

На правах рукописи

КОШЕЛЬКОВ АНТОН МИХАЙЛОВИЧ

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научная специальность 1.6.21 Геоэкология

Хабаровск
2025

Работа выполнена в ВШ «Управление природными ресурсами» ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет»

Научный руководитель

Майорова Людмила Петровна, доктор химических наук, профессор высшей школы «Управление природными ресурсами» Политехнического института. «Тихоокеанский государственный университет»

**Официальные
оппоненты:**

Семёнов Юрий Михайлович, доктор географических наук, профессор кафедры географии, картографии и геосистемных технологий. Иркутский государственный университет.

Калманова Вера Борисовна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории геологических и геоэкологических исследований. ИКАРП ДВО РАН

Ведущая организация:

Дальневосточный федеральный университет
(г. Владивосток)

Защита диссертации состоится 24.10.2025г. 10:00 на заседании диссертационного совета 24.1.500.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Радио 7, зал заседаний, 2-ой этаж; email: geogr@tigdvo.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе Центральной научной библиотеки при Тихоокеанском институте географии ДВО РАН и на сайте <http://www.tigdvo.ru>

Автореферат разослан «_____» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат биологических наук



Родникова Илона Мироновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. 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, часто 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, воздействий квантовой и волновой природы (шум, электромагнитное излучение, радиация, вибрация и т.д.). В городской среде в той или иной степени изменяются все природные компоненты и их характеристики: почвы, растительность, водные объекты, микроклиматические условия. Это ведет к появлению реальной экологической опасности с далеко идущими 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; способами их количественной оценки, соизмеримости между собой и последующего преобразования в обобщенные шкалы критериев качества; вариантом свертки для получения обобщенного результата. 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 ни одним учреждением, хотя почва – это самый показательный компонент геохимической системы города, результаты исследований которого объективно отражают процессы поступления, трансформации, миграции и концентрации загрязняющих веществ. Всестороннее рассмотрение состояния окружающей среды города Хабаровска позволит провести количественную оценку основных показателей, 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. Диссертационная работа соответствует «Стратегии экологической безопасности Российской Федерации», «Экологической доктрине РФ» и критическим технологиям, утвержденным Указом Президента РФ от 18.06.2024 № 529.

Целью исследования является разработка методологических подходов к комплексной оценке экологического состояния городской среды (на примере г. Хабаровска), позволяющей обобщить и 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».

Объектом исследования является экологическое состояние компонентов окружающей среды на территории Хабаровского городского округа «Город Хабаровск», **предметом** – методологические подходы к комплексной оценке экологического состояния городской территории.

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, П.В. Виноградов, Б.И. Кочуров, Т.М. Минкина, Ю.Е. Саэт, Ю.И. Пиковский, Н.С. Касимов, В.А. Алексеенко, М.Н. Строганова, А.С. Яковлев, А.А. Околелова, Е.П. Янин, О.А. Макаров, С.Я. Трофимов, А.И. Обухов, В.Б. Калманова, О.Н. Сокольская, К.В. Корчагина, А.В. Антипова, 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, D.K. и др.

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 Boxplots. Для создания цифровых моделей поверхности и визуализации двухмерных наборов данных использовалась программа Surfer.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. В группе факторов воздействия на экологическое состояние городской территории наиболее выраженным является химическое загрязнение почв. Отмечено превышение санитарно-гигиенических требований по мышьяку - в 36,8 %, бенз(а)пирену (БП) - в 33,3 %, цинку – в 13,2 %, 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 в почвах 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 уровню загрязнения 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 блоковые 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, сертифицированных программ, использованием статистических методов при обработке результатов исследования, согласованностью экспертных оценок.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационное исследование соответствует следующим пунктам паспорта специальности 1.6.21 (Геоэкология): 2. Изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек Земли под влиянием природных и техногенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды. 5. Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека (химическое и радиоактивное загрязнение биоты, почв, пород, поверхностных и подземных вод), наведенных физических полей, изменения состояния криолитозоны. 8. Разработка теории, методологии и методов комплексных инженерных изысканий для геоэкологической характеристики природно-техногенной среды.

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 и формировании БД «Экологическое состояние почв города Хабаровска». осуществлял отбор образцов и их лабораторное сопровождение, выполнял радиологическое обследование и замеры уровней воздействия физических факторов, контроль полученных результатов, их обработку и обобщение. Диссертантом разработан ряд карт, характеризующих экологическое состояние компонентов окружающей среды, выявлены техногенные геохимические аномалии и проведено зонирование городской территории по напряжённости экологической ситуации.

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

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 2023г.); XI, XII и XIII научно-практические конференции с международным участием «Философия современного природопользования в бассейне реки Амур» (Хабаровск, 28 апреля 2022 г., 24 апреля 2023 г., 22-24 мая 2024 г.); X Всероссийская научная конференция с международным участием к 300-летию Российской академии наук «Современные проблемы регионального развития» (Биробиджан, 21-23 мая 2024 г.); 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 наименований, 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.

Во ВВЕДЕНИИ обоснована актуальность исследования, определены объект, предмет, цель, задачи, методы исследований, сформулированы защищаемые положения, показаны научная новизна и практическая значимость работы.

ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Содержит литературный обзор по проблемам экологического состояния среды урбанизированных территорий и их оценки.

В разделе 1.1 рассматриваются особенности городской среды как особой природно-технической системы, природные компоненты в которой изменены в ходе интенсивного освоения. Детально рассмотрены особенности климата и почв.

В разделе 1.2 представлен опыт оценки отдельных показателей качества городской среды, к которым относят атмосферный воздух, водные объекты, почву, донные отложения.

Раздел 1.3 посвящен природе факторов энергетического загрязнения и подходам к оценке его опасных уровней.

