен скульптурным

мелкосопочником и холмисто-увалистой поверхностью. Скульптурный мелкосопочник – это отдельные возвышенности (сопки) и гряды с высотами 100-170 м. Холмисто-увалистая поверхность с относительными превышениями 60-80 м протягивается полосами северо-восточного направления. Примерами могут служить Воронежские и Львовские высоты, которые находятся в Краснофлотском и Кировском районах города; Хабаровские высоты – в Центральном районе; Матвеевские высоты – в Железнодорожном районе; Краснореченские высоты расположены в южной части Хабаровска у подножья хр. Хехцир. Денудационно-аккумулятивный рельеф представлен пологоволнистой, слабо увалистой поверхностью, развитой по периферии мелкосопочника, холмов и увалов.

Эрозионно-аккумулятивный рельеф распространен в юго-западной части города на правобережье Амурской протоки до пос. Казакевичево. Он представлен древней поверхностью выравнивания – отдельными увалами и холмами.

Аккумулятивный рельеф занимает более 160 км² – 80% территории Хабаровска. Это преимущественно Индустриальный и Железнодорожный районы, частично Кировский и Краснофлотский районы, обширный пригородный район к востоку от Хабаровска. Этот тип рельефа характеризуется обширной равниной, понижающейся к пойме Амура и малых рек.

Рельеф безусловно играет существенную роль в процессах геохимической миграции, которая на возвышениях и их склонах имеет транзитный характер, на равнинных территориях скорости потоков замедляются, а на низменных местах отмечается аккумуляция мигрирующих веществ.

Гидрография: речная сеть Хабаровска представлена рекой Амур с её проточной системой и малыми реками, притоки которых формируются в овражной сети города.

Амур и Амурская протока являются естественной границей города и важной транспортной водной артерией. Река Амур в западной части площади течёт почти строго на север, огибая Воронежские высоты, поворачивает на

северо-восток и разделяется на ряд протоков, сообщающихся с руслом реки. Долина Амура ассиметричная: левый берег низменный, а правый – обрывистый на всём протяжении г. Хабаровска. Ширина Амура в среднем около 1,5-2,0 км и достигает 3,0 км, наибольшая ширина отдельных протоков достигает 500-700 метров. Преобладающая глубина реки 4-8 метров, а максимальная 12-15 метров. Водный режим характеризуется довольно слабо выраженным весенним половодьем, высокими летними паводками, нередко приводящими к катастрофическим наводнениям (последнее в 2013 г.), уровень воды у г. Хабаровска достиг 808 см, при средних значениях 346 см и низкой зимней меженью. Амплитуда колебания уровня воды в реке достигает 7-10 м, максимальный расход реки Амур достигает 40000 м³/сек, минимальный зимний расход воды падает до 410 м³/сек. Существенное разбавление такого потока вод происходит в основном за счёт влияния крупных притоков р. Амур, расположенных выше по течению города.

Малые реки Хабаровска не являются судоходными, но формируют потоки интенсивного переноса вещества, имеют важное хозяйственное и экологическое значение. Крупнейшими из малых рек города (с площадью водосбора более 70 кв. км) являются Берёзовая, Чёрная и Красная Речка. В отличие от р. Красная Речка, которая берёт своё начало на менее нарушенных воздействием окрестностях города, реки Берёзовая и Чёрная берут свои истоки непосредственно на его территории, в лотках и коллекторах. Это является причиной их нарушенного водного режима и высокого уровня химического и микробиологического загрязнения вод. Это характерно для большинства ручьёв и овражных стоков, впадающих или в систему водосборов вышеупомянутых малых рек или непосредственно в р. Амур и в р. Амурская протока. Большая часть малых рек используется для сбросов ливневых и коммунальных стоков (чаще неочищенных). Водоохранный режим для большинства малых рек города не установлен – отсутствует или не всегда учитывается градостроительной документацией, регламентами местных природоохранных учреждений. В ходе интенсивной застройки территории города стоки мелких ручьёв и части русел

малых рек были зарегулированы в коллекторы или полностью погребены. Прибрежные территории малых рек в восточной агломерации города были распаханы, а при производстве мелиоративных работ искусственно изменено положение русел. В расходах некоторых водотоков стали преобладать сточные воды над природными.

Густая сеть малых рек, ручьёв и овражных стоков на территории города способствует интенсивному выносу загрязняющих веществ за пределы водосборов, но при этом водные объекты могут аккумулировать загрязнения и быть экологически опасными на всех своих участках.

Климат: территория города Хабаровска расположена в зоне влияния муссонных процессов [Петров Е.С. и др., 2000], где количество выпавших за сутки осадков может составить 121 мм (по данным многолетних наблюдений). При этом доля жидких осадков от их общего годового количества (672 мм) составляет 83%, что определяет достаточный промывной режим территории в тёплый период года. Ветровой режим рассматриваемого района в целом зависит от муссонной циркуляции. На территории города на направление ветров большое влияние оказывают направление долины реки Амур. Город расположен непосредственно в долине Амура, поэтому здесь как зимой, так и летом преобладают северо-восточные и юго-западные ветры.

По характеру колебаний температуры воздуха климат города резкоконтинентальный с холодной суровой зимой и жарким влажным летом. Наиболее жаркий месяц – июль со среднемесячной температурой +21,3 °С, наиболее холодный – январь, со средней температурой минус 20,2 °С. При этом продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха ниже 0 °С в соответствии с СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» составляет 158 суток, а средняя температура за этот период – минус 13,5 °С.

Достаточно продолжительный отопительный период, преобладание летних осадков, направление ветров будут определять характер миграции загрязняющих веществ в компонентах городской среды в течение года.

Почвенный покров: на исследуемых территориях города большая часть

почвенных группировок сильно изменена и представлена в основном техногенными грунтами, задернованными с поверхности. В естественных условиях почвенный покров представлен преимущественно: бурозёмами – на холмисто-увалистых возвышенных территориях и глеезёмами – на равнинных и чаще заболоченных поверхностях [Росликова В.И., 2023]. Многолетняя антропогенная трансформация ландшафтов города стала причиной формирования новых почвенных образований, не являющихся вариантами естественных почв, а различающихся мощностью, составом включений, степенью преобразованности. В работе [Росликова В.И., 2018] для территории Хабаровска было выделено пять групп почвенных образований: техногенные (технолиты); естественные непреобразованные; естественно-антропогенные слабопреобразованные; антропогенно-естественные глубоко преобразованные; антропогенно созданные. В этих группах выделено 12 подгрупп, которые подробно рассмотрены в работе [Росликова В.И., 2018]. Общими особенностями вновь формирующихся почвенных образований в пределах всей городской территории являются техногенное происхождение и преимущественно суглинистый состав.

Растительность и животный мир: в системе ботанико-географического районирования юга Дальнего Востока город Хабаровск расположен в северной подзоне зоны хвойно-широколиственных смешанных лесов. Однако в пределах территории города залесёнными являются участки Воронежских высот и северные отроги хребта Малый Хехцир. На остальной территории леса уничтожены, древесно-кустарниковые типы представлены остатками коренной растительности – дубняками, вторичными мелколиственными лесами (осинники и белоберезники), небольшими участками смешанных широколиственных лесов, а также посадками – тополевыми, сосняками, смешанными насаждениями, садами и лесопитомниками. Травянистые типы растительности представлены злаково-разнотравными лугами, заболоченными лугами, пашенными и рудеральными сообществами.

Для территории г. Хабаровска в настоящее время свойственно угнетённое

состояние животного мира, которое характеризуется исчезновением многих видов. Лесные местообитания, имевшиеся здесь в прошлом, разрушены, а сохранившиеся представляют собой небольшие островки редкостойного леса, чаще кустарники с начальной стадией порослевого возобновления. Состояние животного мира характеризуется следующими параметрами:

- 1) резким сужением биотического разнообразия, выпадением ниш целого ряда видов наземных позвоночных;
- 2) ухудшением средовых факторов – защитных, кормовых и эдафических (изменение режима плотности снегового покрова);
- 3) изменением и упрощением структуры зооценозов – преобладанием мелких форм млекопитающих и птиц открытых местообитаний, в т. ч. кратковременно присутствующих, увеличением численности населения синантропных видов.

Представители биоты особо чувствительны к изменениям окружающей среды и являются качественным индикатором её состояния.

2.2. Методы определения загрязнения почв

Так как почвенная индикация является одним из основных методов оценки экологического состояния городов были проведены исследования загрязнения почв и почвенных образований.

Отбор почвенных образцов осуществлялся в периоды положительных температур воздуха в течение 3 лет (2017-2020 гг.) по ключевым участкам городской застройки с рекомендованным для геохимической съёмки шагом сети не менее 500 метров [Касимов Н. С., 2013]. Отбор проводили в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 с глубины 0-20 см в 5 точках каждой пробной площадки размером 5 x 5 м. Объединённые пробы получали путём смешивания точечных образцов. Из общего массива точек в функциональных зонах города было скомпоновано 76 объединённых станций (рисунок 2.1), распределённых в жилой (39), агроселитебной (8) и промышленной (29) зонах. Также в соответствии с СП

502.1325800.2021 (пункт 5.11.13) в окрестностях города и на территории ближайших ООПТ отбирались фоновые пробы почв для определения регионального фона для бурозёмов суглинистого состава.

В ходе доставки образцов в лабораторию были приняты меры по предупреждению их загрязнения.

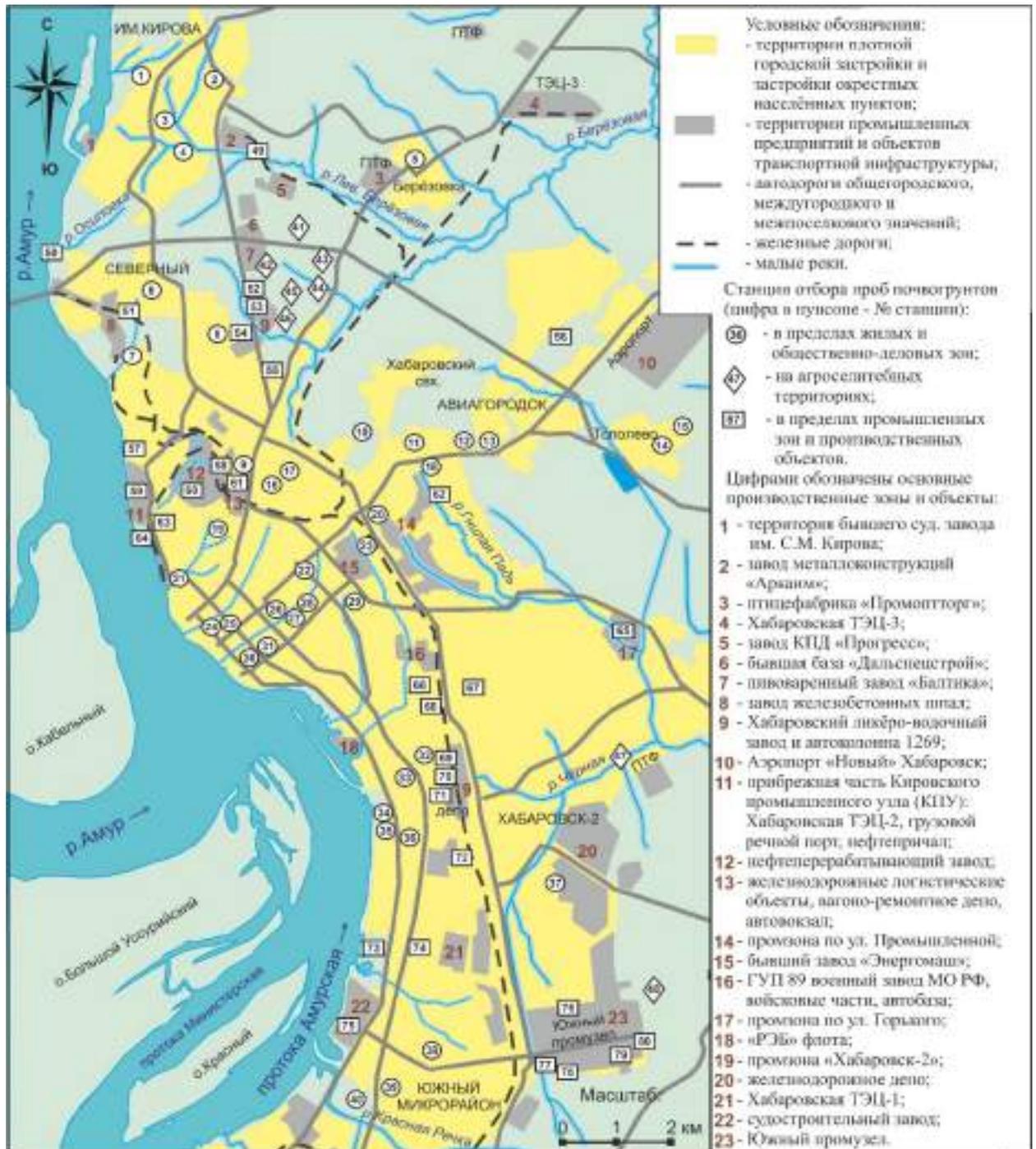


Рисунок 2.1. Схема расположения станций отбора почв и основных источников воздействия на окружающую среду (составлено автором)

Лабораторные исследования почв проводились в аккредитованном центре ФГБУ ЦАС «Хабаровский» (аттестат аккредитации RA.RU.21ПЦ62) методом эмиссионного спектрального анализа. Перечень контролируемых химических показателей был выбран согласно ГОСТ Р 70281-2022, СанПиН 2.1.3684-21 и СП 502.1325800.2021: показатель pH, нефтепродукты (НП), бенз(а)пирен (БП), тяжёлые металлы (ТМ) и металлоид в валовой форме (кадмий, медь, мышьяк, никель, ртуть, свинец, цинк). Используемые приборы, методики, диапазоны измерений и допустимые отклонения приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Используемые для лабораторных исследований нормативные документы, методики, оборудование и средства измерений (составлено автором)

Исследуемый показатель	Используемое оборудование	Используемая методика	Диапазон измерений	допустимые отклонения при доверительной вероятности P=0,95
Показатель pH	Анализатор жидкости «Анион 7000»	ГОСТ 26483-85	от 1,0 до 14,0 единиц pH	0,2 единицы pH
Нефтепродукты	Флюорат-02-2М	ПНД Ф 16.1.21-98	от 5 до 250 мг/кг	28 %
			свыше 250 до 20000 мг/кг	15 %
Бенз(а)пирен	Жидкостный хроматограф «Waters HPLC 2475»	МУК 4.1.1274-03	от 0,005 до 0,040 мг/кг	35 %
			свыше 0,040 до 2,0 мг/кг	25 %
Cd	Agilent 720 ICP-OES	ЦВ 5.18.19.01-2005	0,05 до 100000 мг/кг	±50 %
Cu			0,1 до 100000 мг/кг	±20 %
As			0,1 до 100000 мг/кг	±50 %
Ni			0,1 до 100000 мг/кг	±35 %
Pb			0,1 до 100000 мг/кг	±25 %
Zn			от 5,0 до 500000 мг/кг	±20 %
Hg	ААС «КВАНТ-2 АТ»	М-МВИ-80-2008	0,005 до 1000 мг/кг	±30 %

На базе аккредитованных лабораторий ООО «Инженерные изыскания ДВ» (RA.RU.21ВБ01 выдан 02.06.2017г.), ООО «Астрон» (RA.RU.21АК13 выдан 14.06.2016г.) и ООО «Терра» (RA.RU.21ОР57 выдан 14.08.2022г.) в безморозье

периоды, благоприятные для безопасной эксплуатации используемых средств измерения, в течение 6 лет (2017-2023 гг.) проводились замеры уровней воздействия физических факторов. Для измерений использовались приборы: шумомеры-анализаторы «Ассистент» и «Экофизика-110А» – уровни шума (эквивалентный уровень звука, дБА), измеритель параметров электрического и магнитного полей ВЕ-метр – уровни электромагнитных излучений (ЭМИ) промышленной частоты 50 гц (напряжённость электрического поля, В/м, индукция магнитного поля, мкТл), дозиметры-радиометры МКС-АТ6130 и МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДПС-02 – уровни мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения (мкЗв/ч), комплекс измерительный радиометр радона Альфарад плюс-АРП – уровни плотности потока радона (ППР) с поверхности почвы (мБк/с·м²).

Статистическая обработка результатов исследований проводилась с использованием надстройки Excel «Пакет анализа» и метода Boxplots, который позволяет компактно изображать одномерное распределение вероятностей. Такой вид диаграммы в удобной форме показывает медиану (или, если нужно, среднее), нижний и верхний квартили, минимальное и максимальное значение выборки и выбросы. Для создания карт использовалась программа Surfer.

Уровень химического загрязнения почв в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 оценивали по коэффициенту концентрации химического вещества (K_k) и суммарному показателю загрязнения (Z_c), рассчитанному с учетом только $K_k \geq 1$. Так как степень токсичности элементов различна, целесообразно при расчете суммарного показателя загрязнения придать элементам разный вес, соответствующий их классу опасности:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n (K_{ki} \cdot K_{ti}) - (n - 1), \quad (2.1)$$

где K_{ti} – коэффициент токсичности i -го элемента для токсикантов 1 класса опасности (мышьяк, кадмий, ртуть, свинец, цинк), он принимался равным 1,5, для 2 класса (никель, медь) – 1 [Водяницкий, 2008, 2010; Ушакова и др., 2020].

В качестве «базы сравнения» рассматривались критерии, приведённые в таблице 2.2, анализ данных которой показал, что:

- региональный фон в целом ниже ПДК/ОДК определяемых элементов;

- ориентировочные значения фоновых концентраций химических элементов (Приложение Д СП 502.1325800.2021) и фон для городских почв КНР близки к значениям регионального фона за исключением более высоких содержаний в почвах регионального фона кадмия, ртути и мышьяка (по сравнению с СП 502.1325800.2021) и кадмия, и ртути (по сравнению с городским фоном КНР);

- региональный фон ниже кларков почв населённых пунктов и кларков почв для городов с населением 300-700 тыс. человек (Хабаровск – 642 902 чел., данные на 2024 год).

Таблица 2.2

Нормативные требования и фоновые содержания тяжелых металлов и мышьяка в почвах, используемые в качестве критериев оценки (составлено автором)

№ п/п	Критерии сравнения	Почвы	Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Zn
1.	ПДК и ОДК валового содержания ТМ (СанПиН 1.2.3685-21)	кислые (суглинистые и глинистые), рН КСl<5,5	1	66	5	40	-	65	110
		близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), рН КСl>5,5	2	132	10	80	-	130	220
		ПДК	-	-	-	-	2,1	-	-
2.	Ориентировочные значения фоновых концентраций химических элементов (Приложение Д СП 502.1325800.2021)	дерново-подзолистые суглинистые и глинистые почвы	0,12	15	2,2	30	0,1	15	45
3.	Региональный фон (по данным отбора в окрестностях Хабаровска)	бурые лесные почвы, суглинистые	0,31	18,2	7,2	16,7	0,201	19,5	46,2
4.	Фон для городских почв КНР (GB 36600-2018)	городские почвы	0,09	18,2	8,2	-	0,03	20,3	54,2

№ п/п	Критерии сравнения	Почвы	Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Zn
5.	Кларки городских почв (населённых пунктов) [Алексеенко В. А., Алексеенко А. В., 2013]	городские почвы	0,9	39	15,9	33	0,88	54,5	158
6.	Кларки городских почв (население 300–700 тыс. чел) [Алексеенко В. А., Алексеенко А. В., 2013]	городские почвы	0,8	30,1	10	28	-	45,6	115,8

Представленные данные позволяют выбрать и обосновать критерии для расчета Z_c . Значения Z_c рассчитаны с использованием ориентировочных значений фоновых концентраций по СП 502.1325800.2021 (**Zc1**), фона городских почв КНР (The background concentrations of soil elements of China) (**Zc2**), регионального фона исследуемой местности без и с учетом класса опасности элементов (**Zc3** и **Zc4** соответственно). Для выявления приоритетных загрязнителей почв использовался показатель накопления (Пн) [Трифорова и др., 2018]:

$$P_n = \frac{(C_i - C_{\phi i})}{C_{\phi i}} \cdot 100, \quad (2.2)$$

где:

C_i – концентрация металла и As в почве, мг/кг;

C_{ϕ} – их фоновое содержание, мг/кг.

2.3. Методы обработки результатов исследований

Для обеспечения обработки исследуемого массива данных по разным критериям готовились выборки с использованием созданной базы данных «Экологическое состояние почв города Хабаровска» (№ RU2024621705) [Майорова и др., 2024]. База содержит данные по содержаниям загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды территории г. Хабаровска.

Для всех исследуемых компонентов производились расчёты интегральных и суммарных индексов. Для выявления геохимического состояния и характера

загрязнения почв в настоящее время широко применяются различные показатели, как простые (индекс геоаккумуляции I_{geo} , коэффициент концентрации EF , индивидуальный индекс загрязнения PI), так и комплексные (общий индекс загрязнения PLI , показатель потенциального экологического риска $PERI$ и др.) [Muller G., 1969; Nakanson L., 1980; Varol M., 2011; Kabata-Pendias A., 2011; Kowalska J. B. et al., 2018; Tong S. . et al., 2020; Jiang H. H. et al., 2020; Жарикова Е.А., 2021].

Использование разноплановых характеристик загрязнения почв урболандшафтов и установление экологических рисков их воздействия на сопредельные среды способствуют выявлению пространственного распределения загрязнения тяжелыми металлами почв жилых и производственных зон селитебных территорий, а также предоставляют базовую информацию для принятия решений по исправлению ситуации в отношении загрязненных районов. Расчетные формулы использованных для оценки риска загрязнения почв показателей и индексов приведены в Приложении Е.

Выбор метода интегральной оценки экологического состояния городской территории

Для построения обобщающей функции выбран метод нормирования и взвешивания [Saaty T, Vargas L., 2006], позволяющий учитывать разнородные и даже качественные показатели и проводить оценку как по отдельному компоненту среды, так и по совокупности компонентов (рисунок 2.2).

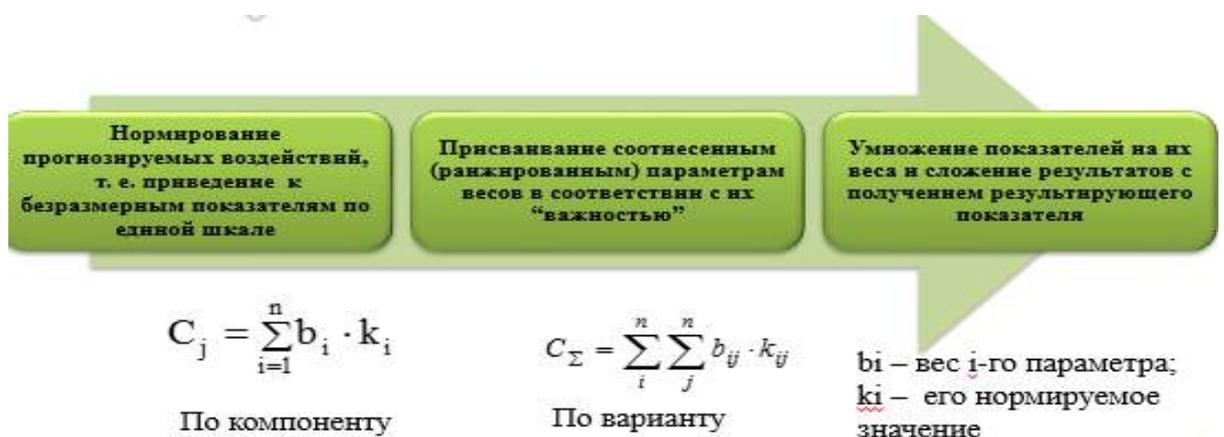


Рисунок 2.2. Алгоритм метода нормирования и взвешивания [Майорова Л.П. и др., 2023]

Для определения весовых коэффициентов выбран экспертный метод (рисунок 2.3).

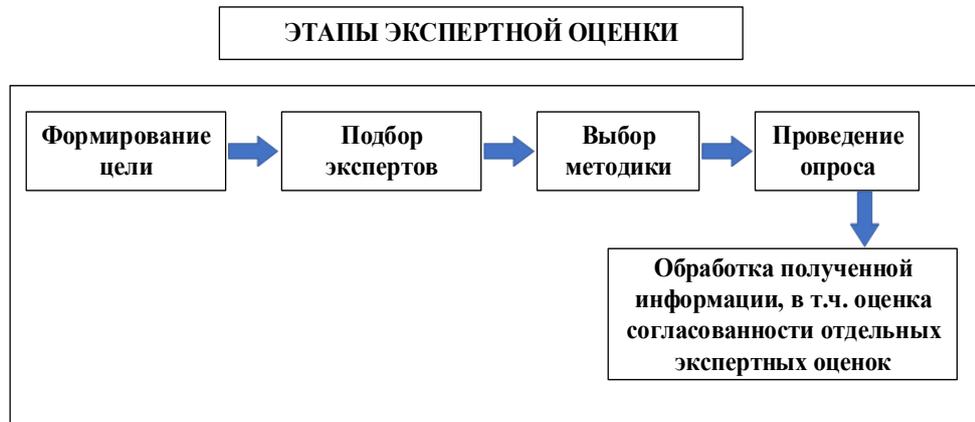


Рисунок 2.3. Этапы экспертной оценки [Майорова Л.П. и др., 2023]

Была сформирована группа экспертов из 30 человек, в которую вошли учёные и специалисты Тихоокеанского государственного университета и Института водных и экологических проблем ДВО РАН.

Использован метод экспертной оценки и порядковых шкал, который позволяет различать факторы даже в случаях, когда принцип сравнения неизвестен [Кравченко Т. К. и др., 2011], и установить между признаками изучаемых объектов отношения «равно», «больше» и «меньше». Разработанные для опроса анкеты приведены в Приложении В.

Обработка результатов анкетирования осуществлялась следующим образом. Полученные данные из анкет сводятся в одну ранжированную таблицу и рассчитывается среднее арифметическое значение каждого фактора.

Для дальнейшего расчёта производится переформирование связанных рангов. Часто эксперт не может указать порядок следования двух или нескольких факторов и присваивает нескольким факторам один и тот же (связанный) ранг, в результате число рангов N оказывается не равным числу ранжируемых факторов n . При появлении связанных рангов, факторам, имеющим одинаковые ранги, присваивают нормализованный (переформированный) ранг, значение которого равно среднему значению суммы мест, поделенных между собой факторами с

одинаковыми рангами. Если переформирование произведено правильно, то сумма рангов в любой переформированной строке одинакова. Затем рассчитываются параметры, необходимые для вычисления коэффициента конкордации.

С целью оценки согласованности отдельных экспертных оценок рассчитан коэффициент конкордации Кендалла (W)

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3-n) - m \sum_1^m (t^3 - t)} \quad (2.3)$$

где:

t – число связанных рангов (число повторений j -го ранга у i -го эксперта;

m – количество экспертов;

n – количество ранжированных рангов;

S – разность между суммой оценок (рангов) по каждому фактору, полученная от всех экспертов, и средней суммой рангов.

Числовое значение W изменяется от 0 до 1, где 0 – согласованность отсутствует, 1 – полная согласованность мнений экспертов. В целом значения коэффициента конкордации менее 0,5 указывают на слабую согласованность, от 0,5 до 0,8 – умеренная, выше 0,8 – крайне высокая согласованность.

2.4. Методологические подходы к созданию базы данных (БД)

Для разработки БД «Экологическое состояние почв города Хабаровска» выбрана программа для работы с электронными таблицами – Microsoft Excel с применением стандартных функций программы и макросов, написанных на языке VBA. Выбранная платформа является универсальной и не требует для работы установки дополнительных программ и плагинов. В БД включены сведения о химическом, радиологическом и санитарно-эпидемиологическом загрязнении почв. Станции опробования привязаны в пространстве к координатам, функциональным зонам, административным районам города и рельефу. Имеется возможность выполнять выборки по датам опробования, что

позволяет оценить динамику загрязнений. Главной особенностью БД является реализация не только функций хранения и накопления информации, но и возможность осуществлять её удобную оперативную обработку и визуализировать выбираемые параметры на картах. Наглядность отображаемых выборок позволяет объективно оценить исследуемые параметры и увидеть их взаимосвязи. При обработке большого массива данных с необходимостью постоянного их обновления программа позволяет автоматизировать процессы, существенно сократить время на обработку информации и избежать ошибок.

Выводы по главе 2

1. Территория Хабаровска расположена в зоне влияния муссонных процессов, определяющих ветровой режим. Движение основных воздушных масс проходит по долине реки Амур. Учёт атмосферных переносов позволяет определять районы рассеивания поллютантов от основных источников загрязнения на поверхность почв.

2. Большая часть естественных почв на территории города в разной степени нарушена или заменена антропогенными предпочвенными образованиями. Преобладающий и почти повсеместно распространённый на территории города механический состав почвенных образований представлен средним суглинком.

3. Химическое загрязнение почв выбрано в качестве ведущего фактора для оценки экологического состояния окружающей среды города Хабаровска, что подтверждается проведёнными исследованиями. В перечень исследуемых показателей включены рекомендованные нормативами токсиканты 1 и 2 класса опасности. В процессе отбора и исследований были соблюдены все нормативные требования.

4. Полученные результаты обрабатывались статистическими методами, в том числе с применением диаграмм размаха. Для оценки геохимического

состояния почв проводились расчёты интегральных и суммарных индексов с учётом специфики исследуемой местности.

5. Для комплексной оценки экологического состояния городской территории выбран метод нормирования и взвешивания с экспертной оценкой весовых коэффициентов, ориентированный на комплексную оценку результатов инженерно-экологических изысканий.

6. Для разработки БД «Экологическое состояние почв города Хабаровска» выбрана программа Microsoft Excel с применением стандартных функций программы и макросов, написанных на языке VBA.

7. Комплекс применяемых методов обеспечил репрезентативность и достоверность исследования.

Глава 3. Оценка уровня загрязнения компонентов окружающей среды

3.1. Загрязнение почв

Серьёзную проблему для территории Хабаровска представляет загрязнение почв бенз(а)пиреном (БП). Результаты исследований показали, что средняя концентрация БП по территории г. Хабаровска составляет $0,080 \pm 0,043$ мг/кг, максимальная – 0,776 мг/кг (при ПДК_{БП} 0,02 мг/кг).

Наименее загрязнёнными площадками предполагаются окраинные территории, представленные агроселитебной зоной, расположенной в Железнодорожном районе города. Буферной зоной между источниками выбросов и территориями с низкой нагрузкой с учётом сформировавшейся застройки города, как правило, являются жилые массивы. Из 78 исследованных проб 48,7% (38 образцов) отобраны в жилой зоне, 41,0% (32 образца) – в промышленной, 10,3%; (8 образцов) – в агроселитебной.

В 28 точках (35,9 %) содержание БП ниже предела обнаружения ($<0,005$ мг/кг). Эти точки были исключены из дальнейшего анализа. В соответствии с критерием согласия Пирсона исследуемая выборка не подчиняется нормальному закону распределения. Распределение БП в поверхностном слое характеризуется наличием техногенных аномалий с контрастностью значений коэффициента опасности 9,7-38,8. Пять из семи точек выброса группируются в зоне влияния ТЭЦ-2, ХНПЗ, бывшего завода «Дальдизель» (рисунок 3.1).

Boxplots построен по выборкам: общий массив данных, жилые и производственные зоны, из которых исключены точки с концентрацией БП менее 0,005 мг/кг (ниже предела обнаружения прибора). Выявлено 7 выбросов, четыре из которых (57,1%) входят в интервал от 9,7 до 20,0 ПДК, 3 (42,9%) – в интервал 20,1–38,8 ПДК. На жилую зону приходится 71,4% точек выбросов, на производственные – 28,6% (рисунок 3.2).

Основные характеристики метода Boxplots, представленные в таблице 3.1, показывают, что минимальное значение для всех выборок приблизительно

одинаково, максимальное значение и медиана – ниже, а межквартильный размах и количество точек выбросов выше для жилой зоны.

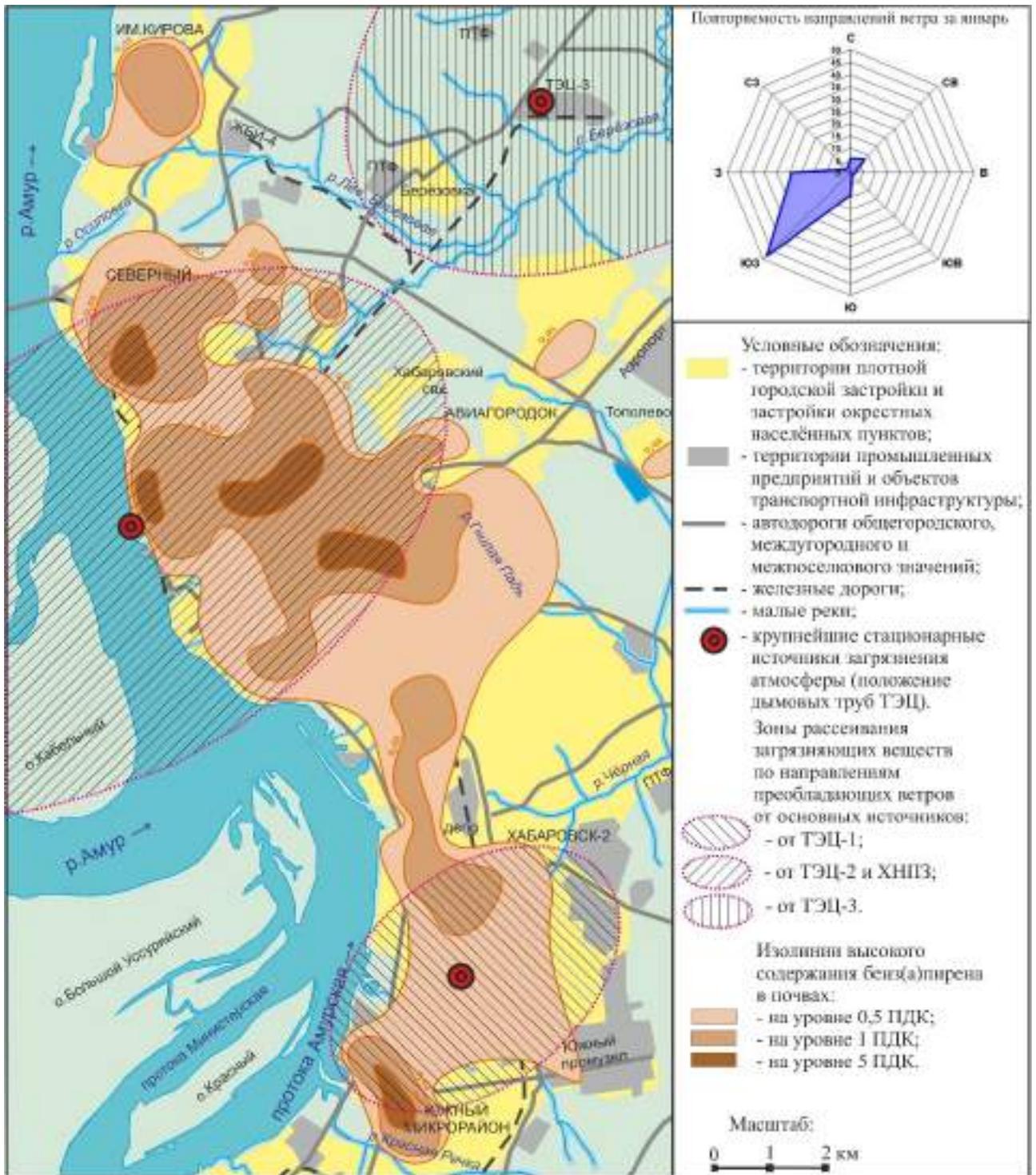


Рисунок 3.1. Зоны повышенных концентраций бенз(а)пирена в почвах города Хабаровска [Кошельков А. М., Майорова Л. П., 2023]

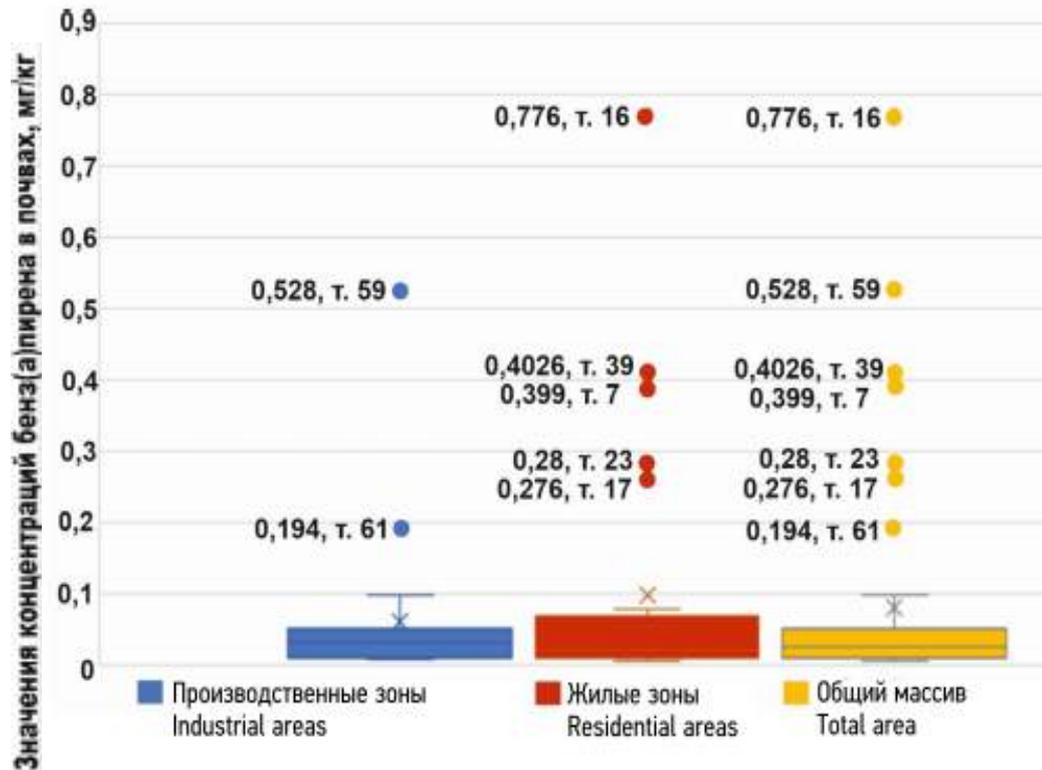


Рисунок 3.2. Boxplots по концентрациям бенз(а)пирена в почвах г.Хабаровска [Кошельков А. М., Майорова Л. П., 2023]

Таблица 3.1

Статистики Boxplots содержаний бенз(а)пирена в почве г. Хабаровска

[Кошельков А. М., Майорова Л. П., 2023]

Выборка	Минимальное значение, мг/кг	Максимальное значение, мг/кг	Межквартильный размах, мг/кг	Медиана, мг/кг	Количество точек выброса
Общий массив	0,005	0,097	0,04	0,024	7
Жилая зона	0,005	0,078	0,058	0,020	5
Производственная зона	0,007	0,097	0,042	0,031	2

В общей выборке в 86 % проб содержание БП составляет 0,005-0,145 мг/кг, в жилой зоне – 81,5 % проб входит в интервал 0,005-0,215 мг/кг, в промышленной (производственной) – 90,5 % проб вписывается в интервал 0,007-0,157 мг/кг (рисунок 3.3).

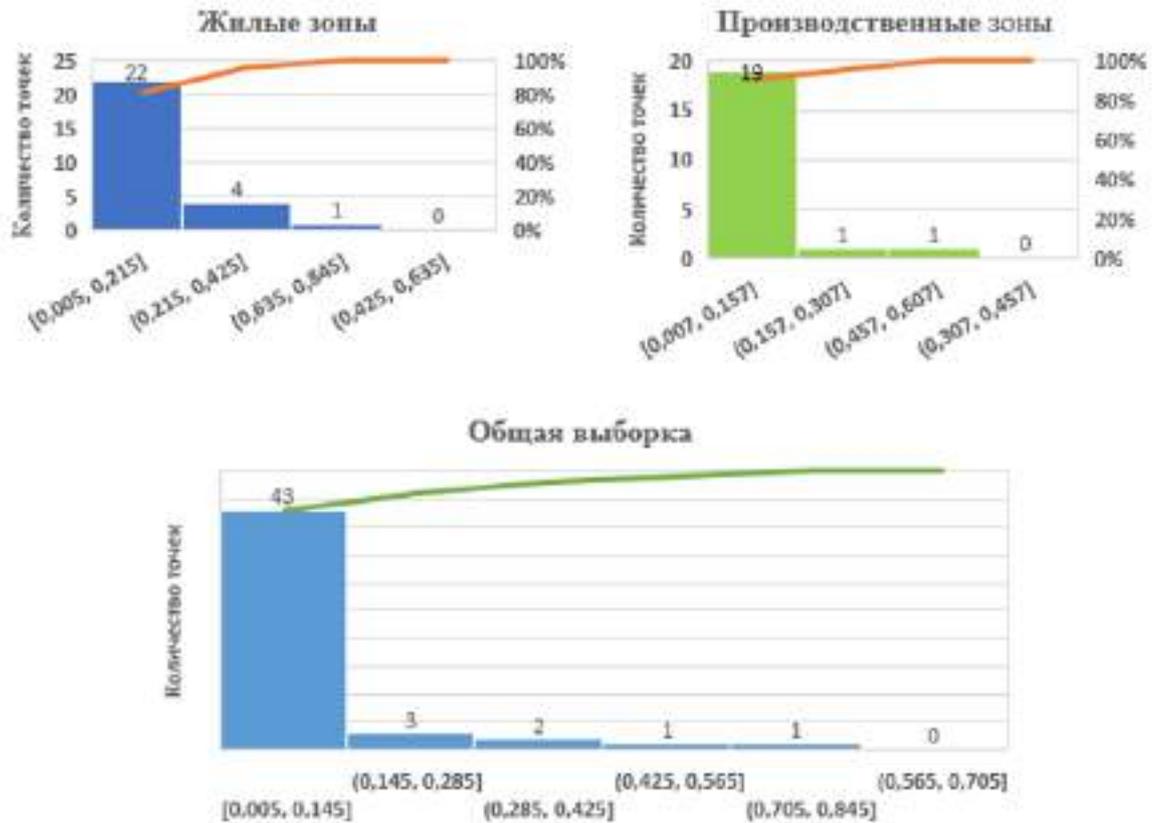


Рисунок 3.3. Диаграммы Парето, демонстрирующие количество точек по интервалам содержания БП [Кошельков А. М., Майорова Л. П., 2023]

Сводные показатели загрязнения почв г. Хабаровска БП приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Показатели загрязнения почв г.Хабаровска БП (2017-2020 гг.)

Показатели	Всего	В том числе		
		жилая зона	промышленная зона	агроселитебная зона
Число отобранных проб почвы	78	38	32	8
В т.ч. $C < 0,005$	28	11	11	6
$C > 0,005$	50	27	21	2
$C > ПДК$	26	13	11	2
Удельный вес проб, в которых БП не обнаружен, %	35,90	28,96	34,38	75,00
Удельный вес проб, с превышением ПДК, %	33,33	34,21	34,38	25,00

Окончание таблицы 3.2

Показатели	Всего	В том числе		
		жилая зона	промышленная зона	агроселитебная зона
Средняя концентрация, мг/кг	0,080±0,043	0,097±0,071	0,060±0,052	0,039
Показатель загрязнения (коэффициент опасности) по средней концентрации	3,98	4,87	3,02	1,95
Минимальная концентрация, мг/кг	0,005	0,005	0,007	0,03
Показатель загрязнения (коэффициент опасности) по минимальной концентрации	0,25	0,25	0,35	1,5
Максимальная концентрация, мг/кг	0,776	0,776	0,528	0,048
Показатель загрязнения (коэффициент опасности) по максимальной концентрации	38,8	38,8	26,4	2,4

Приведенные результаты показали, что средняя концентрация БП в почвах Хабаровска составляет 0,080±0,043, превышение ПДК выявлено в 33,33 % исследованных проб.