В разделе 1.4 приведен анализ подходов к комплексной оценке экологического состояния городской среды и выбору методов установления весовых коэффициентов.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В разделе 2.1 дана общая характеристика природных условий исследуемой местности.

Город Хабаровск расположен в пределах Среднеамурской низменности и вытянут примерно на 35 км вдоль р. Амур и его протоки. Прибрежное положение города во многом определяет характер протекающих на его территории природных и техногенных процессов. Равнинная часть рельефа, приуроченная к древним террасам р. Амур (пологая поверхность III надпойменной террасы), обуславливает беспрепятственное распространение аэрального загрязнения на большие территории в черте города. Центральная и северная части города располагаются в пределах пологоволнистого мелкопочного и слабо увалистого рельефа. В отдельных районах города перепады высот составляют 20-30 метров, что способствует формированию мозаичности микроклимата и накоплению загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере города. Расчленённость рельефа определяет характер застройки города. Промышленные зоны и узлы транспортных магистралей по территории расположены неравномерно, чередуются и соседствуют с жилой застройкой, которая оказывается в зоне влияния антропогенных источников загрязнения. На территории имеются радоноопасные зоны, приуроченные к тектоническим разломам.

Территория города расположена в зоне влияния муссонных процессов, где количество выпавших за сутки осадков может составить 121 мм. При этом доля жидких осадков от их общего годового количества (672 мм) составляет 83 %, что определяет достаточный промывной режим территории в тёплый период года. Зимой и летом преобладают юго-западные и северо-восточные ветры. Низкие скорости ветра, штили и туманы ухудшают рассеивание ЗВ. Достаточно продолжительный отопительный период, преобладание летних осадков, направление ветров будут определять характер миграции загрязняющих веществ в компонентах городской среды в течение года.

Речная сеть Хабаровска представлена рекой Амур с ее проточной системой и малыми реками, притоки которых формируются в овражной сети города. Крупнейшими из малых рек города (с площадью водосбора более 70 кв. км) являются Берёзовая, Чёрная и Красная Речка. Густая сеть малых рек, ручьёв и овражных стоков на территории города способствуют интенсивному выносу загрязняющих веществ за пределы водосборов, но при этом водные объекты могут аккумулировать загрязнения и быть экологически опасными на всех своих участках.

Характерными естественными почвенными группировками для территории города Хабаровска и его окрестностей являются бурозёмы и глеезёмы суглинистого состава. Большая часть естественных почв на территории города в разной степени нарушена или заменена антропогенными образованиями. Общими особенностями вновь формирующихся почвенных образований в пределах всей городской территории являются техногенное происхождение почвообразующей породы и преимущественно суглинистый состав.

В разделе 2.2 представлены методологические и методические аспекты исследования.

Для оценки экологического состояния территорий Хабаровска проводились исследования химического загрязнения почв. 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, 2013). В соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017 (п. 5.3) объединённая проба с каждой площадки размером 5 x 5 м составлялась из точечных образцов, отобранных в 5 точках до глубины 0,2 м. В функциональных зонах города было скомпоновано 76 объединённых станций (рисунок 1), в том числе 39 – в жилой, 8 – в агроселитебной и 29 – в промышленной зонах.

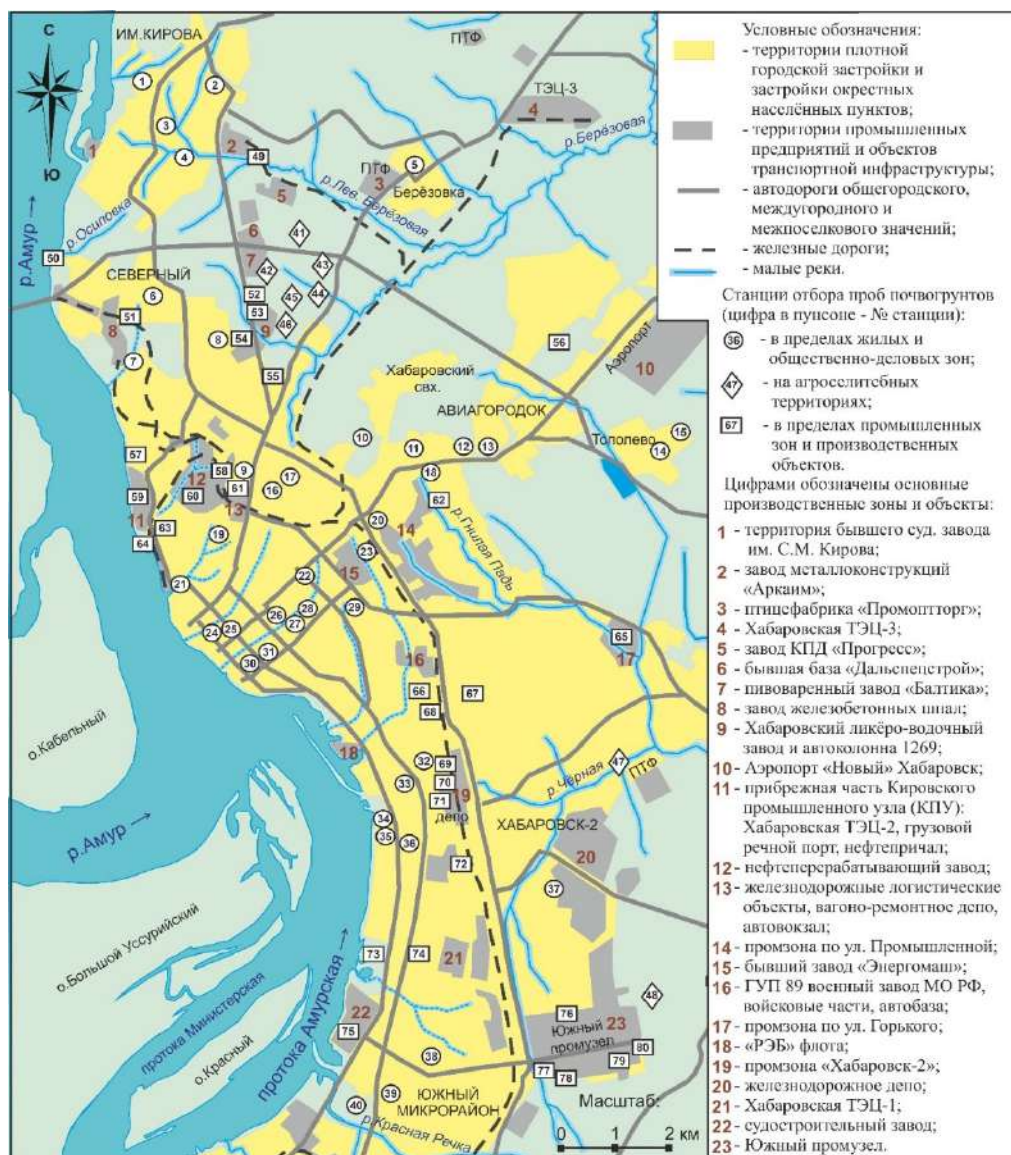


Рис. 1. Схема расположения станций отбора почв и основных источников воздействия на окружающую среду

Лабораторные исследования почв проводились в аккредитованном центре ФГБУ ЦАС «Хабаровский» (аттестат аккредитации RA.RU.21ПЦ62). Перечень контролируемых химических показателей был выбран согласно СанПиН 2.1.3684-21 и СП 502.1325800.2021: показатель pH, нефтепродукты (НП), бенз(а)пирен (БП), тяжёлые металлы (кадмий, медь, никель, ртуть, свинец, цинк) и мышьяк (валовые формы). Используемые приборы и методики приведены в таблице 1.

Таблица 1. Используемые для лабораторных исследований оборудование, средства измерений, нормативные документы и методики

Определяемые показатели	Нормативные документы, методики	Оборудование и средства измерений
pH солевой	ГОСТ 26483-85	Анализатор жидкости «Анион 7000»
Бенз(а)пирен	МУК 4.1.1274-03	«Waters HPLC 2475»
Нефтепродукты	ПНД Ф 16.1:2.21-98	«Флюорат-02-2М»
Тяжёлые металлы (кадмий, медь, никель, свинец, цинк) и мышьяк	ЦВ 5.18,19.01-2005	ICP Vista AX PRO
Ртуть	М-МВИ-80-2008	ААС «КВАНТ-2 АТ»

На базе аккредитованных лабораторий ООО «Инженерные изыскания ДВ» (RA.RU.21B501 выдан 02.06.2017 г.), ООО «Астрон» (RA.RU.21AK13 выдан 14.06.2016 г.) и ООО «Терра» (RA.RU.21OP57 выдан 14.08.2022 г.) в безморозные и благоприятные для безопасной эксплуатации используемых средств измерения периоды в 2017-2023 гг. проводились замеры уровней воздействия физических факторов.

При оценке загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ) вычислялись коэффициент концентрации (Кк), суммарный показатель химического загрязнения почв ТМ (Zс) с использованием различной нормативной базы (СанПиН 1.2.3685-21 и СП 502.1325800.2021, региональный фон, фон для городских почв КНР) и Zс с учетом токсичности элементов. Для выявления приоритетных загрязнителей почв использовался показатель накопления (Пн) (Трифорова и др., 2018). Рассчитаны индексы загрязнения почв: индивидуальные (геоаккумуляции и PI) и комплексные (коэффициент загрязнения, показатель потенциального экологического риска).

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием надстройки Excel «Пакет анализа» и метода Boxplots. Для создания карт использовалась программа Surfer.

Оценка соответствия допустимым нормам и определение степени загрязнения исследованных компонентов городской территории (почвы, атмосферный воздух, поверхностные воды) и физических факторов (шум, электромагнитные излучения) проводились в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21. Параметры, характеризующие радиационную обстановку, оценивались согласно СанПиН 2.6.1.2523-09, СанПиН 2.6.1.2800-10 и МР 2.6.1.0361-24. Содержания загрязняющих веществ в донных отложениях ввиду отсутствия нормативов сравнивались с ПДК/ОДК почв и голландскими листами.

В разделе 2.3 сформулированы методологические подходы к комплексной оценке экологического состояния урбанизированных территорий. Для построения обобщающей функции выбран метод нормирования и взвешивания. Для определения весовых коэффициентов использован метод экспертной оценки и метод порядковых шкал, который позволяет различать факторы даже в случаях, когда принцип сравнения неизвестен. Была сформирована группа экспертов из 30 человек, в которую вошли учёные и специалисты Тихоокеанского государственного университета и Института водных и экологических проблем ДВО РАН. Согласованность мнений экспертов оценивалась коэффициентом конкордации Кендалла (W). Более детально разработка методологических подходов к комплексной оценке экологического состояния урбанизированной территории приведена в главе 4.

В разделе 2.4 приведены методологические подходы к созданию базы данных (БД) по экологическому состоянию почв г. Хабаровска.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В разделе 3.1 рассматриваются уровни загрязнения почв города Хабаровска нефтепродуктами (НП), бенз(а)пиреном (БП), тяжёлыми металлами (ТМ) и мышьяком.

Загрязнение почв нефтепродуктами. В настоящее время в Российской Федерации нет единого официально установленного норматива допустимого содержания НП в почве. Имеется ряд работ и методических документов, но они носят рекомендательный характер. В работе в качестве базы сравнения выбраны рекомендации из ежегодника «Загрязнение почв РФ» и Письма Минприроды России от 27.12.1993 № 04-25. Обе шкалы оценки дают сопоставимые результаты (рисунк 2).