В агроселитебной зоне максимальная концентрация составила 0,048 мг/кг, соответствующий коэффициент опасности минимален – 2,4. В соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 62,8 % проб относятся к категории «чистая» (включая точки с содержанием БП ниже предела обнаружения), 12,8 % – к категории «допустимая», 15,4 % – «опасная», 9 % – «чрезвычайно опасная».

Наиболее загрязнённой является жилая зона, расположенная по периметру промышленной (производственной) зоны и, непосредственно, крупнейших стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, попадающая в зоны их рассеивания (объекты энергетики и НПЗ). Максимальное содержание БП составляет 0,776 мг/кг, коэффициент опасности 38,8. Для жилой

зоны характерна самая большая доля экстремальных загрязнений: 15,8 % – с категорией «опасная», 13,2 % – с категорией «чрезвычайно опасная».

Наибольшей долей чистых проб отличается агроселитебная зона, в которой отсутствуют пробы с категорией загрязнения «чрезвычайно опасная» (рисунок 3.4).

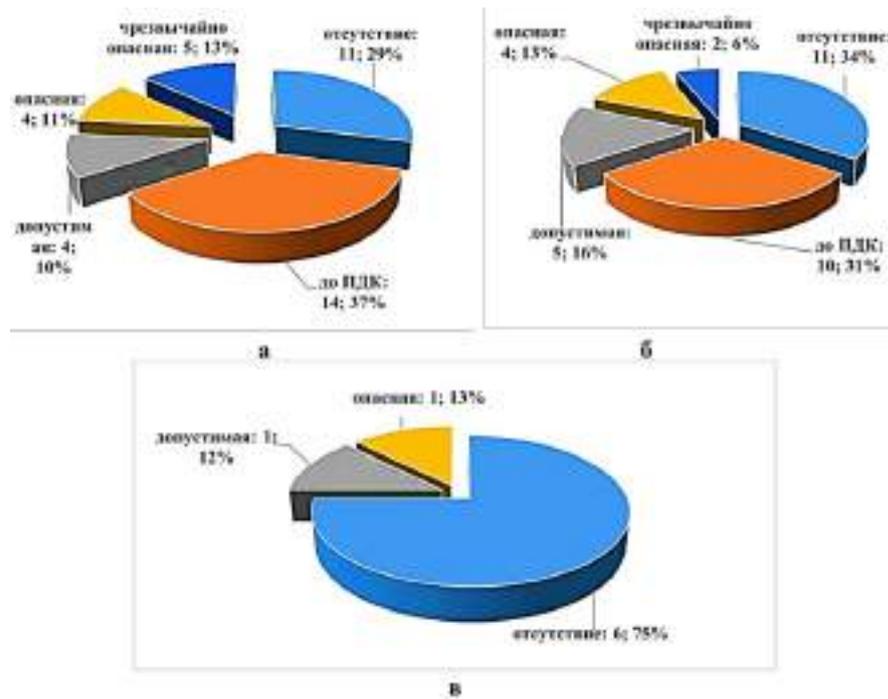


Рисунок 3.4. Доля проб (%) по категориям загрязнения в функциональных зонах: а – жилая зона, б – промышленная зона, в – агроселитебная зона [Кошельков А. М., Майорова Л. П., 2023]

Сравнение уровней загрязнения административных районов города показало, что максимальные значения средних концентраций БП отмечены в почве жилой зоны Железнодорожного района (0,16 мг/кг, коэффициент опасности равен 8). По содержанию БП в почве производственной зоны лидирует Кировский район – 0,1548 мг/кг, коэффициент опасности равен 7,74. Ранжирование административных районов выполнено по среднему и максимальному содержанию БП в почве и сумме рангов отдельно по жилой и промышленной зонам. Наиболее загрязненным является Железнодорожный

район. По загрязнению в промзоне лидирует Кировский район, в котором размещены Речной порт, ХНПЗ, ТЭЦ-2, бывший завод «Дальдизель» (рисунок 3.5).

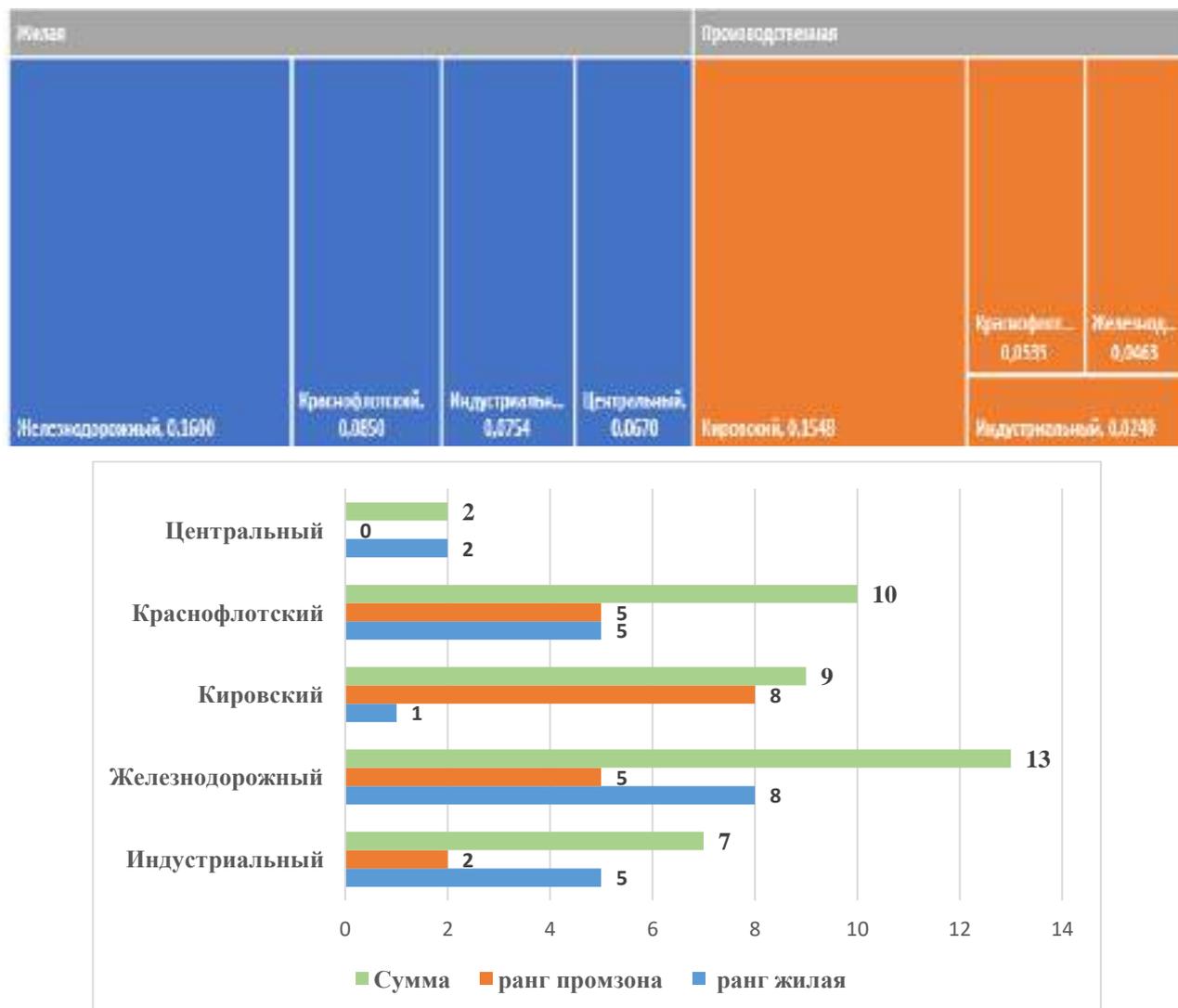


Рисунок 3.5. Иерархическая диаграмма концентраций бенз(а)пирена (мг/кг) по административным районам Хабаровска и ранжирование административных районов [Кошельков А. М., Майорова Л. П., 2023]

Полученные результаты сравнивались с данными, полученными авторами, по другим населенным пунктам Дальнего Востока и литературными данными (Европейская часть РФ) (таблица 3.3).

Содержание бенз(а)пирена в почвах городов (сравнительный анализ)

[Кошельков А. М., Майорова Л. П., 2023]

Населенный пункт	Количество точек отбора	Среднее содержание БП, мг/кг	Максимальное содержание БП, доли ПДК	Примечание
г. Хабаровск [Кошельков А.М., Майорова Л.П., 2023]	78	0,080 ± 0,043	38,8	Наиболее загрязнёнными являются жилая зона, расположенная по периметру производственной зоны
г. Благовещенск [Кошельков А.М., Архипов Е.А., 2023]	18	0,02	2,15	Содержание БП выше порога определения обнаружено только в двух пробах, в одной из которых значение показателя выше ПДК (2,15 ПДК)
г. Комсомольск-на-Амуре [Архипов Е.А. и др., 2024]	31	0,062	58,6	Категория загрязнения «допустимая» отмечена в 84,2 %, «опасная» – в 5,3 %, «чрезвычайно опасная» - в 10,5 % проб. Более загрязнена промзона.
Ванино-Токинская агломерация [Кошельков А.М. и др., 2023]	21	0,064	6	Доля проб с содержанием БП ниже предела обнаружения составляет 66,7 %. Категория загрязнения «опасная» отмечена в 14,3 %, «чрезвычайно опасная» - в 9,5 % проб. Более загрязнена жилая застройка
г. Таганрог [Дерябкина Л.А. и др., 2022]	384	0,046 ± 0,010	45,5	Приведены данные за 2013–2020 гг. в 19 мониторинговых точках. Долевой вклад БП в комплексный показатель загрязнения составляет ($K_{\text{почва}}$) 55,25 %. Превышение ПДК БП отмечено в 65,63 % исследованных проб почвы при его среднем и максимальном уровнях 2,298 и 45,525 ПДК соответственно. Выполнена оценка индивидуального многомаршрутного канцерогенного риска (CR), обусловленного содержащимся в почве БП. Установлен его высокий уровень ($2,4606 \cdot 10^{-3}$) при приоритетном значении ингаляционного пути поступления (94,84 %).

Окончание таблицы 3.3

г. Воронеж [Каверина Н.В., 2020]	136	0,023	18	Показано, что уровень загрязнения почв города БП колеблется от 0,005 до 0,36 и в разных функциональных зонах увеличивается в ряду: рекреационная, селитебная, промышленная, транспортная. Наиболее загрязнены почвы, расположенные в непосредственной близости от промышленных зон, центральных улиц и автомагистралей
г. Волгоград [Дерябкина Л.А. и др., 2022]	105	0,153	8,2	Исследования выполнены в окрестности ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка». Исследовано 7 функциональных зон. Отмечено, что содержание БП максимально (более 7,7 ПДК) в почвенном покрове полигонов захоронения твердых и вязких отходов. Концентрация БП в почвенном покрове промзоны в 9 раз ниже, чем на полигонах, превышение ПДК локально. В почвах санитарно-защитной зоны и жилого массива превышение ПДК БП не выявлено, концентрация составляет соответственно 0,006 и 0,010 мг/кг.
г. Москва [Кошелева Н.Е. и др., 2022]	160+33 дворы и стоянк и	0,26	14,5/51	Исследовано накопление БП в дорожной пыли на разных типах дорог Москвы. Показано, что наиболее загрязненными территориями являются крупные дороги (0,29 мг/кг, 14,5 ПДК) и автостоянки во дворах (0,37 мг/кг). В центре города содержание БП в пыли дворов достигает 1,02 мг/кг (превышение ПДК в 51 раз). Канцерогенный риск для взрослых наиболее высок во дворовых зонах на юге, юго-западе, северо-западе и в центре Москвы

Представленные данные показывают, что

- среднее содержание БП в городских почвах изменяется от 0,02 до 0,26 мг/кг, более высокие значения соответствуют городам со сложной структурой функциональных зон и разнообразными источниками загрязнения;

- максимальное превышение ПДК БП отмечено в городах Комсомольск-на-Амуре и Таганрог с развитой промышленностью и в Хабаровске (энергетика и транспорт);

- высокие средние концентрации БП в Волгограде определены в окрестности ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка», в Москве – в дорожной пыли на разных типах дорог, а также автостоянок во дворах;

- приоритетными источниками поступления БП в почвы являются объекты промышленности, связанные со сжиганием топлива, энергетики и автотранспорт, что подтверждается практически во всех цитированных литературных источниках.

Известно, что функциональная структура города в сочетании с ландшафтно-геохимическими условиями относится к важным факторам, определяющим уровень техногенного воздействия на почву [Каверина Н. В., 2020]. Специфика и уровень техногенной нагрузки на городские почвы, т.е. интенсивность поступления поллютантов, определяются видом использования территории, а уровень их накопления зависит от фиксирующей способности почв. Пространственное распределение БП находится в зависимости от количества и геохимической специализации источников загрязнения [Кошелева Н.Е., Tsykhman A. G., 2018]. Результаты проведенных исследований по г. Хабаровску и другим дальневосточным населенным пунктам полностью согласуются с этими выводами.

Логичным продолжением работы являются исследования в точках выбросов (аномальных значений) с изучением распределения содержания БП по почвенным горизонтам, определением радиальной дифференциации и расчетом индивидуального канцерогенного риска.

Помимо бенз(а)пирена, в числе распространённых органических загрязнителей почв, отмечается такой показатель как «нефтепродукты» (НП), который представляет собой характеристику совокупности углеводородных соединений различной природы, входящих в состав нефти и продуктов её

переработки. Сложный состав нефтепродуктов является одной из причин трудности исследований их содержания в почвах.

В настоящее время в Российской Федерации нет единого официально установленного норматива допустимого содержания **НП** в почве. Имеется ряд работ и методических документов, но они имеют рекомендательный характер. При проведении исследований содержания нефтепродуктов в почве Хабаровска в качестве базы сравнения выбраны рекомендации из ежегодника «Загрязнение почв РФ» и Письма Минприроды России от 27.12.1993 N 04-25. Обе шкалы оценки дают сопоставимые результаты (рисунок 3.6).

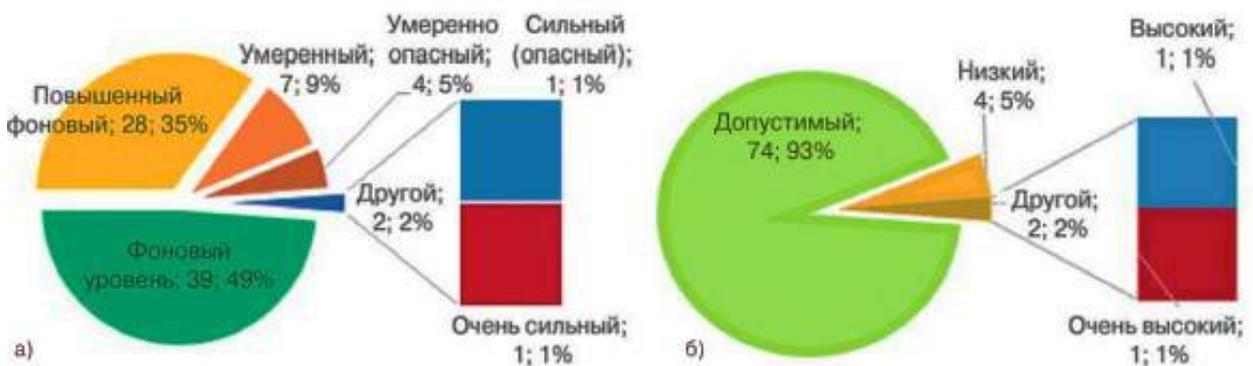


Рисунок 3.6. Уровень загрязнения почв нефтепродуктами г. Хабаровска (общий массив данных): а) по критериям рекомендаций ежегодника «Загрязнение почв РФ»; б) по критериям рекомендаций Письма Минприроды России от 27.12.1993 N 04-25 [Кошельков А. М., Майорова Л. П., 2021]

По результатам проведённых исследований установлено, что в пределах города Хабаровска высоким содержанием нефтепродуктов в почвах отличается промышленная зона (зоны влияния Хабаровского завода железобетонных шпал, завода пивоваренной компании «Балтика», бывшего завода «Дальдизель», Хабаровского нефтеперерабатывающего завода, вагонно-ремонтного депо (ВРК-1), Южный промузел – (Керамзит ДВ, экспериментальный механический завод). Однако эти содержания не превысили порог допустимого уровня, установленного для промышленных зон (1000 мг/кг) по Яковлеву А. С.

Доля проб на территории промышленной зоны, соответствующих высокому и очень высокому уровням загрязнения, составила 6,25%, в целом по городу – 2,5%. Низкий уровень загрязнения почв нефтепродуктами фиксировался в районе переулка Промышленный (промзона в районе ул. Промышленной), высокий уровень загрязнения отмечен на территории Хабаровского судостроительного завода. Очень высокий уровень загрязнения был выявлен в районе Хабаровской ТЭЦ-2 и речного порта.

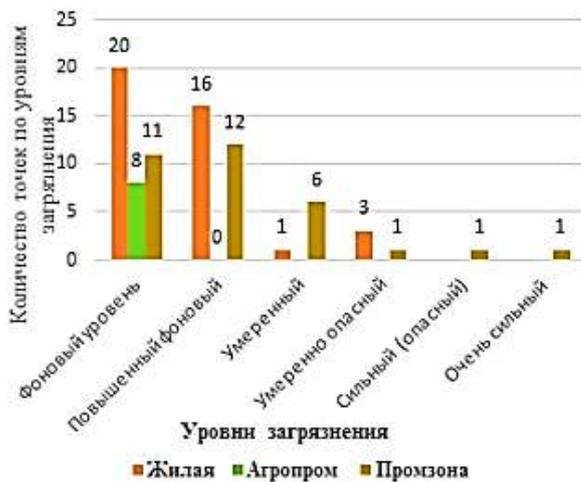
Причиной такого экстремального загрязнения является аварийный разлив близ устья руч. Курча-Мурча в 2018 году – к настоящему времени частично ликвидирован. Среднее содержание нефтепродуктов в почвах производственной зоны составило 630,98 мг/кг, что соответствует низкому (умеренному) уровню загрязнения.

В большинстве точек на территории жилой застройки уровень содержания нефтепродуктов в почвах соответствует допустимому. При рекомендованной норме для территорий жилого и общественного назначения 300 мг/кг превышения отмечаются в 20 % проб, отобранных в жилой застройке. Все выявленные превышения приурочены к магистралям общегородского значения. Среднее содержание нефтепродуктов в почвах жилой зоны (совмещённых с застройкой общественно-делового значения) составило 224,5 мг/кг, что соответствует рекомендованным нормам.

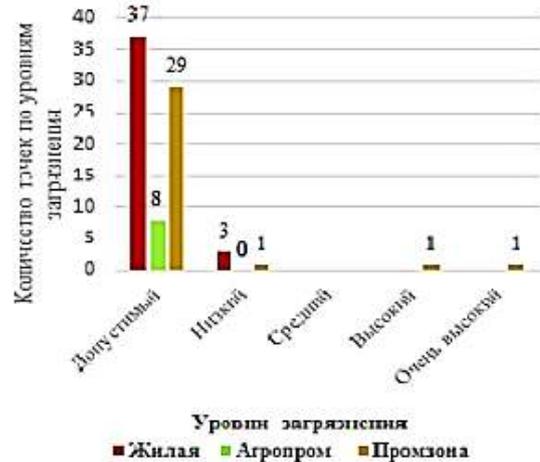
Районы низко нагруженной техногенным воздействием периферии города (агроселитебная зона) отличаются низкими содержаниями нефтепродуктов в почвах и практически на всех станциях опробования соответствуют фону (до 100 мг/кг) (рисунок 3.7).

При анализе загрязнения почв нефтепродуктами по административным районам самым высоким содержанием нефтепродуктов в почве отличается Кировский район (среднее содержание – 1185,1 мг/кг, максимальное – 6840,0 мг/кг) (таблица 3.4).

Минимальное из средних содержаний нефтепродуктов наблюдалось в почвах Краснофлотского района. Отмеченные низкие значения в Железнодорожном районе получены за счёт окраинного положения и наличия свободных земель (пустырей, заброшенных сельскохозяйственных угодий).



По критериям рекомендаций из ежегодника «Загрязнение почв РФ»



По критериям рекомендаций из Письма Минприроды России от 27.12.1993 N 04-25

Рисунок 3.7. Уровень загрязнения нефтепродуктами почв г. Хабаровска по функциональным зонам [Кошельков А. М., Майорова Л. П., 2021]

Таблица 3.4

Содержание нефтепродуктов в почвах и почвогрунтах (глубина отбора 0-0,2 м) по административным районам Хабаровска, мг/кг

Административный район города	Количество обследованных станций в зоне			Содержание нефтепродуктов, мг/кг		
	промышленной	жилой	агроселитебной	минимальное	максимальное	среднее
Краснофлотский	3	8	-	9,75	746,4	240,5
Кировский	6	2	-	6,6	6840,0	1185,1
Центральный	-	10	-	19,1	1173,8	305,3
Железнодорожный*	8	12*	8	2,8	1925,0	244,2
Индустриальный	15	8	-	10,3	3979,0	315,2
В целом по городу	32	40	8	2,8	6840,0	365,8

Примечание: * – с учётом 2 станций в с. Тополево (территория примыкает к границам города)

В целом, по всем исследуемым территориям концентрация нефтепродуктов в почвах колебалась от 2,8 до 6840,0 мг/кг, среднее значение – 365,8 мг/кг (рисунок 3.8).

Общий техногенный фон содержания нефтепродуктов в почвах Хабаровска (городской кларк нефтепродуктов) по данным проведённых исследований и статистических расчётов составил 115,3 мг/кг [Кошельков А. М., Майорова Л. П., 2023].

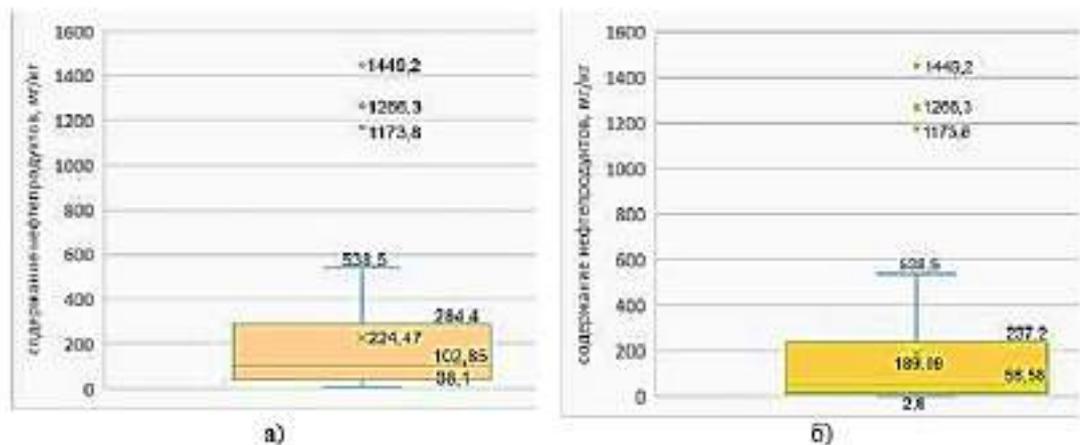


Рисунок 3.8. Boxplots по содержаниям нефтепродуктов в почвах г. Хабаровска: а – выборка по жилой зоне, б – объединённая выборка по жилой и агропоселительной зонам [Кошельков А. М., Майорова Л. П., 2023]

К основным загрязняющим веществам городских почв помимо стойких органических загрязнителей, бенз(а)пирена, нефтепродуктов, относят **тяжелые металлы (ТМ) и металлоиды**, которые не только оказывают негативное действие на почву, но и представляют опасность для здоровья населения при ингаляционном, пероральном и кожном путях поступления в организм [Li et al., 2020].

Исследования содержания ТМ в почвах, в том числе урбанизированных территорий, проводятся во всем мире. Изучаются и обобщаются данные по подходам к оценке экологического состояния и нормированию качества почв [Алексеев и Алексеев, 2013; Коновалов. и др., 2017; Семенова и Королева,

2019; Ушакова и др. 2020] по накоплению и содержанию тяжелых металлов в почвах конкретных городов и их функциональных зон [Binggan Wei and Linsheng Yang, 2010; Guanghui Guo et al., 2012; Rui Liu et al., 2016; Yuan et al., 2021; Строганова и др., 2009; Юзефович и Кошелева, 2009; Корчагина, 2014; Байтимилова и др., 2016; Трифонова и др., 2018; Касимов и Власов, 2018], анализу пространственной динамики загрязнения почв [Сухоносенко, 2019]. Отмечается, что для крупных городов с многопрофильной промышленностью характерны ассоциации ТМ, способные оказывать комбинированное воздействие на живые организмы, при котором могут наблюдаться аддитивность, антагонизм или синергизм [Теплая, 2013].

В ходе выполнения исследований загрязнения ТМ почв города Хабаровска использовался метод Boxplots. Диаграммы размаха построены по выборкам: жилая, агроселитебная и промышленная зоны (рисунок 3.9). Из-за существенной разницы в содержании цинка и ртути диаграммы размаха для них построены отдельно по функциональным зонам.

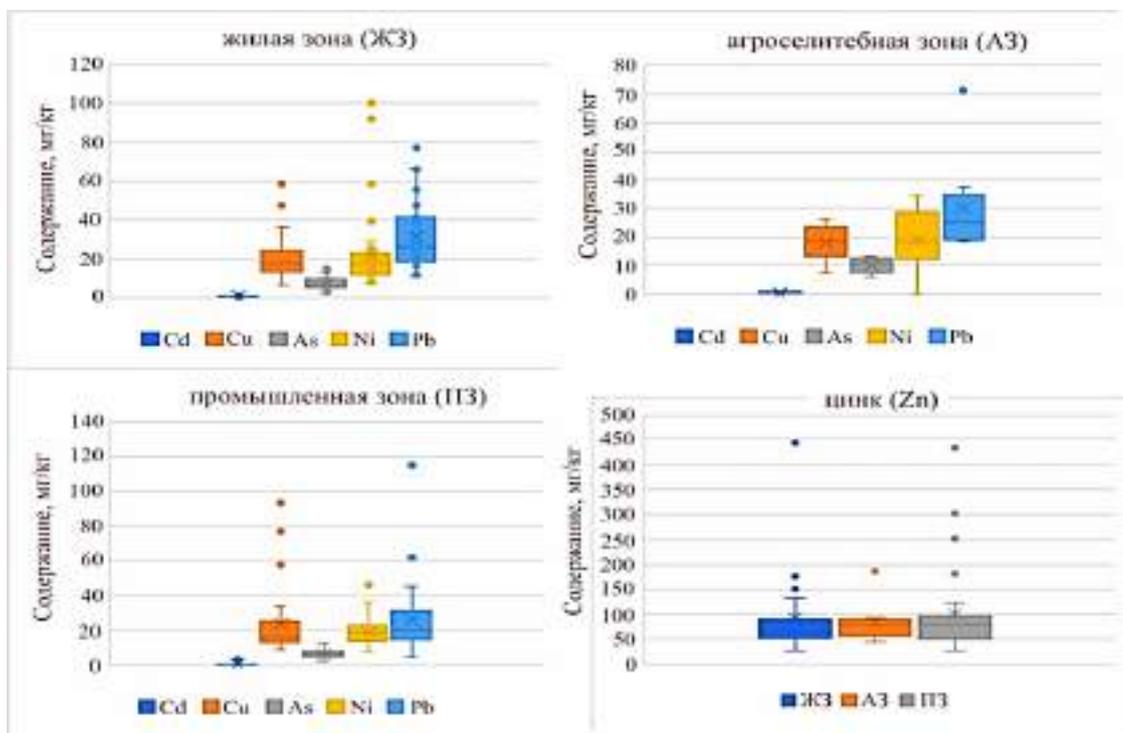


Рисунок 3.9. Boxplots концентраций ТМ и As в почвах функциональных зон г. Хабаровска

Тип распределения данных в выборках определялся по результатам описательной статистики [Гржибовский А.М., 2008]. Во всех выборках значения медианы и среднего арифметического не одинаковы, а значения асимметрии и эксцесса не равны нулю. Распределение не является нормальным, что подтверждается анализом диаграмм размаха (рис. 3,9) и графически – построением диаграмм распределения. Асимметричные распределения лучше описывать с помощью медианы, квартилей и размаха вариации (Гржибовский, 2008). Обозначение: $me (Q1; Q3, \Delta = Q3 - Q1)$ мг/кг при $p = 0,05$. Описательная статистика содержания тяжелых металлов и мышьяка в почве г. Хабаровска приведена в Приложении Д.

Анализ рис. 3.9 и данных приложения Д показал, что

- общее количество точек с аномальными содержаниями ТМ и As (значениями, выходящими за пределы полуторных межквартильных размахов от ближайшего квартиля) в жилой зоне составляет 10 (3,7 %), агроселитебных – 1 (1,8 %), промышленных – 10 (4,9 %).

- доля аномальных значений выше, так как в некоторых точках имеет место полиэлементное загрязнение (от 2 до 4 элементов). В жилой зоне максимальная доля аномальных значений для Ni и Zn составляет 10,6 %, для Cd и Cu – 5,1 %, для As, Hg, Pb – 2,6 %. Максимальные значения As, Zn и Ni превышают ОДК в 1,5, 2,0 и 2,5 раза соответственно.

- в агроселитебной зоне доля аномальных значений Pb и Zn составляет 12,5%, превышение ОДК – в 1,1 и 1,7 раза соответственно.

- в промышленной зоне аномальные значения содержания в почве As не выявлены. Доля аномальных значений максимальна для Hg и Zn (по 14,3 %) и минимальна для Ni и Cd (3,6 %). Максимальные значения содержания Cd и Zn превысили ОДК в 2,6 и 2 раза соответственно.

- аномальные значения по нескольким элементам зафиксированы во всех функциональных зонах (в жилой т.16 – Cd, Cu, Hg, Zn, т.3 – As, Ni, т.31 – Cd, Zn,

агроселитебной т. 44 – Pb, Zn и промышленной зоне т. 52 – Cu, Zn, Hg, Cd, т. 50 – Ni, Cu, т. 62 – Pb, Zn). Наиболее часто в таких точках присутствует Zn.

В аномальных точках с полиэлементным загрязнением определялся вклад коэффициентов концентрации, рассчитанных с использованием регионального фона и ориентировочных значений фоновых концентраций химических элементов (таблица 2.2). Геохимические ряды представлены для двух вариантов расчета.

В точке 16 (жилая зона) максимальный вклад вносит Zn, как и при использовании в качестве нормативной базы ориентировочных фоновых концентраций, рекомендованных СП 502.1325800.2021, в точке 44 (агроселитебная зона) при расчете по первому варианту – Zn, по второму – Cd. В точке 52 (промышленная зона) в обоих вариантах преобладает Cd, содержание которого в фоновой пробе в 2,6 раза выше, чем ориентировочная фоновая концентрация по СП 502.1325800.2021. Точки 16 и 52 приурочены к транспортным магистралям, т. 16 находится в зоне влияния нефтеперерабатывающего завода, т. 50 – автомобильно-железнодорожного моста через р. Амур, т. 62 находится в промзоне по ул. Промышленной.

В таблице 3.5 приведён анализ содержания ТМ и Ас в почвах Хабаровска.

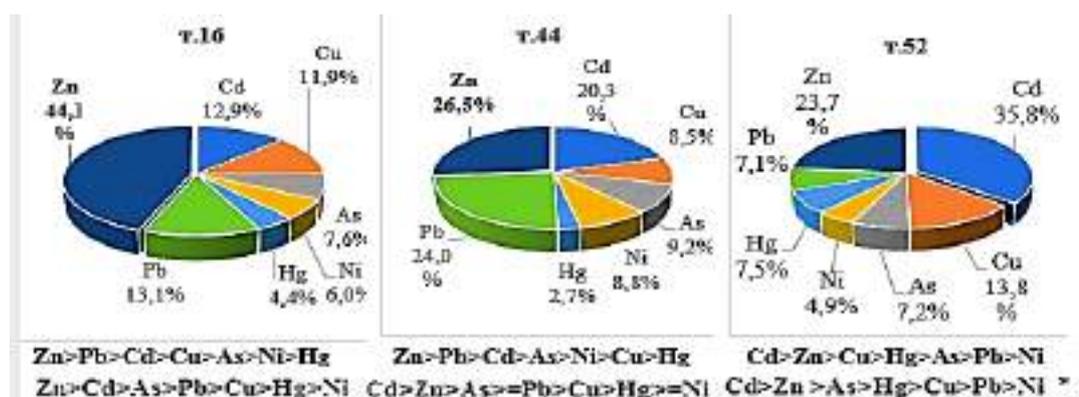


Рисунок 3.10. Доля элементов в общем загрязнении почв ТМ в точках с аномально высокими значениями (* - коэффициенты концентрации рассчитаны с использованием ориентировочных фоновых концентраций, рекомендованных СП 502.1325800.2021).

Анализ содержания ТМ и As в почвах г. Хабаровска (превышения ОДК
выделены цветом)

Значение	pH _{сол.} , ед. рН	Элементы						
		Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Zn
Жилая зона (n=39)								
Среднее, мг/кг	5,7± 0,36	0,33± 0,05	19,87± 3,35	6,79± 0,93	21,97± 6,43	0,049± 0,011	30,80± 5,66	103,1± 28,1
Минимум, мг/кг	3,1	0,13	6,60	2,23	7,00	0,015	10,90	26,4
Максимум, мг/кг	7,6	0,87	58,30	14,90	100,30	0,194	77,30	444,3
Среднее геометрическое, мг/кг	5,6	0,30	17,83	6,24	17,74	0,04	26,62	81,4
Показатель накопления, Пн, %		6,5	9,2	-5,7	31,6	-75,5	57,9	123,2
Агроселитебная зона (n=8)								
Среднее, мг/кг	4,7± 0,68	0,47± 0,22	17,87± 3,26	10,01± 2,32	22,22± 6,64	0,040± 0,019	30,39± 14,777	86,2± 36,7
Минимум, мг/кг	3,7	0,25	7,60	5,90	10,40	0,023	18,50	44,2
Максимум, мг/кг	5,9	0,96	26,00	13,30	34,40	0,084	71,30	186,3
Среднее геометрическое, мг/кг	4,6	0,42	16,79	9,64	20,91	0,04	27,34	78,8
Показатель накопления, Пн, %		51,6	-1,6	38,9	29,3	-80,1	55,9	86,6
Промышленная зона (n=29)								
Среднее, мг/кг	6,2± 0,44	0,36± 0,16	24,13± 7,51	5,96± 0,86	19,03± 3,14	0,060± 0,032	26,10± 8,11	101,0± 33,7
Минимум, мг/кг	4,2	0,15	9,10	1,95	7,60	0,007	4,35	28,6
Максимум, мг/кг	7,9	2,56	93,75	12,00	46,10	0,347	115,00	432,4
Среднее геометрическое, мг/кг	6,1	0,29	19,79	5,55	17,60	0,04	20,86	79,6
Показатель накопления, Пн, %		17,1	32,6	-17,2	14,0	-68,7	33,8	118,6
Территория города (n=76)								
Среднее, мг/кг	5,8± 0,27	0,36± 0,07	21,29± 3,30	6,81± 0,65	20,87± 3,49	0,052± 0,013	28,96± 4,33	101,5± 19,1
Минимум, мг/кг	3,1	0,13	6,60	1,95	7,00	0,007	4,35	26,4
Максимум, мг/кг	7,9	2,56	93,75	14,90	100,30	0,347	115,00	444,3
Среднее геометрическое, мг/кг	5,7	0,31	18,44	6,25	18,00	0,04	24,32	80,4
Показатель накопления, Пн, %		16,1	17,0	-5,4	25,0	-74,1	48,5	156,7
Региональный фон (валовые формы ТМ), мг/кг		0,31± 0,16	18,20± 3,64	7,20± 3,60	16,70± 5,84	0,201± 0,060	19,50± 4,88	46,20± 9,24
ОДК при pH _{сол.} <5,5, мг/кг		1,0	66,0	5,0	40,0	-	65,0	110,0
ОДК при pH _{сол.} >5,5, мг/кг		2,0	132,0	10,0	80,0	-	130,0	220,0
ПДК, мг/кг		-	-	2,0	-	2,1	-	-

Результаты исследования показали, что $pH_{\text{сол}}$ почв города изменяется в широких пределах (от 3,1 до 7,9). Тем не менее, функциональные зоны достоверно различаются по средним значениям $pH_{\text{сол}}$. Минимальное среднее значение выявлено в агроселитебной зоне – 4,7 (разброс данных от 3,7 до 5,9), максимальное отмечено в промышленной зоне – 6,2 (от 4,2 до 7,9). Более широкий интервал изменения $pH_{\text{сол}}$ (от 3,1 до 7,6 при среднем значении $pH_{\text{сол}}$ 5,7) характерен для жилой зоны, которая в ряде случаев примыкает к промышленной зоне и находится под влиянием источников загрязнения, включая автотранспорт. В жилой, агроселитебной и частично в промышленной зонах для точек с $pH_{\text{сол}} < 5,5$ отмечено превышение ОДК по As. Значение $pH_{\text{сол}}$ определяет выбор ОДК при оценке уровня загрязнения почв ТМ и As.

Интервалы среднего содержания ТМ и As в почвах функциональных зон г. Хабаровска составили: Cd 0,33-0,47; Cu – 19,87-24,13; As – 5,96-10,00; Ni – 19,03-21,97; Hg – 0,049-0,060; Pb – 26,10-30,80; Zn – 86,2-103,1 мг/кг. Среднее содержание: Cd – 0,358; Cu – 21,29; As – 6,81; Ni – 20,87; Hg – 0,052; Pb – 28,96; Zn – 100,5 мг/кг.

Для сравнения приведем данные из работы [Касимов и Власов, 2018]: средние содержания ТМ и мышьяка в почвах городов России составили Cd – 2,2; Cu – 113; Ni – 78; Hg – 0,1; Pb – 99; Zn – 221; As – 9,8 мг/кг, что значительно превышает данные полученные нами по Хабаровску. В работе [Жарикова Е.А., 2021] показано, что под влиянием техногенной нагрузки в верхних горизонтах почв урболандшафтов г. Владивосток и г. Уссурийск накапливаются Cu (среднее содержание 81 мг/кг), Zn (259 и 156 мг/кг) и Pb (89 и 61 мг/кг). Среднее по г. Кольчугино (численность населения 39 тыс. человек) содержание ТМ и As в почвах рекреационных зон, мг/кг составило: Cu – 906, As – 17, Ni – 246, Pb – 109, Zn – 1000 [Трифорова и др., 2018], что кратно превышает данные по Хабаровску. В почвах г. Петрозаводска (численность населения 235,7 тыс. жителей) среднее содержание Pb составляло 35,3 (на территории городской застройки до 441,8 мг/кг), Ni – 122 и Zn – 136,5 мг/кг [Новиков С. Г., 2014]. Таким образом, средние

содержания ТМ в почвах Хабаровска не превышали таковые для большого ряда российских городов.

Многочисленные исследования содержания ТМ в городских почвах проводятся на территории Китая. Так, в работе [Guanghai Guo et al., 2012] приведен анализ 63 образцов почв города Ибинь. Средние концентрации As, Pb, Zn и Cu составили 10,55, 61,23, 138,88 и 56,35 мг/кг соответственно, что также выше данных по Хабаровску. Однако по сравнению с усредненными данными по городским почвам КНР [Yuan, 2021] в почвах Хабаровска в 1,9 раза выше содержание Cd и в 1,2 раза – Zn. Содержание остальных исследованных элементов ниже средних значений по КНР.

Для почв Хабаровска наибольшее число отклонений от нормативных требований (СанПиН 1.2.3685-21) характерно для мышьяка (36,8 %) и цинка (13,2 % исследованных проб). Имеются локальные превышения по никелю (в 3-х пробах) и кадмию (в 1-й пробе). Количество проб с превышением ОДК по цинку в жилой зоне составило 15,4 %, в агроселитебной – 12,5 %, в промышленной – 10,3 %. В почвах жилой зоны также отмечены превышения по никелю. Доля превышений ОДК мышьяка составляет в жилой зоне – 38,5 %, в агроселитебных – 75% и в производственных – 24,1%. Высокие содержания мышьяка могут быть обусловлены высоким региональным фоном.

Показатель накопления ТМ и мышьяка (таблица 3.5) в почвах жилой зоны Хабаровска убывает в ряду $Zn > Pb > Ni > Cu > Cd$. Hg и As имеют отрицательный ПН, что может свидетельствовать о миграции этих элементов ($Hg > As$). В агроселитебной зоне геохимические ряды имеют вид: накопление $Zn > Pb > Cd > As > Ni$, миграция из почвы $Hg > Cu$, в промышленной соответственно $Zn > Pb > Cd > As > Ni$ и $Hg > Cu$, в целом для территории города $Zn > Pb > Ni > Cu > Cd$ и $Hg > As$.

Уровень химического загрязнения почв в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 оценивали по коэффициенту концентрации химического вещества (Kk) и суммарному показателю загрязнения (Zc), рассчитанному с учетом только $Kk \geq$

1. Так как степень токсичности элементов различна, целесообразно при расчете суммарного показателя загрязнения придать элементам разный вес, соответствующий их классу опасности.

В качестве «базы сравнения» рассматривались критерии, приведённые в таблице 2.2, анализ данных которой показал, что:

- региональный фон в целом ниже ПДК/ОДК определяемых элементов;
- ориентировочные значения фоновых концентраций химических элементов (Приложение Д СП 502.1325800.2021) и фон для городских почв КНР близки к значениям регионального фона за исключением более высоких содержаний в почвах регионального фона кадмия, ртути и мышьяка (по сравнению с СП 502.1325800.2021) и кадмия и ртути (по сравнению с городским фоном КНР);
- региональный фон ниже кларков почв населённых пунктов и кларков почв для городов с населением 300-700 тыс. человек (Хабаровск – 642 902 чел., данные на 2024 год).

В соответствии с приведенными данными значения Z_c рассчитаны с использованием ориентировочных значений фоновых концентраций по СП 502.1325800.2021 (**Zc1**), фона городских почв КНР (The background concentrations of soil elements of China) (**Zc2**), регионального фона исследуемой местности без и с учетом класса опасности элементов (**Zc3** и **Zc4** соответственно).

Сравнение средних, минимальных и максимальных значений Z_c , рассчитанных с применением разных критериев представлено на рисунке 3.11.

Полученные значения суммарных показателей Z_{c1} загрязнения почв ТМ и Ас превысили порог для категории «допустимая» ($Z_c > 16$) на 3-х станциях жилой зоны, 1-й – агроселитебной, в 2-х – промышленной. К категории «умеренно опасная» относится 7,7, 12,5 и 3,4 % проб в жилой, агроселитебной и в промышленной зонах. В последней в 3,4 % проб установлена категория «опасная». При расчётах Z_{c2} превышение $Z_c > 16$ отмечено по 1-й станции в каждой функциональной зоне. В случае выбора в качестве критерия

регионального фона $Z_{с3}$ категория загрязнения «допустимая» установлена для жилой и агроселитебной зон. В промышленной зоне 3,5% точек опробования отнесены к категории «умеренно опасная» (рисунок 3.12). Основными загрязняющими веществами являются Zn и Pb . Близкие результаты были получены при анализе данных за 2018 г. ГПБУ «Мосэкомониторинг» [Ерофеева В.В., 2021]. Между тем, отнесение почв к категориям загрязнения определяет возможность их использования и необходимость ремедиации.

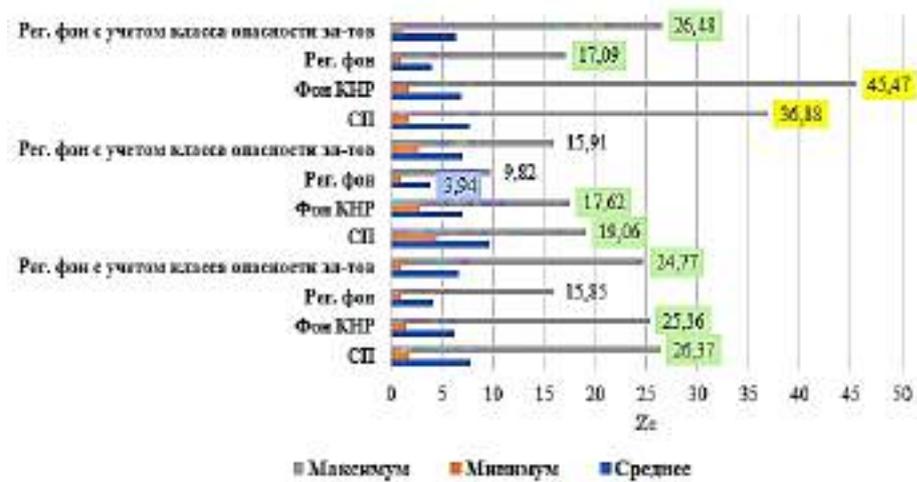


Рисунок 3.11. Сравнение средних, минимальных и максимальных значений $Z_{с}$, рассчитанных с применением разных критериев

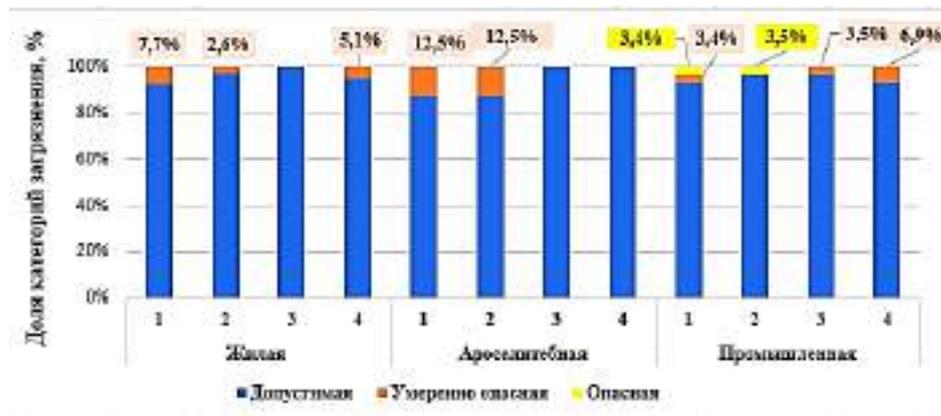


Рисунок 3.12. Категории загрязнения по функциональным зонам города при использовании критериев: 1 – ориентировочные значения фоновых концентраций по СП 502.1325800, 2 – фон для городских почв КНР, 3 – региональный фон, 4 – региональный фон с учетом класса опасности элементов

Пространственное распределение ТМ и As в почвах города позволяет оценить их накопление и определить источники загрязнения. Для этого были построены схемы зон повышенных значений как для определяемых элементов, так и суммарного показателя, рассчитанного с учётом регионального фона (Zc3). Наиболее показательны схемы для цинка и свинца (рисунки 3.13, 3.14, 3.15).

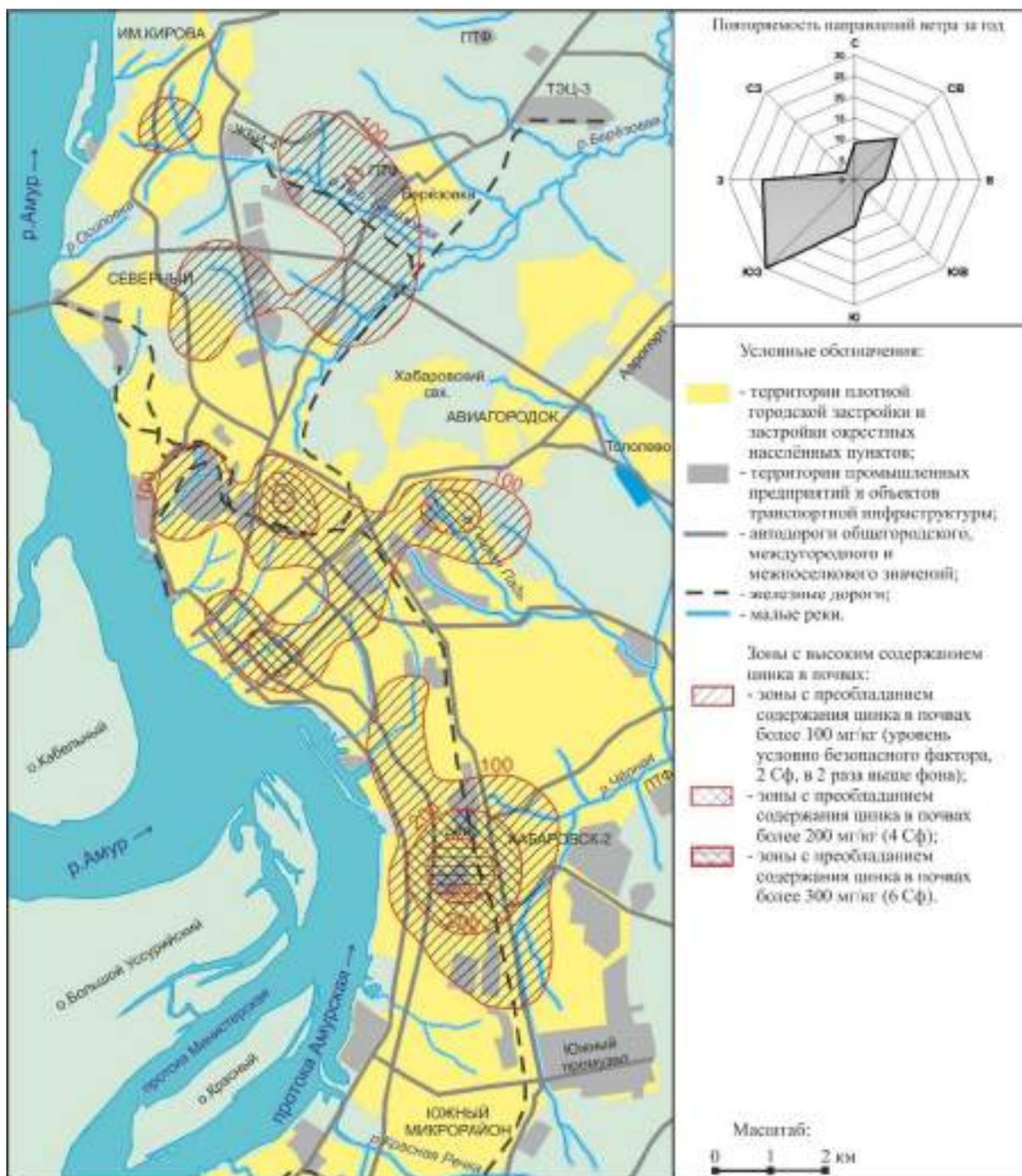


Рисунок 3.13. Зоны высокого содержания цинка в почвах (составлено автором)

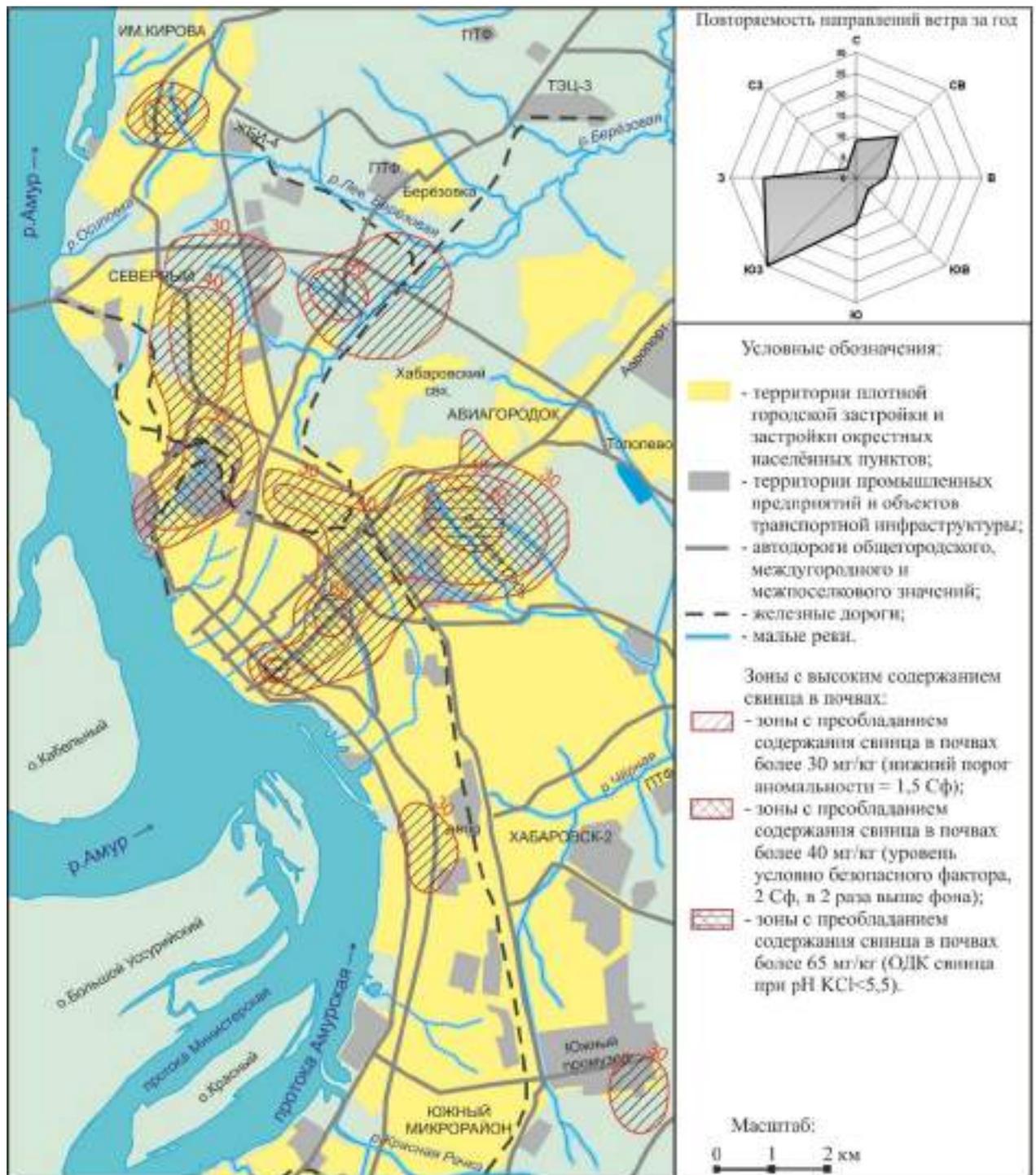


Рисунок 3.14. Зоны высокого содержания свинца в почвах (составлено автором)

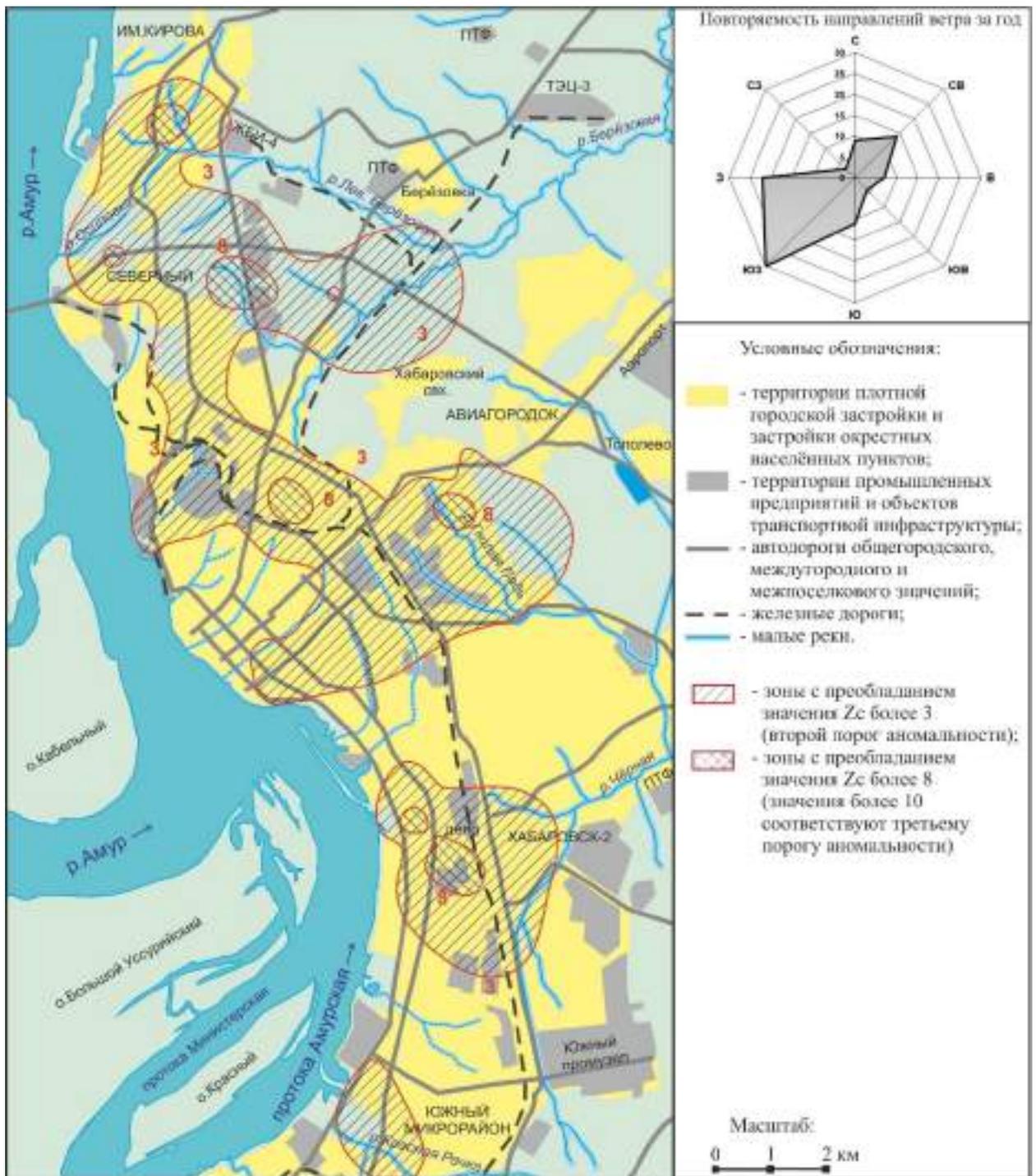


Рисунок 3.15. Зоны повышенных значений Z_{c3} (расчёт по региональному фону исследуемой местности) (составлено автором)

При расчёте Z_c с применением фоновых содержаний исследуемой местности наибольшее число превышений K_k на уровне более 2-х фоновых наблюдается для цинка, свинца, реже для кадмия, никеля, меди и мышьяка (28,9; 22,4; 9,2; 7,9; 6,6 и 1,3 % соответственно). Это свидетельствует о техногенном

загрязнении почв преимущественно цинком и свинцом и относительно высоком региональном фоне мышьяка и кадмия. Средние значения $Zc3$ по функциональным зонам изменяются незначительно (3,9–4,1). При введении коэффициентов токсичности для расчета суммарного показателя загрязнения $Zc4$ прослеживается ведущая роль элементов первого класса опасности.

Наиболее контрастные техногенные аномалии (по показателю Пн в точках максимальных содержаний ТМ и As относительно регионального фона) выявлены для Zn, Cd, Ni и Pb. Зоны с высоким содержанием свинца в почве (более 65 мг/кг) приурочены к территории завода «Энергомаш» (в настоящее время закрыт) и промзоне по ул. Промышленной. Основное накопление свинца, по-видимому, проходило в период функционирования предприятий, дополнительное поступление происходит в настоящее время в результате выбросов автотранспорта.

На рисунке 3.15 выделены зоны со значениями $Zc3$ более 3 и более 8. Значения $Zc3 > 10$ (по 2 точки опробования в жилой и промышленной зонах) соответствуют третьему порогу аномальности.

По **административным районам города** наиболее высокие значения $pH_{сол.}$, содержания кадмия, ртути, свинца и цинка наблюдаются в Железнодорожном районе (таблица 3.6). Высокие средние значения отмечены для свинца и цинка в Центральном, для ртути и уровня $pH_{сол.}$ – в Кировском, для меди и никеля – в Краснофлотском, для кадмия и мышьяка – в Железнодорожном районах. Средние значения Zc , рассчитанные по региональному фону, не превышают 16 (категория загрязнения «допустимая») (рисунок 3.16). Максимальные значения Zc , превышающие 16, установлены в Железнодорожном, Краснофлотском и Центральном районах города (таблица 3.6).

Максимальное количество выбросов (аномальных значений) отмечено в Железнодорожном районе (6 по Zn, по 3 по Pb и Cu, 1 – по Ni) (рисунок 3.17).

Содержание ТМ и As (мг/кг) в почвах административных районов Хабаровска
(составлено автором)

Показатели	Административные районы города Хабаровска									
	Краснофлотский (n=11)	Кировский (n=8)	Железнодорожный (n=30)	Центральный (n=9)	Индустриальный (n=18)	Краснофлотский отбора n=11	Кировский (n=8)	Железнодорожный (n=30)	Центральный (n=9)	Индустриальный (n=18)
	Среднее содержание					Максимальное содержание				
pH _{сол.}	6,0	6,4	5,3	6,3	6,1	7,6	7,8	9,8	7,2	7,9
Cd, мг/кг	0,34	0,27	0,44	0,32	0,29	0,62	0,36	2,56	0,73	0,45
Cu, мг/кг	24,8	17,5	21,5	18,1	21,9	94,0	26,0	77,0	30,8	58,0
As, мг/кг	6,9	6,0	7,6	5,3	6,6	14,9	9,3	13,3	12,0	12,1
Ni, мг/кг	28,3	19,1	20,0	13,5	22,3	92,0	36,1	58,0	29,0	100,0
Hg, мг/кг	0,047	0,076	0,052	0,061	0,041	0,098	0,337	0,347	0,110	0,140
Pb, мг/кг	30,9	32,7	29,2	40,0	20,1	66,0	62,0	115,0	77,0	43,0
Zn, мг/кг	88	93	108	119	90	175	181	444	258	307
Zc по фону	4,2	3,4	4,3	4,3	3,2	12,3	6,2	17,1	9,7	9,3

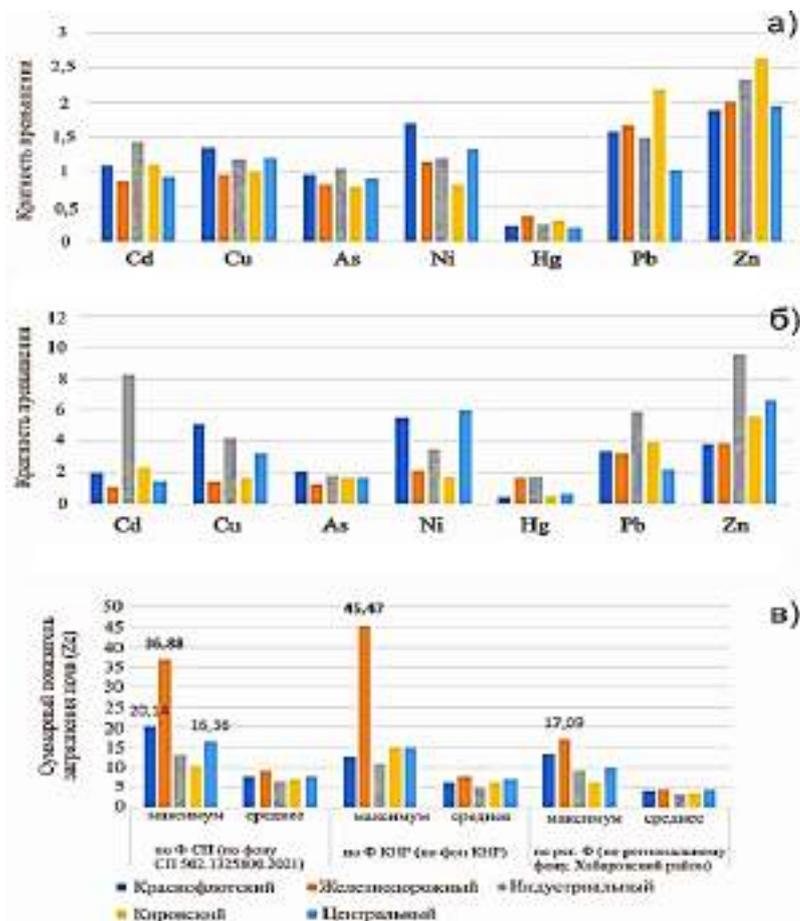


Рисунок 3.16. Кратность превышения регионального фона по элементам: а – для средних значений, б – для максимальных значений, в – диаграмма Zc по административным районам (составлено автором)

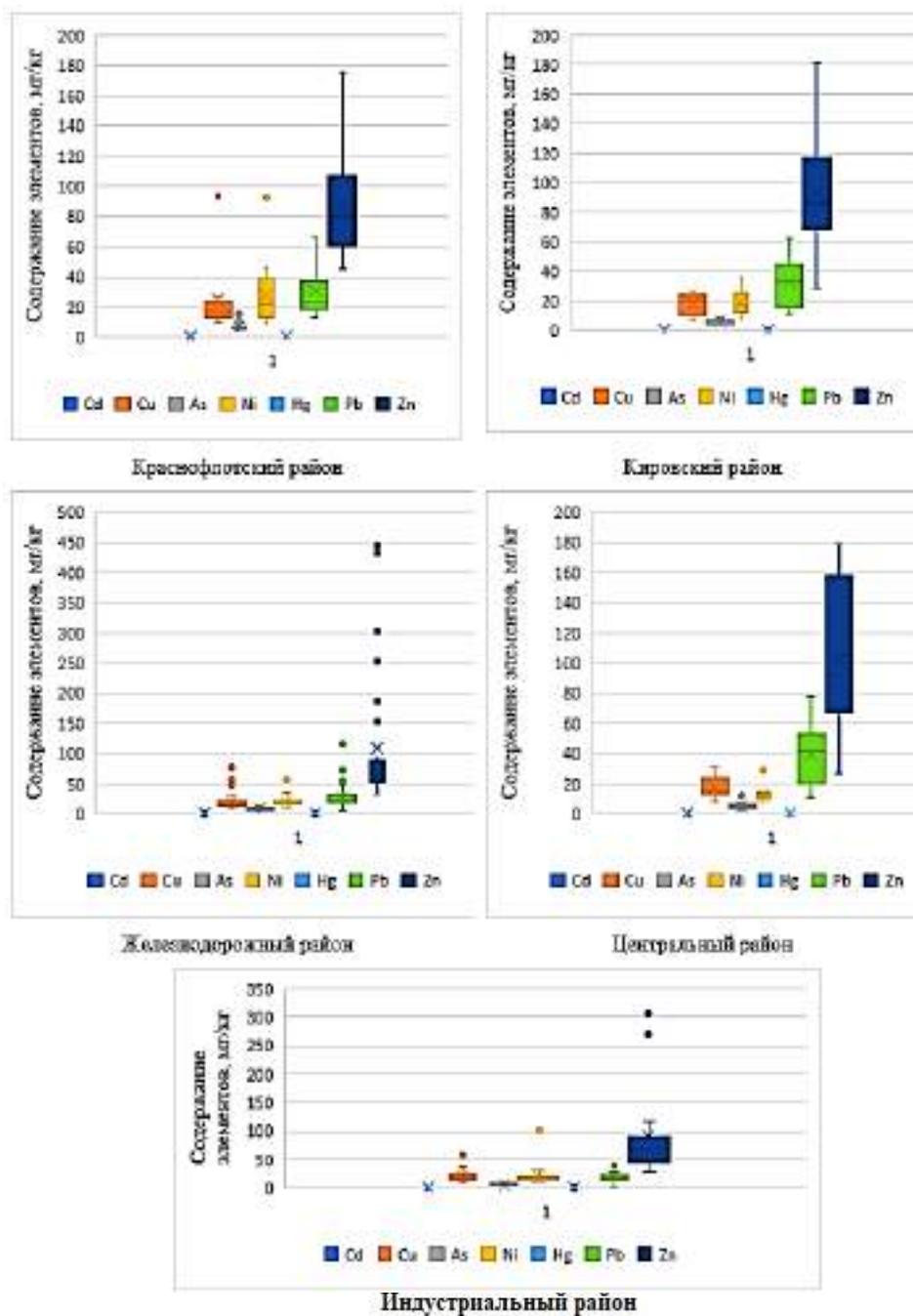


Рисунок 3.17. Voxplots по административным районам города (составлено автором)

По функциональным зонам выполнялся расчет индивидуальных и комплексных индексов с учётом фоновых содержаний ТМ и As исследуемой местности. Результаты расчетов показали, что по индексу геоаккумуляции (I_{geo}) и индексу загрязнения PI выражено загрязнение почв Pb и Zn, меньше Cu и Ni (рисунки 3.18, 3.19).

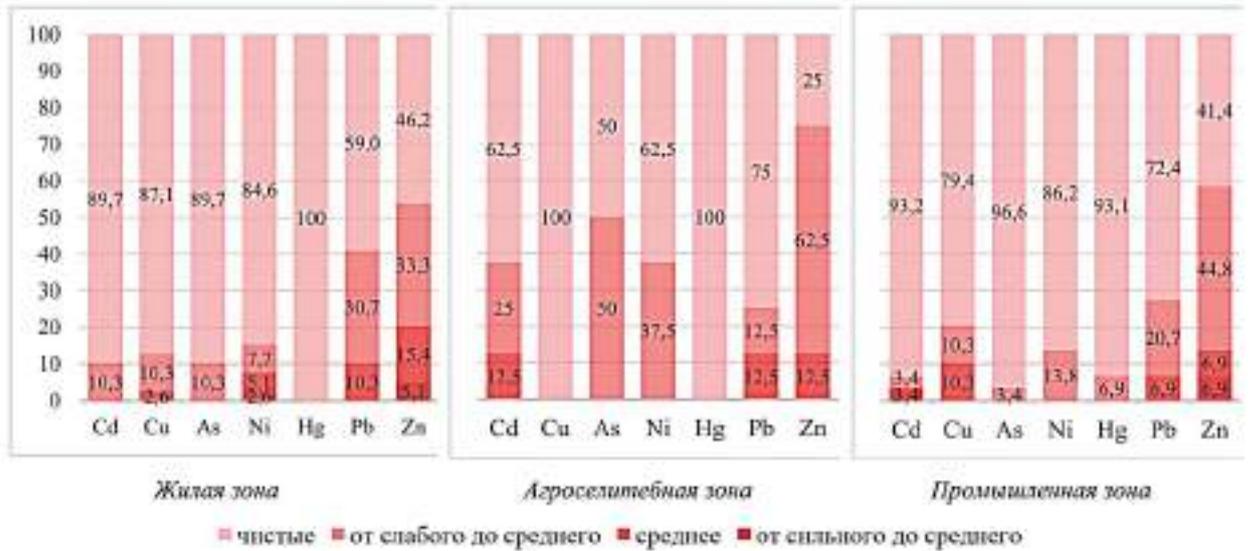


Рисунок 3.18. Соотношение уровней загрязнения почв по индексу геоаккумуляции, % (составлено автором)

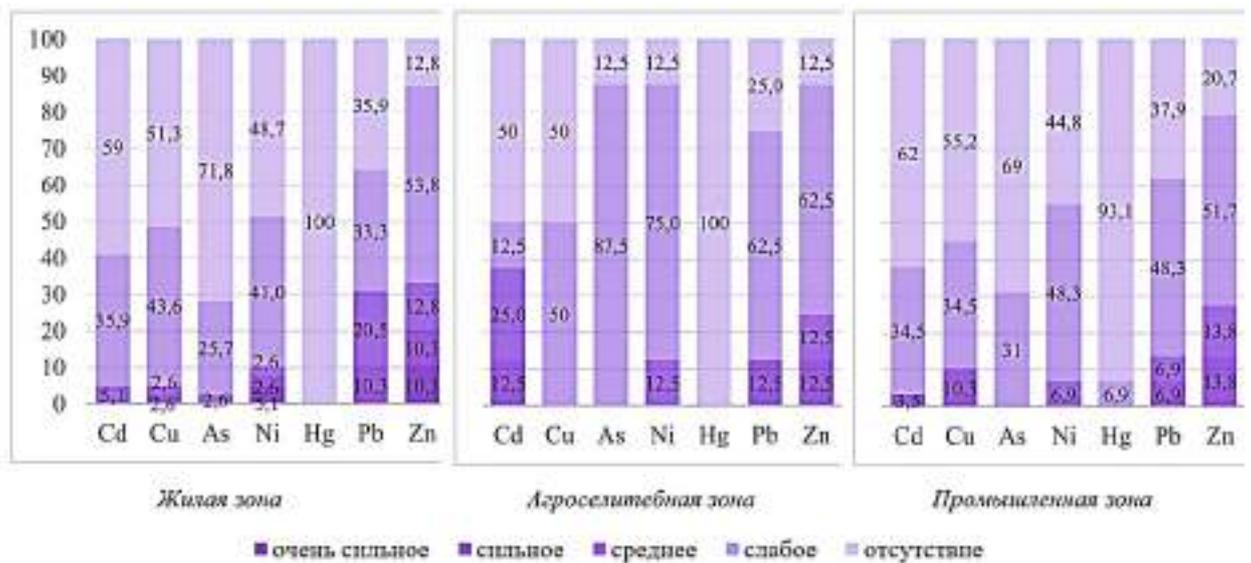


Рисунок 3.19. Соотношения уровней загрязнения почв по индексу загрязнения PI, % (составлено автором)

Комплексные индексы рассчитаны по средним значениям содержания ТМ и As в почвах. По PERI установлен «низкий» уровень загрязнения во всех зонах, по PLI – «умеренное» загрязнение в агроселитебной зоне (таблица 3.7).

Средние значения индексов PLI, PERI (потенциального экологического риска)
по функциональным зонам (составлено автором)

Индексы		Функциональные зоны		
		жилая	агроселитебная	промышленная
PLI	значение	-0,702	1,042	0,911
	уровень	<i>отсутствие</i>	<i>умеренное</i>	<i>отсутствие</i>
PERI	значение	73,5	88,7	76,5
	уровень	<i>низкий уровень экологического риска</i>	<i>низкий уровень экологического риска</i>	<i>низкий уровень экологического риска</i>

Результаты **микробиологических** исследований почвенных образцов не выявили присутствия патогенных микроорганизмов. Анализ данных, представленных в базе данных «Экологическое состояние почв города Хабаровска» за временной интервал с 2017 по 2020 год, показал, что значения индексов бактерий группы кишечной палочки (БКГП) и энтерококков оставались в пределах установленных нормативов [Майорова Л.П. и др., 2024]. Нормативный уровень свидетельствует об отсутствии значительного микробиологического загрязнения почвенного покрова на исследуемых участках.

Согласно информации, содержащейся в государственных докладах, отклонения, зафиксированные службами санитарного надзора, носят локальный и временный характер. Такие случаи не имеют систематического распространения и не представляют угрозы для экологического состояния почв в целом. Это подтверждает, что санитарно-эпидемиологическая обстановка в городе Хабаровске в указанный период оставалась стабильной и соответствовала требованиям нормативных документов.

3.2. Оценка воздействия на атмосферный воздух

По данным государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2023 году» (далее госдоклад) в Хабаровске выброшено в атмосферу 38787 т загрязняющих веществ (26,9 % от выброса по Хабаровскому краю). Основными стационарными источниками

загрязнения атмосферы на территории Хабаровска являются предприятия АО ННК «Хабаровский нефтеперерабатывающий завод» (ХНПЗ) и Хабаровские ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3. Помимо стационарных источников, значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносит транспорт.

Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух за 2010-2023 годы (по данным ежегодников о состоянии загрязнения атмосферы в городах на территории России) (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова», Росгидромет), представленная на рисунке 3.20, свидетельствует о достаточно устойчивой тенденции снижения выбросов от стационарных и передвижных источников, начиная с 2017 г. [Безуглая Э.Ю., 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023].

Уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Хабаровске в 2023 г. с учетом ПДК СанПиН 1.2.3685-21 оценивается, как *«высокий»*, с учетом ПДК ГН 2.1.6.3492-17 – как *«повышенный»*. За 13 предшествующих лет (2010-2022) уровень загрязнения атмосферы варьировался от *«низкого»* до *«повышенного»*. Динамика ИЗА в г. Хабаровске представлена на рисунке 3.21.

Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) составляет в 2023 году 5,69 и определяется, главным образом, выбросами бенз(а)пирена, средняя за год величина составляет 0,9 ПДК. Низкий уровень загрязнения зафиксирован в 2019 году, среднегодовые концентрации всех веществ находились ниже установленных гигиенических нормативов. Оценка уровня за 2021 год изменилась в связи с ужесточением нормативов СанПиН 1.2.3685-21 и соответственно с изменением перечней и приоритета веществ, определяющих комплексный индекс.

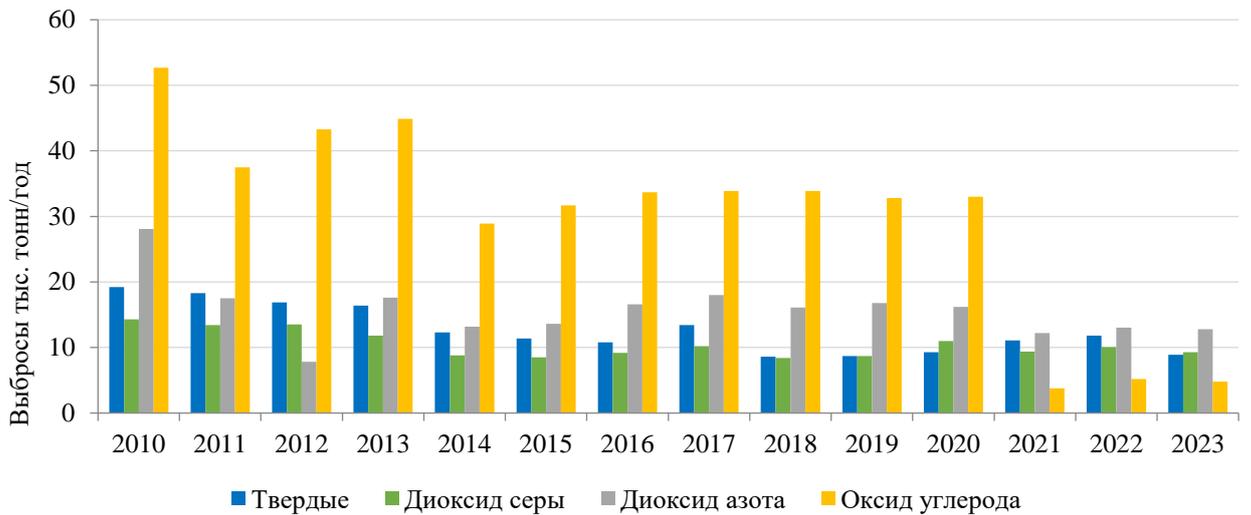


Рисунок 3.20. Динамика суммарных выбросов (автотранспорт, стационарные источники) загрязняющих веществ в атмосферу в г. Хабаровске, тыс. т (2010-2023 гг.)

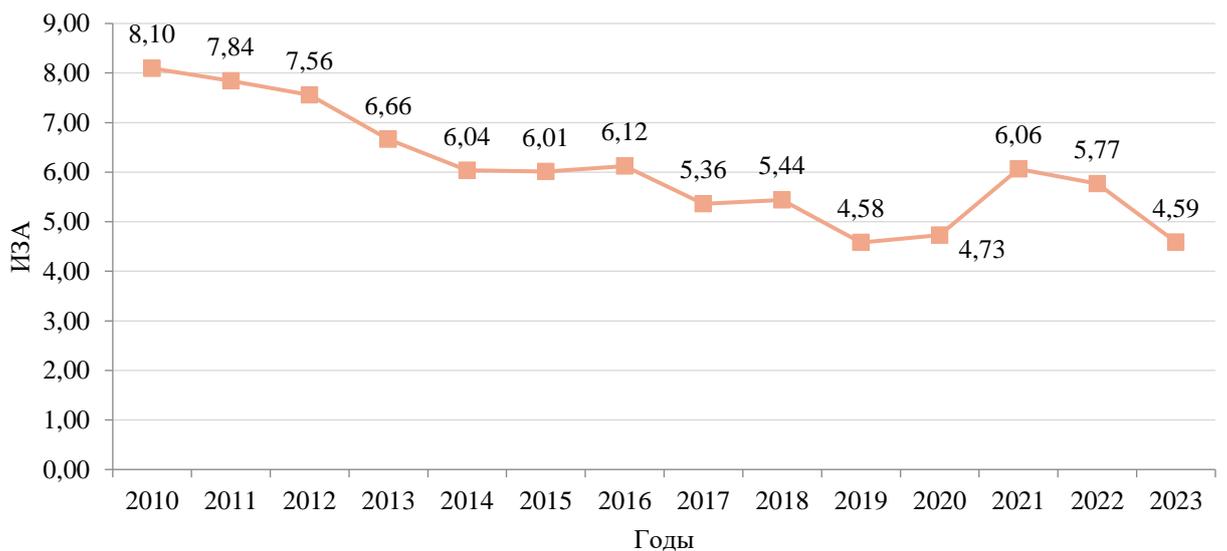
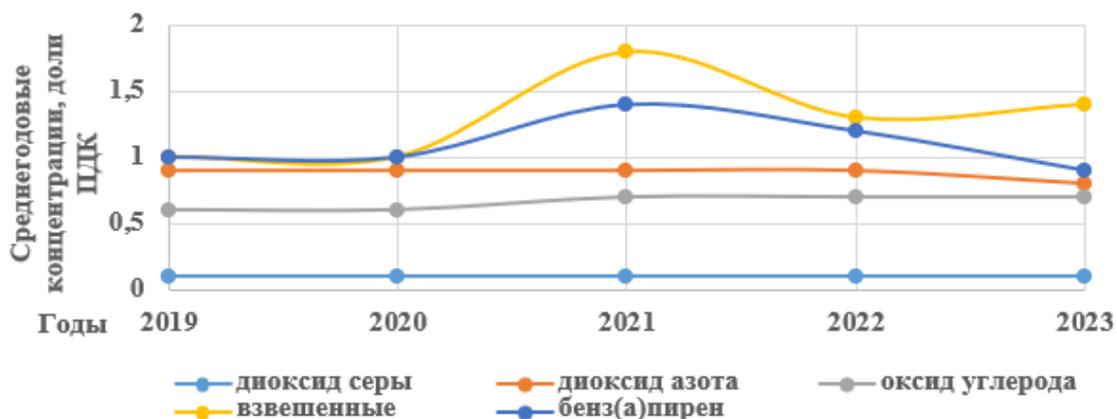


Рисунок 3.21. Динамика ИЗА в г. Хабаровске (среднее за 2010-2023 гг.) (основные вещества и бенз(а)пирен – взято 5 показателей с наиболее высокой концентрацией)

Динамика среднегодовых концентраций основных загрязняющих веществ и уровень загрязнения атмосферного воздуха по данным госдокладов приведена на рисунке 3.22.



Годы	2019	2020	2021	2022	2023
Уровень загрязнения	<i>низкий</i>	<i>повышенный</i>	<i>высокий*</i> <i>повышенный**</i>	<i>высокий*</i> <i>повышенный**</i>	<i>высокий*</i> <i>низкий**</i>

* - с учетом ПДК СанПиН 1.2.3685-21, ** - с учетом ПДК ГН 2.1.6.3492-17.

Рисунок 3.22. Динамика среднегодовых концентраций основных загрязняющих веществ и уровень загрязнения атмосферного воздуха за период 2019-2023 гг. (по данным госдоклада)

В г. Хабаровске наблюдения за качеством атмосферного воздуха проводятся на 4 стационарных постах (ПНЗ) Государственной наблюдательной сети, функционирование которых обеспечивает Росгидромет.

Посты подразделяются:

- 1) «городские фоновые» в жилых районах (№ 6 – ул. Архангельская, 50);
- 2) «промышленные» вблизи предприятий (№ 2 – ул. Забайкальская, 10);
- 3) «авто» вблизи автомагистралей (№ 3 – ул. Воронежская, 52 и № 5 – перекресток ул. К. Маркса – ул. Синельникова).

Из основных примесей атмосфера более всего загрязнена взвешенными веществами. За последние 5 лет наблюдается тенденция к снижению среднегодовых концентраций взвешенных веществ (рисунок 3.23).

Наибольшими значениями за все годы наблюдения отличаются посты, оборудованные вблизи автомагистралей (№ 3 и 5). При этом на район наблюдения поста № 3 помимо автотранспорта оказывают влияние крупнейшие стационарные источники загрязнения, расположенные на территории Кировского промышленного узла (КПУ). Увеличение содержания данной

примеси отмечается весной в связи с ростом уровня естественной запыленности и в октябре в связи с началом отопительного сезона.



Рисунок 3.23. Динамика изменения среднегодовых концентраций взвешенных веществ (доли ПДК) по данным стационарных постов г. Хабаровска (2010-2021 гг.)

Данные по динамике изменения среднегодовых концентраций диоксида серы, оксида углерода, диоксида азота, оксида азота, формальдегида, аммиака, фенола, водорода хлористого и сажи за период наблюдения 2010-2021 гг. на стационарных постах г. Хабаровска приведены в Приложении Ж.

КПУ и сопредельная с ним по преобладающим направлениям ветра территория является достаточно устойчивой аномалией высокого содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Большое влияние на уровень загрязнения воздушного бассейна на территории Дальнего Востока оказывают климатические условия. В целом, территория города отнесена к зоне «умеренного» и «повышенного» потенциала загрязнения атмосферы с особенно неблагоприятными условиями для рассеивания примесей. Высокая повторяемость приземных и приподнятых инверсий, слабых скоростей ветра, застоев затрудняет рассеивание вредных примесей и способствует их накоплению.

3.3. Оценка состояния водных объектов

В геохимическом отношении река Амур для территории города Хабаровска является транзитным водотоком, на качество воды которого влияют много факторов как выше, так и ниже по течению. Большие расходы впадающих в Амур левобережных и правобережных притоков могут существенно различаться в разные фазы периода открытого русла и определять гидрохимическую ситуацию. Для характеристики загрязнения водных объектов города более объективно рассмотреть состояние малых рек. Они отражают качественный состав стока с исследуемой территории, при этом являются особо чувствительными к техногенным воздействиям.

Гидрохимические посты на малых реках Хабаровска оборудованы только на 2 водотоках (река Берёзовая и река Чёрная). При этом они вынесены за черту города на значительные расстояния, в створы контроля перед впадением в озерно-проточную систему реки Амур. Мониторинг на малых реках в черте города не производится.

Крупнейшей территорией водосбора в черте города отличается река Чёрная, имеющая притоки Полежаевка, Гнилая Падь, Чернушка, которые также протекают по селитебным районам. При этом объём выноса загрязнённых стоков с территории города по реке Чёрная является наибольшим. Сравнительная характеристика качества воды в контролируемых створах по «УКИЗВ» за 2010-2023 гг. представлена на рисунке 3.24.

Менее нарушенной является территория северной части города, с которой стекают водотоки, формирующие водосбор реки Березовая. Как правило, загрязнение преобладает в городских притоках и в верхнем течении. На участке нижнего течения река Берёзовая протекает в основном по относительно залесенной территории, вода разбавляется в основном за счёт менее загрязнённых правобережных притоков.