На территории г. Хабаровска более высокие содержания НП в почвах отмечены в промышленной зоне (среднее значение 630,98 мг/кг), что не превышает порог допустимого уровня, установленного для промышленных зон (1000 мг/кг) (Яковлев А.С., Никулина Ю.Г., 2013). Среднее содержание НП в почвах промышленной зоны в 2,8 раза выше аналогичного показателя в почвах жилой зоны (224,5 мг/кг) и в 52 раза – агроселитебной. В промышленной зоне доля проб, соответствующих высокому и очень высокому уровням загрязнения, составляет

6,25 %, в целом по городу – 2,5 %. (рисунок 2). В большинстве точек на территории жилой зоны уровень содержания НП в почвах соответствует допустимому. Районы низконагруженной техногенным воздействием периферии города (агроселитебные зоны) отличаются низкими содержаниями НП в почвах, которые практически на всех станциях опробования соответствуют фону (до 100 мг/кг).

Самое высокое содержание НП в почве отмечено в Кировском районе (среднее - 1185,10 мг/кг, максимальное – 6840,00 мг/кг), наименьшее из средних содержаний НП наблюдалось в почвах Краснофлотского и Железнодорожного районов.



Рис. 2. Уровень загрязнения нефтепродуктами почв г. Хабаровска: а) по критериям рекомендаций ежегодника «Загрязнение почв РФ»; б) по критериям рекомендаций Письма Минприроды России от 27.12.1993 № 04-25

Общий техногенный фон содержания НП в почвах Хабаровска (городской кларк нефтепродуктов) по данным проведенных исследований и статистических расчетов составил 115,3 мг/кг.

Загрязнение почв бенз(а)пиреном (БП). Результаты исследований загрязнения почв г. Хабаровска БП показали, что средняя концентрация бенз(а)пирена составляет $0,080 \pm 0,043$ мг/кг, максимальная – 0,776 мг/кг (38,8 ПДК) (таблица 2).

Таблица 2. Показатели загрязнения БП почв г. Хабаровска, мг/кг

Показатели	Всего	В том числе		
		жилая зона	промышленная зона	агроселитебная зона
Число отобранных проб почвы	78	38	32	8
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
Средняя концентрация, мг/кг	$0,080 \pm 0,043$	$0,097 \pm 0,071$	$0,061 \pm 0,052$	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

В 86 % проб концентрация бенз(а)пирена составляет 0,005–0,145 мг/кг, в жилых зонах 81,5 % проб входят в интервал 0,005–0,215 мг/кг, в промышленных – 90,5 % проб вписываются в интервал 0,007–0,157 мг/кг. В соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 к категории «чистая» относятся 62,8 % проб (включая точки с содержанием БП ниже предела обнаружения), «допустимая» – 12,8 %, «опасная» – 15,4 %, «чрезвычайно опасная» – 9,0 %. Наиболее загрязнённой функциональной зоной является жилая застройка, т.к. она располагается по периметру производственных территорий и непосредственно в зоне влияния крупнейших стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Для почв, отобранных

в жилой зоне, характерна самая большая доля экстремальных загрязнений: 11 % – с категорией «опасная», 13 % – с категорией «чрезвычайно опасная» (рисунок 3). Наибольшей долей чистых проб отличается агроселитебная зона, в которой отсутствуют пробы с категорией загрязнения «чрезвычайно опасная».

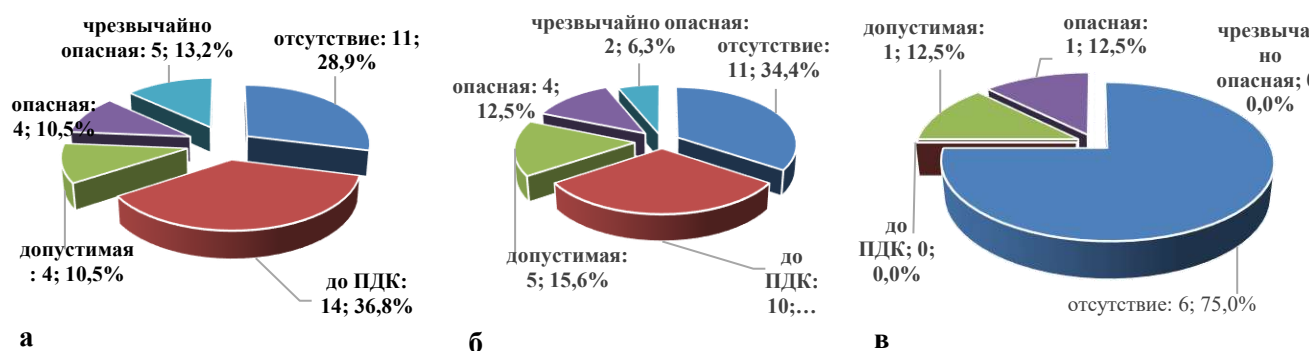


Рис. 3. Доля проб, % по категориям загрязнения БП в функциональных зонах: а - жилая, б – промышленная, в – агроселитебная

Максимальные значения средних концентраций бенз(а)пирена отмечены в почве жилой зоны в Железнодорожном районе – 0,160 мг/кг (коэффициент опасности равен 8) и производственной зоны в Кировском районе – 0,155 мг/кг (коэффициент опасности 7,74). Средняя концентрация БП в почвах Хабаровска несколько выше по сравнению с рядом городов Дальнего Востока и европейской части РФ. Сложившаяся ситуация обусловлена несовершенством градостроительных решений, не учитывающих аэрогенный привнос загрязняющих веществ и накопление их в почвах селитебной территории.

Загрязнение почв тяжёлыми металлами и мышьяком. В качестве основного метода исследования загрязнения почв ТМ была применена почвенная индикация валового содержания высокоопасных (1 класс) и умеренно опасных (2 класс) токсикантов (тяжёлых металлов и мышьяка), рекомендованных ГОСТ Р 70281-2022, СанПиН 2.1.3684-21 и СП 502.1325800.2021. Предварительный анализ данных выполнен методом Voxplots. Диаграммы размаха построены по выборкам: жилая, агроселитебная и промышленная зоны без учета цинка и ртути (рисунок 4).