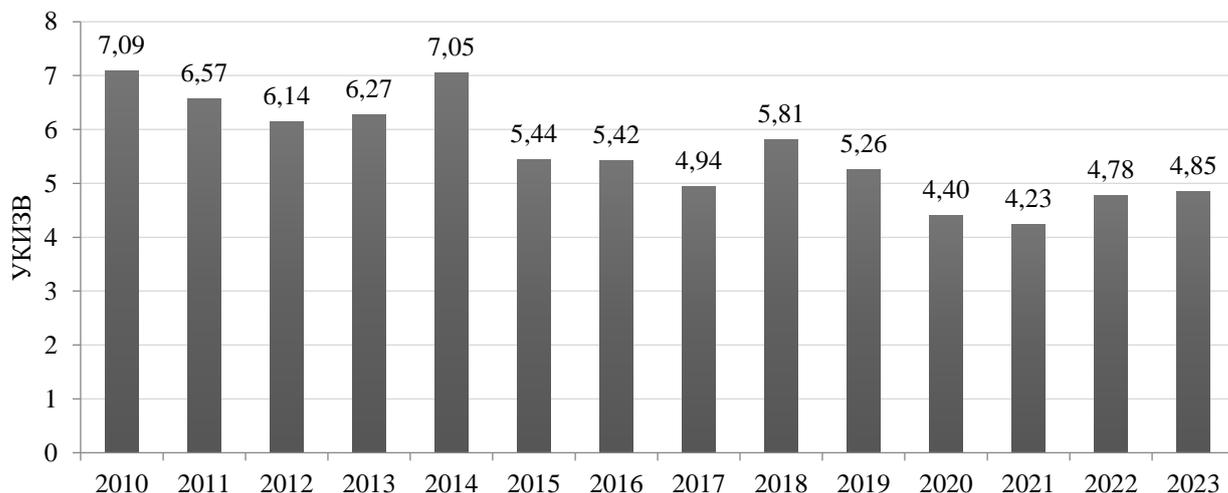


Рисунок 3.24. Динамика УКИЗВ в р. Черная на территории Хабаровска за 2010-2023 гг. (с. Сергеевка, 5 км ниже села)

Динамика УКИЗВ в период 2010-2023 гг. в р. Березовая приведена на рисунке 3.25.

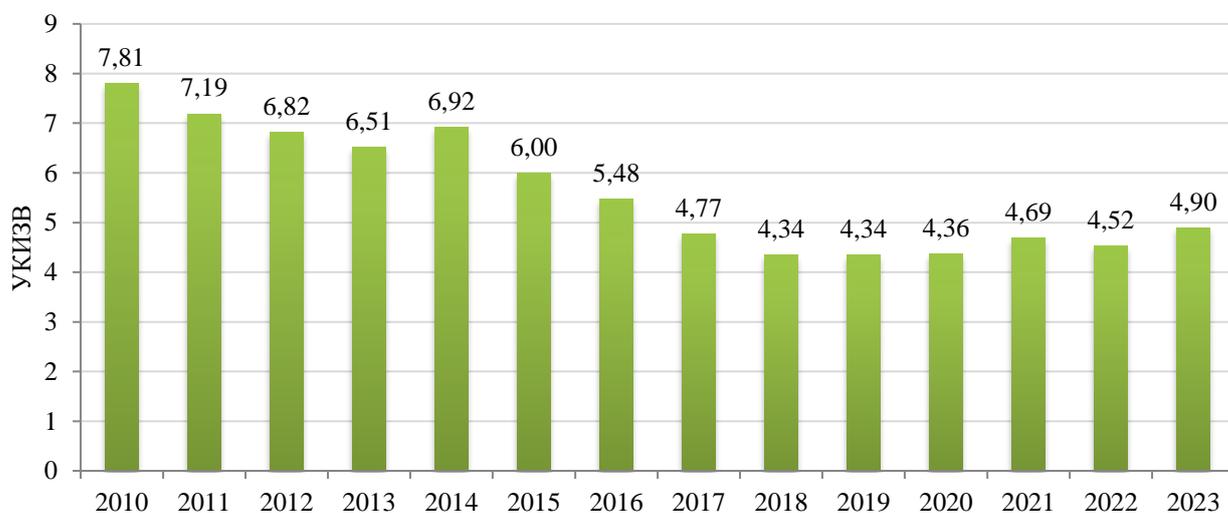


Рисунок 3.25. Динамика УКИЗВ в р. Березовая на территории Хабаровска за 2010-2023 гг. (с. Федоровка, 1,5 км ниже села)

Значения УКИЗВ рек Березовая и Черная отличаются несущественно. Имеет место тенденция к снижению гидрохимического загрязнения без изменения класса УКИЗВ. В 2023 г. класс загрязнения 4 (характеристика состояния воды – «грязная»), разряд а – «грязная». Приведенные данные

соответствуют результатам мониторинга ФГБУ «Дальневосточное УГМС» (таблица 3.8).

Таблица 3.8

Загрязнение малых рек г. Хабаровска (реки Черная и Березовая) по данным мониторинга ФГБУ «Дальневосточное УГМС» за период 2010-2023 гг.

Водный объект	УКИЗВ		
	значения	класс, разряд	характеристика состояния воды
р. Чёрная	от 4,23 до 7,09	4 а, б	«грязная»
р. Берёзовая	от 4,34 до 7,81	4 а, б	«грязная»

Отдельными исследованиями [Гаретова Л. П. и др., 2018, 2019, 2021, 2023, 2024; Кошельков А. М., Матюшкина Л. А., 2018] были выявлены высокие содержания НП и ТМ в пробах поверхностных вод и донных отложений, отобранных на малых реках Хабаровской городской территории. Ранее эти тенденции отмечались в работах Шестеркина В. П., Махинова А. Н., Махиновой А. Ф., Афанасьевой М. И. и подтверждались их последующими исследованиями [Шестеркин В. П. и др., 2019; Махинов А. Н. и др., 2020].

Наиболее загрязнены воды ручьев центральной части города, зарегулированные в коллекторы (Плюснинка, Чердымовка, Лесопилка). Так, например, в 2017 году на выходе зарегулированного в коллектор ручья Лесопилка качество воды соответствовало 7 классу по ИЗВ («чрезвычайно грязная»). В воде присутствовали аммиак (13,6 ПДК), фенолы (64 ПДК), нефтепродукты (4 ПДК), жиры (58 ПДК), железо (10,4 ПДК), марганец (47,9 ПДК), медь (9 ПДК), цинк (4,7 ПДК). Проба воды, отобранной из затона р. Амур в месте впадения руч. Лесопилка, имела 4 класс («загрязненная»). В ковше затона, куда разгружаются воды из коллектора, в донных отложениях выявлены высокие значения нефтепродуктов и цинка (2490 мг/кг и 298,4 мг/кг соответственно). О влиянии сброса руч. Лесопилка на р. Амур свидетельствуют

частые аэрофотокосмоснимки незамерзающей в зимний период части его акватории, примыкающей к коллектору.

Для оценки загрязнения водосбора Кировского промышленного узла (КПУ) [Гаретова Л. А. и др., 2018, 2019, 2021; Кошельков А. М. и др., 2018; 2019] в приустьевом створе руч. Курча-Мурча отбирались образцы поверхностных вод и донных отложений. По результатам лабораторных исследований отмечены высокие содержания нефтепродуктов, которые в поверхностных водах прослеживались от 12 до 24 ПДК, а концентрация в донных отложениях составляла 9590-14190 мг/кг, что соответствует очень высокому уровню загрязнения. При этом след загрязнения сохранялся в р. Амур близ впадения ручья, где содержание нефтепродуктов в донных отложениях составляло 2202-2500 мг/кг.

Реки Чёрная, Берёзовая и Красная Речка, являясь наиболее крупными водотоками среди малых рек г. Хабаровска, обладают в отличие от своих притоков и небольших ручьёв достаточными водностью и условиями разбавления. Однако эти реки также получают существенную антропогенную нагрузку в пределах городской территории.

Результаты исследований рек Чёрная и Берёзовая на городской территории [Кошельков А. М., Матюшкина Л. А., 2018; Гаретова Л. А. и др., 2024] соответствовали данным стационарного мониторинга на гидрохимических постах ФГБУ «Дальневосточное УГМС». Класс качества воды по ИЗВ этих рек варьировался от 4 до 5.

При исследовании качества вод на участке нижнего течения р. Красная речка [Гаретова Л. А. и др., 2023] выявлены сравнительно небольшие превышения нормативных требований, а класс качества воды при уровне ИЗВ от 2,92 до 3,33 – 4 («загрязнённая»).

Если учитывать, что относительно высокие содержания железа и марганца в водотоках города Хабаровска обусловлены природной некондиционностью (термин в Приложении Б), то можно выделить характерные загрязняющие

вещества, по которым отмечается превышение санитарно-гигиенических требований к поверхностным водам и донным отложениям наиболее часто: фенолы, нефтепродукты и цинк (таблица 3.9).

Таблица 3.9

Загрязнение малых водотоков г. Хабаровска

Водный объект	ИЗВ			Превышения ПДК в поверхностных водах, уровни ПДК	Высокие содержания в донных отложениях, мг/кг,
	значения	класс	категория		
р. Чёрная	4,13	5	грязная	НП – 4; БПК ₅ – 1,2; нитриты – 3,25; аммоний – 3; Fe – 4,8; Mn – 33,4; Cu – 4; Zn – 2; мутность, цветность	НП – 36416,7; Zn – 126,0
руч. Гнилая Падь	4,4	5	грязная	НП – 2,6; БПК ₅ – 1,9; нитраты – 1,1; нитриты – 3,5; аммоний – 1,5; фенолы – 3; Fe – 5,6; Mn – 33,2; Cu – 3; Zn – 9; мутность, цветность	НП – 560,0; БП – 0,055
р. Красная речка	2,92-3,33	4	загрязнённая	фосфаты – 1,1-1,7; аммоний – 1,12; фенолы – 2; НП – 1,2; ХПК – 2,0-2,25; Fe – 33,0-33,8; Mn – 7,5-8,8; Cu – 7-16; Zn – 1,5-3,1	в пределах нормы
руч. Осиповка	8,94-9,95	6	очень грязная	фосфаты – 12-16; аммоний – 34,6-35,4; фенолы – 79-91; НП – 4; ХПК – 2,67-2,68; Fe – 6,8-10,0; Mn – 21,1-22,3; Cu – 10-24; Hg – 10; Zn – 4,3-5,8	анализ донных отложений не проводился
руч. Лесопилка	17,8	7	чрезвычайно грязная	аммоний – 13,6; фенолы – 64; НП – 4; жиры – 58; Fe – 10,4; Mn – 47,9; Cu – 9; Zn – 4,7	НП – 2490,0; Zn – 298,4
руч. Курча-Мурча	12-24	7	чрезвычайно грязная	НП – 12-24	НП 14190,0

По результатам исследований химической загрязнённости донных отложений (ДО) на малых водотоках г. Хабаровска [Фишер Н. К. и др., 2018; Гаретова Л. П. и др., 2018; Кошельков А. М., Матюшкина Л. А., 2018; Гаретова

Л.А. и др., 2024] выявлено, что среди исследуемых токсикантов основными являются нефтепродукты и тяжёлые металлы. Так, например, содержание НП в ДО р. Чёрная составило 36416,7 мг/кг, в руч. Курча-Мурча – 14190,0 мг/кг, что соответствует очень высокому уровню загрязнения, установленному для грунтов согласно Письма Минприроды России от 27.12.1993 N 04-25 (более 5000 мг/кг). Содержания цинка в ДО р. Чёрная и руч. Лесопилка имеют повышенные содержания, сопоставимые с ПДК и ОДК почв по СанПиН 1.2.3685-21.

Недавние исследования (2024 год) загрязнения ДО наиболее распространёнными органическими и неорганическими токсикантами в 22 створах малых рек г. Хабаровска также подтвердили концентрации нефтепродуктов и цинка, превышающие критерии сравнения для почв и грунтов согласно СанПиН 1.2.3685-21 и голландским листам [Warmer H., van Dokkum R. 2002] (таблица 3.10).

Таблица 3.10

Средние значения кратностей превышения рекомендуемых допустимых норм содержания ЗВ в ДО малых водотоков г. Хабаровска

Водный объект, количество исследуемых створов	Кратность превышения нормативов							
	СанПиН 1.2.3685-21 (по ТМ для супесей)				Голландские листы [Warmer H., van Dokkum R. 2002]			
	Pb	Zn	НП*	БП	Pb	Zn	НП	БП
руч. Гнилая Падь, по 11 створам	1,0	1,9	2,1	1,2	1,1	0,9	12,8	0,3
р. Чёрная, по 4 створам	0,9	2,5	32,3	0,6	0,9	1,1	194	0,1
руч. Правая Берёзовая, по 2 створам	0,7	3,9	1,5	3,1	0,7	1,7	8,9	0,9
р. Красная Речка, по 2 створам	1,0	1,7	0,2	0,3	1,1	0,7	0,9	0,1
ручьи б/н по ул. Моховая, по 3 створам	0,7	2,4	0,2	0,3	0,7	1,1	1,0	0,1
* - принято согласно Методики исчисления размера ущерба, вызываемого захлаплением, загрязнением и деградацией земель на территории Москвы (Распоряжение Мэра Москвы № 801-РМ от 27.07.1999г.)								

Анализ приведённых результатов показывает, что основные аномалии загрязнения водных объектов, выявленные как при наблюдении качества поверхностных вод, так и при исследованиях донных отложений, приурочены к

р. Чёрная, руч. Гнилая Падь и к коллекторам зарегулированных рек Кировского района (руч. Курча-Мурча и руч. Лесопилка).

3.4. Загрязнение подземных вод

Условия защищённости грунтовых вод на территории города Хабаровска обусловлены сложным геологическим и гидрогеологическим строением. В пределах северной части города, приуроченной к Воронежским высотам и другим поднятиям фундамента, отмечается водоносная зона трещиноватости, грунтовые воды которой характеризуются малой водностью и глубоким защищённым залеганием. Плиоцен-четвертичный горизонт, распространённый южнее и восточнее, защищён от проникновения поверхностного загрязнения водоупорными глинистыми отложениями мощностью 10-40 м [Мишкин Д. В. и др., 2023]. Подземные воды вышеприведённых гидрологических горизонтов пригодны для хозяйственно-питьевых нужд, однако основные источники городского водоснабжения расположены за пределами Хабаровска на площади Среднеамурского артезианского бассейна в междуречье Амура и Тунгуски [Кулаков В. В. и др., 2021].

По данным ежегодной отчётности Дальневосточного регионального центра государственного мониторинга состояния недр ФГБУ «Гидроспецгеология» для рассматриваемого района отмечается постоянство химического состава подземных вод продуктивных водоносных горизонтов в естественных условиях. Загрязнения, связанного с превносом элементов технологической природы, не выявлено. Для подземных вод исследуемой местности характерны повышенные содержания железа и марганца, обусловленные природными особенностями.

По результатам мониторинга состояния подземных вод в нарушенных условиях эксплуатации водозаборов в 2021 и 2022 гг. в окрестностях Хабаровска отмечены превышения нормативов по аммонийной группе на уровнях 1,26-2,11

ПДК и 1,8-2,4 ПДК соответственно. Согласно СП 11-102-97 складывающаяся при таких уровнях экологическая ситуация загрязнения подземных вод характеризуется как *«относительно удовлетворительная»*.

Загрязнение техногенного водоносного горизонта («верховодки») по территории Хабаровска носит локальный характер и проявляется в непосредственной близости от техногенного источника.

3.5. Энергетическое загрязнение

Приведена оценка комплексом воздействий физических факторов и факторов радиационной природы, объединённых общим термином «энергетическое загрязнение». Рассматриваются уровни радоноопасности, мощностей эквивалентной и экспозиционной дозы гамма-излучения, шумовые и электромагнитные воздействия.

Исследуемая местность характеризуется наличием природных аномалий радона, которые приурочены к разломам на возвышенных по рельефу территориях центральной и северной части Хабаровска (увалы Центральных Хабаровских и Воронежских высот). Также радоноопасным является район отрогов хребта Малый Хехцир, окаймляющих территорию города с юга. Северная и центральная часть Индустриального района и восточная окраина города, приуроченные к I, II и III надпойменным террасам р. Амур, характеризуются низким уровнем радона. В этих местах его отсутствие или низкий уровень обусловлены не только геологическим строением, но и наличием относительно высокого уровня грунтовых вод, препятствующего эманации газа. В черте городской застройки локально экранами для выхода радона на поверхность также могут служить покрытия асфальтов, бетонных сооружений и суглинистых горизонтов.

По результатам исследований уровней объёмной активности (ОА) радона в помещениях нижних этажей обследуемых зданий, проведённых Институтом

тектоники и геофизики ДВО РАН совместно со спецкомбинатом «Радон», территория Хабаровска была разделена на 5 зон по степени радоноопасности: «особо опасная» – 400 Бк/м³ и более; «опасная» – 200-400 Бк/м³; «умеренно опасная» – 100-200 Бк/м³; «условно безопасная» – 50-100 Бк/м³; «безопасная» – 50 Бк/м³ и ниже [Гонохова Л. Г., Рябкова В. А., 2002]. К «особо опасной» и «опасной» зонам по этому критерию относится большая часть Центрального административного района города Хабаровска, а «особо опасной» признана территория, примыкающая к реке Амур [Андреев А. И. и др., 2015].

Позже эти результаты подтвердили исследования радоноопасности методом измерения уровней плотности потока радона (ППР) с поверхности почвы. Метод ППР является более объективным, т. к. количество ОА радона в воздухе помещений может зависеть от надёжности конструктивных решений обследуемых сооружений. Недостатками метода ППР считаются сезонные и метеорологические ограничения возможности измерений.

По данным инструментальных измерений, выполненных лабораториями радиационного контроля, в Центральном, Кировском и в западной части Краснофлотского района уровень ППР с поверхности почвы в благоприятный период эманации (отсутствие промерзания и снежного покрова) может отмечаться в среднем от 1-2 ПДУ (80-160 мБк/м²·с) (таблица 3.11).

Уровни мощности эквивалентной дозы (МЭквД) гамма-излучения (ГИ) и мощности экспозиционной дозы (МЭксД) ГИ соответствуют естественному фону. Средний уровень МЭксД ГИ составляет 10 мкРт/ч, средний уровень МЭквД ГИ – 0,10 мкЗв/ч. Значения ниже среднего уровня, как правило, отмечаются на территориях, покрытых растительностью, заболоченных, с высоким уровнем грунтовых вод. Повышенные значения МЭксД ГИ (более 15 мкРт/ч) и МЭквД ГИ (более 0,15 мкЗв/ч) чаще отмечаются по поверхности железнодорожного полотна и других насыпях из природного камня. Уровни МЭквД ГИ могут повышаться в черте городской застройки среди

железобетонных конструкций как минимум на 0,01-0,02 мкЗв/ч относительно естественно фона.

Таблица 3.11

Средние значения средних и максимальных уровней ППР по административным районам города Хабаровска, мБк/м²·с

Рассматриваемые параметры	Административные районы города Хабаровска				
	Краснофлотский	Кировский	Центральный	Железнодорожный	Индустриальный
Среднее по средним уровням ППР с поверхности почвы, мБк/м ² ·с	22,0	42,4	57,6	25,0	21
Среднее по максимальным уровням ППР с поверхности почвы, мБк/м ² ·с	47,9	83,1	111,2	53,5	45,0

На радиационный фон в урбанизированных ландшафтах также могут оказывать влияние продукты сгорания угля на ТЭЦ, которые легко вовлекаются в экосистемные миграционные циклы и накапливаются в почвах в виде радионуклидов [Росликова В. И., Матвиенко Т. И., 2014]. По результатам радиологических исследований урбанизированных почв, проведённых в 2014 году Росликовой В. И. и Матвиенко Т. И., установлены следующие средние содержания радионуклидов: радий-226 – 20,56 Бк/кг; торий-232 – 33,76 Бк/кг; калий-40 – 495,63 Бк/кг; цезий-137 – 5,68 Бк/кг [Росликова В. И., Матвиенко Т. И., 2014]. Соответствие этим значениям современного содержания радионуклидов в почвах подтверждено выборкой из базы данных «Экологическое состояние почв города Хабаровска» [Майорова Л. П., 2024]: радий-226 – 21,8 Бк/кг; торий-232 – 30,4 Бк/кг; калий-40 – 414,3 Бк/кг; цезий-137 – 2,6 Бк/кг (таблица 3.12).

Содержание радионуклидов в почвах города Хабаровска, Бк/кг

Значение	Естественные радионуклиды:			Техногенные радионуклиды:	Эффективная активность ЕРН
	Удельная активность калия-40	Удельная активность радия-226	Удельная активность тория-232	Удельная активность цезия-137	
	Бк/кг	Бк/кг	Бк/кг	Бк/кг	Бк/кг
<i>радиологические исследования урбанизированных почв, проведённых Росликовой В.И. и Матвиенко Т.И. [Росликова В.И., Матвиенко Т.И., 2014]</i>					
Среднее	495,63	20,56	33,76	5,68	не определялось
<i>База данных «Экологическое состояние почв города Хабаровска» [Майорова Л.П., 2024]</i>					
Среднее	414,3	21,8	30,4	2,6	98,3
Минимальное	158,0	9,2	7,3	0,4	48,9
Максимальное	726,0	59,9	58,9	6,4	170,6

Как видно из таблицы 3.12, динамика радиологического состава почв г. Хабаровска стабильная. Эффективная активность ЕРН, характеризующая суммарную радиоактивную загрязнённость почв естественными радионуклидами, не превышает допустимого уровня (370 Бк/кг).

Наибольшие уровни шумовых воздействий наблюдаются в местах активного перемещения транспортных потоков. Через территорию города проходит Транссибирская железная дорога, для которой в пределах города устроены разъездные узлы и сопутствующие транспортные и логистические объекты. Наиболее интенсивная шумовая нагрузка отмечена в центральной части города и вдоль общегородских магистралей. Окрестности и северная часть города, а также непосредственно Краснофлотский район отличаются более благоприятной акустической обстановкой, малой плотностью автодорог общегородского значения (1, 2 и 3 категории). Средние значения эквивалентного уровня звука ($L_{Aэкв}$) не превышают ПДУ (55 дБА). По результатам проведённых обследований и измерений в жилой зоне средние значения $L_{Aэкв}$ в остальных административных районах незначительно превышают ПДУ и определены в диапазоне 55-60 дБА (таблица 3.13).

Средние значения эквивалентного уровня звука в жилой зоне

Рассматриваемые параметры	Административные районы города Хабаровска				
	Краснофлотский	Кировский	Центральный	Железнодорожный	Индустриальный
Плотность автодорог общегородского значения, км/км ²	0,7	2,0	3,8	0,85	1,0
Средние значения эквивалентного уровня звука в жилых зонах, дБА	51,9	56,3	55,4	55,6	55,7

При оценке *электромагнитных излучений* следует учесть, что превышения ПДУ по уровням напряжённости электрического поля (ЭП) и индукции магнитного поля (МП) в диапазоне промышленной частоты отмечаются в пределах охранных зон высоковольтных линий (ВЛ) и подстанций (ПС) от 110 кВ и более. Основные коридоры высоковольтных линий 500 кВ и 220 кВ вынесены за пределы городской застройки. ВЛ 220 кВ пересекает город до восточного обхода в Краснофлотском районе на участке от железнодорожного моста до ТЭЦ-3. Остальные ВЛ 110 кВ и менее обеспечивают электрификацию городской застройки, подходят к распределительным узлам (РУ) и ПС 110 кВ (рисунок 3.26).

Все эти источники электромагнитных излучений (ЭМИ) могут создавать превышения ПДУ в границах рекомендуемых санитарных разрывов. Таким образом, воздействия ЭМИ наблюдаются локально, наибольшая густота высоковольтных узлов и электрокоммуникаций приурочена к крупным производственным объектам. В жилой застройке напряженности электрического поля ЭМП менее 1 кВ/м.



Рисунок 3.26. Карта основных источников энергетического загрязнения города Хабаровска (составлена автором)

3.6. Зеленые насаждения

Важным фактором оценки экологического состояния является плотность зелёных насаждений, парков, скверов и рекреационных территорий,

выполняющих для городской среды санитарно-гигиеническую, климаторегулирующую, рекреационную и эстетическую функции.

Согласно результатам исследований «Центра космических технологий» Тихоокеанского государственного университета, проведённых в рамках целевой экологической программы «Улучшение экологического состояния г. Хабаровска на 2011-2015 гг.», общий уровень озеленённости территории города составляет 58,5 % при норме для крупных городов 40 %. Обеспеченность зелеными насаждениями на 1 жителя (без учета левобережной части города) составляет 156,1 кв. м/чел, что является хорошим показателем. Однако, плотность зелёных насаждений по территории города не равномерная.

Более высокие уровни озеленённости отмечаются в Железнодорожном, Центральном и Краснофлотском районах (69,1 %, 64,7 % и 59,2 %). Наименее обеспечены зелёными насаждениями Кировский и Индустриальный районы (56 % и 48,2 %) (рисунок 3.27).



Рисунок 3.27. Уровень озеленённости административных районов г. Хабаровска

Следует учитывать также качество зелёных насаждений. Большое разнообразие видов и ценных пород удаётся сохранить при организации особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Более высокой плотностью ООПТ отличаются Краснофлотский и Железнодорожный районы (2 и 1,5 % от общей территории). Наименьшая плотность ООПТ отмечена в Индустриальном районе (0,33%) (таблица 3.14).

Таблица 3.14

Плотность ООПТ г. Хабаровска

Рассматриваемые параметры	Административные районы города Хабаровска				
	Краснофлотский	Кировский	Центральный	Железнодорожный	Индустриальный
Соотношение площади ООПТ к общей территории (в %)	2,0	0,9	0,7	1,5	0,33

3.7. Основные техногенные и природные аномалии

На территории города Хабаровска сложились относительно устойчивые зоны загрязнения. На их формирование помимо собственно действия источников загрязнения повлияли обусловленные природными условиями и планировкой города геохимические потоки. Преобладание в течение года юго-западных и западных ветров обуславливает рассеивание преимущественно в северо-восточном и восточном направлении от крупнейших стационарных источников и промышленных узлов. При этом оседание на поверхность почвы загрязняющих веществ наблюдается и на территориях жилых районов. Среди этих поллютантов имеются опасные для здоровья человека вещества, такие как цинк, свинец, ртуть, медь, никель, бенз(а)пирен (БП). С выбросами ТЭЦ и при пылении золоотвалов в атмосферу поступают As, Cd, Pb, Cr, Ni, B, Mn, Mo, Se, Zn, Co, Cu и др. Транспортные потоки обеспечивают поступление в атмосферу продуктов износа шин, тормозных накладок и дорожного покрытия (Cd, Pb, Cr, Zn, Ni, Co, Cu).

Сочетание высоких содержаний в компонентах окружающей среды по нескольким токсикантам усиливает эффект вредного воздействия. Таким образом, на территории города имеются опасные для проживания населения зоны.

Почва, как депонирующая среда, является наиболее объективным и стабильным индикатором антропогенного загрязнения [Алексеев В. А., Алексеев А. В., 2013]. Для выявления границ аномалий производился анализ содержания загрязняющих веществ в пробах почв и почвенных образований, отобранных по 76 станциям. Данные исследований сравнивались с фоновыми материалами и результатами многолетних наблюдений на постах мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Показано, что техногенные аномалии нефтепродуктов в почвах локальны и приурочены к промышленной зоне в районах Кировского узла, судостроительного завода и ул. Промышленной. Высокие содержания БП приурочены к области рассеивания по преобладающему направлению от крупнейших стационарных источников [Кошельков А. М., Майорова Л. П., 2023]. В эти зоны попадают также области высокого содержания тяжёлых металлов (ТМ), здесь же отмечаются их ассоциации. Свойственные для загрязнённых городских территорий техногенные геохимические аномалии отличаются полиэлементным составом, т. е. повышенным накоплением в почвах определенной группы химических элементов. Такую группу, характеризующую состав геохимической аномалии, называют техногенной геохимической ассоциацией [Янин Е. П., 2002].

Зонирование поликомпонентного загрязнения тяжелыми металлами (2–4-элементные ассоциации) территории Хабаровска при учёте техногенно-обусловленных превышений позволяет выделить следующие основные аномалии: «центральная», «южная», «северная» (рисунок 3.28, таблица 3.15).

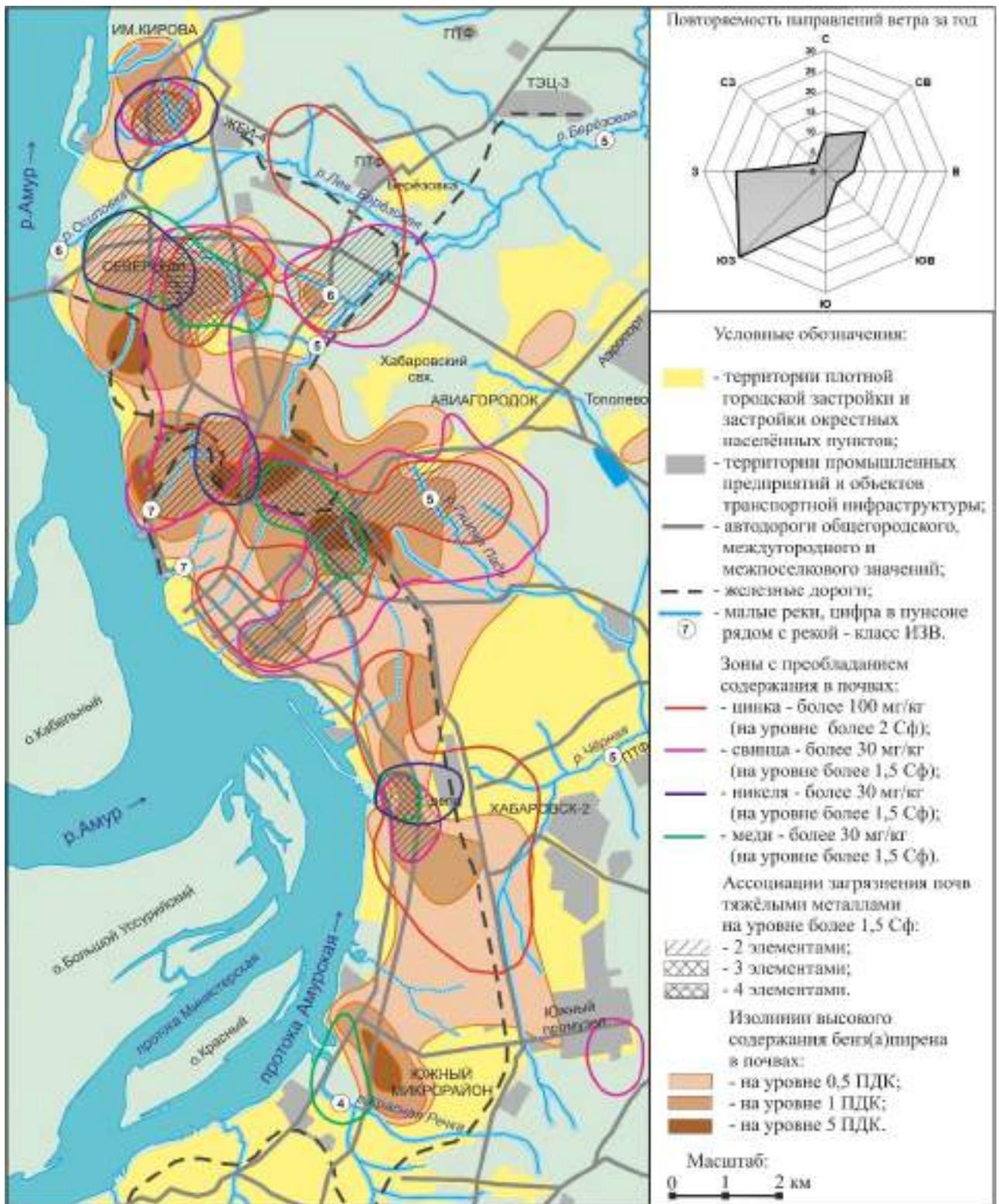


Рисунок 3.28. Схема расположения техногенных аномалий на территории города Хабаровска (составлено автором)

Техногенные аномалии города Хабаровска

Техногенная аномалия	Территория распространения	Основные источники воздействий	Характерные превышения
Центральная	Административные районы: Центральный, Кировский и центральная часть Железнодорожного	ТЭЦ-2, предприятия Кировского промышленного узла и промзоны центральной части города, сосредоточение транспортных узлов и магистралей общегородского значения	БП в почвах – более 5 ПДК, превышения в почвах по Zn, Pb, Cu
Южная	Центральная и южная части Индустриального района, южная часть Железнодорожного района (2-й Хабаровск)	ТЭЦ-1, Южный промузел (совокупность мелких цехов и мастерских), сосредоточение транспортных узлов и магистралей общегородского значения	БП в почвах – более 2-5 ПДК, превышения в почвах по Zn, Pb, Ni, Cu
Северная	Промзона Краснофлотского района	Предприятия промзоны по улицам Воронежская и Воронежское шоссе (ООО ПК «Балтика», Асфальтовый завод МУП «Дорожник», ЖБИ № 4, завод металлических конструкций ООО СП «Аркаим» и др.), Уборевича (Хабаровский завод железобетонных шпал, АО «Бетэлтранс» и др.), мастерские в районе базы КАФ	БП в почвах – более 2-5 ПДК, превышения в почвах по Zn, Pb, Ni, Cu

«Центральная» аномалия является наиболее крупной по площади и количеству зон поликомпонентного загрязнения. Основной вклад в загрязнение почв ТМ вносят транспортные узлы и магистрали общегородского значения.

«Южная» аномалия по данным геохимической съёмки, проводимой в 90-е гг. XX века на территории г. Хабаровска была сформирована в пределах южной части города за счёт концентрации здесь большого количества производственных предприятий ещё в советский период активного индустриального освоения. Спад производства, ликвидация предприятий в эпоху экономического кризиса существенно снизили нагрузку на окружающую среду.

Современный центр «южной» аномалии сместился к зоне действия Хабаровской ТЭЦ-1 и железнодорожных предприятий микрорайона «Хабаровск-2», тем не менее отмечаются последствия влияния золоотвалов и деятельности заводов «Амуркабель» и судостроительного.

«Северная» аномалия состоит из двух анклавных центров. Более крупный центр сформировался вблизи ныне рекультивированной городской свалки ТКО под влиянием промышленных предприятий, расположенных вдоль Воронежского шоссе, закрытой свалки ТКО и транспортных потоков. Отмечаются очаги превышений по ул. Уборевича и в микрорайоне «База КАФ».

По всем выделенным аномалиям основным источником поступления в почвы Pb, Zn и Cu и частично Cd и Ni является автомобильный транспорт, Ni может поступать и от промышленных источников в результате аэрогенного привноса (ТЭЦ-1–ТЭЦ-2).

Таким образом, наиболее крупной по площади, кратности превышений и количеству ассоциаций загрязнений является «центральная» аномалия. В этой зоне отмечается наиболее плотная интенсивная застройка и сосредоточение магистралей общегородского значения. Вследствие этого масштабного переустройства планировки здесь не ожидается, а значит «центральная» аномалия будет сохраняться ещё достаточно продолжительный период времени и влиять на здоровье населения. Более высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха отмечен на постах наблюдения № 3 и 5, что подтверждает наличие «центральной» аномалии.

Самыми загрязнёнными водными объектами на территории города являются р. Чёрная и ручьи Кировского района, зарегулированные в коллекторы. По этим водотокам осуществляется смыв загрязняющих веществ с территории «центральной» аномалии.

Как уже было отмечено выше, в радоноопасную зону входят территории Центрального, Кировского и Краснофлотского районов.

Краснофлотский район и северная часть Железнодорожного района относятся к наиболее благоприятным по уровню шумовых воздействий.

Краснофлотский и Железнодорожный районы являются самыми обеспеченными по зелёным насаждениям и ООПТ.

В настоящее время Краснофлотский район и северная часть Железнодорожного района являются наиболее благоприятными территориями для проживания населения, что делает их перспективными для жилого строительства. При этом необходимо строго учитывать санитарно-защитные зоны расположенных вблизи производств и ограничивать масштабы их воздействий.

Вынос за северо-восточную черту города таких крупных источников загрязнения как ТЭЦ-3 и её золоотвалы, очистные сооружения, МПС «Северная» и др. является примером грамотного градостроительного решения, т.к. существенного их влияния на территории проживания населения не отмечено.

Выводы по главе 3

1. Уровни и характер распределения исследуемых загрязнений на территории г. Хабаровска отражают специфику его отраслевого хозяйства и инфраструктуры.

2. Максимальный вклад в загрязнение почв города Хабаровска среди исследуемых токсикантов вносит бенз(а)пирен (БП). Средняя концентрация его в почвах города находится на уровне 4 ПДК, максимальная – 38,8 ПДК. Это несколько выше по сравнению с рядом городов Дальнего Востока и европейской части РФ. Характер распределения БП в почвах по территории города соотносится с преобладающими направлениями ветров и положением основных источников загрязнения. Для почв, отобранных в жилой зоне, характерна самая большая доля экстремальных значений содержания БП.

3. Наиболее высокое содержание нефтепродуктов (НП) в почвах выявлено в производственной зоне, на территории которой отмечены очаги низкого, высокого и очень высокого загрязнения. Средняя концентрация нефтепродуктов в пробах, отобранных в производственной зоне, превысила среднее значения для жилой застройки в 2,8 раза, а для агроселитебных территорий в 52 раза. Загрязнение почв НП имеет локальный характер.

4. Среднее содержание тяжёлых металлов (ТМ) и As в почвах Хабаровска сопоставимо со средними значениями для большинства российских городов. Максимальное число отклонений от допустимых норм среди исследуемых элементов характерно для мышьяка и цинка. При этом повышенные концентрации мышьяка в почвах обусловлены природными факторами. При расчёте суммарного показателя загрязнения (Zс) с применением фоновых содержаний элементов исследуемой местности большая часть исследуемых почв соответствовала категории загрязнения «допустимая» и только 3,5 % – категории «умеренно опасная». Расчёты индивидуальных и комплексных индексов показали низкие (слабые) и умеренные (средние) уровни загрязнения почв ТМ и As.

5. Данные по уровням загрязнения атмосферного воздуха подтвердили результаты исследования почв и наличие высокой антропогенной нагрузки в центре города.

6. Загрязнение малых рек Хабаровска находится на достаточно высоком уровне: индексы ИЗВ поверхностных вод водотоков не ниже 4 класса, в донных отложениях отмечаются повышенные концентрации загрязняющих веществ (в первую очередь – нефтепродуктов и цинка). Наиболее загрязнённые водные объекты и их участки приурочены к центральной части города.

7. Для территории Хабаровска характерны природные аномалии радона, приуроченные к центральной и северной частям города. Уровень радиационного фона стабильный и соответствует естественному.

В группе физических факторов существенной нагрузкой на территории города отличается шумовое воздействие. Районы с напряжённой акустической обстановкой приурочены к транспортным потокам и узлам, более высокая плотность которых отмечается в центральной части города.

8. Наибольшая плотность территорий, занятых растительностью, наблюдается по периметру города, поэтому Краснофлотский и Железнодорожный районы имеют самые высокие уровни озеленённости.

Таким образом, техногенные нагрузки, уровни загрязнения компонентов окружающей среды и условия их восстановления по территории города Хабаровска распределены неравномерно. Отмечается приуроченность повышенных воздействий к районам выделенных техногенных геохимических аномалий.

Глава 4. Комплексная оценка и управление экологическим состоянием городских территорий (на примере г. Хабаровска)

4.1. Комплексная оценка экологического состояния территории города

В связи с реализацией государственных программ развития гражданского и промышленного строительства, формирования современной городской среды, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности особое значение приобретает выработка научно обоснованных подходов к созданию системы комплексной оценки экологического состояния территории, ориентированной на инженерно-экологические изыскания. Методологические подходы к такой оценке пока не отработаны.

Неравномерно распределённые по территории Хабаровска промышленные объекты, наличие радоноопасных зон и очагов загрязнения поверхностных и подземных вод, большая протяженность автомобильных дорог с недостаточной пропускной способностью, неудовлетворительное состояние некоторых рекреационных территорий определяют совокупность разнородных воздействий и мозаичность их распределения, что определяет необходимость разработки методологических подходов к комплексной оценке экологического состояния городской среды, позволяющей обобщить и наглядно интерпретировать данные инженерно-экологических изысканий, проводимых в связи с интенсивным строительством жилых микрорайонов.

При разработке методологических подходов к комплексной оценке экологического состояния урбанизированной территории был выбран природный подход. Для построения обобщающей функции применен метод нормирования и взвешивания, для определения весовых коэффициентов – экспертный метод. В качестве общих единиц измерения разных показателей вводятся баллы. Предлагаемый алгоритм такой оценки представлен на рисунке 4.1.

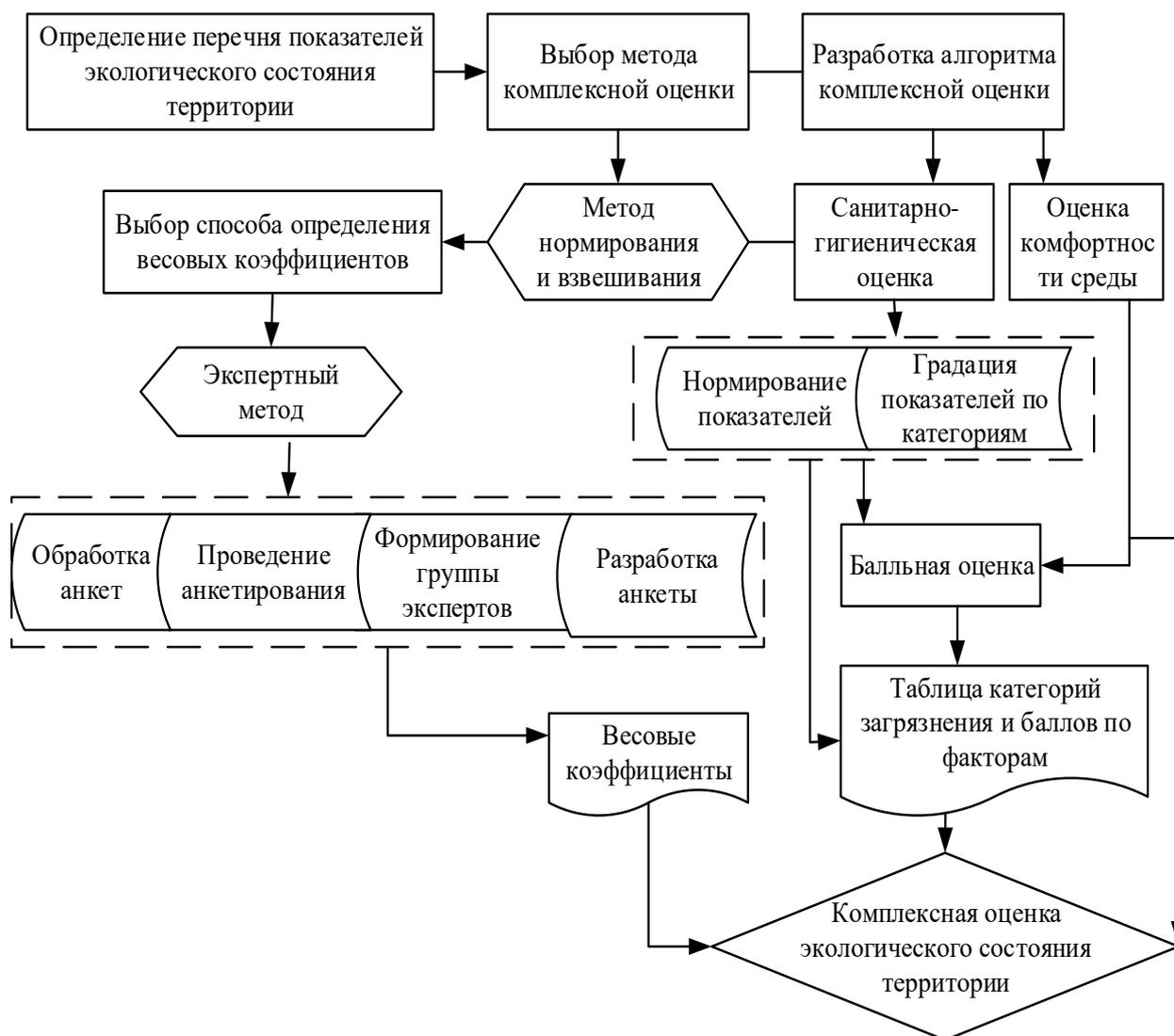


Рисунок 4.1. Алгоритм разработки методологических подходов к комплексной оценке экологического состояния городской территории

Методика определения весовых коэффициентов изложена в главе 2.

Рассматривались санитарно-гигиеническая оценка и оценка комфортности среды (рисунок 4.2).

Показатели, характеризующие экологическое состояние компонентов природной среды и физических воздействий, выбирались в соответствии с СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства». Одним из важных критериев выбора факторов была возможность влияния на них на уровне городской экологической политики. В связи с этим в рамках данного исследования не рассматривались такие параметры, как климатические

характеристики, проявления опасных природных и природно-антропогенных процессов, зоны с особым режимом природопользования.

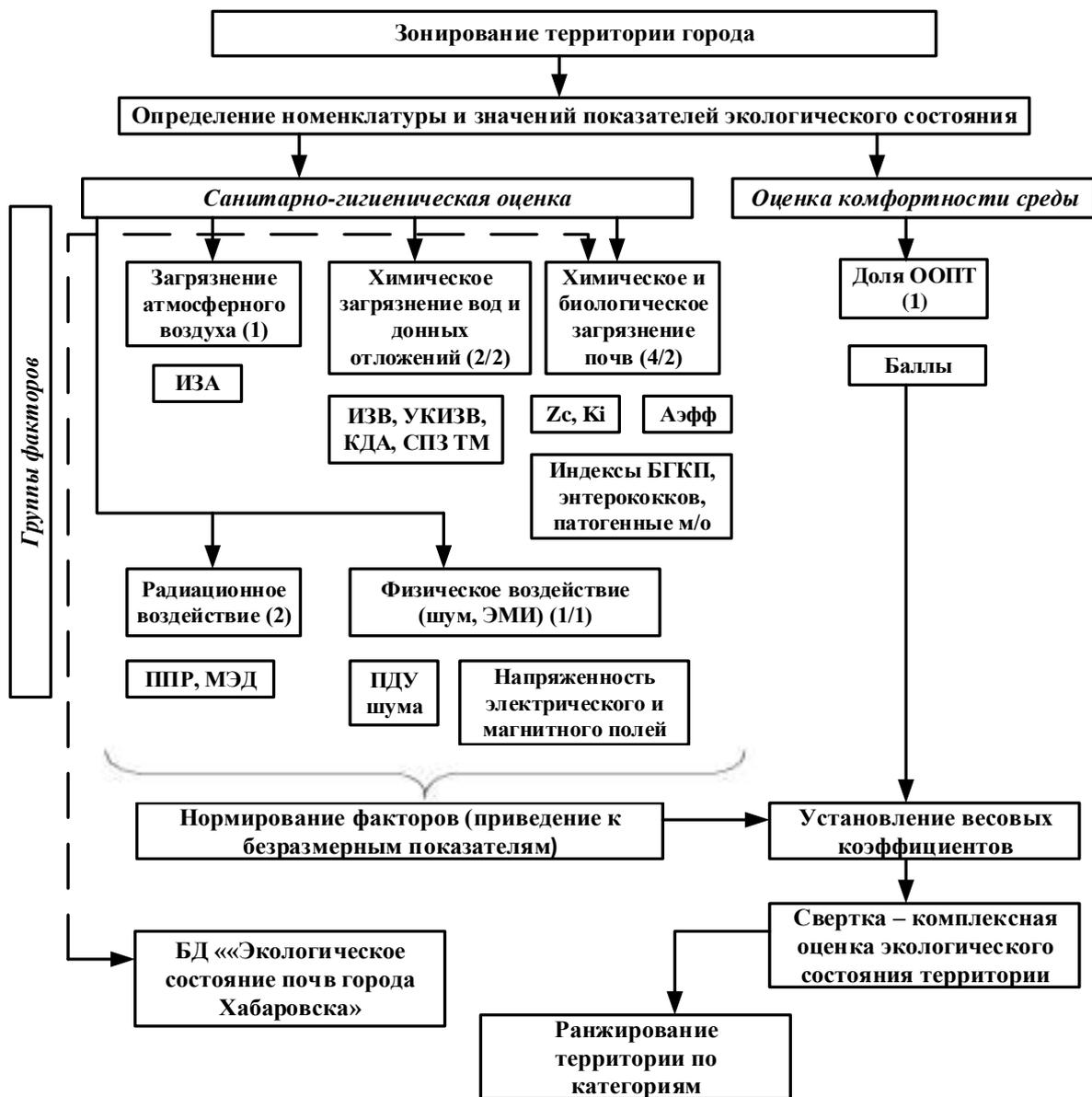


Рисунок 4.2. Алгоритм зонирования территории города

Стоит отметить, что в отличие от прочих факторов биологическое загрязнение водных объектов носит временный и трудно прогнозируемый характер и не всегда является следствием антропогенного влияния.

Выделено 16 показателей, объединенных в группы. Ранжирование территории по экологическому состоянию проведено с использованием балльных оценок

Весовые коэффициенты, установленные при обработке анкет, объединенные в группы, приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Расчётные весовые коэффициенты на учитываемые группы факторов

Исследуемый фактор	Весовой коэффициент ($\sum_i^n = 1,0$)
Химическое загрязнение почв	0,19
Биологическое загрязнение почв	0,10
Химическое загрязнение вод и донных отложений	0,14
Химическое загрязнение атмосферного воздуха	0,20
Радиационное воздействие	0,09
Физическое воздействие	0,11
Функции зелёных насаждений	0,17
Все рассматриваемые факторы	1,0

Расчитанные коэффициенты конкордации Кендалла (W) принимают значения 0,5–0,8, что указывает на умеренную согласованность мнений экспертов.

Каждому из 16 показателей присваивается балл: 1 – минимальное значение, фактор практически не оказывает негативного воздействия на урбоэкосистему, и 10 – максимальное значение, фактор оказывает значительное влияние на окружающую среду. Определение нормированного значения показателей и ранжирование интервала изменения факторов по категориям загрязнения выполнено в соответствии с актуальными нормативными документами. Выбранные показатели, нормативно-правовая база, ранжирование категорий экологического состояния городской территории и соответствующие баллы представлены в таблица 4.2.

Показатели, баллы и категории загрязнения

Компоненты среды	Номер	Показатели	Категории загрязнения и баллы (Д – «допустимая», У – «умеренно-опасная», О – «опасная», ЧО – «чрезвычайно опасная»)			
			Д	УО	О	ЧО
Почвы (СанПиН 1.2.3685-21)	1	Химическое загрязнение почвы неорганическими веществами (тяжелые металлы по Zc)	Д	УО	О	ЧО
			< 16	16-32	32-128	>128
			1	4	7	10
	2	Химическое загрязнение почвы органическими веществами (бенз(а)пирен)	Д	УО	О	ЧО
			< 2 ПДК	-	2 – 5 ПДК	>5 ПДК
			1	-	7	10
	3	Химическое загрязнение почвы нефтепродуктами	Д	УО	О	ЧО
			< 1000 мг/кг	1000 – 3000 мг/кг	3000 – 5000 мг/кг	>5000 мг/кг
			1	4	7	10
	4	Микробиологическое (бактериологическое) загрязнение (индексы БГКП (колиформы); индекс энтерококков; патогенные, в т.ч. сальмонеллы)	Д	УО	О	ЧО
			< 9 КОЕ/г	10 – 99 КОЕ/г	100 – 999 КОЕ/г	>1000 КОЕ/г
			1	4	7	10
	5	Радионуклиды в почвах (эффективная активность ЕРН) (ГОСТ 30108-94)	Д	УО	О	ЧО
			< 370	370-740	740-1350	>1350
			1	4	7	10
Донные отложения (СП 502.1325800.202 1, СанПиН 1.2.3685-21)	6	Химическое загрязнение донных отложений неорганическими веществами (тяжелые металлы по Zc)	Д	УО	О	ЧО
			< 16	16-32	32-128	>128
			1	4	7	10
	7	Химическое загрязнение донных отложений органическими веществами (бенз(а)пирен)	Д	УО	О	ЧО
			< 2 ПДК	-	2 – 5 ПДК	>5 ПДК
			1	-	7	10
	8	Химическое загрязнение донных отложений органическими веществами (нефтепродукты)	Д	УО	О	ЧО
			< 1000 мг/кг	1000 – 3000 мг/кг	3000 – 5000 мг/кг	>5000 мг/кг
			1	4	7	10
Подземные воды (СП 11-102-97)	9	Химическое загрязнение подземных вод (нитраты, фенолы, тяжелые металлы, СПАВ, нефть)	Д	УО	О	ЧО
			< 3 ПДК	3 – 10 ПДК	10 – 100 ПДК	>100 ПДК
			1	4	7	10

Окончание таблицы 4.2

Компоненты среды	Номер	Показатели	Категории загрязнения и баллы (Д – «допустимая», У – «умеренно-опасная», О – «опасная», ЧО – «чрезвычайно опасная»)					
			Д	УО	О	ЧО		
Поверхностные воды	10	Химическое загрязнение поверхностных вод (ИЗВ)	Д	УО	О	ЧО		
		Пресные воды	<1 1	1 – 4 4	4 – 10 7	>10 10		
		Морские воды	<0,75 1	0,75 – 1,75 4	1,75 – 5 7	>5 10		
Атмосферный воздух	11	Химическое загрязнение атмосферного воздуха (по ИЗА)	Д	УО	О	ЧО		
			< 5 1	5 - 7 4	7 - 14 7	>14 10		
Радиационное воздействие (МР 2.6.1.0361-24, СП 502.1325800.202 1)	12	Плотность потока радона с поверхности грунта – <u>максимальные уровни</u> , мБк/(м ² *с)	Д	УО	О	ЧО		
			<80 1	80 - 250 4	>250 7	- -		
	13	Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения - <u>максимальные уровни</u> , мкЗв/ч	Д	УО	О	ЧО		
			<0,3 1	0,3-0,6 4	>0,06 7	- -		
Физические факторы среды (СанПиН 1.2.3685-21)	14	Шумовое воздействие (сред. эквивалентные уровни звука), дБА	Д	УО	О	ЧО		
			<55 1	55 - 70 4	>70 7	- -		
	15	Электромагнитное излучение. Напряженность электрического поля кВ/м	Д	УО	О	ЧО		
			< 0,5 1	0,5 – 1,0 4	>1,0 7	- -		
Компоненты среды	Номер	Показатели	Категории загрязнения и баллы (Д – «допустимая», У – «умеренно-опасная», О – «опасная», ЧО – «чрезвычайно опасная»)					
Зелёные насаждения [Макаренко В.П., Жучков Д.В., 2021]	16	Степень озеленения территории городской территории, %	Очень высокий уровень	Высокий уровень	Средний уровень	Низкий уровень		
			>77	61-76	40-60	< 40		
			1	4	7	10		
Суммарная оценка состояния среды и ее компонентов, $x \cdot \frac{n}{16}$		<20	21-50	51-70	71-100	>100		
			< 2*	2,1-10*	10,1-20*	20,1-25*	>25*	
		Экологическая ситуация	Допустимая	Удовлетворительная	Напряженная	Критическая	Кризисная	
			n	- количество параметров, принятых к расчёту.				
			x	- значение точки шкалы ранжирования.				
*	- с учетом весовых коэффициентов							

Эксперты выделили как наиболее значимые факторы химическое загрязнение атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод, донных отложений. Итоговая сумма баллов характеризует экологическую ситуацию на исследуемой урбанизированной территории и ранжируется по 5

категориям: 20 и менее баллов – «допустимая», 21 – 50 баллов – «удовлетворительная», 51 – 70 баллов – «напряженная», 71 – 100 – «критическая», более 100 – «кризисная». После применения весовых коэффициентов шкала ранжирования принимает вид: 2,0 и менее баллов – «допустимая», 2,1 – 10,0 баллов – «удовлетворительная», 10,1 – 20,0 баллов – «напряженная», 20,1 – 25,0 – «критическая», более 25,1 – «кризисная».

При невозможности использования в оценке всех 16 показателей необходимо предусмотреть пересчёт шкалы ранжирования (таблица 4.2).

В рамках апробации разработанного метода была проведена комплексная оценка текущего экологического состояния территории города Хабаровска, охватывающая 5 административных районов (таблица 4.3).

Таблица 4.3

Комплексная оценка экологического состояния территории административных районов г. Хабаровска

Факторы		Административные районы города Хабаровска				
		Краснофлотский	Кировский	Центральный	Железнодорожный	Индустриальный
Химическое загрязнение почвы неорганическими веществами	балл	4	1	4	7	1
	Обоснование оценки	По максимальным значениям Zс тяжёлых металлов и мышьяка в почвах, составляющим:				
		20,1	10,3	16,4	36,8	13,1
Загрязнение почв бенз(а)пиреном	балл	1	7	7	7	1
	Обоснование оценки	По рассчитанным средним значениям, составляющим (мг/кг):				
		0,039	0,069	0,05	0,046	0,028
Загрязнение почв нефтепродуктами	балл	1	10	4	4	7
	Обоснование оценки	По выявленным аномалиям очень высокого загрязнения нефтепродуктов в почвах, мг/кг				
		746,4	6840	1173,8	1925	3979
Бактериологическое загрязнение почв	балл	1	1	1	1	1
	Обоснование оценки	По рассчитанным средним значениям, КОЕ/г				
		< 9	< 9	< 9	< 9	< 9
Радионуклиды в почвах	балл	1	1	1	1	1
	Обоснование оценки	Максимальные значения эффективной активности ЕРН				
		< 370	< 370	< 370	< 370	< 370

Продолжение таблицы 4.3

Химическое загрязнение донных отложений неорганическими веществами	балл	1	1	1	1	1
	Обоснование оценки	По выявленным максимальным значениям Z_c в донных отложениях				
		<16	<16	<16	<16	<16
Химическое загрязнение донных отложений органическими веществами (бенз(а)пирен)	балл	1	1	1	1	1
	Обоснование оценки	По максимальным содержаниям бенз(а)пирена в донных				
		р. Берёзовая (1-2 ПДК)	по данным коллекторных ручьёв (1-2 ПДК)	р. Чёрная, р. Гнилая падь (1-2 ПДК)	р. Красная речка (< 1 ПДК)	
Загрязнение донных отложений нефтепродуктами	балл	1	10	1	10	1
	Обоснование оценки	По выявленным аномалиям очень высокого загрязнения				
		до 1000	14190	до 1000	36416	до 1000
Химическое загрязнение подземных вод	балл	1	10	1	1	1
	Обоснование оценки	По уровням ПДК загрязняющих веществ в подземных водах				
		< 3 ПДК	Более 100 ПДК по НП	< 3 ПДК	< 3 ПДК	< 3 ПДК
Химическое загрязнение поверхностных вод (пресных)	балл	7	10	10	7	4
	Обоснование оценки	По уровням ИЗВ основных малых рек, водосборы которых расположены по территориям районов				
		р. Берёзовая (ИЗВ = 4,5)	по данным коллекторных ручьёв (ИЗВ = 7)	р. Чёрная, (ИЗВ = 5)	р. Красная речка (ИЗВ = 4)	
Химическое загрязнение атмосферного воздуха	балл	1	1	1	4	1
	Обоснование оценки	По уровням ИЗА постов и положению относительно основных стационарных источников загрязнения				
		на достаточном расстоянии (2-5 км)	по данным ПНЗ № 2 (ИЗА=3,7)	по данным ПНЗ № 5 (ИЗА=4,5)	по данным ПНЗ № 3 (ИЗА=5,3)	по данным ПНЗ № 6 (ИЗА=2,8)
Плотность потока радона с поверхности грунта, мБк/(м ² *с)	балл	1	4	4	1	1
	Обоснование оценки	По средним значениям максимальных уровней ППР, мБк/(м ² *с)				
		47,9	83,1	111,2	53,5	45
Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения, мкЗв/ч	балл	1	1	1	1	1
	Обоснование оценки	По средним значениям максимальных уровней МЭД ГИ, мкЗв/ч				
		0,109	0,128	0,139	0,142	0,128
Шумовое воздействие	балл	1	4	4	4	4
	Обоснование оценки	По средним значениям средних эквивалентных уровней звука, дБА				
		51,9	56,3	55,4	55,6	55,7
Электромагнитное излучение	балл	1	1	1	4	1
	Обоснование оценки	По средним значениям максимальных уровней напряжённости электрических полей, В/м				
		186,4	46,57	13,2	573,9	247,7
Степень озеленения территории городской территории, %	балл	7	7	4	4	7
	Обоснование оценки	Уровень озеленённости составил (в %)				
		59,28	55,99	64,73	69,1	48,23

Суммарная оценка состояния среды и ее компонентов по общей сумме баллов учитываемых факторов	Сумма баллов	31	70	46	58	34
	Экологическая ситуация	Удовлетворительная	Напряженная	Удовлетворительная	Напряженная	Удовлетворительная
Суммарная оценка состояния среды с учетом весовых коэффициентов учитываемых факторов	Итоговый балл с учетом весовых коэффициентов	4,7	10,5	6,9	9,0	5,1
	Экологическая ситуация с учетом весовых коэффициентов	Удовлетворительная	Напряженная	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Удовлетворительная

Для комплексной оценки состояния окружающей среды использованы результаты исследований почв, поверхностных вод, донных отложений (малые реки города), выполненных в рамках инженерно-экологических изысканий и НИР ООО «Изыскания ДВ» (генеральный директор Кошельков А.М.) и ТОГУ, а также фондовые материалы, данные государственных докладов о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края, открытые данные Росгидромета, действующие нормативные документы.

Комплексный анализ экологических факторов позволил сформировать целостное представление о состоянии атмосферного воздуха, водных объектов, почвенного покрова и воздействия физических факторов в каждом из административных районов города. Показано, что в Кировском районе экологическая ситуация характеризуется как «напряженная», в остальных – «удовлетворительная».

Методика апробирована в городах Комсомольск-на-Амуре и Благовещенск.

К достоинствам предлагаемого методологического подхода можно отнести следующее: учёт воздействия большого количества разнородных факторов, унификация параметров в виде балльных оценок, доступность

получения исходных данных, соответствие учитываемых факторов работам в составе инженерно-экологических изысканий, возможность масштабирования от оценки отдельных земельных участков до целых городов, простота вычислений, возможность быстрого реагирования на изменение нормативной базы и определения весовых коэффициентов индивидуально для различных населенных пунктов.

Недостатки – типовые для экспертного метода определения весовых коэффициентов: субъективизм оценок, необходимость тщательного выбора числа экспертов в соответствии с их квалификацией.

Дальнейшие исследования в этом направлении будут ориентированы на выбор наиболее адекватного для рассматриваемых условия метода определения весовых коэффициентов, а также в направлении возможности применения усовершенствованного показателя рассеивающей способности атмосферы (УМПА), как инструмента для учёта климатических характеристик урбанизированных территорий.

4.2. Разработка базы данных «Экологическое состояние почв города Хабаровска»

Коллективом авторов (Бархатов К.А., Майорова Л.П., Кошельков А.М.) на основании полученных Кошельковым А.М. данных о загрязнении почв города создана база данных (БД) «Экологическое состояние почв города Хабаровска» (Свидетельство о государственной регистрации БД № 2024624705 от 10.10.24).

Цель разработки БД:

- создать инструмент обработки, визуализации и анализа пользовательских баз данных в рамках экологического мониторинга компонентов природной среды;
- организовать блок проведения инженерных расчетов в одной специализированной среде, обеспечить графическую визуализацию и аналитический анализ фондовых данных.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что на сегодняшний день ограничены простые и надежные инструменты для визуализации, структуризации и анализа фондовых данных. Практическая значимость разработки: БД может быть использована изыскательскими и проектными организациями, муниципальными структурами, экологическими службами, а также в учебном процессе.

БД разработана в соответствии со следующими принципами:

1. Достоверности сведений и возможности их проверки.
2. Полноты сведений, что обеспечивается возможностью значительного расширения информационного поля и детального описания объектов.
3. Непрерывности ведения, предусматривающей пополнение и обновление сведений, вносимых в базу.
4. Доступности за счет систематизации представленных данных, понятной широкому кругу пользователей.
5. Каскадности, обеспечивающей последовательные выборки из ранее сделанных выборок.
6. Экономичности ведения, реализующейся вследствие постоянного совершенствования и автоматизации получения и обработки данных.

Основной функционал программы составлен в соответствии с требованиями СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства».

БД разработана в среде Excel с применением стандартных функций программы и макросов на языке VBA. Выбранная платформа является универсальной и не требует для работы установки дополнительных программ и плагинов. Для выполнения задач основной инструментальной создается при помощи встроенных функций самого Excel, что делает его простым и удобным в доработке под задачи потребителя.

По системным требованиям БД была протестирована на операционных системах от Windows XP до Windows 10, проблем в работе базы данных не

отмечено. Принципиальная структура обработки данных в БД представлена на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3. Структурная схема обработки данных в базе данных

Исходные данные. Это массив данных, загружаемый пользователем.

Сведение координат. Так как разработанная БД предоставляет функционал графической визуализации данных на различных картах (Google, OSM, Bing), для корректной работы программы (правильного отображения) необходимо задать географические координаты точки в правильном формате. Для удобства пользователя в программу встроен конвектор координат из географической системы координат в десятичную и наоборот. Программа работает на десятичной системе координат.

Сведение данных. В программе работает одновременно два основных модуля, графический и расчетный. Графический модуль отвечает за визуализацию данных на картах, расчетный просчитывает показатели для анализа выбранных значений. После ввода значений и координат программа в автоматическом режиме сопоставляет точки со значениями и сводит в единый массив, который не доступен для корректировки пользователю.

Проверка значений. Обеспечивает защиту пользователя от расчетных ошибок в работе программы. Перед загрузкой введенных значений в конечный массив данных происходит проверка значений и координат на грубые ошибки, такие как: пустые поля, отрицательные координаты, формат данных. Если введенные концентрации тяжелых металлов превышают ПДК/ОДК более чем в 100 раз, программа выдаст ошибку и попросит подтвердить введенные данные.

На рисунке 4.4 представлено главное окно базы данных, и главный экран с блоками. Рисунки 4.5–4.10 демонстрируют возможности БД.

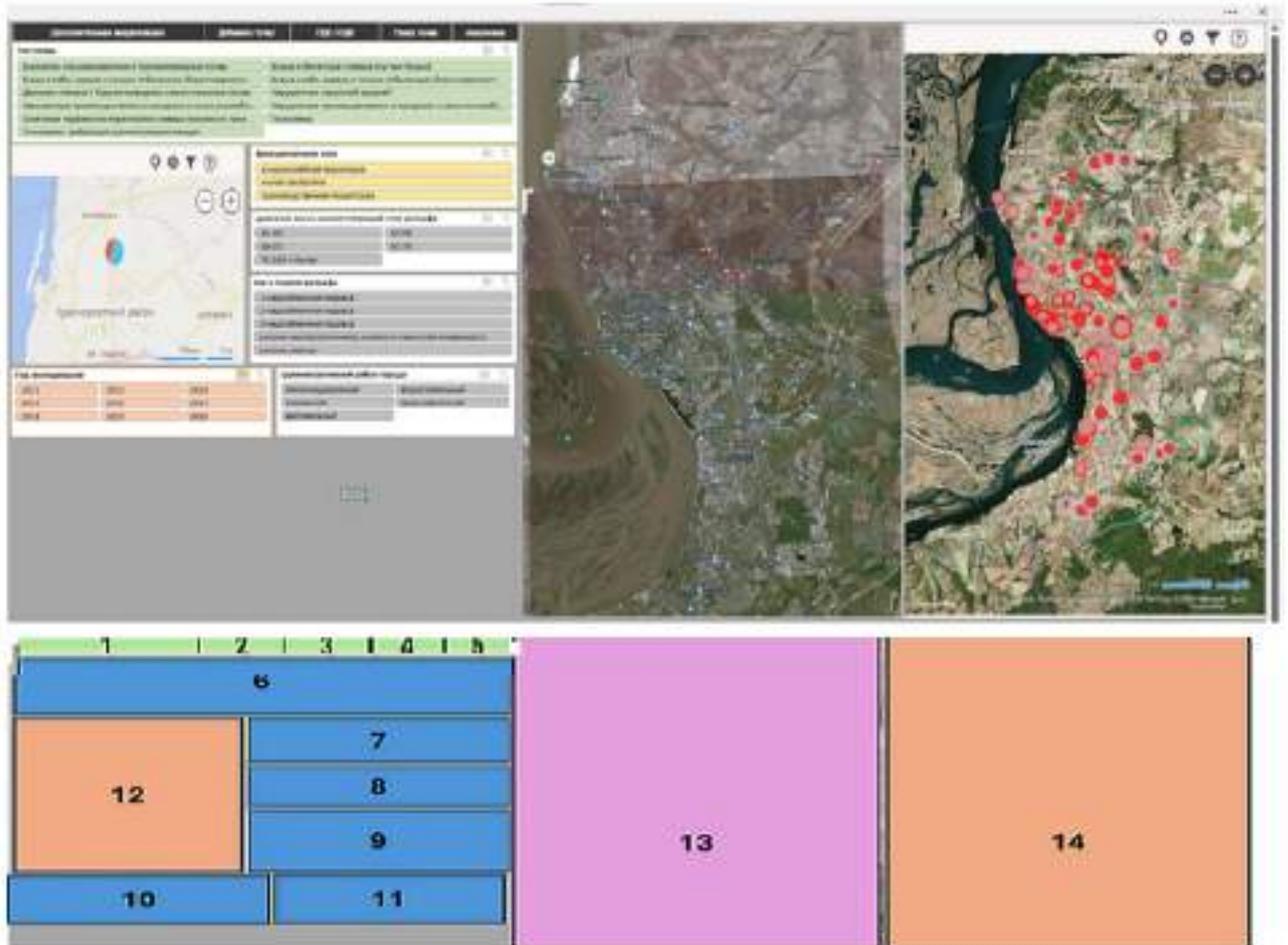


Рисунок 4.4. Главный экран базы данных. Блоки: 1 – «Дополнительная визуализация»; 2 – «Добавить точку»; 3 – «ПДК/ОДК»; 4 – «Поиск точек»; 5 – «Аналитика». 6 – 11 – фильтры данных для формирования пользовательских выборок по обширному набору параметров (6 – «Тип почв», 7 – «Функциональные зоны», 8 – «Диапазон высот, соответствующий типу рельефа», 9 – «Тип и подтип рельефа», 10 – «Год исследования», 11 – «Административный район города»); 12 – карта OSM для поиска точек; 13 – спутниковая карта Яндекс, на которой отображаются выбранные точки и их показатели, работает в автономном режиме и не требует подключения к Интернету; 14 – карта OSM для графической визуализации выборок.

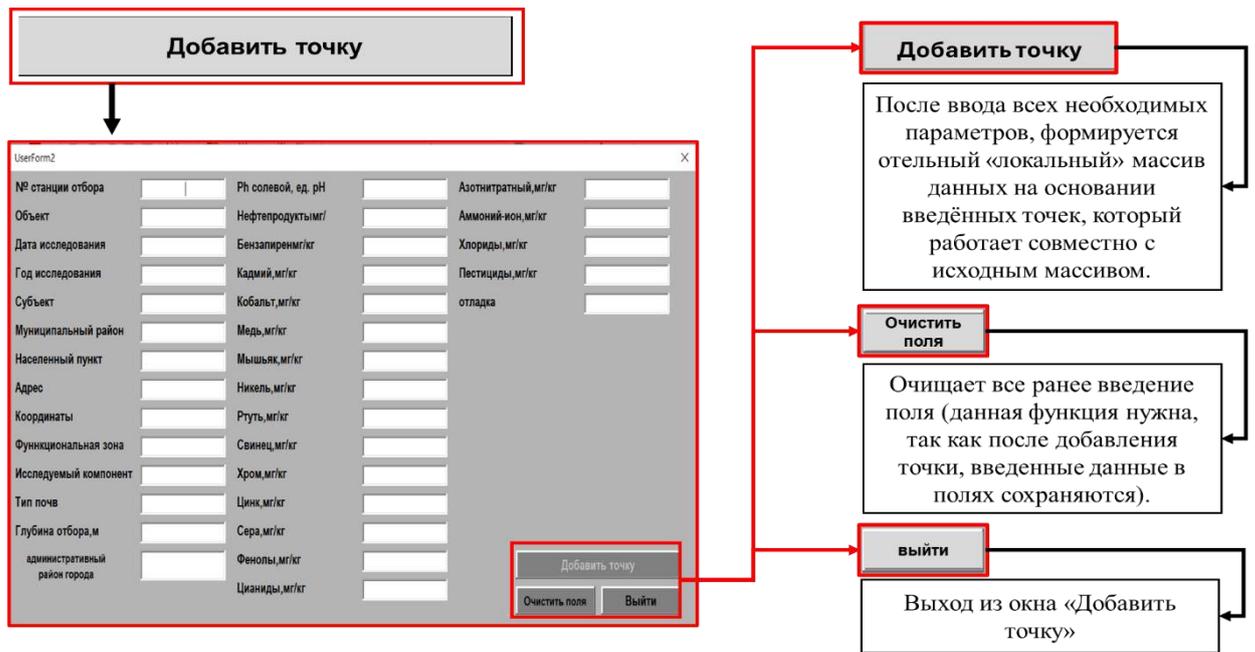


Рисунок 4.5. Схема работы блока 2 «Добавить точку»

Все добавленные точки сохраняются в локальный пользовательский массив данных. Введенные данные перед включением в итоговый массив также проходят проверку, описанную ранее. В программе есть возможность отключить как пользовательский массив, так и исходный для различного рода задач.



Рисунок 4.6 – Схема работы блока 3 «ПДК/ОДК»

В таблице представлены значения ПДК и ОДК нормируемых показателей для дальнейшей аналитики и расчета Z_c загрязнения тяжелыми металлами и As. Таблица открыта для редактирования, пользователь может менять как существующие поля, так и добавлять новые нормативные показатели. В исходном варианте значения ПДК и ОДК приняты в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21.

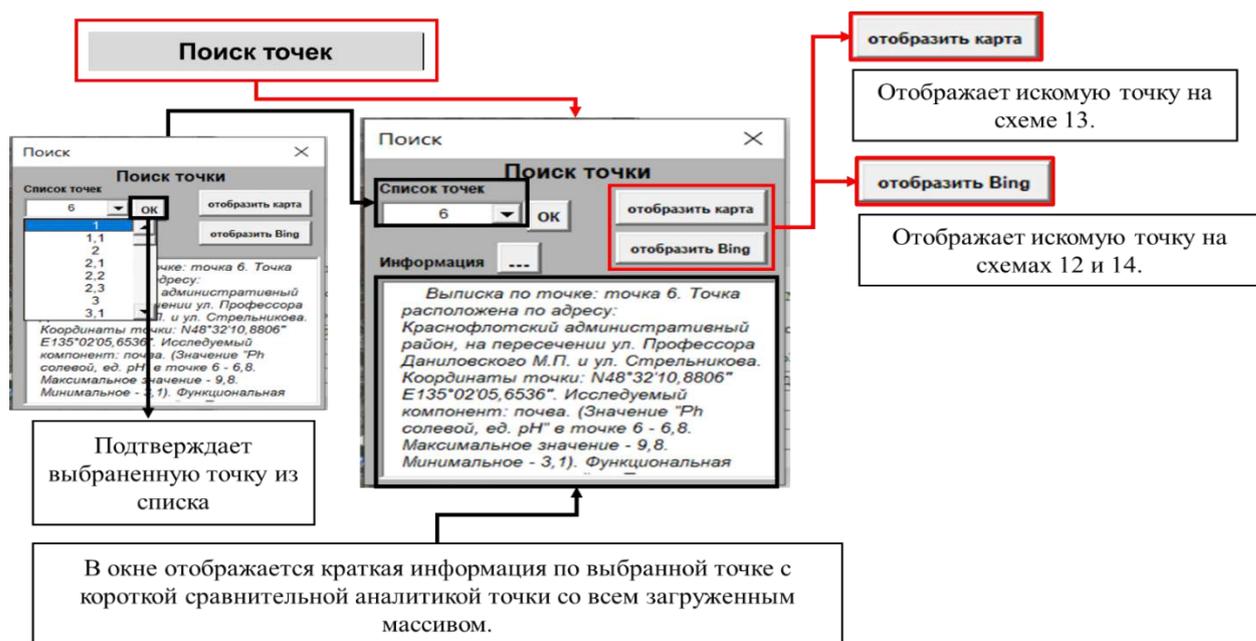


Рисунок 4.7. Схема работы блока 4 «Поиск точек»

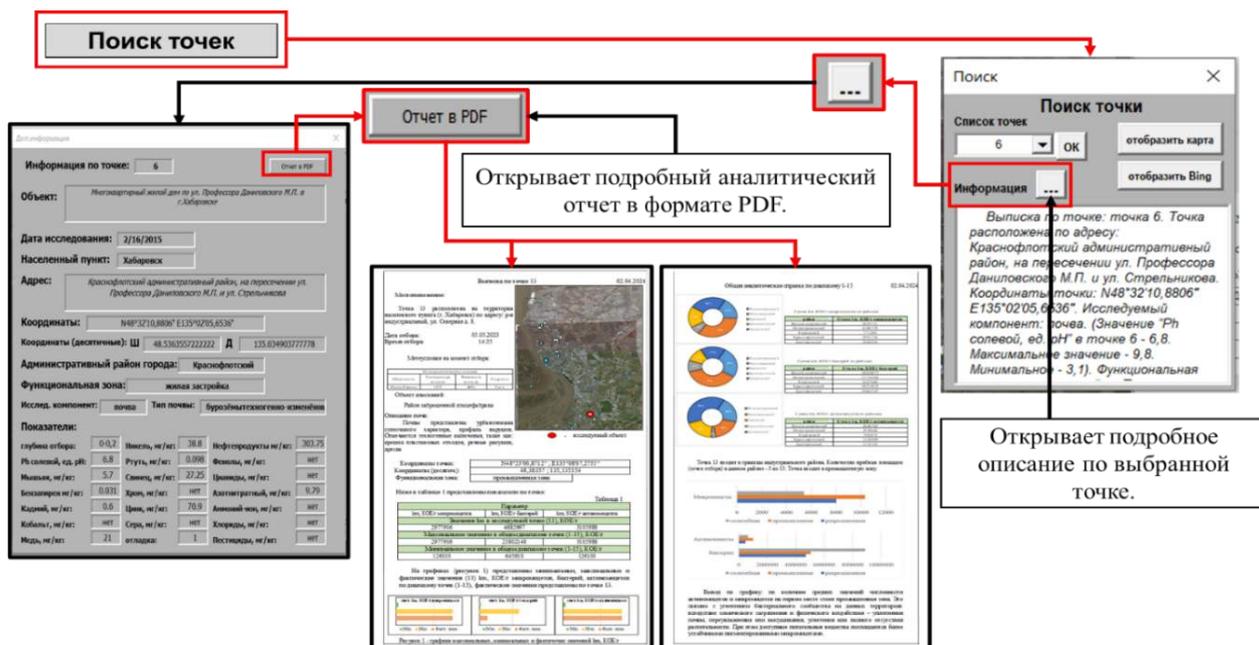
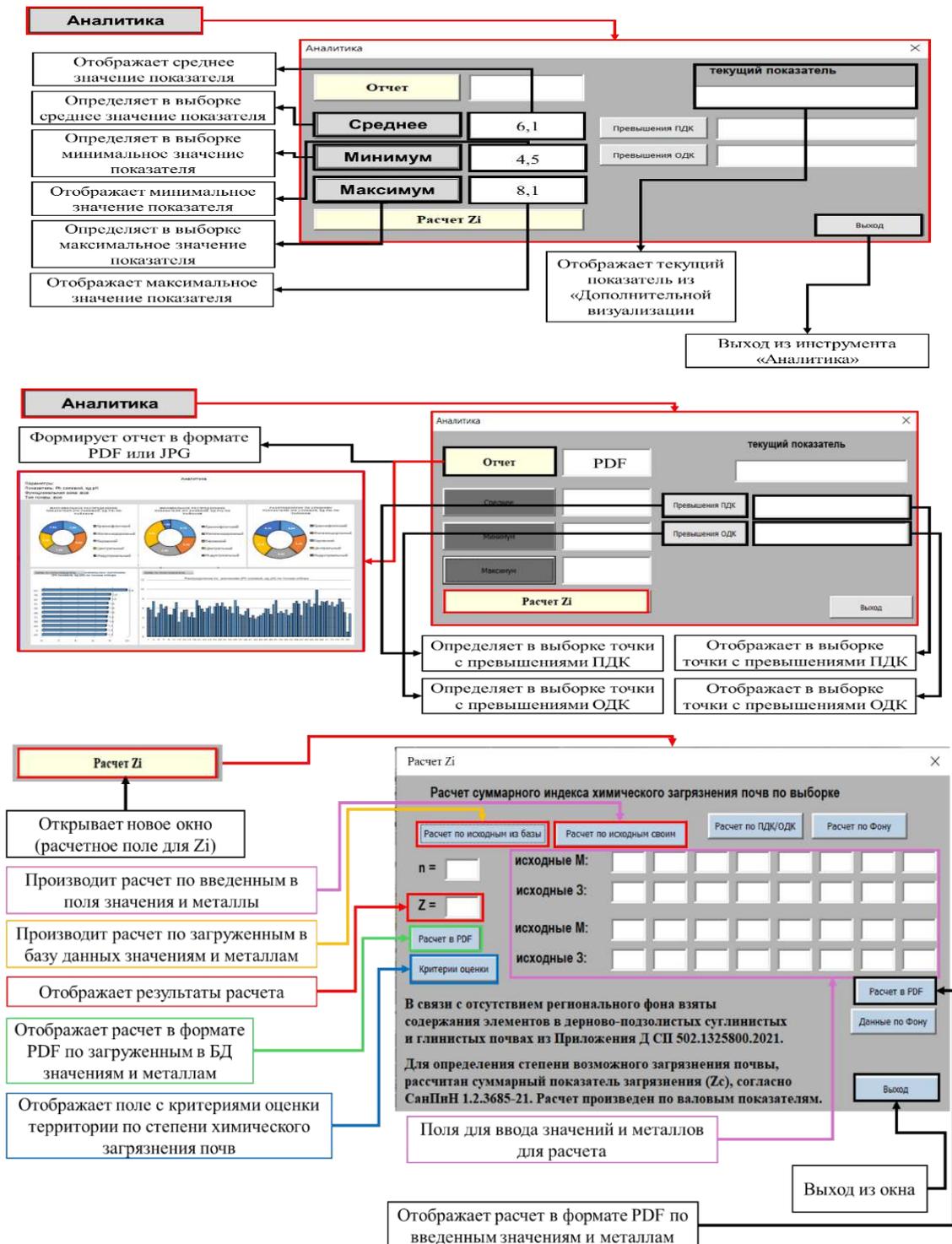


Рисунок 4.8. Схема работы блока 4 «Поиск точек»

«Поиск точек» представляет собой кнопку, открывающую инструмент для поиска интересующих точек с подробной информацией по ним. Кнопка открывает дополнительный функционал для отображения введенной точки на блоках 12,13,14. Также в данном функционале присутствует инструмент для создания отчета в формате PDF.



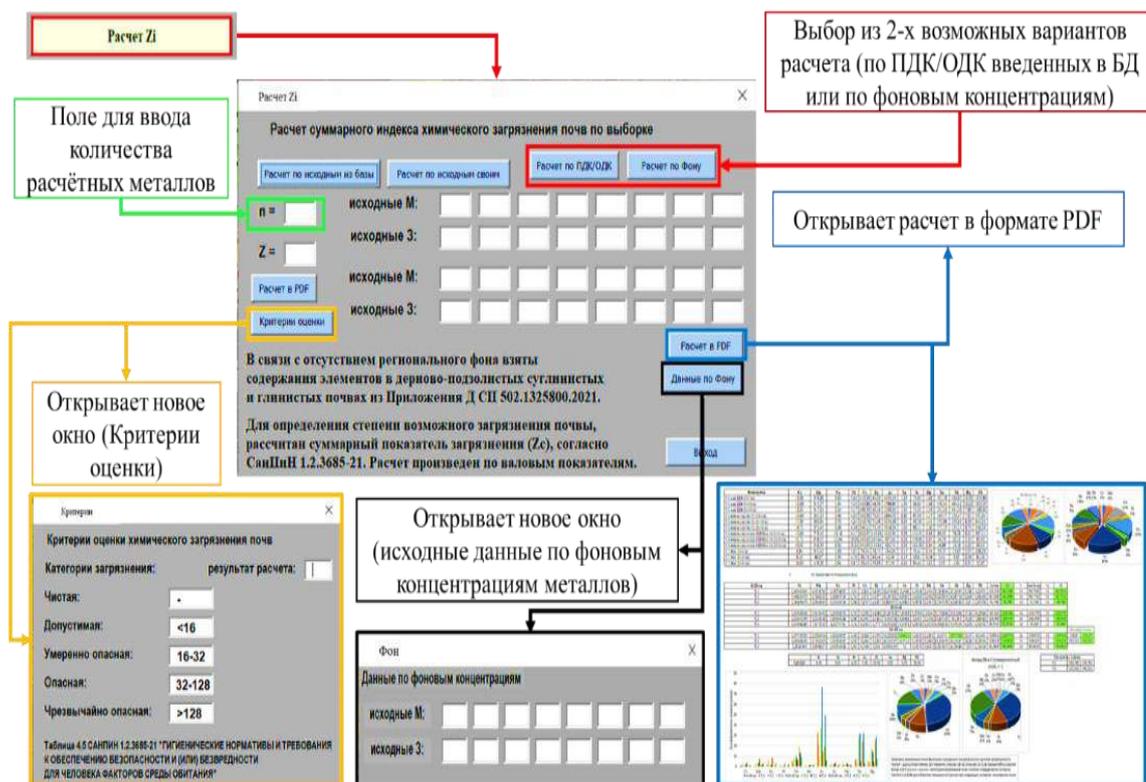


Рисунок 4.9. Схемы работы блока 5 «Аналитика»

В этом модуле предлагается рассчитать суммарный индекс химического загрязнения почв ТМ и Аs, отразить максимальные, средние и минимальные значения показателей и превышения ПДК/ ОДК в выборке. Результатом анализа является отчет в формате PDF.

Фильтры данных предназначены для формирования пользовательских выборок по обширному набору параметров, таких как: Тип почв; Функциональная зона; Диапазон высот, соответствующий типу рельефа; Тип и подтип рельефа; Год исследования; Административный район города.

Фильтры данных работают совместно со всеми выбранными параметрами, в случае если, точка не удовлетворяет одному выбранному параметру, она исключается из вариантов возможных фильтров по следующим параметрам. Визуализация данных возможна на картах Яндекс и OSM (рисунки 4.11, 4.12).