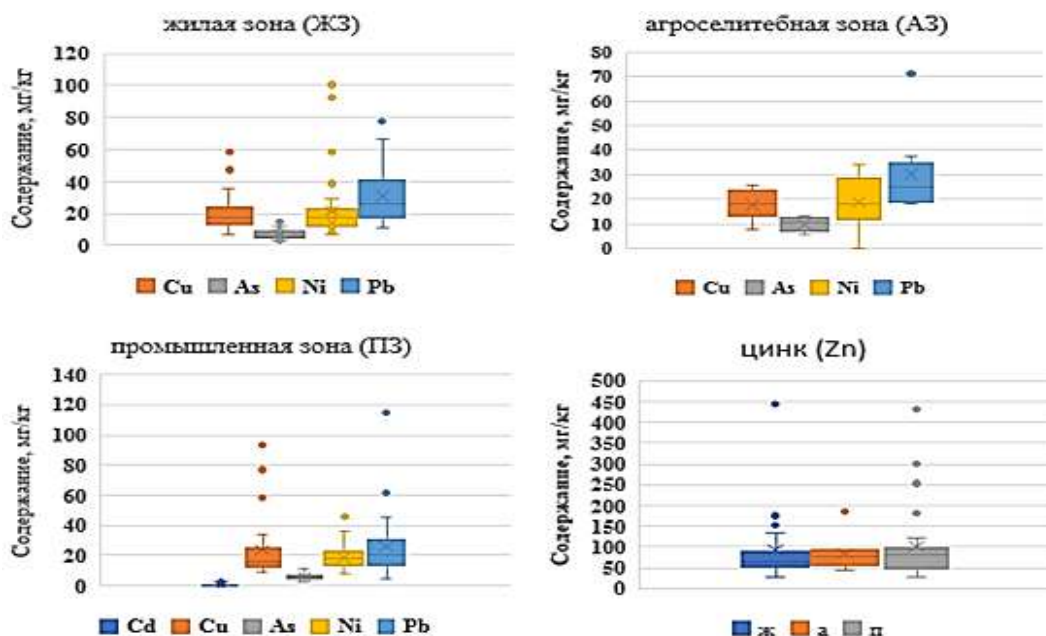


Рис. 4. Voxplots концентраций ТМ и As в почвах функциональных зон г. Хабаровска

Показано, что

- Общее количество точек с аномальными содержаниями ТМ и As в жилой зоне составляет 3,7 %, агроселитебной – 1,8 %, промышленной – 4,9 %.

- Аномальные значения по нескольким элементам зафиксированы в жилой зоне в точках т.16 (Cd,Cu, Hg, Zn), т.3 (As, Ni), т.31 (Cd, Zn), в агроселитебной зоне в т. 44 (Pb, Zn). В промышленной зоне это т. 52 (Cu, Zn, Hg,Cd), т. 50 (Ni, Cu), т. 62 (Pb, Zn). Наиболее часто в таких точках присутствует Zn.

Сводные данные по содержанию ТМ и As в почвах города представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Анализ содержания ТМ и As в почвах г. Хабаровска (превышения ОДК выделены цветом)

Показатели	pH _{сол.} , ед. pH	Элементы						
		Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Zn
Территория города (количество станций опробования n=76)								
Медиана и квартили, мг/кг		0,29 (0,34; 0,26)	17,4 (13,0; 24,2)	6,0 (4,9; 7,9)	18,1 (12,7; 23,2)	0,033 (0,028; 0,061)	22,4 (17,2; 37,9)	75 (53; 99)
Межквартильный размах, мг/кг		0,08	11,2	3,0	10,5	0,033	20,7	46
Среднее ± 95% ДИ , мг/кг	5,8±0,3	0,36± 0,07	21,3± 3,3	6,8± 0,7	20,9± 3,5	0,052± 0,013	29,0± 4,3	101± 19
Минимум, мг/кг	3,1	0,13	6,6	2,0	7,0	0,007	4,4	26
Максимум, мг/кг	7,9	2,56	93,8	14,9	100	0,347	115	444
Среднее гео- метрическое, мг/кг	5,7	0,31	18,4	6,3	18,0	0,040	24,3	80
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	18,2± 3,6	7,2± 3,6	16,7± 5,8	0,201± 0,060	19,5± 4,9	46,2± 9,2
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	-	-
Фон городских почв для КНР (GB 36600-2018) , мг/кг		0,09	18,2	8,2	-	0,03	20,3	54,2

Показатель pH_{сол} почв города изменяется в широких пределах (от 3,1 до 7,9). Функциональные зоны достоверно различаются по средним значениям pH_{сол}. Интервалы среднего содержания ТМ и As в почвах функциональных зон Хабаровска составили: Cd 0,33-0,47; Cu – 17,9-24,1; As – 6,0-10,0; Ni – 19,0-22,0; Hg – 0,040-0,060; Pb – 26,1-30,8; Zn – 86-103 мг/кг. Среднее содержание: Cd – 0,36; Cu – 21,3; As – 6,8; Ni – 20,9; Hg – 0,052; Pb – 29,0; Zn – 101 мг/кг, что сопоставимо со средними значениями для большинства российских городов. Наибольшее число отклонений от нормативных требований характерно для мышьяка (36,8 %) и цинка (13,2 % исследованных проб). Количество проб с превышением ОДК цинка в жилой зоне составило 15,4 %, в агроселитебной – 12,5 %, в промышленной – 10,3 %.; по мышьяку – 38,5 %, 75,0 %, 24,1 % соответственно. Высокие содержания мышьяка могут быть обусловлены высоким региональным фоном.