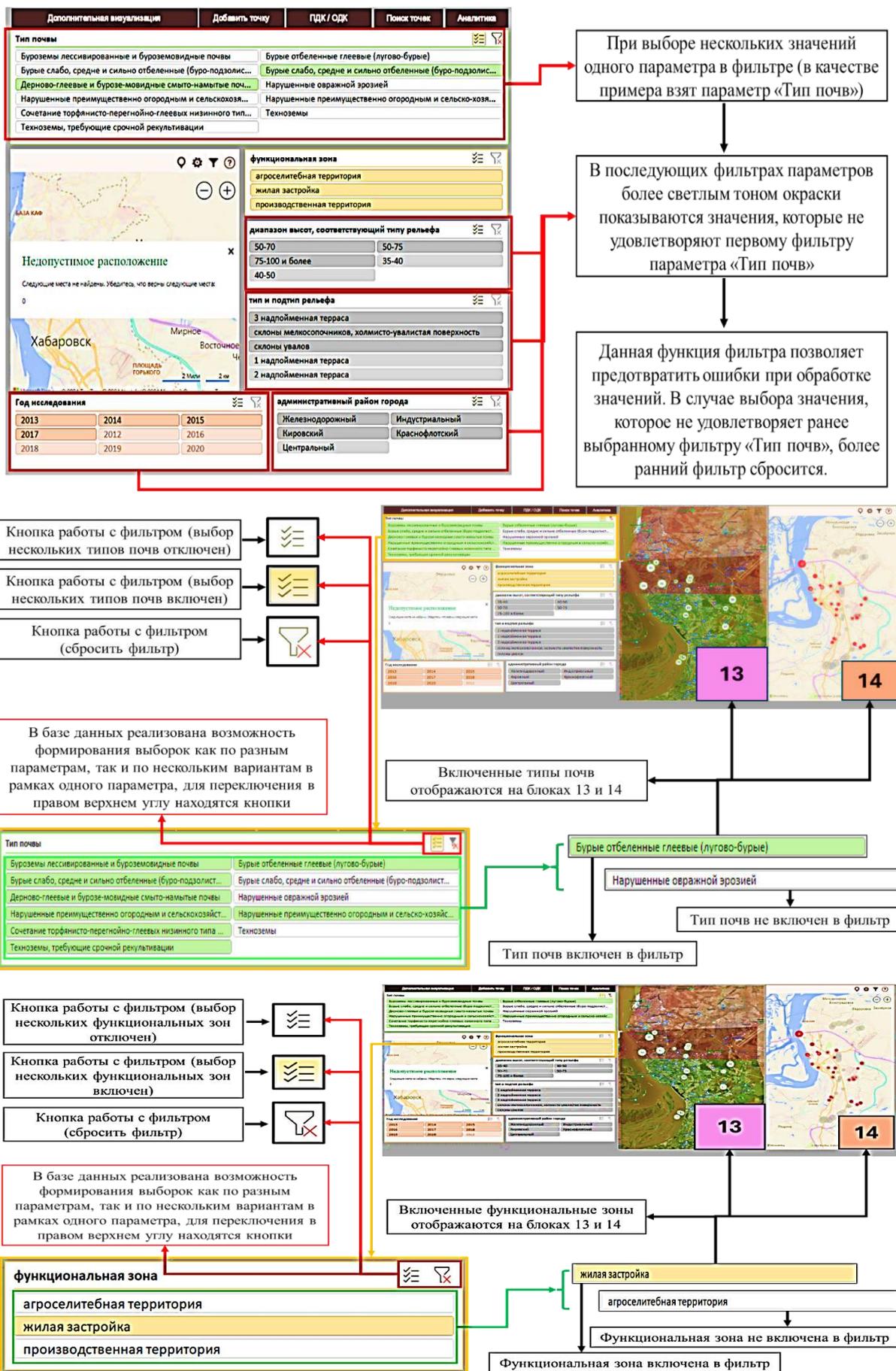


Рисунок 4.10. Общая схема работы фильтров данных



Рисунок 4.11. Схема работы блока 13 «Карта Яндекс»

На карте отображаются выбранные точки и их показатели. Работает в автономном режиме и не требует подключения к Интернету. К основным преимуществам данной схемы, помимо автономности, относится гибкая система кастомизации и настройки. Основным минусом схемы является невозможность масштабировать изображение, так как схема является картинкой в формате JPG. Данный минус исключен в блоке 14.

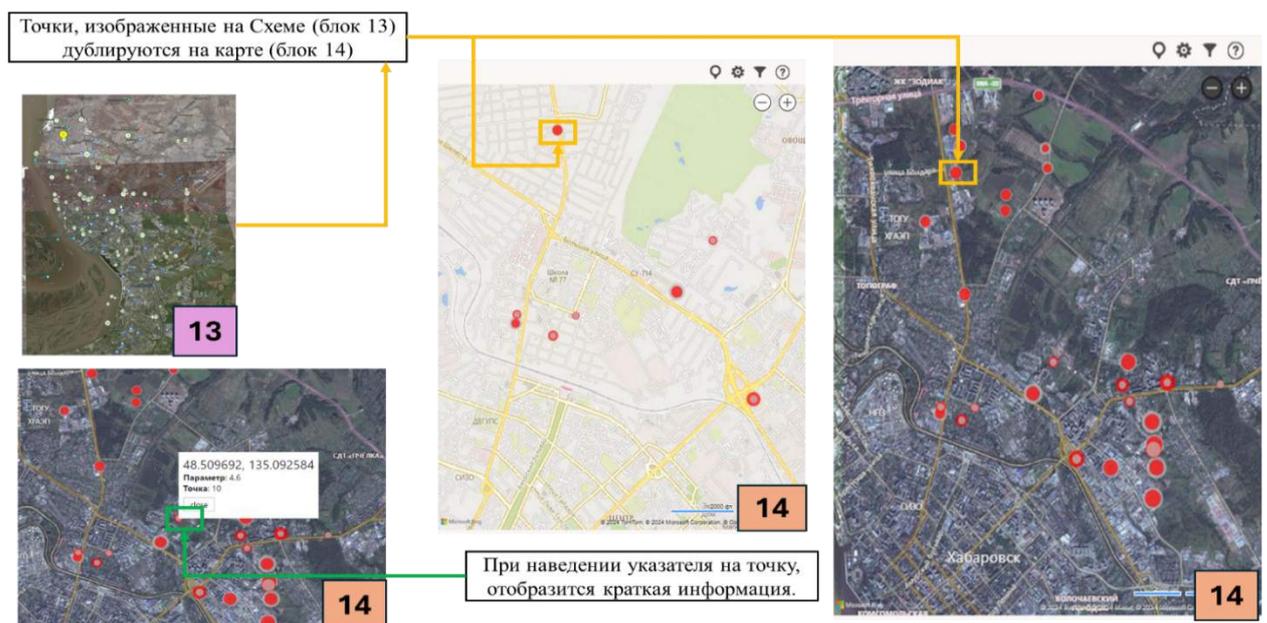


Рисунок 4.12. Схема работы блока 14 «Карта OSM для графической визуализации выборок»

На карте отображаются (дублируются) точки. Основными достоинствами карты являются: возможность масштабировать; просматривать в реальном времени расположения точек; вывод на карте размера маркера, который отражает величину показателя; возможность переключаться между двумя подложками карты OSM и Спутник. К недостаткам данной карты относятся: невозможность использовать карту без подключения к сети Интернет, на карте из-за возможных проблем с совместимостью ограничено количество одновременно отображаемых точек (максимально – 100).

Выводы по главе 4

1. Завершающая глава диссертации обобщает результаты исследований факторов, влияющих на экологическое состояние урбанизированных территорий. Для каждого из них определена степень вклада в общую сумму воздействий, что даёт возможность объективно провести оценку и установить экологическую ситуацию на урбанизированной территории.

2. Предложен простой и понятный алгоритм разработки методологических подходов к комплексной оценке экологического состояния урбанизированной территории, апробированный на 5 административных районах г. Хабаровска. Показано, что в Кировском районе экологическая ситуация характеризуется как *«напряженная»*, в остальных – *«удовлетворительная»*.

3. БД ««Экологическое состояние почв города Хабаровска» разработана на базе Excel с применением стандартных функций программы и макросов на языке VBA. Сочетает накопление и хранение систематизированных данных по химическому, радиологическому и санитарно-эпидемиологическому загрязнению почв, привязанных в пространстве к координатам, функциональным зонам, административным районам города и рельефу. Позволяет осуществлять каскадные выборки, выполнять анализ и визуализацию данных. БД может быть использована изыскательскими и проектными организациями, муниципальными структурами, экологическими службами, а также в учебном процессе

ВЫВОДЫ

1. Большая часть естественных почв на территории Хабаровска в разной степени нарушена или заменена антропогенными образованиями преимущественно суглинистого состава. Климатические особенности города в сочетании с расположением основных источников загрязнения определяют аэрогенный привнос ЗВ, характер их распределения и накопления в почвах. Орографические условия также способствуют миграции и аккумуляции ЗВ в пределах водосборов малых рек и ручьев.

2. На территории города выявлены локальные зоны загрязнения почв нефтепродуктами, бенз(а)пиреном, тяжелыми металлами и мышьяком. Уровень загрязнения атмосферного воздуха оценивается как «высокий». Класс загрязнения воды малых рек и ручьев (по ИЗВ) изменяется от 4 до 7. В донных отложениях отмечены повышенные концентрации нефтепродуктов и цинка. Физические факторы оказывает локальное воздействие на экологическое состояние городской среды. Идентифицированы три устойчивые техногенные геохимические аномалии (северная, центральная и южная), приуроченные к промышленным узлам, транспортной и энергетической инфраструктуре. Функциональные зоны города и административные районы существенно отличаются по уровням загрязнения компонентов среды и воздействиям, что затрудняет общее восприятие экологической ситуации и требует внедрения комплексной экологической оценки.

3. При разработке методологических подходов к комплексной оценке экологического состояния урбанизированных территорий приняты природный подход и ориентация на инженерно-экологические изыскания. Для построения обобщающей функции применен метод нормирования и взвешивания, для определения весовых коэффициентов – экспертный метод. Ранжирование территории по экологическому состоянию проведено с использованием балльных оценок. В Кировском районе города экологическая ситуация характеризуется как «напряженная», в остальных – «удовлетворительная».

Алгоритм метода прост и понятен, учитывает достаточно большое количество факторов, может использоваться для отдельных участков и городских территорий (апробирован для городов Комсомольск-на-Амуре и Благовещенск).

4. БД «Экологическое состояние почв города Хабаровска» разработана в среде Excel с применением стандартных функций программы и макросов на языке VBA. Содержит сведения о химическом, радиологическом и санитарно-эпидемиологическом загрязнении почв. Позволяет проводить различные выборки, аналитическую обработку данных и их визуализацию, отражать точки отбора проб на картах. БД может быть использована при изысканиях, принятии решений о развитии территории, в учебном процессе.

Предложенные подходы и полученные результаты соответствуют «Стратегии экологической безопасности Российской Федерации», «Экологической доктрине» и критическим технологиям, утверждённым Указом Президента РФ от 18.06.2024 № 529.

Список литературы

1. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях [Текст] / Ю. В. Алексеев. – Ленинград : Агропромиздат, 1987. – 142 с.
2. Агапкина, Г. И. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Москвы [Текст] / Г. И. Агапкина, П. А. Чиков, А. А. Шелепчиков, Е. С. Бродский, Д. Б. Фешин, Н. Г. Буханько, С. П. Бадашова // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2007. – № 3. – С. 38-47.
3. Айдинов, Г. Т. Химическое загрязнение почв города Таганрога как фактор риска для здоровья населения [Электронный ресурс] / Г. Т. Айдинов, Б. И. Марченко, Л. А. Дерябкина, Ю. А. Синельникова // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskoe-zagryaznenie-pochv-goroda-taganroga-kak-faktor-riska-dlya-zdorovya-naseleniya> (дата обращения: 03.09.2021).
4. Алексеенко, В. А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов [Текст] : монография / В. А. Алексеенко, А. В. Алексеенко. – Ростов н/Д. : Изд-во Южного федерального университета, 2013. – 380 с.
5. Амирова, З. К. Мониторинг стойких органических соединений и полиароматических углеводородов в почвах индустриального, рекреационного и селитебного назначения города Уфы [Текст] / З. К. Амирова, Л. Н. Белан, А. У. Валиулина, Л. Р. Шамсутдинова, Л. Р. Сайтова, А. А. Хакимова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 5. – С. 9-15.
6. Антропогенные почвы (генезис, география, рекультивация) [Текст] : учебное пособие / М. И. Герасимова, М. Н. Строганова, Н. В. Можарова, Т. В. Прокофьева ; под ред. акад. РАН Г. В. Добровольского. – Москва ; Смоленск : Ойкумена, 2003. – 268 с.

7. Архипов, А. Е. Оценка загрязнения тяжёлыми металлами и мышьяком почв города Комсомольск-на-Амуре / Е. А. Архипов, А. М. Кошельков, И. В. Гладун // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 28, № 6. – С. 42-49.

8. Архипова, И. В. Эколого-географическое картографирование в градостроительном проектировании муниципального уровня [Текст] / И. В. Архипова, В. Г. Ведухина // ИнтерКарто/ИнтерГИС-17 Устойчивое развитие территорий : теория ГИС и практический опыт : материалы международной научной конференции. – Барнаул – Денпасар: [Б. и.], 2011. – Т. 17. – С. 254-258.

9. Баканов, А. И. Мониторинг качества донных отложений Верхней Волги в пределах Ярославской области по зообентосу [Текст] / А. И. Баканов // Биология внутренних вод. – 2003. – № 3. – С. 72-81.

10. Баранов, Ю. Г. Методы принятия управленческих решений [Текст] / Ю. Г. Баранов. – Псков : ПГУ, 2013. – 176 с.

11. Бархатов, К. А. Создание специализированного программного обеспечения для экологов «Изыскатель - ДВ» [Текст] / К. А. Бархатов, А. М. Кошельков // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур : материалы XII научно-практической конференции с международным участием, Хабаровск, 24 апреля 2023 г. – Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2023. – Вып. 12. – С. 172-175.

12. Безуглая, Э. Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах: результаты экспериментальных исследований [Текст] / Э. Ю. Безуглая. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1986. – 199 с.

13. Безуглая, Э. Ю. Чем дышит промышленный город [Текст] / Э. Ю. Безуглая, Г. П. Расторгуева, И. В. Смирнова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. – 256 с.

14. Бигалиев, А. Б. К вопросу о патогенном действии бензапирена, как загрязнителя окружающей среды (обзор) [Электронный ресурс] / А. Б. Бигалиев, А. В. Синтюрина, З. М. Бияшева // Вестник КазНУ. Серия экологическая. – 2009. – № 1 (24). – URL: <http://rmebrk.kz/journals/1126/38251.pdf> (дата обращения: 24.08.2023).

15. Биоклимат города [Электронный ресурс]. – URL: <https://ecoimpact-ple.com/en/documents/2564.html> (дата обращения: 10.05.2023).

16. Битюкова, В. Р. Оценка экологической ситуации в России с использованием метода потенциальных поверхностей антропогенного воздействия [Текст] / В. Р. Битюкова, С. Г. Сафронов // Региональные исследования России. – 2015. – № 4. – С. 367-377. – DOI: 10.1134/S2079970515040048.

17. Битюкова, В. Р. Новый подход к методике районирования состояния городской среды (на примере Москвы) [Текст] / В. Р. Битюкова // Известия РГО. – 1999. – Т. 131, Вып. 2. – С. 42-49.

18. Битюкова, В. Р. Принципы и методы комплексной оценки экологического состояния городской среды [Текст] / В. Р. Битюкова // Проблемы урбанизации на рубеже веков / под ред. А. Г. Махровой. – Смоленск : Ойкумена, 2002. – С. 189-198.

19. Битюкова, В. Р. Социально-экологические проблемы развития городов России [Текст] / В. Р. Битюкова. – 2-е изд., испр. – Москва : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 448 с.

20. Богданов, Н. А. Анализ микроэлементного состава почвогрунта при диагностике изменчивости состояния урбанизированных территорий [Текст] / Н. А. Богданов, А. Н. Бармин, М. М. Иолин // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 4. – С. 76-81.

21. Большаков, В. А. Аэрогенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация [Текст] / В. А. Большаков, Н. М. Краснова, Т. И. Борисочкина, С. Е. Сорокин, В. Г. Граковский. – Москва : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1993. – 90 с.

22. Бреховских, В. Ф. Тяжелые металлы в донных отложениях Верхней и Нижней Волги [Текст] / В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова, Д. Н. Катунин [и др.] // Водные ресурсы. – 2002. – Т. 29, № 5. – С. 587.

23. Василенко, В. Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова [Текст] / В. Н. Василенко. – Ленинград : Гидромет, 1985. – 195 с.

24. Виноградов, А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах [Текст] / А. П. Виноградов. – Москва : Изд-во АН СССР, 1957. – 237 с.

25. Виноградов, П. М. Геоинформационное обеспечение геоэкологического мониторинга крупного промышленного центра (на примере города Воронежа) [Текст] : дис. ... канд. геогр. наук / П. М. Виноградов. – Воронеж: [Б. и.], 2015. – 205 с.

26. Водяницкий, Ю. Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах [Текст] / Ю. Н. Водяницкий // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2011. – Вып. 68. – С. 56-81.

27. Водяницкий, Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах [Текст] / Ю. Н. Водяницкий. – Москва : ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, 2008. – 164 с.

28. Войнова, И. П. Вулканы Хабаровского аккреционного комплекса (юг Дальнего Востока) [Текст] / И. П. Войнова // Тихоокеанская геология. – 2016. – № 3. – С. 88-97.

29. Воробьев, Д. С. Нефтепродукты в воде и донных отложениях бассейна реки Васюган [Текст] / Д. С. Воробьев, В. К. Попков // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308, № 43. – С. 48-49.

30. Воробьева, Л. В. Гигиеническая оценка донных отложений как источников вторичного загрязнения водных объектов [Текст] / Л. В. Воробьева // Гигиена и санитария. – 1991. – № 6. – С. 22-24.

31. Гаретова, Л. А. Биогеохимические особенности вод, почвогрунтов и донных отложений промзоны г. Хабаровска / Л. А. Гаретова, Н. К. Фишер, Е. Л. Имранова, О. А. Кириенко, А. М. Кошельков [и др.] // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23, № 5. – С. 56-61.

32. Гаретова, Л. А. Особенности формирования органических соединений в грунтах и донных отложениях промзоны г. Хабаровск / Л. А. Гаретова, Н. К. Фишер, Е. Л. Имранова, О. А. Кириенко, А. М. Кошельков // Геохимия. – 2021. – Т. 66, № 5. – С. 464-472.

33. Гаретова, Л. А. Оценка состояния воды, почв и донных отложений территории, сопряжённой с бывшим золоотвалом / Л. А. Гаретова, Е. Л. Имранова, О. А. Кириенко, А. М. Кошельков // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27, № 2. – С. 60-66.

34. Гаретова, Л. А. Оценка углеводородного загрязнения территории промзоны г. Хабаровска (вода, почвогрунты, донные отложения) / Л. А. Гаретова, Н. К. Фишер, Е. Л. Имранова, О. А. Кириенко, А. М. Кошельков [и др.] // Региональные проблемы. – 2018. – Т. 21, № 4. – С. 44-51.

35. Гаретова, Л. А. Распределение углеводов и биотических компонентов в почвогрунтах промзоны г. Хабаровск / Л. А. Гаретова, Е. Л. Имранова, О. А. Кириенко, А. М. Кошельков [и др.] // Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы: сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Анатолия Даниловича Воронина: сборник трудов, [электронное издание сетевого распространения]. – Москва: «КДУ», «Добросвет», 2019. – С. 655-657.

36. Гаретова, Л. А. Эколого-геохимическая оценка системы «водоток и его водосбор» малой р. Полежаевка (бассейн р. Амур) / Л. А. Гаретова, Е. Л. Имранова, Н. К. Фишер, А. М. Кошельков // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2024. – Т. 23, № 6. – С. 67-77.

37. Головин, А. А. Современные подходы к методике эколого-геохимических исследований урбанизированных территорий [Текст] / А. А. Головин, С. Б. Самаев, Л. С. Соколов // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 3. – С. 67-73.

38. Головков, В. В. Анализ динамики химического загрязнения почв Красноярского края (2000–2009 гг.) [Электронный ресурс] / В. В. Головков, Р. С. Зубарев, М. В. Чижевская // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – № 7. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-dinamiki-himicheskogo-zagryazneniya-pochv-krasnoyarskogo-kрая-2000-2009-gg> (дата обращения: 04.09.2021).

39. Город как экосистема: природные и антропогенные компоненты [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/9390591/page:2/> (дата обращения: 08.05.2023).

40. Город Хабаровск [Электронный ресурс] // Инвестиционный портал Хабаровского края. – URL: <https://invest.khv.gov.ru/O-Habarovskom-kraye/Gorodskie-okruga-i-municipalnye-rajony/46> (дата обращения: 29.03.2023).

41. Городская среда: геоэкологические аспекты [Текст] : монография / В. С. Хомич [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2013. – 301 с.

42. ГОСТ 17.4.3.01-83 Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 1983. – 4 с.

43. ГОСТ 17.4.3.01-2017 Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 8 с.

44. ГОСТ 28168-89 Межгосударственный стандарт. Почвы. Отбор проб [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 1989. – 7 с.

45. ГОСТ Р 58595-2019 Национальный стандарт Российской Федерации. Почвы. Отбор проб [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 8 с.

46. ГОСТ Р 70281-2022 Охрана окружающей среды. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения [Текст]. – Москва : Российский институт стандартизации, 2022. – 6 с.

47. ГОСТ 174102-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения [Текст]. – Москва : Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.

48. ГОСТ 17.4.1.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 4 с.

49. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году» [Электронный ресурс]. – Москва :

Минприроды России; НИА-Природа. – URL: <https://2021.ecology-gosdoklad.ru/doklad/o-doklade/> (дата обращения: 24.08.2023).

50. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2023 году» [Электронный ресурс]. – Хабаровск : Министерство природных ресурсов Хабаровского края. URL: <https://mpr.khabkrai.ru/Deyatelnost/Ekologiya/84> (дата обращения: 20.12.2024).

51. Григорьева, И. Л. Гидрохимическая оценка современного состояния малых притоков верхнего участка Волги [Текст] / И. Л. Григорьева, А. Б. Комиссаров, Е. А. Чекмарева // Малые реки: Экологическое состояние и перспективы развития : материалы докладов II Всероссийской научной конференции с международным участием. – Чебоксары : [Б. и.], 2012. – С. 21-26.

52. Гусейнова, Н. О. Оценка состояния природно-техногенных систем по данным биологического и физико-химического мониторинга: на примере г. Махачкалы [Текст] : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Н. О. Гусейнова. – Махачкала : [Б. и.], 2008. – 137 с.

53. Гутникова, Е. А. Влияние качества атмосферного воздуха на здоровье детского населения [Текст] / Е. А. Гутникова, Д. С. Шувалова // Экономические и социальные перемены в регионе: факторы, тенденции, прогноз. – 2007. – Вып. 40. – С. 80-87.

54. Дерябкина, Л. А. Оценка канцерогенного риска, обусловленного повышенным содержанием 3,4-бенз(а)пирена в почве промышленного города [Текст] / Л. А. Дерябкина, Б. И. Марченко, К. С. Тарасенко // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 1. – С. 27-35. – DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.03.

55. Джугарян, О. А. Экотоксикология техногенного загрязнения [Текст] : монография / О. А. Джугарян. – Смоленск : Ойкумена, 2000. – 280 с.

56. Дьяконов, К. Н. Современные методы географических исследований [Текст] : кн. для учителя / К. Н. Дьяконов, Н. С. Касимов, В. С. Тикунов. – Москва : Просвещение : АО «Учеб. лит.», 1996. – 207 с.

57. Евтухович, И. Л. Экология природно-производственных (техногенных) систем [Текст] : учебное пособие / И. Л. Евтухович. – Дубна : Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 2001. – 128 с.

58. Ерофеева, В. В. Оценка загрязнения почв урбанизированных экосистем (на примере г. Москвы). [Текст] / В. В. Жарикова, Е. В. Аникина //Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. № 4 (106). – С. 164-173.

59. Жарикова, Е. А. Тяжелые металлы в городских почвах: оценка содержания и экологического риска [Текст] / Е. А. Жарикова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 1. – С. 164-173.

60. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2020 году [Текст] : ежегодник. – Обнинск : ФГБУ «НПО «Тайфун», 2021. – 128 с.

61. Иванова, И. Ю. Экологическая оценка качества донных отложений водотоков и водоемов Оренбургской области [Текст] : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / И. Ю. Иванова. – Оренбург: [Б. и.], 2009. – 23 с.

62. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды [Текст] / Ю. А. Израэль. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1979. – 376 с.

63. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение [Текст] / В. Б. Ильин. – Новосибирск : Наука, 1991. – 151 с.

64. Искандаров, Т. И. Опыт изучения и гигиеническая оценка качества воды малых рек страны [Текст] / Т. И. Искандаров, И. И. Ильинский, И. А. Усманов // Гигиена и санитария. – 1986. – № 5. – С. 79-80.

65. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях [Текст] / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – Москва : Мир, 1989. – 439 с.

66. Каверина, Н. В. Загрязнение почвы бенз(а)пиреном в городе Воронеже [Текст] / Н. В. Каверина // Экология урбанизированных территорий. – 2020. – № 3. – С. 33–38.

67. Калимуллина, С. Н. Гидрохимический режим и микроэлементы в поверхностных природных водах Республики Татарстан в условиях антропогенного воздействия [Текст] / С. Н. Калимуллина, А. А. Колесник, А. И. Морозкин // Малые реки: Современное экологическое состояние, актуальные проблемы : тезисы докладов Международной научной конференции, Россия, Тольятти, 23–27 апр. 2001 г. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2001. – С. 91.

68. Калинин, В. М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия. На примере Восточного Зауралья [Текст] / В. М. Калинин, С. И. Ларин, И. М. Романова. – Тюмень : Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 1998. – 220 с.

69. Калманова, В. Б. Выбор и обоснование системы показателей качества городской среды [Текст] / В. Б. Калманова, А. Б. Суховеева // Здоровье населения, качество жизни и социально-гигиенический мониторинг. – 2014. – № 5 (2). – С. 878-882.

70. Калманова, В. Б. Геоэкологический анализ урбанизированных территорий: на примере г. Биробиджана [Текст] : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / В. Б. Калманова. – Хабаровск: [Б. и.], 2010. – 25 с.

71. Карпачевский, Л. О. Общие закономерности почвообразования в лесной зоне [Текст] / Л. О. Карпачевский, М. Н. Строганова // Почвообразование в лесных биогеоценозах : сборник научных трудов. – Москва : Наука, 1989. – С. 5-12.

72. Касимов, Н. С. Бенз[а]пирен в городской среде восточной части Москвы: уровни загрязнения и критические нагрузки [Текст] / Н. С. Касимов, Н. Е. Кошелева, Е. М. Никифорова, Д. В. Власов // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 2217-2227. – DOI: 10.5194/acp-17-2217-2017.

73. Касимов, Н. С. Металлы, металлоиды и бенз(а)пирен в микрочастицах почв и дорожной пыли Алушты [Текст] / Н. С. Касимов, Л. А. Безбердая, Д. В. Власов, М. Ю. Лычагин // Почвоведение. – 2019. – № 12. – С. 1524-1538.

74. Касимов, Н. С. Экологическое состояние городов России [Текст] / Н. С. Касимов, В. Р. Битюкова, Д. В. Власов // Геохимия ландшафтов и география почв. – Москва : АПР, 2012. – С. 157-185.

75. Киракосян, Д. В. Анализ первых последствий нефтяного разлива в Норильске [Электронный ресурс] / Д. В. Киракосян, Я. П. Молчанова // Успехи в химии и химической технологии. – 2021. – № 2 (237). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-pervyh-posledstviy-neftyanogo-razliva-v-norilске> (дата обращения: 01.09.2023).

76. Кислякова, Е. Г. Изучение геохимического поля экосистем малых рек [Текст] / Е. Г. Кислякова // Актуальные проблемы экологии и природопользования : сборник научных трудов. – Вып. 13. – Москва : РУДН, 2011. – Ч. 2. – С. 113-117.

77. Классификация и диагностика почв СССР [Текст]. – Москва : Колос, 1977. – 425 с.

78. Кобечинская, В. Г. Комплексное изучение экосистем малых рек Крыма и аспекты их оптимизации [Текст] / В. Г. Кобечинская, Г. А. Киселева, Л. И. Головчанская // Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем малых рек : материалы межреспубликанской научно-практической конференции. – Краснодар: [Б. и.], 1992. – Ч. 2. – С. 175-177.

79. Корчагина, К. В. Оценка загрязнения городских почв тяжелыми металлами с учетом профильного распределения их объемных концентраций [Текст] : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.13 / К. В. Корчагина. – Москва : [Б. и.], 2014. – 145 с.

80. Кочуров, Б. И. Геоэкологическое картографирование [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б. И. Кочуров, Д. Ю. Шишкина, А. В. Антипова [и др.] ; под ред. Б. И. Кочурова. – Москва : Издательский центр «Академия», 2009. – 192 с.

81. Кочуров, Б. И. Подходы к теории землеустройства [Текст] / Б. И. Кочуров, Ю. Г. Иванов // Проблемы региональной экологии. – 1998. – № 3. – С. 114-121.

82. Кочуров, Б. И. Пространственный анализ экологических ситуаций [Текст] : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 11.00.11 / Б. И. Кочуров. – Москва: [Б. и.], 1994. – 39 с.

83. Кочуров, Б. И. Экодиагностика и сбалансированное развитие [Текст] : учебное пособие / Б. И. Кочуров. – Москва – Смоленск : Маджента, 2003. – 384 с.

84. Кошелева, Н. Е. Бенз[а]пирен в дорожной пыли Москвы: уровни загрязнения и риски для здоровья [Электронный ресурс] / Н. Е. Кошелева, Д. В. Власов, И. В. Тимофеев [и др.] // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2022. – Vol. 45(5). – P. 1-26. – DOI: 10.1007/s10653-022-01287-9.

85. Кошелева, Н. Е. Пространственно-временные тренды и факторы загрязнения почвенного покрова Москвы [Электронный ресурс] / Н. Е. Кошелева, А. Г. Цыхман // *Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. – 2018. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prostranstvenno-vremennyye-trendy-i-factory-zagryazneniya-pochvennogo-pokrova-moskvu> (дата обращения: 18.01.2023).

86. Кошельков, А. М. Загрязнение речных донных отложений нефтепродуктами / А. М. Кошельков, З. Тюгай, В. О. Крутикова, Г. В. Харитонова // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2020 International Science and Technology Conference on Earth Science (ISTCEarthScience 2020)*. – IOP Publishing Ltd, 2021. – Art. 062027.

87. Кошельков, А. М. Микробные сообщества почвогрунтов, загрязненных нефтепродуктами / А. М. Кошельков, Е. Л. Имранова, О. А. Кириенко, З. Н. Тюгай // *Природные опасности, современные экологические риски и устойчивость экосистем: VII Дружининские чтения: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием*. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2018. – С. 47-49.

88. Кошельков, А. М. Особенности фоновых содержаний тяжёлых металлов и мышьяка в почвах территории Ульчского района Хабаровского края на участке от посёлка Решающий до заказника «Шаман-Яй» / А. М. Кошельков, Л. П. Майорова // *Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: материалы XI научно-практической конференции с международным участием, Хабаровск, 28 апреля 2022 г.* / М-во науки и высш. образования РФ,

Тихоокеан. гос. ун-т; редкол.: А.В. Абузов (отв. ред.) [и др.]. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2022. – Вып. 11. – С. 64–78.

89. Кошельков, А. М. Оценка загрязнения нефтепродуктами почв города Хабаровска / А. М. Кошельков, Л. П. Майорова // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25, № 12. – С. 65-71.

90. Кошельков, А. М. Оценка загрязнения цинком почв города Хабаровск / А. М. Кошельков, Л. А. Матюшкина // VIII Дружининские чтения: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённой 300-летию Российской академии наук, 55-летию Института водных и экологических проблем ДВО РАН, 60-летию заповедников в Приамурье. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2023. – С. 295-298.

91. Кошельков, А. М. Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почв Ванино-Токинской агломерации / А. М. Кошельков, Л. П. Майорова, А. А. Кузнецова // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: материалы XI научно-практической конференции с международным участием, Хабаровск, 28 апреля 2022 г., М-во науки и высш. образования РФ, Тихоокеан. гос. ун-т. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2022. – Вып. 11. – С. 75-88.

92. Кошельков, А. М. Оценка химического загрязнения почв водоохраных зон малых рек города Хабаровска [Текст] / А. М. Кошельков, Л. А. Матюшкина // Региональные проблемы. – 2018. – Т. 21, № 2. – С. 76-85.

93. Кошельков, А. М. Оценка экологического состояния почв в г. Благовещенске / А. М. Кошельков, Е. А. Архипова // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: материалы XII научно-практической конференции с международным участием, Хабаровск, 24 апреля 2023 г. / М-во науки и высш. образования РФ, Тихоокеан. гос. ун-т; редкол.: А.В. Абузов (отв. ред.) [и др.]. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2023. – Вып. 12. – С. 25-34.

94. Кошельков, А. М. Смачиваемость речных донных отложений, загрязненных нефтепродуктами / А. М. Кошельков, З. Тюгай, В. О. Крутикова, Г. В. Харитоновна // Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы: сборник научных трудов

Международной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Анатолия Даниловича Воронина, Москва, 27–30 мая, 2019 : сборник статей, [электронное издание сетевого распространения]. – Москва: «КДУ», «Добросвет», 2019. – С. 159-164.

95. Кошельков, А. М. Сравнительный анализ загрязнения почв городов Дальнего Востока Российской Федерации / А. М. Кошельков, Л. П. Майорова, Е. А. Архипов // Экологическая культура и охрана окружающей среды: IV Дорофеевские чтения: материалы международной научно-практической конференции, Витебск, 29 ноября 2024 г. / Витеб. гос. ун-т; редкол.: Е. Я. Аршанский (отв. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2024. – С. 201-204.

96. Кошельков, А.М. Техногенные геохимические аномалии города Хабаровск / А. М. Кошельков, Л. П. Майорова // VIII Дружининские чтения: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённой 300-летию Российской академии наук, 55-летию Института водных и экологических проблем ДВО РАН, 60-летию заповедников в Приамурье. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2023. – С. 292-295.

97. Кошельков, А. М. Тяжёлые металлы в почвах городов Благовещенск, Хабаровск и Комсомольск-на-Амуре / А. М. Кошельков, Л. П. Майорова // Современные проблемы регионального развития. Материалы X Всероссийской научной конференции с международным участием. – Биробиджан : [Б. и.], 2024. – С. 179-182.

98. Кошельков, А. М. Экологическое состояние водоохранных зон малых рек города Хабаровска / А. М. Кошельков, Л. А. Матюшкина // Природные опасности, современные экологические риски и устойчивость экосистем: VII Дружининские чтения: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2018. – С. 218-223.

99. Кравченко, Т. К. Особенности использования порядковых шкал для задания оценок предпочтения экспертов в процессе принятия экономических решений [Электронный ресурс] / Т. К. Кравченко, Ю. А. Периков, О. П.

Щербинин // Актуальные вопросы современной науки. – 2011. – № 20. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-ispolzovaniya-poryadkovyh-shkal-dlya-zadaniya-otsenok-predpochteniya-ekspertov-v-protssesse-prinyatiya-ekonomicheskikh> (дата обращения: 27.07.2023).

100. Кривоपालов, З. Ф. Влияние характера освоения прибрежной территории на качество воды малых рек Челябинской области [Текст] / З. Ф. Кривоपालов // Использование, регулирование и охрана водных ресурсов малых рек. – Красноярск : [Б. и.], 1987. – С. 66-67.

101. Кузнецова, Л. А. Состояние качества воды малых рек Пермской области [Текст] / Л. А. Кузнецова, Ю. А. Постаногова, М. В. Дряхлова // Экологическая безопасность населения в зонах градопромышленных агломераций Урала : тезисы докладов Региональной научно-технической конференции. – Пермь : [Б. и.], 1995. – С. 98-100.

102. Кухарчик, Т. И. Загрязнение почв урбанизированных территорий Белоруссии полициклическими ароматическими углеводородами [Текст] / Т. И. Кухарчик, В. С. Хомич, С. В. Какарека, П. В. Курман, М. И. Козыренко // Почвоведение. – 2013. – № 2. – С. 163-171.

103. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений [Текст] / О. И. Ларичев. – Москва : Университетская лавка, Логос, 2008. – 392 с.

104. Линник, П. Н. Донные отложения водоемов как потенциальный источник вторичного загрязнения водной среды соединениями тяжелых металлов [Текст] / П. Н. Линник // Гидробиологический журнал. – 1999. – Т. 35, № 2. – С. 97-109.

105. Лубенец, Ю. В. Альтернативный коэффициент конкордации при наличии связанных рангов [Электронный ресурс] / Ю. В. Лубенец // Вестник ВГТУ. – 2021. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/alternativnyy-koeffitsient-konkordatsii-pri-nalichii-svyazannyh-rangov> (дата обращения: 13.07.2023).

106. Мадера, А. Г. Моделирование и принятие решений в менеджменте. Руководство для будущих топ-менеджеров [Текст] / А. Г. Мадера. – Москва : ЛКИ, 2010. – 688 с.

107. Майорова, Л. П. Комплексная оценка экологического состояния урбанизированной территории / Л. П. Майорова, Е. А. Архипов, А. М. Кошельков // Экология и промышленность России. – 2025. – Т. 29, № 5. – С. 44-50.

108. Майорова, Л. П. Методические подходы к экологическому картографированию городской территории (на примере г. Хабаровска) [Текст] / Л. П. Майорова, Е. А. Жуковская, Г. Ю. Морозова // ИНТЕРКАРТО. ИНТЕРГИС. – 2015. – Т. 21. – С. 615-617.

109. Майорова, Л. П. Определение весовых коэффициентов различных факторов при комплексной оценке экологического состояния городской территории / Л. П. Майорова, Е. А. Архипов, А. М. Кошельков // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 7. – С. 252-257.

110. Майорова, Л. П. Систематизация свойств урбаноземов г. Хабаровска [Текст] / Л. П. Майорова, Т. И. Матвеевко, А. А. Черенцова // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 6. – С. 42-47.

111. Майорова, Л. П., Бархатов К. А., Кошельков А. М. Экологическое состояние почв города Хабаровска: свидетельство о регистрации базы данных № RU 2024621705; заявка № 2024623573 от 14.08.2024; зарегистрировано 10.10.2024.

112. Макаров, О. А. Состояние почвы как объект экологического нормирования окружающей природной среды [Текст] : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.16, 03.00.27 / О. А. Макаров. – Москва : [Б. и.] , 2002. – 46 с.

113. Макарова, И. Л. Анализ методов определения весовых коэффициентов в интегральном показателе общественного здоровья [Электронный ресурс] / И. Л. Макарова // Символ науки. – 2015. – № 7/1. – URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-opredeleniya-vesovyh-](https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-opredeleniya-vesovyh)

koeffitsientov-v-integralnom-pokazatele-obschestvennogo-zdorovya (дата обращения: 16.07.2023).

114. Матвеевко, Т. И. Оболочка для банка данных «Городские почвы» в формате «1 С: Предприятие 8.2» [Текст] / Т. И. Матвеевко, Л. П. Майорова, Г. А. Сыч, Г. А. Волосникова // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616342 РФ. – 19 июля 2014.

115. Матюшкина, Л. А. Систематика городских почв в формате новой классификации почв России [Текст] / Л. А. Матюшкина // VIII Дружининские чтения: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённой 300-летию Российской академии наук, 55-летию Института водных и экологических проблем ДВО РАН, 60-летию заповедников в Приамурье. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2023. – С. 373-376.

116. Мельников, А. А. Проблемы окружающей среды и стратегия ее сохранения [Текст] / А. А. Мельников. – Москва : Академический Проект ; Гаудеамус, 2009. – 744 с.

117. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве [Текст]. – № 5174-90 (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 15.05.1990). – Москва : [Б. и.] , 1990. – 16 с.

118. Микроклимат города [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/8830143/page:15/> (дата обращения: 08.05.2023).

119. Минкина, Т. М. Соединения тяжелых металлов в почвах Нижнего Дона, их трансформация под влиянием природных и антропогенных факторов [Текст] : дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.27 / Т. М. Минкина. – Ростов-на-Дону : [Б. и.], 2008. – 441 с.

120. Михайлов, Я. В. Управленческие решения: пособие для управленцев-практиков [Текст] / Я. В. Михайлов. – Москва : Экономика, 2011. – 143 с.

121. Мороков, В. В. Природно-экономические аспекты охраны малых рек Урала от загрязнения [Текст] / В. В. Мороков // Использование, регулирование и охрана водных ресурсов малых рек. – Красноярск : [Б. и.], 1987. – С. 40-45.
122. Мотузова, Г. В. Почвенно-химический экологический мониторинг [Текст] / Г. В. Мотузова. – Москва : Изд-во МГУ, 2001. – 86 с.
123. Мотузова, Г. В. Экологический мониторинг почв [Текст] : учебник / Г. В. Мотузова, О. С. Безуглова. – Москва : Академический Проект ; Гаудеамус, 2007. – 237 с.
124. Нагалецкий, Ю. Я. Экосистемы малых рек Кубани и мероприятия по их охране [Текст] / Ю. Я. Нагалецкий, В. Н. Тюрин, А. А. Мищенко // Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем малых рек : материалы межреспубликанской научно-практической конференции. – Краснодар : [Б. и.], 1992. – Ч. 2. – С. 196-200.
125. Назаренко, В. А. Экологическое состояние малых рек Ульяновской области [Текст] / В. А. Назаренко, Ф. Т. Алеев // Малые реки: Современное экологическое состояние, актуальные проблемы. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2001. – С. 147.
126. Национальный Атлас почв Российской Федерации. – Москва : Астрель, 2011. – 632 с.
127. Некрестьянова, Ю. Н. Определение весовых коэффициентов критериев эффективности инвестиций [Электронный ресурс] / Ю. Н. Некрестьянова // Publishing house Education and Science s.r.o. – URL: http://www.rusnauka.com/15_NPN_2013/Economics/8_139451.doc.htm (дата обращения: 16.07.2023).
128. Некрестьянова, Ю. Н. Теоретическое обоснование анализов Парето [Текст] / Ю. Н. Некрестьянова // Предпринимательство. – 2013. – № 3. – С. 56-64.
129. Ногин, В. Д. Принятие решений при многих критериях [Текст] / В. Д. Ногин. – Санкт-Петербург : ЮТАС, 2007. – 104 с.
130. О состоянии и об охране окружающей среды в Иркутской области за 2021 год [Текст] : государственный доклад. – Иркутск : Форвард, 2022. – 400 с.

131. Обеспечение эколого-экономической безопасности региона [Электронный ресурс] // Электронно-библиотечная система Студенческая библиотека онлайн. – URL: https://studbooks.net/913416/ekologiya/ranzhirovanie_territoriy_stepeni_vozdeystviya_hozyaystvennoy_deyatelnosti_okruzhayuschuyu_sredu_zdorove_naseleniya#66 (дата обращения: 08.05.2022).

132. Околелова, А. А. Оценка содержания нефтепродуктов в почвах [Текст] / А. А. Околелова, В. Н. Капля, А. Г. Лапченков // Научные ведомости. Сер. Естественные науки. – 2019. – Т. 43, № 1. – С. 76-86.

133. Орлов, Д. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении [Текст] / Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова, И. Н. Лозановская. – Москва : Высшая школа, 2002. – 334 с.

134. Отчет по геолого-экологическим исследованиям и картографированию масштаба 1:200000 района г. Хабаровска [Текст] / А. Я. Иволгин ; Министерство природных ресурсов РФ, Дальневосточный комитет по использованию недр, Хабаровское государственное горно-геологическое предприятие. – Хабаровск : [Б. и.], 1997. – 288 с.

135. Оценка загрязнения почв города Хабаровска бенз(а)пиреном [Текст] / А. М. Кошельков, Л. П. Майорова // Экология человека. – 2023. – Т. 30, № 3. – С. 181-198.

136. Оценка и экологический контроль состояния окружающей природной среды региона (на примере Тульской области) [Текст] / под общ. ред. Г. В. Добровольского. – Москва : Изд-во МГУ, 2001. – 256 с.

137. Оценка экологического состояния почвенно-земельных ресурсов и окружающей природной среды Московской области [Текст] / под общ. ред. Г. В. Добровольского, С. А. Шобы. – Москва : Изд-во МГУ, 2000. – 221 с.

138. Павленко, С. В. Современное состояние экосистемы малых рек Русского Причерноморья [Текст] / С. В. Павленко // Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем малых рек : материалы

межреспубликанской научно-практической конференции. – Краснодар: [Б. и.], 1992. – Ч. 2. – С. 148-149.

139. Пальцев, В. П. Гидрохимический режим малых рек Северного Кавказа в условиях антропогенного воздействия [Текст] / В. П. Пальцев, Н. Ф. Прокопенко // Использование, регулирование и охрана водных ресурсов малых рек : сборник научных трудов / Сиб. НИИ гидротехники и мелиорации. - Красноярск : СибНИИГИМ, 1987. – С. 64-66.

140. Панин, М. С. Загрязнение окружающей среды [Текст] : учеб. пособие / под ред. И. О. Байтулина. – Алматы : Раритет, 2011. – 688 с.

141. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта [Текст] : учебное пособие / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Астерия-200, 1999. – 768 с.

142. Петрищев, В. П. Методика комплексной оценки экологического состояния городских территорий [Текст] / В. П. Петрищев, С. А. Дубровская // Проблемы прикладной экологии. – 2013. – № 3. – С. 234-238.

143. Петров, Е. С. Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области [Текст] / Е. С. Петров, П. В. Новороцкий, В. Т. Леншин // Владивосток – Хабаровск: Дальнаука, 2000. – 174 с.

144. Пиковский, Ю. И. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами [Текст] / Ю. И. Пиковский, А. Н. Геннадиев, С. С. Чернянский, Г. Н. Сахаров // Почвоведение. – 2003. – № 9. – С. 1132-1140.

145. ПНД Ф 12.1:2.2.2:2.3:3.2-0 Методические рекомендации. Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления [Текст]. – Москва: [Б. и.], 2014. – 14 с.

146. Подгорная, Т. И. Источники и виды техногенного воздействия на окружающую среду [Текст] : учебное пособие к практическим и лабораторным работам по курсу «Экология и охрана окружающей среды» / Т. И. Подгорная. – Хабаровск : ХГТУ, 1997. – 39 с.

147. Подгорная, Т. И. Опасные природно-техногенные геологические процессы на освоенной территории Дальнего Востока России [Текст] / Т. И. Подгорная. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – 285 с.

148. Подгорная, Т. И. Оценка природных условий территории для градостроительства [Текст] : учебное пособие / Т. И. Подгорная. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2007. – 135 с.

149. Подгорная, Т. И. Прогноз изменения геологической среды Хабаровска в результате катастрофического наводнения на Амуре [Текст] / Т. И. Подгорная. – Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2013. – Вып. 13. – С. 23-29.

150. Попченков, В. Г. Экологическое состояние малых рек Верхнего Поволжья [Текст] / В. Г. Попченков. – Л. : Наука, 2003. – С. 296-308.

151. Постников, В. М. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев [Текст] / В. М. Постников, С. Б. Спиридонов // Наука и образование (МГТУ им. Н. Э. Баумана). Электронный журнал. – 2015. – № 6. – С. 267-287. – DOI: 10.7463/0615.0780334.

152. Постников, В. М. Подход к выбору варианта модернизации сервера ЛВС [Текст] / В. М. Постников, С. Б. Спиридонов // Наука и образование (МГТУ им. Н. Э. Баумана). Электронный журнал. – 2013. – № 2. – С. 255-272. – DOI: 10.7463/0213.0535392.

153. Почвы и техногенные поверхностные образования в городских ландшафтах [Текст] : монография / Г. В. Ковалева, В. Т. Старожилов, А. М. Дербенцева, А. В. Назаркина [и др.]. – Владивосток : Дальнаука, 2012. – 159 с.

154. Природные и антропогенные геосистемы города [Электронный ресурс]. – URL: https://studref.com/646942/ekologiya/prirodnye_antropogennye_geosistemy_goroda (дата обращения: 08.05.2023).

155. Прозоров, Л. Л. Энциклопедический словарь «Геоэкология» [Текст] / Л. Л. Прозоров. – Москва : Научный мир, 2008. – 468 с.

156. Протасов, В. Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России [Текст] / В. Ф. Протасов. – Москва : Финансы и статистика, 1999. – 672 с.

157. Прохоров, И. С. Мониторинг состояния почв города Москвы и предложения по их рекультивации [Текст] / И. С. Прохоров // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 1 (54). – С. 61-68.

158. Прохоров, И. С. О контроле за состоянием почвенного покрова в городе Москве и методах восстановления городских почв [Текст] / И. С. Прохоров // Экологический мониторинг, моделирование и проектирование в условиях природных, городских и агроэкосистем : материалы конференции, Москва, 01–11 июля 2015 года / под общ. ред. И. И. Васенева, Р. Валентини. – Москва : ООО «Скрипта Манент», 2015. – С. 157-163.

159. Прохоров, Б. Б. Экология человека и территориально дифференцированная политика [Текст] / Б. Б. Прохоров // Прогнозное социальное проектирование и город. – Москва : [Б. и.], 1995. – Кн. 1. – С. 89-101.

160. Пых, Ю. А. Об оценке состояния окружающей среды [Текст] / Ю. А. Пых, И. Г. Малкина-Пых // Экология. – 1996. – № 5. – С. 323-329.

161. РД 5.2.24.643-2002 Руководящий документ. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям [Текст]. – Ростов-на-Дону: Гидрометеиздат, 2002. – 49 с.

162. Росликова В. И. Диагностика почв урбанизированных ландшафтов Хабаровска / В. И. Росликова // Вестник ДВО РАН. – 2018. – № 4. – С. 25-32.

163. Росликова, В. И. Почвы промышленных зон города Хабаровска и их биологическая активность [Текст] / В. И. Росликова, Т. И. Матвеевко, Л. П. Майорова // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2021. – № 2. – С. 77-86.

164. Росликова, В. И. Урбанизированные почвы Приамурья (на примере города Хабаровска): монография / В. И. Росликова, Т.И. Матвеевко. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. – 230 с.

165. Росликова, В. И. Экологическое состояние почвенного покрова города Хабаровск / В. И. Росликова // Тихоокеанская география. – 2023. – № 3. – С. 23-53.

166. Рохмистров, В. Л. Малые реки Ярославского Поволжья [Текст] / В. Л. Рохмистров. – Ярославль : Издание ВВО РЭА, 2004. – 54 с.
167. Рыбак, В. А. Интегральная оценка экологического состояния урбанизированных территорий [Текст] / В. А. Рыбак // Научный вестник НЛТУ Украины. – 2015. – № 25.5. – С. 135-145.
168. Саати, Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Л. Саати ; пер. с англ. – Москва : Радио и связь, 1993. – 316 с.
169. Савич, В. И. Почвенная экология [Текст] / В. И. Савич, Н. В. Парахин, В. Г. Сычев, Л. Степанова, В. Т. Лобков, А. Ю. Щербаков, Е. А. Романчик. – Орел : Изд-во ОГАУ, 2002. – 546 с.
170. Сазоненко, О. П. Методический подход к оценке экологического риска в связи с химическим загрязнением земель [Текст] / О. П. Сазоненко, С. Б. Мельнов // Вестник Полесского государственного университета. – 2019. – № 2. – С. 3-12.
171. Сает, Ю. Е. Геохимия окружающей среды [Текст] / Ю. Е. Сает, Е. П. Ревич [и др.]. – Москва : Недра, 1990. – 335 с.
172. Сазонов, А. А. Применение коэффициента ранговой конкордации в экспертных оценках [Электронный ресурс] / А. А. Сазонов // Наука и современность. – 2015. – № 41. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-koeffitsienta-rangovoy-konkordatsii-v-ekspertnyh-otsenках-upravleniya-personalom> (дата обращения: 23.05.2023).
173. Самбуу, Гантомор. Геоэкологическая оценка урбанизированной территории на основе ландшафтно-геохимического подхода (на примере г. Улан-Батора) [Текст] : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 25.00.36 / Гантомор Самбуу. – Хабаровск : [Б. и.], 2013. – 19 с.
174. Самые крупные разливы нефти, похожие на катастрофу в Норильске [Электронный ресурс]. – Новостной портал Hi News.ru. – URL: <https://hi-news.ru/research-development/samye-krupnye-razlivy-nefti-roxozhie-na-katastrofu-v-norilske.html> (дата обращения: 24.08.2023).

175. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Текст]. – Москва : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2021. – 1025 с.

176. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс] // Профессиональные справочные системы Техэксперт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 24.08.2023).

177. СанПиН 2.1.7.1287-03 Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы [Текст]. – Москва : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 16 с.

178. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (с изменениями на 26 июня 2021 года) [Электронный ресурс] // Профессиональные справочные системы Техэксперт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177?marker=7DI0K8> (дата обращения: 24.08.2023).

179. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий [Текст]. – Москва : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2021. – 75 с.

180. Семенова, И. Н. Воздействие предприятий горнорудного комплекса Башкирского Зауралья на состояние природной среды и здоровье населения прилегающих территорий [Текст] / И. Н. Семенова, Ю. С. Рафикова, Г. Р. Ильбулова // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 1. – С. 29-34.

181. Смирнова, Т. П. Роль химико-биологического фактора в формировании экологического состояния малых рек в зоне влияния горнообогатительных комбинатов [Текст] : автореф. дис. ... канд. хим. наук / Т. П. Смирнова. – Казань : [Б. и.], 2009. – 20 с.

182. Современная Россия: географическое описание нашего Отечества. Дальний Восток. / Отв. редакторы В.М. Котляков, П.Я. Бакланов. – Москва: Паулсен, 2020. – 464 с.

183. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2010 год [Текст] : ежегодник / Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гл. геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова ; подгот. Э. Ю. Безуглой [и др.]. – Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 2011. – 224 с.

184. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2011 год [Текст] : ежегодник / Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гл. геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова ; подгот. Э. Ю. Безуглой [и др.]. – Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 2012. – 216 с.

185. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2012 год [Текст] : ежегодник / Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гл. геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова ; подгот. Э. Ю. Безуглой [и др.]. – Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 2013. – 231 с.

186. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2013 год [Текст] : ежегодник / Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гл. геофизическая

обсерватория им. А. И. Воейкова ; подгот. Э. Ю. Безуглой [и др.]. – Санкт-Петербург : Гидрометеоздат, 2014. – 257 с.

187. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2014 год [Текст] : ежегодник / Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гл. геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова ; подгот. Э. Ю. Безуглой [и др.]. – Санкт-Петербург : Гидрометеоздат, 2015. – 288 с.

188. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2015 год [Текст] : ежегодник / Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гл. геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова ; подгот. Э. Ю. Безуглой [и др.]. – Санкт-Петербург : Гидрометеоздат, 2016. – 255 с.

189. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2016 год [Текст] : ежегодник / Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гл. геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова ; подгот. Э. Ю. Безуглой [и др.]. – Санкт-Петербург : Гидрометеоздат, 2017. – 228 с.

190. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2017 год [Текст] : ежегодник / Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гл. геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова ; подгот. Э. Ю. Безуглой [и др.]. – Санкт-Петербург : Гидрометеоздат, 2018. – 234 с.

191. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2021 год [Текст] : ежегодник / Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гл. геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова ; подгот. Э. Ю. Безуглой [и др.]. – Санкт-Петербург : Гидрометеоздат, 2022. – 253 с.

192. Степанова, Н. В. Влияние комплекса метеорологических условий на загрязнение атмосферного воздуха города [Текст] / Н. В. Степанова, А. П. Шлычков // Казанский медицинский журнал. – 2004. – Т. 85, № 5. – С. 380-383.

193. Стреха, Н. Л. Принципы организации сельскохозяйственного природопользования в системе «бассейн малой реки» [Текст] / Н. Л. Стреха // Охрана и рациональное использование водных ресурсов малых рек : тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара. – Москва: [Б. и.], 1989. – С. 67-70.

194. Стурман, В. И. География экологического неблагополучия российских городов [Текст] / В. И. Стурман // Экология урбанизированных территорий. – 2007. – № 1. – С. 47-52.

195. Типы данных, проверка распределения и описательная статистика [Текст] / А. М. Гржибовский // Экология человека. – 2008. – № 1. – С. 52-58.

196. Тихомирова, А. Н. Модификация метода анализа иерархий Т. Саати для расчета весов критериев при оценке инновационных проектов [Электронный ресурс] / А. Н. Тихомирова, Е. В. Сидоренко // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. – URL: www.science-education.ru/102-6009 (дата обращения: 16.06.2023).

197. Томилина, И. И. Донные отложения как объект токсикологических исследований [Текст] / И. И. Томилина, В. Т. Комов // Биология внутренних вод. – 2002. – № 2. – С. 20-26.

198. Томилина, И. И. Оценка качества донных отложений малых рек Оренбургской области с использованием элементов триадного подхода [Текст] / И. И. Томилина, И. Ю. Иванова, Н. Н. Жгарева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2008. – № 1 (17). – С. 214-217.

199. Тригуб, В. И. Городские почвы как особый вид почв [Электронный ресурс] / В. И. Тригуб // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2011. – № 2/1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gorodskie-pochvy-kak-osobyuy-vid-pochv> (дата обращения: 10.05.2023).

200. Туккель, И. А. Разработка и принятие решения в управлении инновациями [Текст] / И. А. Туккель, С. Н. Яшин, С. А. Макаров, Е. В. Кошелев. – Санкт-Петербург : БХВ Петербург, 2011. – 352 с.

201. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение [Текст] / под ред. М. М. Овчаренко. – Москва : Пролетарский светоч, 1997. – 290 с.

202. Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. N 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации» [Электронный ресурс] // Москва : Минстрой России – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/866/> (дата обращения: 20.12.2024).

203. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "Об охране окружающей среды" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025) [Электронный ресурс] // Профессиональные справочные системы Техэксперт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901808297> (дата обращения: 18.02.2025).

204. Феоктистова, М. Д. Оценка экологического состояния почв урбанизированных территорий, загрязненных нефтепродуктами и тяжелыми металлами (на примере г. Владимира) [Текст] : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / М. Д. Феоктистова. – Владимир: [Б. и.], 2012. – 22 с.

205. Фишер, Н. К. Особенности качества воды реки Амур у Хабаровска в мае-июне 2019 года / Н. К. Фишер, Л. А. Гаретова, Н. М. Шестеркина, А. М. Кошельков, Х. Н. Николаева // Региональные проблемы. – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 58-64.

206. Фокин, Д. П. Содержание и распределение металлов в донных отложениях восточной части Финского залива [Текст] / Д. П. Фокин, Г. Т. Фруммин // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). – 2011. – № 1. – С. 210-214.

207. Фомина, Е. Е. Методика обработки результатов анкетирования с использованием методов многомерной и параметрической статистики [Электронный ресурс] / Е. Е. Фомина, Н. К. Жиганов // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. – 2017. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-obrabotki-rezultatov-anketirovaniya->

s-ispolzovaniem-metodov-mnogomernoy-i-parametricheskoy-statistiki (дата обращения: 23.05.2023).

208. Хабаровский край [Электронный ресурс] // Большая российская энциклопедия. – URL: <https://bigenc.ru/geography/text/4727057> (дата обращения: 30.03.2023).

209. Хованов, Н. В. Модели учета неопределенности при построении сводных показателей эффективности деятельности сложных производственных систем [Текст] / Н. В. Хованов, Ю. В. Федотов. – Санкт-Петербург : НИИ менеджмента СПбГУ, 2006. – 37 с.

210. Хотунцев, Ю. Л. Человек, технологии, окружающая среда [Текст] / Ю. Л. Хотунцев. – Москва : Устойчивый мир, 2001. – 224 с.

211. Хотько, Н. И. Санитарное состояние атмосферного воздуха и здоровье населения [Текст] / Н. И. Хотько, А. П. Дмитриев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2012. – № 2 (22). – С. 125-135.

212. Черняев, А. М. Вода России. Малые реки [Текст] / А. М. Черняев ; под науч. ред. А. М. Черняева. – Екатеринбург : АКВА-ПРЕСС, 2001. – 804 с.

213. Черп, О. М. Экологическая оценка и экологическая экспертиза [Текст] / О. М. Черп, В. Н. Виниченко, М. В. Хотулева, Я. П. Молчанова, С. Ю. Дайман. – Москва : Эколайн, 2000. – С. 138.

214. Чижов, А. Е. Проблема малых рек [Текст] / А. Е. Чижов, В. Г. Полищук, В. А. Битюков, Ю. Г. Алымов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : материалы научно-практической конференции. – Курск : [Б. и.], 1995. – С. 222-224.

215. Чикидова, А. Л. Полициклические ароматические углеводороды в экосистемах г. Москвы (на примере Восточного административного округа) [Текст] : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / А. Л. Чикидова. – Москва: [Б. и.], 2017. – 141 с.

216. Шамилишвили, Г. А. Особенности фракционного состава полициклических ароматических углеводородов и полиэлементного загрязнения

почв урбанизированных территорий и их гигиеническая характеристика (на примере почв функциональных зон Санкт-Петербурга) [Электронный ресурс] / Г. А. Шамилишвили, Е. В. Абакумов, Д. Н. Габов, И. И. Алексеев // Гигиена и санитария. – 2016. – № 9. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-fraktsionnogo-sostava-politsiklicheskih-aromaticeskikh-uglevodorodov-i-polielementnogo-zagryazneniya-pochv> (дата обращения: 24.08.2023).

217. Шевченков, П. Г. Состояние и проблемы охраны малых и средних рек бассейна Средней Десны [Текст] / П. Г. Шевченков, Т. Ф. Шевченкова // Водные ресурсы, их использование и охрана. – Горький, 1985. – С. 27–36.

218. Шилин, А. И. Теория принятия решений в проектировании информационно-измерительной техники [Текст] / А. И. Шилин, И. А. Коптелова. – Волгоград : ВолГУ, 2012. – 128 с.

219. Шитиков, В. К. Комплексные критерии экологического состояния водных объектов: экспертный и статистический подход [Электронный ресурс] / В. К. Шитиков, Т. Д. Зинченко. – Режим доступа: http://ecograde.bio.msu.ru/library/books/_pdf_rozenberg/2-7.pdf (дата обращения: 10.12.2021).

220. Шкляев, В. А. Исследование микроклимата города с целью оценки биометеорологических показателей жилой территории [Электронный ресурс] / В. А. Шкляев, Л. Н. Ермакова, Л. С. Шкляева // Географический вестник. – 2010. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-mikroklimate-goroda-s-tselyu-otsenki-biometeorologicheskikh-pokazateley-selitebnoy-territorii> (дата обращения: 11.05.2023).

221. Экологический атлас России [Текст]. – Москва : Карта, 2002. – 128 с.

222. Экология, охрана природы и экологическая безопасность [Текст] / под общ. ред. В. И. Данилова-Данильяна. – Москва : Изд-во МНЭПУ, 1997. – 744 с.

223. Экосистема малой реки в изменяющихся условиях среды [Текст] / А. В. Крылов, А. А. Бобров, В. Г. Папченков [и др.]. – Москва : ООО Товарищество научных изданий КМК, 2007. – 372 с.

224. Язиков, Е. Г. Разработка методологии комплексной эколого-геохимической оценки состояния природной среды (на примере объектов юга Западной Сибири) [Текст] / Е. Г. Язиков // Вопросы геоэкологии. – 2014. – № 1. – С. 325-336.

225. Яковлев, А. С. Экологическое нормирование допустимого остаточного содержания нефти в почвах земель разного хозяйственного назначения [Текст] / А. С. Яковлев, Ю. Г. Никулина // Почвоведение. – 2013. – № 2. – С. 234-239.

226. Bezberdaya, L. Pollution Level, Partition and Spatial Distribution of Benzo(a)pyrene in Urban Soils, Road Dust and Their PM₁₀ Fraction of Health-Resorts (Alushta, Yalta) and Industrial (Sebastopol) Cities of Crimea / L. Bezberdaya, N. Kosheleva, O. Chernitsova [et. al.] // Water. – 2022. – Vol. 14, № 4. – DOI: 10.3390/w14040561.

227. Chapman, P. M. Presentation and interpretation of Sediment Quality Triad data [Text] / P. M. Chapman // Ecotoxicology. – 1996. – Vol. 5. – P. 327-339.

228. Cabbage, J. Creation and analysis of freshwater sediment quality in Washington State [Text] / J. Cabbage, D. Batts, S. Briedenbach // Environmental Investigations and Laboratory Services Program. – Olympia, WA : Washington Department of Ecology, 1997. – P. 98.

229. D Amore, J. J. Методы определения форм металлов в почвах: обзор [Текст] / J. J. D Amore, S. R. Al-Abed, K. G. Scheckel, J. A. Ryan // Journal of Environmental Quality. – 2005. – Vol. 34, Is. 5. – P. 1707-1745.

230. De-Gao, Wang. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Street Dust and Surface Soil: Comparisons of Concentration, Profile, and Source [Текст] / De-Gao Wang, Meng Yang, Hong-Liang Jia, Lei Zhou, Yi-Fan Li // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2009. – Vol. 56, Is. 2. – P. 173-180.

231. Di Toro, D. M. Technological basis for establishing sediment quality criteria for non-ionic organic chemicals using equilibrium partitioning [Text] / D. M. Di Toro, C. S. Zarba, D. J. Hansen [et al.] // Environmental Toxicology and Chemistry. – 1991. – Vol. 10, Is. 12. – P. 1541-1583.

232. Essumang, D. K. Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Street Soil Dust in Kumasi Metropolis of Ghana [Text] / D. K. Essumang, D. K. Dodoo, S. Obiri [et al.] // Environmental Monitoring and Assessment. – 2006. – Vol. 121. – P. 401-408.

233. Govil, P. K. Soil contamination of heavy metals in the Katedan Industrial Development Area, Hyderabad, India [Text] / P. K. Govil, J. E. Sorlie, N. N. Murthy [et al.] // Environmental Monitoring and Assessment. – 2008. – Vol. 140. – P. 313-323. – DOI: 10.1007/s10661-007-9869-x.

234. Guo, G. Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China [Text] / G. Guo, F. Wu, F. Xie, R. Zhang // Journal of Environmental Sciences. – 2012. – Vol. 24 (3). – P. 410-418. – DOI: 10.1016/S1001-0742(11)60762-6.

235. Haiyan, Yu. Пространственное распределение загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами в городских почвах Китая [Текст] / Haiyan Yu, Tiejun Li, Ying Liu, Limin Ma // Chemosphere. – 2019. – Vol. 230. – P. 498-509.

236. Hakanson, L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach [Text] / L. Hakanson // Water Research. – 1980. – Vol. 14 (8). – P. 975–1001.

237. Ingersoll, C. G. Calculation and evaluation of sediment effect concentrations for the amphipod *Hyaella azteca* and the midge *Chironomus riparius* [Text] / C. G. Ingersoll, P. S. Haverland, E. L. Brunson [et al.] // Journal of Great Lakes Research. – 1996. – Vol. 22. – P. 602.

238. Kabata-Pendias, A. Trace elements in soils and plants [Text] / A. Kabata-Pendias. – 4th ed. – Boca Raton : CRS Press, 2011. – 548 p.

239. Lee, C. S. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics [Text] / C. S. Lee, X. Li, W. Shi, S. C. Cheung, I. Thornton // Science of The Total Environment. – 2006. – Vol. 356 (1/3). – P. 45-61. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.03.024.

240. Liu, E. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China [Text] / E. Liu, T. Yan, G. Birch, Y. Zhu // *Science of The Total Environment*. – 2014. – Vol. 476/477. – P. 522-531. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.01.055.

241. Matar, Thiombane. Source patterns and contamination level of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban and rural areas of Southern Italian soils [Text] / Matar Thiombane, Stefano Albanese, Marcello Di Bonito, Annamaria Lima, Daniela Zuzolo, Roberto Rolandi, Shihua Qi, Benedetto De Vivo // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2019. – Vol. 41. – P. 507-528.

242. Morillo, E. Soil pollution by PAHs in urban soils: a comparison of three European cities [Text] / E. Morillo, A. S. Romero, C. Maqueda, L. Madrid, F. Ajmone Marsan, H. Grman, C. M. Davidson, A. S. Hursthouse, J. Villaverde // *Journal of Environmental Monitoring*. – 2007. – № 9. – P. 1001-1008.

243. Muller, G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River [Text] / G. Muller // *Geo Journal*. – 1969. – Vol. 2. – P. 108-118.

244. Persaud, D. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario [Text] / D. Persaud, R. Jaagumagi, A. Hayton. – Toronto : Water Resources Branch, Ontario Ministry of the Environment, 1993. – 27 p.

245. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination. A review [Text] / J. B. Kowalska, R. Mazurek, M. Gasiorek, T. Zaleski // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2018. – Vol. 40. – P. 2395-2420.

246. Saaty, T., Vargas, L. Decision Making with the Analytic Network Process. Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks [Text] / T. Saaty, L. Vargas ; ed. by Frederick H. S. – New York : Springer, 2006. – 288 p.

247. Shi, G. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China [Text] / G. Shi, Z. Chen, S. Xu, J. Zhang, L. Wang, C. Bi, J. Teng // *Environmental Pollution*. – 2008. – Vol. 156 (2). – P. 251-260. – DOI: 10.1016/j.envpol.2008.02.027.

248. Trapido, M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Estonian soil: contamination and profiles [Text] / M. Trapido // *Environmental Pollution*. – 1999. – Vol. 105. – P. 67-74.

249. Varol, M. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques [Text] / M. Varol // *Journal of Hazardous Materials*. – 2011. – Vol. 195. – P. 355-364.

250. Wei, B. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China [Text] / B. Wei, L. Yang // *Microchemical Journal*. – 2010. – Vol. 94 (2). – P. 99-107. – DOI: 10.1016/j.microc.2009.09.014.

251. Wepener, V. Application of equilibrium partitioning method to derive copper and zinc quality criteria in water and sediment: A South African perspective [Text] / V. Wepener, J. H. J. van Vuren, H. H. du Preez // *Water SA*. – 2000. – Vol. 26, No. 1. – P. 97.

252. Yu, H. Spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in urban soil of China [Text] / H. Yu, T. Li, Y. Liu, L. Ma // *Chemosphere*. – 2019. – Vol. 230. – P. 498-509.

253. Yuan, X. A meta-analysis of heavy metals pollution in farmland and urban soils in China over the past 20 years [Text] / X. Yuan, N. Xue, Z. Han // *J Environ Sci (China)*. – 2021. – Vol. 101. – P. 217-226. – DOI: 10.1016/j.jes.2020.08.013.

254. Yufeng, Jiang. Distribution, compositional pattern and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils of an industrial city, Lanzhou, China [Text] / Yufeng Jiang, Uwamungu J. Yves, Hang Sun, Xuefei Hu, Huiying Zhan, Yingqin Wu // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2016. – Vol. 126. – P. 154-162.

Приложение А. Список сокращений и условных обозначений

1. БД – База данных
2. БП – Бенз(а)пирен
3. ВЛ – Воздушная линия электропередачи
4. ГИ – Гамма-излучение
5. ГИС – Геоинформационная система
6. ГИЭК – Геолого-экологические исследования и картографирование
7. ДО – Донные отложения
8. ДПР – Дочерние продукты радона
9. ИЗА – Индекс загрязнения атмосферы
10. ИЗВ – Индекс загрязнения воды
11. ИИ – Инженерные изыскания
12. ИЭИ – Инженерно-экологические изыскания
13. КДА – Коэффициент донной аккумуляции
14. КК (Кк_i) – Коэффициент концентрации
15. КНЧ – Крайне низкие частоты
16. КПУ – Кировский промышленный узел
17. ЛЭП – Линии электропередач
18. МП – Магнитное поле
19. МЭД – Мощность эквивалентной дозы
20. МЭквД – Мощность эквивалентной дозы или МАЭД – мощность
амбиентного эквивалента дозы
21. МЭксД – Мощность экспозиционной дозы
22. НД – Нормативные документы
23. НП – Нефтепродукты
24. НЧ – Низкие частоты
25. ОДК – Ориентировочно допустимая концентрация
26. ООПТ – Особо охраняемые природные территории
27. ОА – Объёмная активность радона

28. ОС – Окружающая среда
29. ПАУ – Полициклические ароматические углеводороды
30. ПДК – Предельно допустимая концентрация
31. ПДУ – Предельно допустимый уровень
32. ПНЗ – Пост наблюдения за загрязнением (атмосферного воздуха)
33. ППР – Плотность потока радона
34. ПС – Подстанции (трансформаторные)
35. РУ – Распределительные узлы
36. СП – Свод правил (СП 502.1325800.2021)
37. ТГА – Техногенная геохимическая аномалия
38. ТМ – Тяжелые металлы
39. ТЭЦ – Теплоэлектроцентраль
40. УЗ – Уровень звука
41. УКИЗВ – Уровень комплексного индекса загрязнения воды
42. УКИЗДО – Уровень комплексного индекса загрязнения донных отложений
43. УМПА – Усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы
44. ХНПЗ – Хабаровский нефтеперерабатывающий завод
45. ЭМИ – Электромагнитное излучение
46. ЭМП – Электромагнитные поля
47. ЭП – Электрическое поле
48. ЭРОА – Эквивалентная равновесная объёмная активность радона
49. Igeo – Геохимический индекс загрязнения
50. PERI – Индекс потенциального экологического риска
51. PI – Индекс загрязнения
52. Zc – Суммарный показатель загрязнения (показатель Саета)

Приложение Б. Словарь терминов

1. **База данных** – упорядоченная совокупность сведений, организованных по определённым правилам. Для создания и ведения БД (обновления, обеспечения доступа к ним по запросам и выдачи их пользователю) используется набор языковых и программных средств, называемый системой управления базой данных (СУБД) [Прозоров, 2008].
2. **Водный объект** – природный или искусственный водоем, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод в котором имеет характерные формы и признаки водного режима (согласно ГОСТ Р 59054-2020).
3. **Водоток** – водный объект, характеризующийся движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности [согласно ГОСТ 19179-73].
4. **Гамма-излучение** – коротковолновое электромагнитное излучение, возникающее при распаде радиоактивных ядер и элементарных частиц. Гамма-лучи являются одним из самых проникающих излучений [Прозоров, 2008].
5. **Геохимическая аномалия** – участок земной коры (или поверхности Земли), отличающийся повышенными концентрациями каких-либо химических элементов или их соединений по сравнению с фоновыми значениями [Прозоров, 2008].
6. **Геохимическая ассоциация** – группа химических элементов, которая характеризует состав геохимической аномалии (или, по сути, состав техногенного загрязнения) и геохимический (миграционный) поток, связанный с источником или несколькими источниками техногенного воздействия на исследуемый водоток [Янин, 2002].
7. **Голландские листы** - это нормативы для оценки загрязнённости донных отложений. Они общеприняты в мировой практике и используются, если отсутствует информация о фоновых концентрациях.
8. **Городская среда** – совокупность территорий и земельных участков общего пользования, формируемых в границах населённого пункта (согласно СП 140.13330.2024).

9. **Загрязнение окружающей среды** - поступление в окружающую среду вещества и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду (Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "Об охране окружающей среды")
10. **Инженерно-экологические изыскания** – один из основных видов инженерных изысканий, выполняемый для изучения и оценки инженерно-экологических условий территории (района, площадки, участка, трассы, включая зону возможного воздействия проектируемого объекта), составления прогноза возможных изменений инженерно-экологических условий, обоснования мероприятий по охране окружающей среды и предотвращению негативного воздействия на биотопы и условия жизнедеятельности человека (согласно СП 502.1325800.2021).
11. **Качество окружающей среды** - состояние окружающей среды, которое характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и (или) их совокупностью (Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "Об охране окружающей среды")
12. **Класс качества воды** – уровень качества воды, установленный в интервале числовых значений свойств и состава воды, характеризующих ее пригодность для конкретного вида водопользования (согласно ГОСТ Р 58556-2019).
13. **Класс опасности** – градация химических веществ по степени возможного отрицательного воздействия на почву, растения, животных и человека (согласно ГОСТ Р 70281-2022).
14. **Компоненты природной среды** – атмосферный воздух, почвы (или грунты), поверхностные и подземные воды, донные отложения, растительный покров, животный мир и иные организмы, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле (согласно СП 502.1325800.2021); составные части экосистем: воздух, поверхностные и подземные воды, недра (включая грунты, горные породы), почвы, растительный и животный мир (согласно СП 11-102-97).

15. **Максимальный уровень звука** – наибольший скорректированный по А уровень звука на заданном временном интервале (согласно ГОСТ 23337-2014).
16. **Малая река** – река, имеющая сток в течение всего года или кратковременно прерывающийся вследствие истощения запасов дренируемых ею подземных вод. Условно к категории малые реки относят равнинные реки, имеющие площадь водосбора в пределах 1-2 тыс. км² [Чеботарев, 1964].
17. **Объемная активность радона** (ОА, Бк/м³) - активность радона в одном кубическом метре воздуха (согласно МУ 2.6.1.037-2015).
18. **Окружающая среда** – совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов (Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "Об охране окружающей среды")
19. **Оценка воздействия на окружающую среду** – вид деятельности по выявлению, анализу и учету прямых, косвенных и иных последствий воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной и иной деятельности в целях принятия решения о возможности или невозможности ее осуществления (Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "Об охране окружающей среды")
20. **Плотность потока радона** – активность радона, проходящего через единицу поверхности грунта в единицу времени (согласно СП 502.1325800.2021).
21. **Почва** – самостоятельное естественно-историческое органоминеральное природное тело, возникшее на поверхности земли в результате длительного воздействия биотических, абиотических и антропогенных факторов, состоящее из твердых минеральных и органических частиц, воды и воздуха и имеющее специфические генетико-морфологические признаки, свойства, создающие для роста и развития растений соответствующие условия (согласно СП 502.1325800.2021).
22. **Предельно допустимая концентрация опасного вещества (ПДК)** – максимальное количество опасных веществ в почве, воздушной или водной среде, продовольствии, пищевом сырье и кормах, измеряемое в единице объема

или массы, которое при постоянном контакте с человеком или при воздействии на него за определенный промежуток времени практически не влияет на здоровье людей и не вызывает неблагоприятных последствий (согласно ГОСТ 22.0.05-97).

23. **Природная некондиционность** – это несоответствие качества подземных вод санитарно-эпидемиологическим нормативам, обусловленное природными особенностями формирования химического состава (Об опубликовании доклада «Об экологической ситуации в Свердловской области в 2014 году»).
24. **Радиоактивное загрязнение** – загрязнение поверхности Земли, воздуха, воды, продовольствия и различных предметов радиоактивными веществами в количествах, превышающих уровень, установленный нормами радиационной безопасности и правилами работы с радиоактивными веществами [Прозоров, 2008].
25. **Растительный покров** – совокупность растительных сообществ определенной территории (согласно СП 502.1325800.2021).
26. **Ручей** – небольшой постоянный или временный водный поток, образованный стеканием снеговых или дождевых вод, или выходами на поверхность подземных вод [Чеботарев, 1964].
27. **Техногенез** – процесс изменения природных комплексов и биогеоценозов под воздействием производственной деятельности человека [Прозоров, 2008].
28. **Тяжёлые металлы** – химические элементы со свойствами металлов (в том числе и полуметаллы) и значительным атомным весом либо плотностью. По классификации Н. Реймерса, тяжелыми следует считать металлы с плотностью более 8 г/см^3 . Таким образом, к тяжелым металлам относятся Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg.
29. **Фон (фоновое содержание химических веществ; фоновые значения физических полей)** – количественные значения концентраций химических веществ (элементов) и уровней физических полей, соответствующие их естественным значениям в атмосферном воздухе, поверхностных и подземных

водах, донных отложениях, почвах (или грунтах) ландшафтов, расположенных вне территорий антропогенного воздействия (согласно СП 502.1325800.2021).

30. **Функциональные зоны** – зоны, для которых документами территориального планирования определены границы и функциональное назначение (Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. N 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»).
31. **Эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов изотопов радона** (ЭРОА, Бк/м³) - взвешенная сумма значений активностей короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона (МУ 2.6.1.037-2015).
32. **Эквивалентный уровень звука** – величина, равная десяти десятичным логарифмам отношения квадрата среднеквадратичного звукового давления на заданном временном интервале, измеренного при стандартной частотной характеристике А шумомера или измерительной системы с аналогичными характеристиками, к квадрату опорного звукового давления (ГОСТ 23337-2014).
33. **Энергетическое загрязнение** – загрязнение окружающей среды, связанное с воздействием различных физических полей и излучений, возникающих в результате антропогенной деятельности.
34. **Boxplots** (диаграмма размаха, «ящик с усами», «усиковая диаграмма», коробчатая диаграмма, блочная диаграмма с ограничителями выбросов (англ. box-and-whiskers diagram, box-and-whiskers plot, box plot) – график, использующийся в описательной статистике, компактно изображающий одномерное распределение вероятностей.

Приложение В. Анкета для опроса экспертов

Уважаемый эксперт!

Просим высказать Ваше мнение о значениях весовых коэффициентов при комплексной оценке урбанизированных территорий.

Вопросы:

1. Весовые коэффициенты для различных видов антропогенного воздействия

Таблица В.3.1

Весовые коэффициенты антропогенного воздействия

№ группы	Группа факторов	№ фактора	Фактор	Весовые коэффициенты (0 – 1,0)
1	ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ $\Sigma b_i=1$	1	Химическое загрязнение почвы неорганическими веществами (тяжелые металлы)	
		2	Химическое загрязнение почвы органическими веществами (бенз(а)пирен)	
		3	Химическое загрязнение почвы нефтепродуктами	
2	БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ $\Sigma b_i=1$	4	Микробиологическое загрязнение (индексы БГКП (колиформы); индекс энтерококков; патогенные, в т.ч. сальмонеллы)	
		5	Паразитологическое загрязнение почв (яйца геогельминтов (жизнеспособные), цисты кишечных патогенных простейших)	
3	ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ $\Sigma b_i=1$	6	Химическое загрязнение поверхностных вод (ИЗВ)	
		7	Химическое загрязнение подземных вод	
		8	Химическое загрязнение донных отложений (тяжелые металлы)	
		9	Химическое загрязнение донных отложений (бенз(а)пирен)	

Окончание таблицы В.3.1

4	ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА $\Sigma b_i=1$	10	Химическое загрязнение атмосферного воздуха (по ИЗА)	
5	РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ $\Sigma b_i=1$	11	Радионуклиды в почвах (эффективная активность ЕРН)	
		12	Плотность потока радона с поверхности грунта	
		13	Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения	
6	ФИЗИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ $\Sigma b_i=1$	14	Шумовое воздействие (сред. эквивалентные уровни звука)	
		15	Электро-магнитное излучение (напряженность электрического поля и напряженность магнитного поля)	

2. Весовые коэффициенты суммарного антропогенного воздействия

Таблица В.3.2

Весовые коэффициенты суммарного антропогенного воздействия

№ группы	Группа факторов	№ фактора	Фактор	Весовые коэффициенты (0 – 1,0)
1	АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ $\Sigma b_i=1$	1	Химическое загрязнение почв	
		2	Биологическое загрязнение почвы	
		3	Химическое загрязнение вод и донных отложений	
		4	Химическое загрязнение атмосферного воздуха	
		5	Радиационное воздействие (радионуклиды в почвах, радоноопасность и мощность эквивалентной дозы)	
		6	Физическое воздействие (шум, электро-магнитное излучение)	

3. Весовые коэффициенты комплексной оценки

Таблица В.3.3

Весовые коэффициенты комплексной оценки

№ фактора	Фактор	Весовые коэффициенты, (0 – 1,0) $\Sigma b_i=1$
1	АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ	
2	ФУНКЦИИ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ	

Приложение Г. Содержания загрязняющих веществ в почвах г.Хабаровска

Таблица Г.4.1

Загрязнение почв нефтепродуктами на территории города Хабаровска, мг/кг

№ станции отбора	Административный район Хабаровска	Местоположение объекта (координаты в системе WGS 84)	Содержание НП, мг/кг	Уровни загрязнения	
				1*	2**
ЖИЛАЯ ЗОНА					
1	Краснофлотский	N48°34'29,2641" E135°02'10,1412"	19,1	Д	Ф
2	Краснофлотский	N48°34'32,6737" E135°03'46,0884"	148,1	Д	ПФ
3	Краснофлотский	N48°33'42,8662" E135°02'36,1082"	287,9	Д	ПФ
4	Краснофлотский	N48°33'25,1618" E135°02'39,7588"	9,75	Д	Ф
5	Краснофлотский	N48°33'38,8595" E135°06'49,5789"	167,5	Д	ПФ
6	Краснофлотский	N48°32'10,8806" E135°02'05,6536"	303,75	Д	ПФ
7	Краснофлотский	N48°31'19,2659" E135°01'51,5716"	325,4	Д	ПФ
8	Краснофлотский	N48°31'43,5686" E135°03'23,3393"	484,3	Д	ПФ
9	Железнодорожный	N48°30'11,4635" E135°03'57,6235"	39,7	Д	Ф
10	Железнодорожный	N48°30'34,8896" E135°05'33,3039"	31,3	Д	Ф
11	Железнодорожный	N48°30'23,2363" E135°06'31,9020"	1266,3	Н	УО
12	Село Тополево	N48°30'24,2298" E135°07'10,1457"	239,5	Д	ПФ
13	Село Тополево	N48°30'23,4199" E135°07'55,5292"	11,4	Д	Ф
14	Железнодорожный	N48°30'25,5867" E135°10'40,2959"	16,3	Д	Ф
15	Железнодорожный	N48°30'38,2135" E135°10'37,8439"	98,0	Д	Ф
16	Железнодорожный	N48°30'04,6139" E135°04'15,3352"	40,0	Д	Ф
17	Железнодорожный	N48°30'11,0554" E135°04'26,3468"	47,7	Д	Ф
18	Железнодорожный	N48°30'14,6625" E135°06'37,7863"	1449,2	Н	УО
19	Кировский	N48°29'32,5748" E135°03'30,7702"	6,6	Д	Ф
20	Железнодорожный	N48°29'44,4384" E135°05'52,9588"	294,7	Д	ПФ
21	Кировский	N48°29'02,3449" E135°02'43,6547"	42,9	Д	Ф
22	Центральный	N48°29'10,3404" E135°04'48,9238"	230,3	Д	ПФ
23	Центральный	N48°29'25,9666" E135°05'49,6353"	89,8	Д	Ф
24	Центральный	N48°28'29,5517" E135°03'19,4409"	129,5	Д	ПФ
25	Центральный	N48°28'28,9532" E135°03'33,0200"	370,0	Д	ПФ
26	Центральный	N48°28'42,2957" E135°04'14,4991"	19,1	Д	Ф
27	Центральный	N48°28'38,4408" E135°04'53,2745"	48,5	Д	Ф
28	Центральный	N48°29'04,2536" E135°04'14,3212"	273,9	Д	ПФ
29	Центральный	N48°28'44,9519" E135°05'45,9824"	538,5	Д	У
30	Центральный	N48°28'08,3218" E135°03'55,5015"	179,7	Д	ПФ
31	Центральный	N48°28'16,9187" E135°04'21,6359"	1173,8	Н	УО
32	Индустриальный	N48°27'14,8732" E135°06'43,7348"	50,7	Д	Ф
33	Индустриальный	N48°26'57,8553" E135°06'11,1170"	107,7	Д	ПФ
34	Индустриальный	N48°26'38,5250" E135°06'01,4480"	124,9	Д	ПФ
35	Индустриальный	N48°26'25,5587" E135°06'01,5791"	80,7	Д	Ф
36	Индустриальный	N48°26'15,6567" E135°06'22,1694"	117,1	Д	ПФ
37	Железнодорожный	N48°25'40,8764" E135°08'45,0246"	5,0	Д	Ф
38	Индустриальный	N48°23'51,4803" E135°06'28,2383"	37,6	Д	Ф
39	Индустриальный	N48°23'22,7287" E135°05'55,8409"	62,42	Д	Ф
40	Индустриальный	N48°23'11,1049" E135°05'29,5509"	10,3	Д	Ф