Выбор критериев при расчете суммарного показателя загрязнения почв тяжелыми металлами и мышьяком (Zc) определяет категории загрязнения почв (рисунок 5). Полученные данные свидетельствуют, что наиболее целесообразно использование в качестве базы сравнения регионального фона для данной местности.



Рис. 5. Категории загрязнения по функциональным зонам города при использовании критериев: 1 – ориентировочные значения фоновых концентраций по СП 502.1325800.2021, 2 – фон для городских почв КНР, 3 – региональный фон, 4 – региональный фон с учетом класса опасности элементов.

Показатель накопления (P_n) ТМ и мышьяка в почвах жилой зоны Хабаровска убывает в ряду $Zn > Pb > Ni > Cu > Cd$. Hg и As имеют отрицательный P_n , 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 $Hg > As$. Наиболее контрастные техногенные аномалии (по показателю P_n в точках максимальных содержаний ТМ и As относительно регионального фона) выявлены для Zn, Cd, Ni и Pb (P_n 9,6; 8,3; 6,0; 5,9 соответственно).

По функциональным зонам рассчитаны индивидуальные и комплексные индексы. Показано, что по индексу геоаккумуляции (I_{geo}) и индексу загрязнения PI выражено загрязнение почв Pb и Zn, в меньшей степени Cu и Ni. 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.

В административных районах города наиболее высокие значения $pH_{сол.}$, содержания кадмия, ртути, свинца и цинка наблюдаются в Железнодорожном районе (таблица 4). 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. Максимальные значения Zс, превышающие 16, установлены в Железнодорожном районе города (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание ТМ и As (мг/кг) в почвах административных районов Хабаровска

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
Zс по фону	4,2	3,4	4,3	4,3	3,2	12,3	6,2	17,1	9,7	9,3

Микробиологические исследования почв не показали наличие патогенных бактерий. Индексы БКГП и энтерококков не превышали установленных нормативов. Согласно данным, отмеченные службами санитарного надзора отклонения имеют локальный и эпизодический характер.

В разделе 3.2 представлена характеристика состояния атмосферного воздуха в городе.

В 2023 г. в Хабаровске выброшено в атмосферу 38787 т загрязняющих веществ (26,9 % от выброса по Хабаровскому краю). Основной вклад в выбросы от стационарных источников вносят СП «Хабаровская ТЭЦ-1» и СП «Хабаровская ТЭЦ-3» АО ДГК филиала «Хабаровская генерация», АО «ННК-Хабаровский НПЗ».

Средняя за год концентрация взвешенных веществ в 2023 г. составляла 1,4 ПДК, максимальная из разовых – 1,5 ПДК, формальдегида – 3,6 ПДК и 1,0 ПДК соответственно. Концентрации фенола, сероводорода, углерода черного, хлорида водорода, аммиака, хрома (VI), ароматических углеводородов в атмосферном воздухе не превышают установленных гигиенических нормативов. Среднегодовое и максимальное из среднемесячных содержание тяжелых металлов не превышает уровня 1,0 ПДК. По сравнению с 2021 г. отмечено снижение средней за год концентрации бенз(а)пирена до 1,2 ПДК (2021 – 1,4 ПДК).

В целом территория города отнесена к зоне «умеренного» и «повышенного» потенциала загрязнения атмосферы с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей.

Наличие приземных и приподнятых инверсий, штилей, преимущественное направление ветров северо-восточное и юго-западное, особенности застройки и расположение основных источников выбросов обуславливают формирование локальных зон с повышенным загрязнением воздуха. Кировский промышленный узел (КПУ) и сопредельная с ним территория является достаточно устойчивой аномалией высокого содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Раздел 3.3 посвящен оценке экологического состояния водных объектов – преимущественно малых рек г. Хабаровска, которые наиболее показательно характеризуют качественный состав стока с исследуемой территории и при этом являются особо чувствительными к техногенным воздействиям.

Мониторинг на малых реках в черте города не производится. Отдельными исследованиями были выявлены высокие содержания нефтепродуктов и цинка в пробах поверхностных вод и донных отложений, отобранных в створах р. Гнилая падь, р. Чёрная, р. Красная речка, р. Берёзовая, руч. Осиповка, руч. Лесопилка и руч. Курча-Мурча (таблица 5).

Таблица 5. Загрязнение малых рек 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
р. 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 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, Zn – 298,4
руч. Курча-Мурча	12-24	7	чрезвычайно грязная	НП – 12-24	НП 14190

Недавние исследования (2024 год) загрязнения донных отложений наиболее распространенными органическими и неорганическими токсикантами в 22 створах малых рек города Хабаровска также подтвердили повышенные концентрации нефтепродуктов и цинка, превышающие критерии для почв и грунтов согласно СанПиН 1.2.3685-21 и параметры голландских листов (таблица 6).

Таблица 6. Средние значения кратностей превышения рекомендуемых допустимых норм содержания загрязняющих веществ в донных отложениях малых рек г. Хабаровска

Водный объект, количество исследуемых створов	Кратность превышения нормативов							
	СанПиН 1.2.3685-21 (по ТМ для супесей)				Голландские листы			
	Pb	Zn	НП*	БП	Pb	Zn	НП	БП
р. 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
р. 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 захламлением, загрязнением и деградацией земель на территории Москвы (Распоряжение Мэра Москвы № 801-РМ от 27.07.1999г.)								

Основные аномалии качества поверхностных вод и донных отложений, приурочены к р. Чёрная, р. Гнилая Падь и к коллекторам зарегулированных ручьев Кировского района (руч. Курча-Мурча и руч. Лесопилка).

Загрязнение подземных вод в Хабаровске носит локальный характер и проявляется в непосредственной близости от техногенных источников (раздел 3.4).