Окончание таблицы Г.4.1

№ станции отбора	Административный район Хабаровска	Местоположение объекта (координаты в системе WGS 84)	Содержание НП, мг/кг	Уровни загрязнения	
				1*	2**
АГРОСЕЛИТЕБНАЯ ЗОНА					
41	Железнодорожный	N48°32'53,4416" E135°05'21,0136"	2,8	Д	Ф
42	Железнодорожный	N48°32'35,9002" E135°04'08,8643"	13,5	Д	Ф
43	Железнодорожный	N48°32'25,6929" E135°05'26,4697"	6,1	Д	Ф
44	Железнодорожный	N48°32'15,6386" E135°05'28,1692"	47,8	Д	Ф
45	Железнодорожный	N48°32'01,8643" E135°04'53,2919"	6,6	Д	Ф
46	Железнодорожный	N48°31'53,5530" E135°04'52,2876"	5,4	Д	Ф
47	Железнодорожный	N48°26'54,8679" E135°09'56,3946"	9,1	Д	Ф
48	Железнодорожный	N48°24'48,6371" E135°10'09,1043"	6,0	Д	Ф
ПРОМЫШЛЕННАЯ ЗОНА					
49	Краснофлотский	N48°33'24,8779" E135°05'01,9338"	24,1	Д	Ф
50	Краснофлотский	N48°32'38,3997" E135°00'51,0709"	129,0	Д	ПФ
51	Краснофлотский	N48°32'08,9326" E135°01'41,2275"	746,4	Д	У
52	Железнодорожный	N48°32'26,9640" E135°04'13,7764"	269,5	Д	ПФ
53	Железнодорожный	N48°32'13,0950" E135°04'10,3866"	504,2	Д	У
54	Железнодорожный	N48°31'47,9192" E135°03'44,4270"	34,4	Д	Ф
55	Железнодорожный	N48°31'10,1773" E135°04'17,6242"	232,8	Д	ПФ
56	Железнодорожный	N48°31'14,8916" E135°09'04,6886"	178,8	Д	ПФ
57	Кировский	N48°30'21,4483" E135°02'02,0612"	898,5	Д	У
58	Кировский	N48°30'21,8960" E135°03'41,4131"	406,4	Д	ПФ
59	Кировский	N48°29'58,7003" E135°02'12,6030"	396,3	Д	ПФ
60	Кировский	N48°29'56,0385" E135°02'46,3704"	169,7	Д	ПФ
61	Железнодорожный	N48°30'08,4254" E135°03'57,0214"	18,8	Д	Ф
62	Железнодорожный	N48°29'49,3199" E135°06'58,3926"	1925,0	Н	УО
63	Кировский	N48°29'34,7293" E135°02'25,5483"	720,0	Д	У
64	Кировский	N48°29'32,8343" E135°02'18,4564"	6840,0	ОВ	ОС
65	Железнодорожный	N48°28'17,3024" E135°09'57,8367"	38,8	Д	Ф
66	Индустриальный	N48°27'46,5700" E135°06'11,9792"	332,2	Д	ПФ
67	Железнодорожный	N48°28'05,3877" E135°07'45,4490"	85,5	Д	Ф
68	Индустриальный	N48°27'48,3085" E135°06'51,2428"	119,6	Д	ПФ
69	Индустриальный	N48°27'11,6787" E135°07'08,0910"	120,0	Д	ПФ
70	Индустриальный	N48°26'59,2147" E135°07'11,6227"	37,0	Д	Ф
71	Индустриальный	N48°26'44,7397" E135°06'59,4732"	253,0	Д	ПФ
72	Железнодорожный	N48°25'39,6463" E135°07'43,0200"	790,0	Д	У
73	Индустриальный	N48°24'40,0408" E135°05'45,8393"	20,8	Д	Ф
74	Индустриальный	N48°25'08,1341" E135°06'34,2283"	91,8	Д	Ф
75	Индустриальный	N48°24'15,2068" E135°05'31,2780"	3979,0	В	С (О)
76	Индустриальный	N48°24'06,4572" E135°08'55,4492"	673,1	Д	У
77	Индустриальный	N48°23'31,7577" E135°08'26,1824"	107,6	Д	ПФ
78	Индустриальный	N48°23'31,4624" E135°08'38,5258"	12,5	Д	Ф
79	Индустриальный	N48°23'42,6337" E135°09'50,5804"	17,0	Д	Ф
80	Индустриальный	N48°23'53,7195" E135°10'22,6381"	19,7	Д	Ф
Среднее содержание по жилой зоне:			224,5	Д	ПФ
Среднее содержание по агроселитебной зоне:			12,2	Д	Ф
Среднее содержание по производственной зоне:			630,98	Д	У
<p>1* – По критерию «Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2019 году: Ежегодник. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 2020 г. 129 с.»;</p> <p>2** – По критерию «Письмо Минприроды России от 27.12.1993 N 04-25.»;</p> <p>Буквами обозначены уровни:</p> <p>Д – допустимый, Н – низкий, В – высокий, ОВ – очень высокий, Ф – фоновый, ПФ – повышенно-фоновый, У – умеренный, УО – умеренно-опасный, С (О) – сильный (опасный), ОС – очень сильный.</p>					

Загрязнение почв бенз(а)пиреном на территории города Хабаровска, мг/кг

№ станции отбора*	Содержание бенз(а)пирена, мг/кг	Доли ПДК	Категория загрязнения почв
ЖИЛАЯ ЗОНА			
1	0,044±0,011	2,2	опасная
2	<0,005	н.п.о.	чистая
3	0,026±0,006	1,3	опасная
4	<0,005	н.п.о.	чистая
5	0,005±0,001	0,25	чистая
6	0,031±0,009	1,55	допустимая **
7	0,399±0,099	19,95	чрезвычайно опасная
8	0,005±0,001	0,25	чистая
9	0,01±0,002	0,5	чистая
10	<0,005	н.п.о.	чистая
11	0,022±0,005	1,1	опасная
12	0,009±0,002	0,45	чистая
13	<0,005	н.п.о.	чистая
14	0,013±0,003	0,65	чистая
15	<0,005	н.п.о.	чистая
16	0,776±0,128	38,8	чрезвычайно опасная
17	0,276±0,055	13,8	чрезвычайно опасная
18	<0,005	н.п.о.	чистая
19	<0,005	н.п.о.	чистая
20	0,014±0,003	0,7	чистая
21	<0,005	н.п.о.	чистая
22	0,078±0,006	3,9	опасная
23	0,28±0,055	14	чрезвычайно опасная
26	< 0,005	н.п.о.	чистая
27	0,042±0,009	2,1	опасная
28	0,009±0,002	0,45	чистая
29	0,0135±0,003	0,675	чистая
30	0,0085±0,002	0,425	чистая
31	0,038±0,009	1,9	допустимая **
32	0,01±0,002	0,5	чистая
33	0,02±0,005	1	допустимая **
34	<0,005	н.п.о.	чистая
35	0,0125±0,003	0,625	чистая
36	0,067±0,017	3,35	опасная
37	<0,005	н.п.о.	чистая
38	0,009±0,002	0,45	чистая
39	0,4026±0,099	20,13	чрезвычайно опасная
40	0,007±0,001	0,35	чистая
АГРОСЕЛИТЕБНАЯ ЗОНА			
41	<0,005	н.п.о.	чистая
42	0,048±0,01	2,4	опасная
43	<0,005	н.п.о.	чистая
44	0,03±0,007	1,5	допустимая **
45	<0,005	н.п.о.	чистая

Окончание таблицы Г.4.2

№ станции отбора*	Содержание бенз(а)пирена, мг/кг	Доли ПДК	Категория загрязнения почв
46	<0,005	н.п.о.	чистая
47	<0,005	н.п.о.	чистая
48	<0,005	н.п.о.	чистая
ПРОМЫШЛЕННАЯ ЗОНА			
49	<0,005	н.п.о.	чистая
50	0,01±0,002	0,5	чистая
51	0,097±0,02	4,85	опасная
52	0,0085±0,002	0,425	чистая
53	0,0357±0,008	1,785	допустимая **
54	<0,005	н.п.о.	чистая
55	0,038±0,009	1,9	допустимая **
56	0,01±0,002	0,5	чистая
57	0,031±0,007	1,55	допустимая **
58	0,02±0,005	1	допустимая **
59	0,528±0,13	26,4	чрезвычайно опасная
60	<0,005	н.п.о.	чистая
61	0,194±0,048	9,7	чрезвычайно
62	0,057±0,014	2,85	опасная
63	0,04±0,01	2	опасная
64	<0,005	н.п.о.	чистая
65	<0,005	н.п.о.	чистая
66	0,047±0,01	2,35	опасная
67	0,007±0,001	0,35	чистая
68	0,036±0,009	1,8	допустимая **
69	0,009±0,002	0,45	чистая
70	<0,005	н.п.о.	чистая
71	<0,005	н.п.о.	чистая
72	0,02±0,005	1	допустимая **
73	<0,005	н.п.о.	чистая
74	0,014±0,003	0,7	чистая
75	0,055±0,014	2,75	опасная
76	0,008±0,002	0,4	чистая
77	<0,005	н.п.о.	чистая
78	0,007±0,001	0,35	чистая
79	<0,005	н.п.о.	чистая
80	<0,005	н.п.о.	чистая
Примечание: * – координаты станций отбора приведены в таблице П.4.1 н.п.о. – значение ниже предела обнаружения прибором; ** – в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 (для почв загрязнённых органическим токсикантом 1 класса опасности на уровне от 1 до 2 ПДК устанавливается категория «допустимая»			

Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвах жилой зоны города
Хабаровска, мг/кг (цветом выделены превышения допустимых норм)

№ станции отбора*	Ph сол., ед. рН	Содержание загрязняющих веществ, мг/кг							Zc1	Zc2
		Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Zn		
1	6,1	0,16	10,5	3,9	9,9	0,034	16,2	48,4	1,05	2,26
2	5,7	0,25	17,3	5,4	24,8	0,031	17,9	64,1	1,87	4,31
3	7,4	0,62	27,1	14,9	92,3	0,035	66,3	175,4	13,28	20,14
4	4,1	0,29	12,7	10,45	9,2	0,037	12,84	45,1	1,45	6,17
5	5	0,33	22,1	7,2	18,2	0,034	24,4	80,2	2,36	6,9
6	6,8	0,6	21	5,7	38,8	0,098	27,25	70,9	4,34	6,68
7	5,8	0,29	23,5	5,8	23,5	0,08	27,94	107,4	3,46	6,87
8	6,4	0,3	17,3	6,4	21,8	0,03	66,45	132,25	5,58	9,93
9	4,6	0,39	15,9	6,8	58,4	0,029	21,4	53,6	4,01	6,97
10	4,6	0,35	10,8	5,9	17,4	0,029	18,6	55,4	1,37	5,07
11	5,8	0,35	17,64	9,87	21,2	0,0325	29,5	72,5	2,85	8,16
12	7,2	0,2	24,3	7,8	24	0,029	47	84	4,08	7,83
13	3,1	0,46	16	9,3	15,5	0,059	22,5	48,8	1,99	7,71
14	5,1	0,27	13,3	9,1	15,1	0,03	21,1	52,9	1,49	5,97
15	5,6	0,22	18,9	6	12,8	0,049	38,2	53,8	2,16	5,56
16	5,7	0,87	47,2	12	22	0,194	55,6	444,3	15,85	26,37
17	4,1	0,3	30,5	6	11,9	0,075	25,6	152,1	4,28	8,35
18	5,1	0,25	11,3	3,9	18,98	0,025	15,8	48,52	1,19	2,99
19	3,9	0,29	9,2	6,2	12	0,074	19,5	65,5	1,42	4,99
20	7,6	0,23	18,5	2,9	10,7	0,038	39,7	83,4	2,86	4,97
21	6,5	0,13	6,6	4,3	8,1	0,015	11,4	28,8	< 1	2,04
22	5,8	0,15	12,88	4,3	10	0,0695	18,2	67,05	1,45	2,91
23	5,2	0,27	30,8	12	29	0,096	41,9	158,1	6,67	12,06
24	7,53	0,21	14,18	3,67	9,88	0,09	32,95	97,33	2,8	4,78
26	4,8	0,2	8,3	2,23	11,2	0,018	10,9	26,4	< 1	1,68
27	6,3	0,44	25,1	6	12,4	0,086	48,2	178,1	6,13	11,24
28	7	0,27	13,8	3	7	0,024	77,3	91,1	4,94	7,79
29	6,45	0,315	20,1	5,7	14,2	0,065	41,35	123,9	3,92	8,07
30	7,15	0,25	12,75	5	11,9	0,05	24,75	69,75	1,78	4,56
31	6,3	0,73	25,2	5,4	16,3	0,052	66,3	257,7	9,72	16,36
32	5,7	0,35	18,5	5,7	13,5	0,017	13,4	44,2	1,15	4,74
33	6,3	0,34	25,6	6,8	18,5	0,034	27,5	307,1	7,67	12,29
34	4,9	0,29	36	9,03	100,3	0,044	40,2	92,5	9,3	12
35	7,6	0,19	10,75	5,25	11,85	0,027	13,3	34,65	< 1	2,97
36	6,4	0,45	24,08	6,33	18,09	0,064	42,88	270,88	7,92	13,11
37	4,7	0,4	14,7	5,2	18,4	0,042	11,4	52,6	1,53	4,87
38	4,5	0,235	12,85	6,6	25,65	0,0285	16,85	52,3	1,67	4,24
39	5,3	0,276	19,26	10,78	19,5	0,0304	29,46	84,28	3,06	8,32
40	5,9	0,42	58,3	12,05	22,5	0,029	19,05	46,65	4,59	11,17
Среднее	5,7	0,33	19,87	6,79	21,97	0,0493	30,8	103,13	4,2	7,78
Min	3,1	0,13	6,6	2,23	7,0	0,015	10,9	26,4	< 1	1,68
Max	7,6	0,87	58,3	14,9	100,3	0,194	77,3	444,3	15,85	26,37

Примечание: * – координаты станций отбора приведены в таблице П.4.1
Zc1 – суммарный показатель рассчитан по фоновым значениям исследуемой местности;
Zc2 – суммарный показатель рассчитан по СП 502.1325800.2021 (Приложение Д)

Таблица Г.4.4

Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвах агроселитебной зоны города Хабаровска, мг/кг (цветом выделены превышения допустимых норм)

№ станции отбора*	Ph сол., ед. рН	Содержание загрязняющих веществ, мг/кг							Zc1	Zc2
		Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Zn		
41	3,9	0,25	7,6	7,5	10,4	0,024	18,5	44,2	1,04	4,73
42	4,5	0,64	26	11,4	34,4	0,066	37,5	93,2	6,08	12,97
43	3,7	0,71	13,7	13,3	18,5	0,03	26,9	69,9	4,14	12,31
44	4,2	0,96	23,6	10,1	22,3	0,084	71,3	186,3	9,82	19,06
45	4,5	0,285	23,1	11,35	26,5	0,039	27,05	87,35	3,71	8,82
46	4,9	0,34	20,6	13,1	30,87	0,031	23,3	85,7	3,95	9,65
47	5,9	0,3	15,6	7,4	17,9	0,023	19,8	69,3	1,62	5,76
48	5,8	0,28	13,3	5,9	16,9	0,025	18,8	53,5	1,17	4,46
Среднее	4,7	0,47	17,9	10,0	21,6	0,04	30,4	86,2	3,94	9,72
Min	3,7	0,25	7,6	5,9	10,4	0,023	18,5	44,2	1,04	4,46
Max	5,9	0,96	26,0	13,3	34,4	0,084	71,3	186,3	9,82	19,06

Примечание: * – координаты станций отбора приведены в таблице П.4.1
 Zc1 – суммарный показатель рассчитан по фоновым значениям исследуемой местности;
 Zc2 – суммарный показатель рассчитан по СП 502.1325800.2021 (Приложение Д)

Таблица Г.4.5

Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвах промышленной зоны города Хабаровска, мг/кг (цветом выделены превышения допустимых норм)

№ станции отбора*	Ph сол., ед. рН	Содержание загрязняющих веществ, мг/кг							Zc1	Zc2
		Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Zn		
49	4,7	0,26	12,6	6,2	13,2	0,028	21,97	80	1,86	5,23
50	6,8	0,465	93,75	5,5	46,1	0,082	38,1	99,3	9,51	13,91
51	7,6	0,17	15,3	4,4	13,6	0,024	20,5	60,6	1,36	3,15
52	4,9	2,56	58	12	19	0,347	32	253	17,09	36,88
53	5,3	0,327	77,1	7,6	20	0,0327	30,2	89,1	6,02	11,31
54	4,9	0,236	11,58	7,94	14,5	0,0176	16,1	47,02	1,12	4,69
55	5,7	0,26	12	3,6	7,6	0,038	12	64,4	1,39	3,23
56	4,5	0,437	15,1	4,3	18,83	0,0307	19,76	43	1,55	4,92
57	4,9	0,36	15,2	4	25	0,062	13,9	81,7	2,23	4,65
58	7	0,27	22,69	4,95	14,97	0,031	62,03	123,04	5,09	8,88
59	7,5	0,26	22,3	7,6	36,1	0,337	45	73,9	5,03	10,32
60	6,9	0,35	26	5,7	24,5	0,033	44,4	181,3	6,23	10,23
61	4,5	0,4	16,5	7,45	27,1	0,0295	20,93	52,9	2,17	6,39
62	7,4	0,35	28,4	7,5	24,1	0,055	115	301,8	12,6	18,59
63	7	0,3	13,5	5,9	13,7	0,031	36,4	98,3	2,99	6,79
64	7,8	0,22	24,8	9,3	18,7	0,023	28,7	90,9	3,21	7,65
65	6,2	0,21	14,3	1,95	18,85	0,036	11,12	32,3	1,13	1,75
66	6,9	0,17	12,5	3,18	13,57	0,03	4,35	117,99	2,55	3,48
67	6,8	0,15	16,25	6,05	10,3	0,013	6,4	34,45	< 1	3,08
68	6,5	0,22	11,3	4,28	18,77	0,13	18,2	57,8	1,38	3,58
72	6,6	0,28	14,7	4,8	14,9	0,012	22,3	432,4	9,5	12,61
73	7,3	0,4	33,06	6,2	15,6	0,029	11,7	28,6	2,11	6,36
74	6,3	0,15	9,1	3,7	9,7	0,023	14,7	35,4	< 1	1,93
75	6,7	0,265	34,15	3,05	21,75	0,021	16,95	76,25	2,83	4,7

Окончание таблицы Г.4.5

№ станции отбора*	Ph сол., ед. рН	Содержание загрязняющих веществ, мг/кг							Zc1	Zc2
		Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Zn		
76	7,9	0,26	17,6	4,9	12,6	0,14	20,57	89,7	2	5,33
77	7,3	0,205	22,35	5,9	18,7	0,031	22,7	90,65	2,47	5,41
78	5,1	0,29	18,4	10,2	31	0,035	20	90,2	3,26	7,65
79	4,2	0,345	9,57	7,74	12,05	0,007	8,8	45,66	1,19	5,41
80	4,8	0,36	21,7	6,9	17,1	0,025	22	57,5	1,75	6,33
Среднее	6,2	0,363	24,13	5,96	19,03	0,063	26,1	101,0	4,06	7,74
Min	4,2	0,15	9,1	1,95	7,6	0,007	4,4	28,6	< 1	1,75
Max	7,9	2,56	93,75	12,0	46,1	0,347	115,0	432,4	17,09	36,88

Примечание: * – координаты станций отбора приведены в таблице П.4.1
 Zc1 – суммарный показатель рассчитан по фоновым значениям исследуемой местности;
 Zc2 – суммарный показатель рассчитан по СП 502.1325800.2021 (Приложение Д)

Таблица Г.4.6

Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвах всех территорий города Хабаровска, мг/кг (цветом выделены превышения допустимых норм)

Значение	Ph сол., ед. рН	Содержание загрязняющих веществ, мг/кг							Zc1	Zc2
		Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Zn		
Среднее	5,8	0,358	21,29	6,81	20,8	0,054	29,05	101,1	4,15	7,97
Минимальное	3,1	0,13	6,6	1,95	7,0	0,007	4,4	26,4	< 1	1,68
Максимальное	7,9	2,56	93,75	14,9	100,3	0,347	115,0	444,3	17,09	36,88
ОДК при pH<5,5		1,0	66,0	5,0	40,0	-	65,0	110,0	-	-
ОДК при pH>5,5		2,0	132,0	10,0	80,0	-	130,0	220,0	-	-
ПДК		-	-	2,0	-	2,1	-	-	16,0	16,0

Примечание:
 Zc1 – суммарный показатель рассчитан по фоновым значениям исследуемой местности;
 Zc2 – суммарный показатель рассчитан по СП 502.1325800.2021 (Приложение Д)

Приложение Д. Описательная статистика содержания тяжелых металлов и мышьяка в почве г. Хабаровска

Таблица Д.5.1

Описательная статистика

Параметр	Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Zn
Зоны	жилая n =39 (точек аномальных значений 10 - 3,7 % , в т.ч. полиэлементного загрязнения 3 - 1,1 %)						
Межквартильный размах, мг/кг	0,16	11,5	3,8	10,6	0,036	23,5	72
Медиана и квартили, мг/кг	0,29 (0,23;0,39)	17,6 (12,9; 24,3)	6,0 (5,2; 9,0)	17,4 (11,9; 22,5)	0,035 (0,029;0,065)	25,6 (17,9;41,4)	71 (52; 124)
Доля аномальных значений, %	5,1	5,1	2,6	10,3	2,6	2,6	10,3
Максимальное аномальное значение , доли ПДК/ОДК	0,4	0,4	1,5	2,5	0,1	0,6	2,0
Доля точек полиэлементного загрязнения, %	5,1	2,6	2,6	2,6	2,6		5,1
Параметры	Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Zn
Зоны	агроселитебная n =8 (точек аномальных значений 1- 1,8 % , в т.ч. полиэлементного загрязнения 1 - 1,8 %)						
Межквартильный размах, мг/кг	0,41	10,1	5,3	12,63	0,036	15,4	35
Медиана и квартили, мг/кг	0,32 (0,28;0,69)	18,1 (13,4;23,5)	10,7 (7,4;12,7)	20,4 (17,1; 29,8)	0,031 (0,023; 0,059)	25,1 (19,5; 34,9)	78 (57;92)
Доля аномальных значений, %						12,5	12,5
Максимальное аномальное значение , доли ПДК/ОДК						1,1	1,7
Доля точек полиэлементного загрязнения, %						12,5	12,5
Параметры	Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Zn
Зоны	промышленная n =29 (точек аномальных значений 10 - 4,9 % , в т.ч. полиэлементного загрязнения 3 - 1,5 %)						
Межквартильный размах, мг/кг	0,14	12,3	3,3	9,3	0,023	16,8	49
Медиана и квартили, мг/кг	0,27 (0,22;0,36)	16,5 (13,1;25,4)	5,9 (4,3;7,6)	18,7 (13,6; 22,9)	0,031 (0,024; 0,047)	20,6 (14,3; 31,1)	80 (50; 99)
Доля аномальных значений, %	3,6	10,7	0,0	3,6	14,3	7,1	14,3
Максимальное аномальное значение , доли ПДК/ОДК	2,6	0,7		0,6	0,2	0,9	2,0
Доля точек полиэлементного загрязнения, %	3,4	6,9		3,4	3,4	3,4	6,9
Примечание: При определении основных характеристик Boxplots, диаграммы размаха строились для каждого элемента индивидуально по функциональным зонам и общему массиву данных.							

**Приложение Е. Расчетные формулы использованных для оценки риска
загрязнения почв показателей и индексов**

Таблица Е.6.1

Расчетные формулы индексов

Показатели	Расчетные формулы	Параметры формул
<p>Индекс геоаккумуляции I_{geo} (Geoaccumulation Index) Геохимический критерий для выявления загрязнения. Позволяет сравнивать текущее и предыдущее загрязнение. С 1969 года индекс геоаккумуляции (I_{geo}) обычно используется в качестве геохимического критерия для оценки степени загрязнения одним элементом в отложениях или почвах окружающей среды</p>	$I_{geo} = \log_2(C_i/1,5 GB)$	<p>где C_i – содержание металла в верхнем горизонте; GB – фоновое содержание (или кларк в почве)</p>
<p>Индекс загрязнения (Single Pollution Index). Используется для выявления наличия загрязнения отдельными поллютантами. Основа для расчета комплексных показателей загрязнения</p>	$PI = C_i/GB$ PL	<p>где C_i – содержание металла в верхнем горизонте; GB_i – фоновое содержание (или кларк в почве)</p>
<p>PLI – коэффициент загрязнения (Pollution Load Index), рассчитывается как геометрическое среднее от PI. Указывает на совокупную аккумуляцию тяжелых металлов</p>	$PLI = (PI_1 \cdot PI_2 \cdot \dots \cdot PI_n)^{1/n}$ $PLI = (PI_1 \cdot PI_2 \cdot \dots \cdot PI_n)^{1/n}$	<p>где $PI_1, PI_2 \dots PI_n$ – индексы загрязнения отдельных металлов; n – количество учитываемых металлов</p>
<p>Показатель потенциального экологического риска (Potential Ecological Risk)</p>	$PERI = \sum PI_i \cdot T_i,$	<p>где T_i – коэффициент токсичности тяжелого металла. Значения T_i для Cd, Cu, As, Ni, Hg, Pb, Zn равны 30, 5, 10, 5, 40, 5, 1 соответственно</p>

Ранжирование индексов

Показатели	Ранжирование
Индекс геоаккумуляции Igeo (Geoaccumulation Index)	Ранжирует семь классов состояния почв: $I_{geo} < 0$ – чистые; $0 < I_{geo} < 1$ – загрязнение от слабого до среднего; $1 < I_{geo} < 2$ – средняя степень загрязнения; $2 < I_{geo} < 3$ – загрязнение от среднего до сильного; $3 < I_{geo} < 4$ – сильное загрязнение; $4 < I_{geo} < 5$ – загрязнение от сильного до очень сильного; $5 < I_{geo}$ – очень сильное загрязнение. Коэффициент 1,5 применяется для выявления даже незначительного антропогенного воздействия
Коэффициент концентрации EF (Enrichment Factor)	Ранжирует пять уровней накопления металла: минимальное ($EF < 2$), среднее (2-5), значительное (5-20), очень высокое (20-40), чрезвычайно высокое (> 40)
Индекс загрязнения (Single Pollution Index).	Ранжирует пять уровней загрязнения: $PI < 1$ – отсутствие загрязнения, $1 < PI < 2$ – слабое загрязнение, $2 < PI < 3$ – среднее, $3 < PI < 5$ – сильное, $PI > 5$ – очень сильное загрязнение
Коэффициент загрязнения PLI (Pollution Load Index)	Значение PLI ниже 1,0 свидетельствует об отсутствии загрязнения].
Показатель потенциального экологического риска (Potential Ecological Risk)	Значение PERI < 90 означает низкий уровень экологической опасности, 9-180 – средний, 180-360 – высокий, 360-720 – очень высокий, > 720 – чрезвычайно высокий

Приложение Ж. Динамика загрязнения атмосферного воздуха в г.Хабаровске

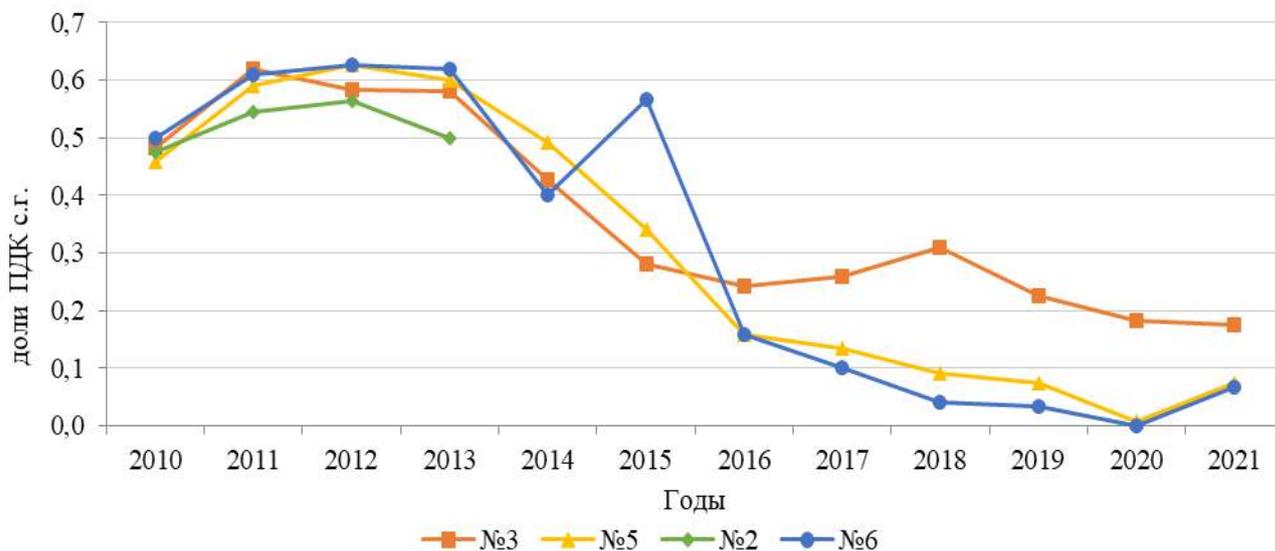


Рисунок Ж.7.1 – Динамика изменения среднегодовых концентраций диоксида серы по данным стационарных постов г. Хабаровска (2010-2021 гг.)

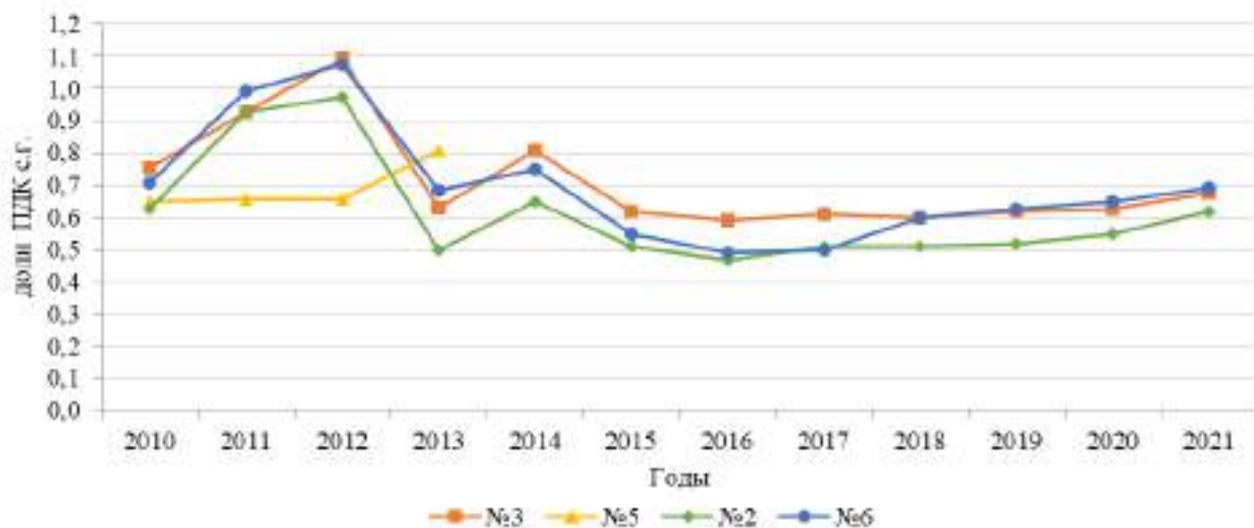


Рисунок Ж.7.2 – Динамика изменения среднегодовых концентраций оксида углерода по данным стационарных постов г. Хабаровска (2010-2021 гг.)

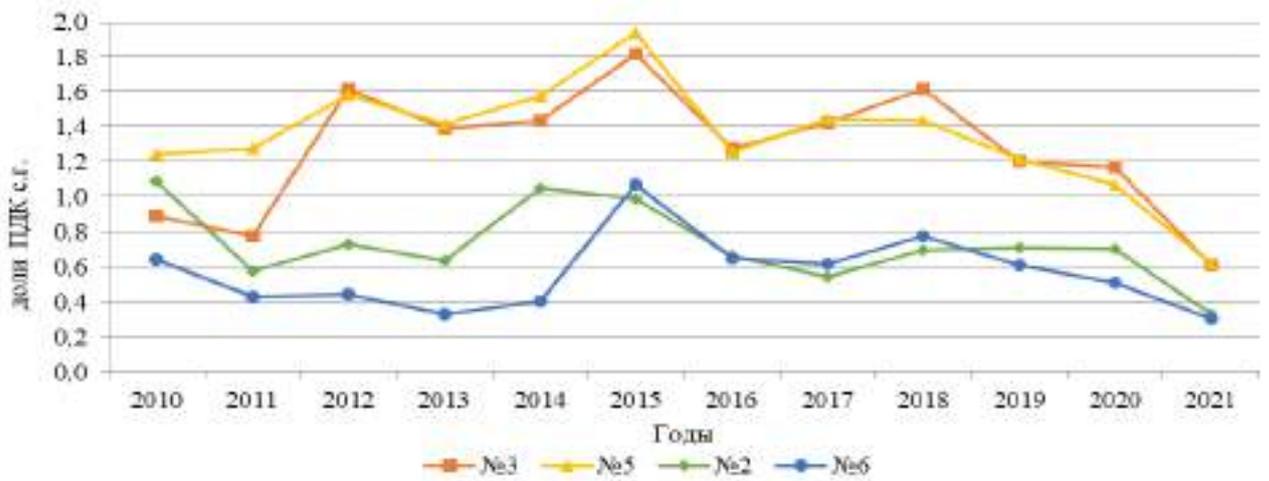


Рисунок Ж.7.3 – Динамика изменения среднегодовых концентраций диоксида азота по данным стационарных постов г. Хабаровска (2010-2021 гг.)



Рисунок Ж.7.4 – Динамика изменения среднегодовых концентраций оксида азота по данным стационарных постов г. Хабаровска (2010-2021 гг.)

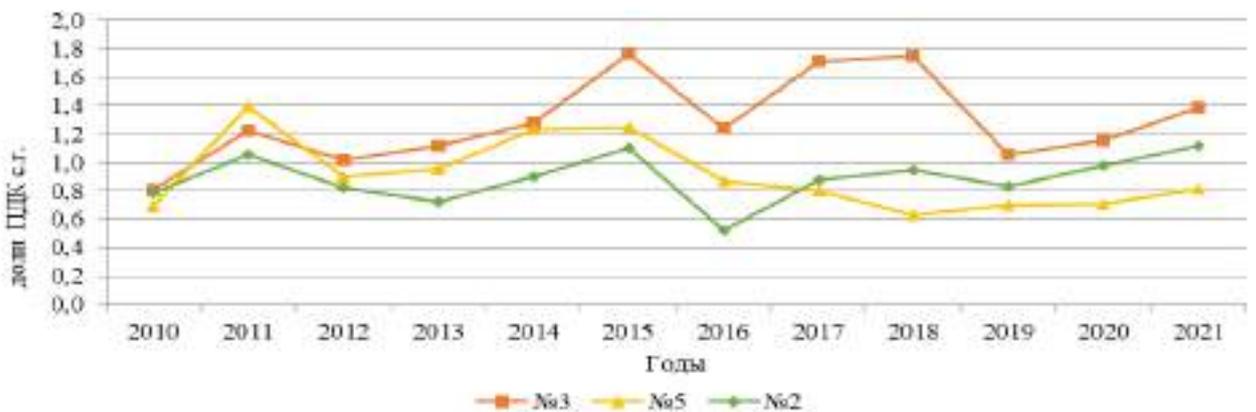


Рисунок Ж.7.5 – Динамика изменения среднегодовых концентраций формальдегида по данным стационарных постов г. Хабаровска (2010-2021 гг.)



Рисунок Ж.7.6 – Динамика изменения среднегодовых концентраций аммиака по данным стационарных постов г. Хабаровска (2010-2021 гг.)

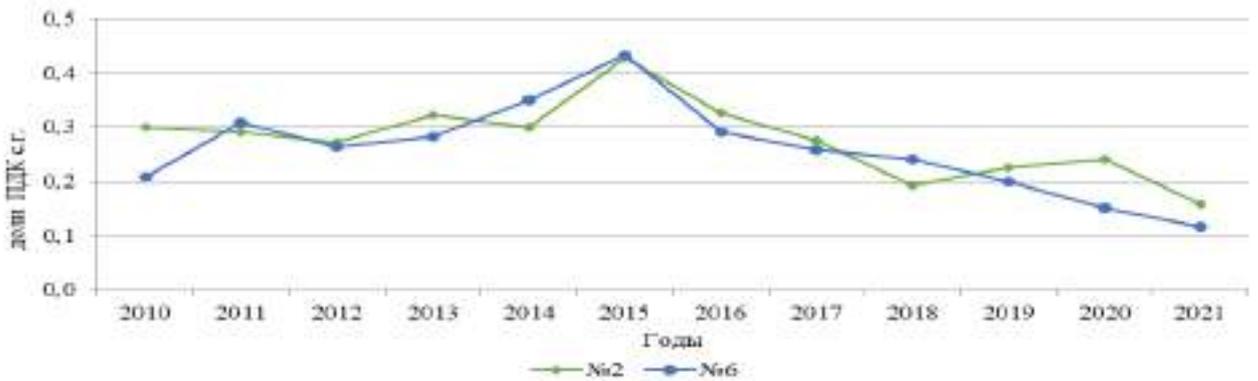


Рисунок Ж.7.7 – Динамика изменения среднегодовых концентраций фенола по данным стационарных постов г. Хабаровска (2010-2021 гг.)

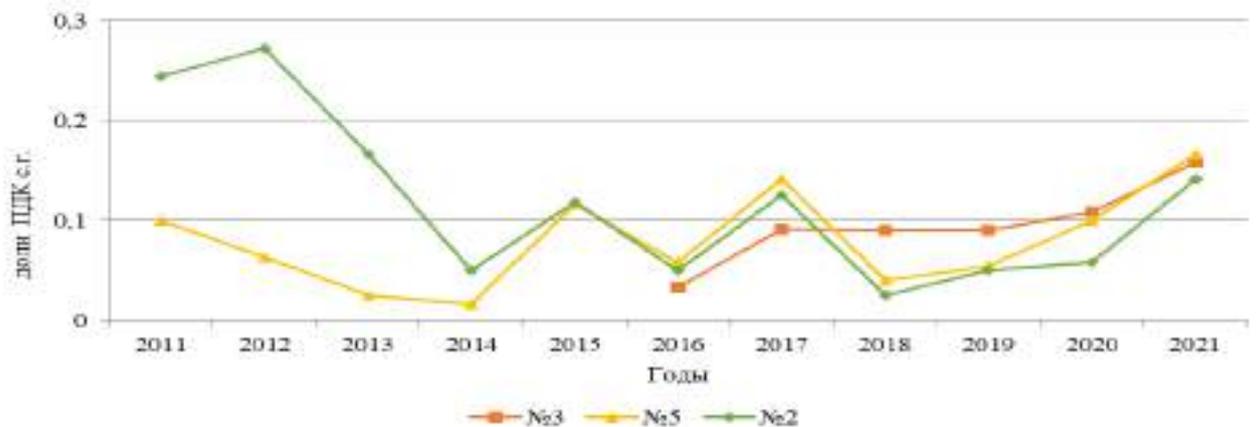


Рисунок Ж.7.8 – Динамика изменения среднегодовых концентраций бензола по данным стационарных постов г. Хабаровска (2010-2021 гг.)

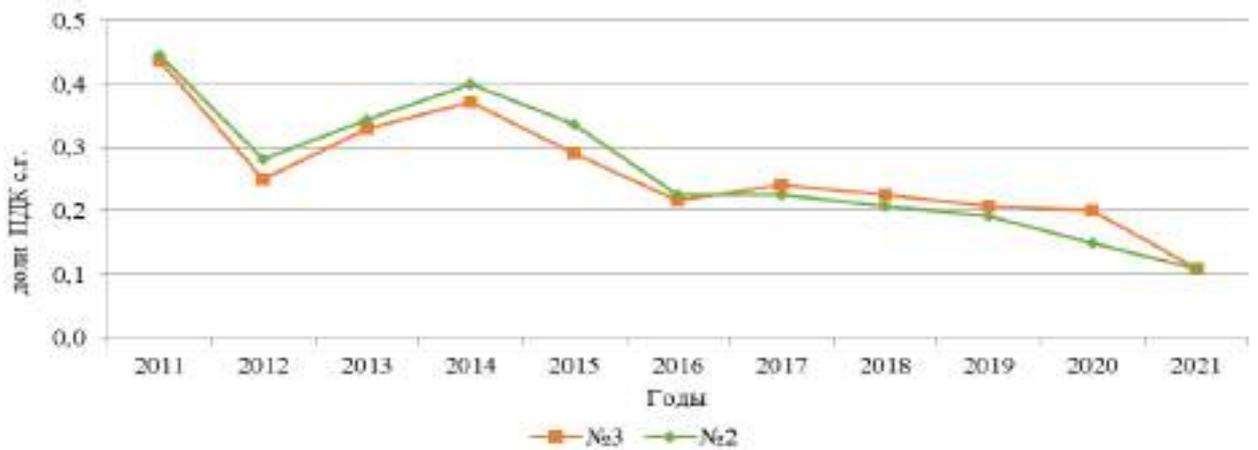


Рисунок Ж.7.9 – Динамика изменения среднегодовых концентраций водорода хлористого по данным стационарных постов г. Хабаровска (2010-2021 гг.)

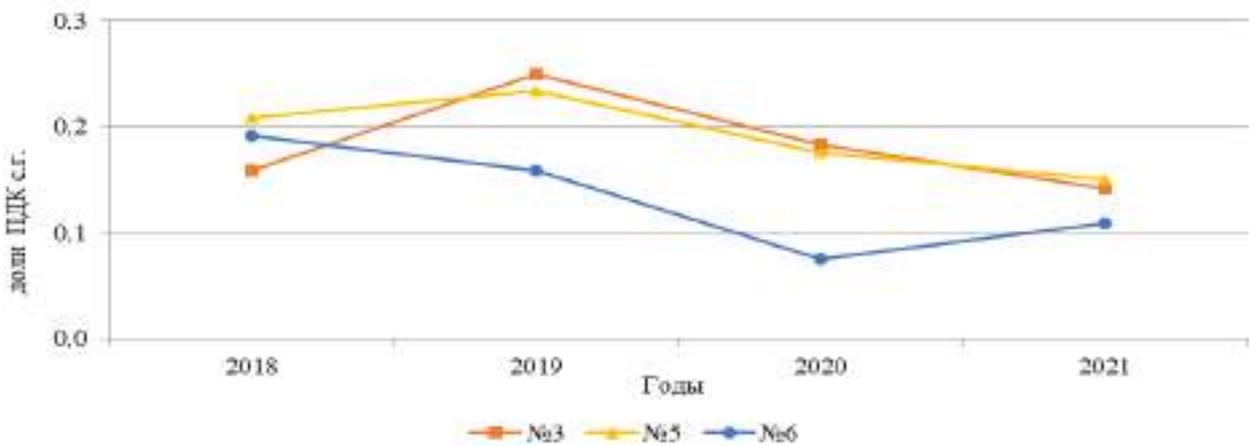


Рисунок Ж.7.10 – Динамика изменения среднегодовых концентраций углерода (сажи) по данным стационарных постов г. Хабаровска (2010-2021 гг.)