В разделе 3.5 приведена оценка комплекса воздействий физических факторов, объединённых общим термином «энергетическое загрязнение». К этой группе отнесены уровни радоноопасности, мощностей эквивалентной и экспозиционной дозы гамма-излучения, шумовое и электромагнитное воздействия.

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.

При исследовании радиологического загрязнения почв на территориях г. Хабаровска превышение норм по содержаниям естественных и искусственных радионуклидов не выявлено. Рассчитанная удельная эффективная активность ЕРН (Аэфф) по 40 исследуемым станциям отбора составляла 48,9-170,6 Бк/кг (среднее 98,3 Бк/кг), что не превышает установленной нормы 370 Бк/кг (согласно СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009»).

Исследуемая местность характеризуется наличием природных аномалий радона, которые приурочены к разломам на возвышенных 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.

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

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, МЭквД ГИ – 0,10 мкЗв/ч. По данным отчетности службы мониторинга УГМС в течение 2023 года уровень радиационного фона по г. Хабаровску не превышал естественного и находился в пределах от 0,08 мкЗв/ч до 0,15 мкЗв/ч.

Наибольшие уровни шумового воздействия наблюдаются в местах активного

перемещения транспортных потоков. Через территорию города проходит Транссибирская железная дорога. 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 ($L_{A \text{ экв}}$) не превышают ПДУ (55 дБА). По результатам проведённых обследований и измерений в жилой зоне средние значения $L_{A \text{ экв}}$ в остальных административных районах составляют 55-60 дБА.

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. 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 напряженность электрического поля (ЭМП) менее 1 кВ/м.

В разделе 3.6 охарактеризована плотность зелёных насаждений, доля парков, скверов и рекреационных территорий, выполняющих для городской среды санитарно-гигиеническую, климаторегулирующую, рекреационную и эстетическую функции.

Более высокие уровни озеленённости отмечаются в Железнодорожном, Центральном и Краснофлотском районах (69,1 %, 64,7 % и 59,3 % соответственно). Наименее обеспечены зелёными насаждениями Кировский и Индустриальный районы (56 % и 48,2 %). Следует учитывать также качество зелёных насаждений. Большее 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 %).

В разделе 3.7 рассматривается пространственное положение основных техногенных аномалий, выявленных при оценке экологического состояния компонентов городской среды (рисунок 6) и физических воздействий.

Техногенные аномалии в почвах:

- по нефтепродуктам – локальны и приурочены к промышленной зоне в районах Кировского узла, судостроительного завода и ул. Промышленной; по БП – формируются в пределах области рассеивания выбросов в атмосферу по преобладающему направлению ветра от крупнейших стационарных источников; по ТМ – территории высокого содержания в почвах Zn, Pb, Cu и Ni вписываются в зоны аномалии БП.

Установлены три геохимические аномалии («северная», «центральная» и «южная»), обусловленные многокомпонентным загрязнением почв, главным образом, Zn, Pb, Cu, Ni, источниками которых являются промышленные предприятия (в том числе выведенные из эксплуатации), ТЭЦ и транспортные магистрали.

Более высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха отмечен на постах наблюдения № 3 и 5, расположенных вблизи автомагистралей в центральной части города, что подтверждает наличие «центральной» аномалии.

Самыми загрязнёнными водными объектами на территории города являются р. Чёрная, р. Гнилая Падь и ручьи Кировского района, зарегулированные в коллекторы (руч. Курча-Мурча и руч. Лесопилка).

В радоноопасную зону попадают территории Центрального, Кировского и Краснофлотского районов.

Таким образом, по количеству и масштабам техногенных нагрузок выделяется наиболее неблагоприятная зона в центральной части города.

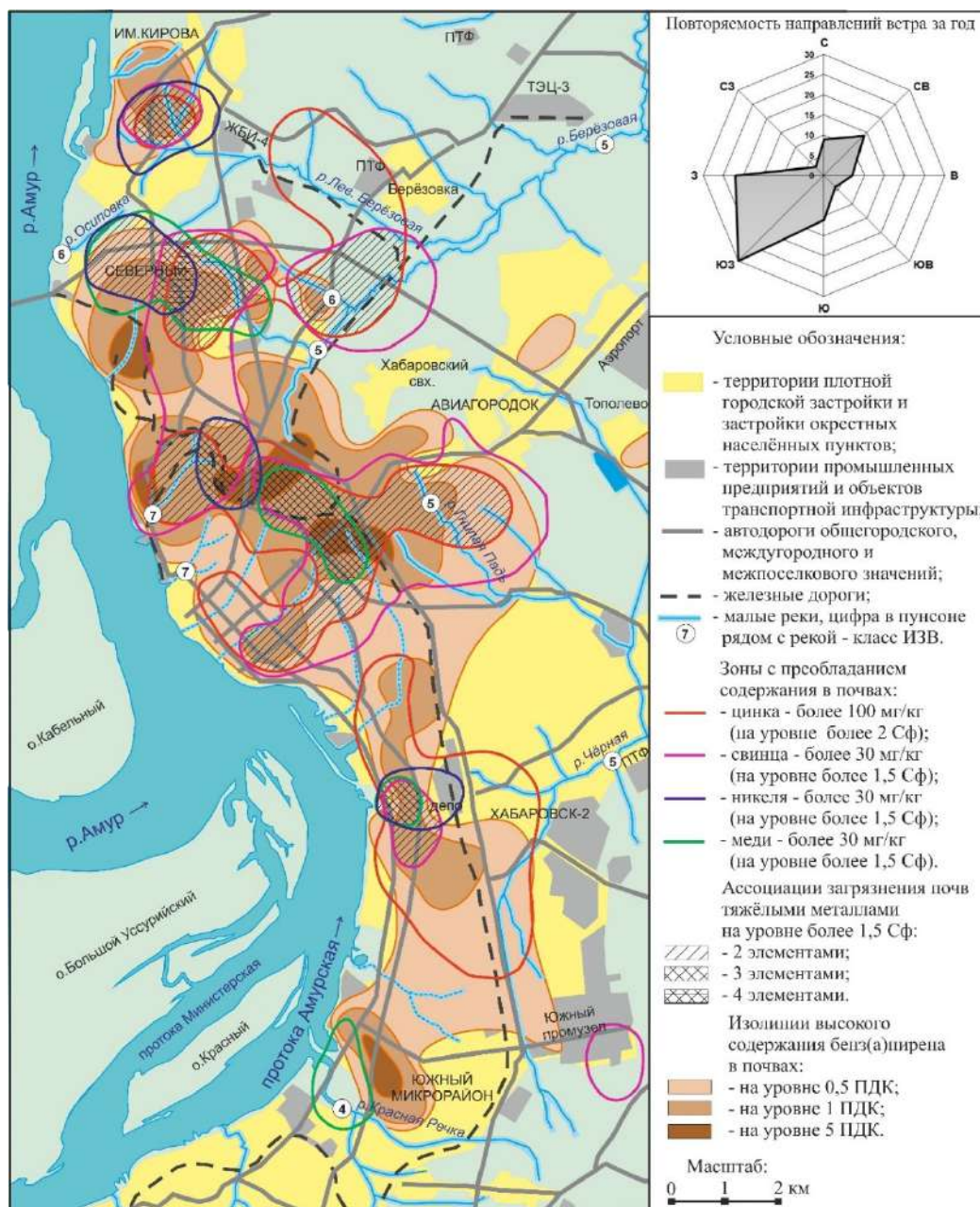


Рис. 6 Схема расположения зон высокого содержания загрязняющих веществ в почвах и воде

ГЛАВА 4. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

В разделе 4.1 рассмотрены методологические подходы к комплексной оценке экологического состояния городских территорий.

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 рекреационных территорий определяют совокупность разнородных воздействий, мозаичность их распределения и требуют проведения комплексной оценки экологической ситуации на территории города. Особое значение приобретает выработка научно обоснованных подходов к созданию системы комплексной оценки экологического состояния территории. Предлагаемый алгоритм такой оценки показан на рисунке 7.

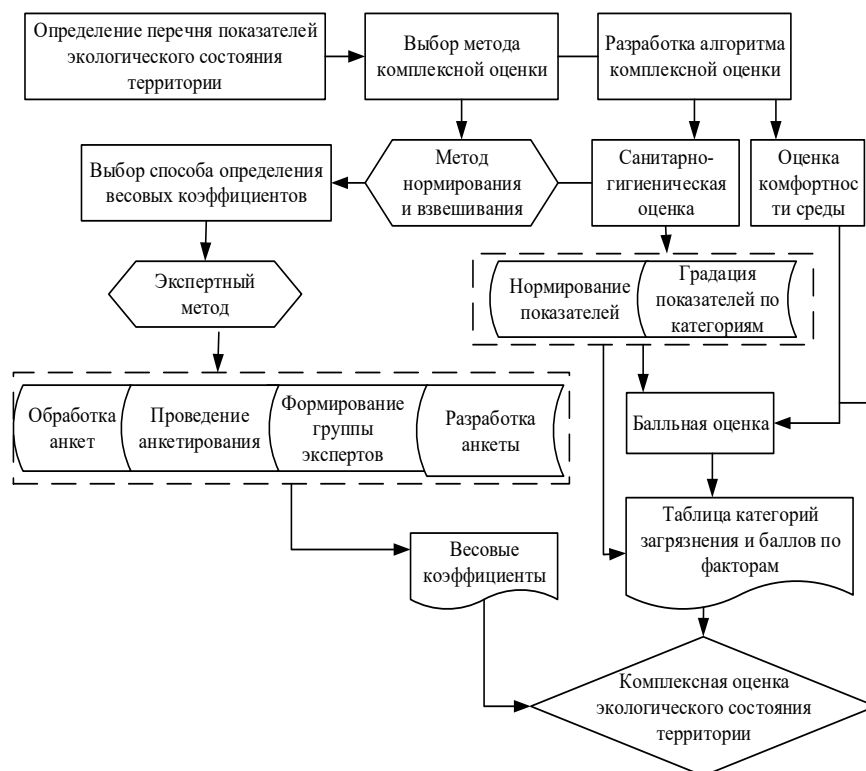


Рис. 7. Алгоритм разработки методологических подходов к комплексной оценке экологического состояния городской территории

При зонировании территории рассматривались санитарно-гигиеническая оценка и оценка комфортности среды (рисунок 8).

Показатели, характеризующие экологическое состояние компонентов природной среды и физических воздействий, выбирались в соответствии с СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства». Выделено 16 показателей, объединенных в группы. Каждому из 16 показателей присваивается балл от 1 до 10: 1 – минимальное значение, фактор практически не оказывает негативного воздействия на урбоэкосистему, и 10 – максимальное значение, фактор оказывает значительное влияние на окружающую среду и здоровье населения. Определение нормированного значения показателей и ранжирование интервала изменения факторов по категориям загрязнения выполнено в соответствии с актуальными нормативными документами. Ранжирование территории по экологическому состоянию также проведено с использованием балльных оценок.

При определении весовых коэффициентов в процессе обработки анкет были сформированы матрицы переформированных рангов, позволявшие выделить частные факторы, наиболее важные по мнению экспертов. Расчётные весовые коэффициенты, установленные при обработке анкет, объединенные в группы, приведены в таблице 7. Эксперты выделили химическое загрязнение атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод, донных отложений как наиболее значимые факторы. Рассчитанные коэффициенты конкордации Кендалла (W) составляют 0,5–0,8, что указывает на умеренную согласованность мнений экспертов.

Выбранные показатели, нормативно-правовая база, ранжирование категорий экологического состояния городской территории и соответствующие баллы представлены в таблице 8.

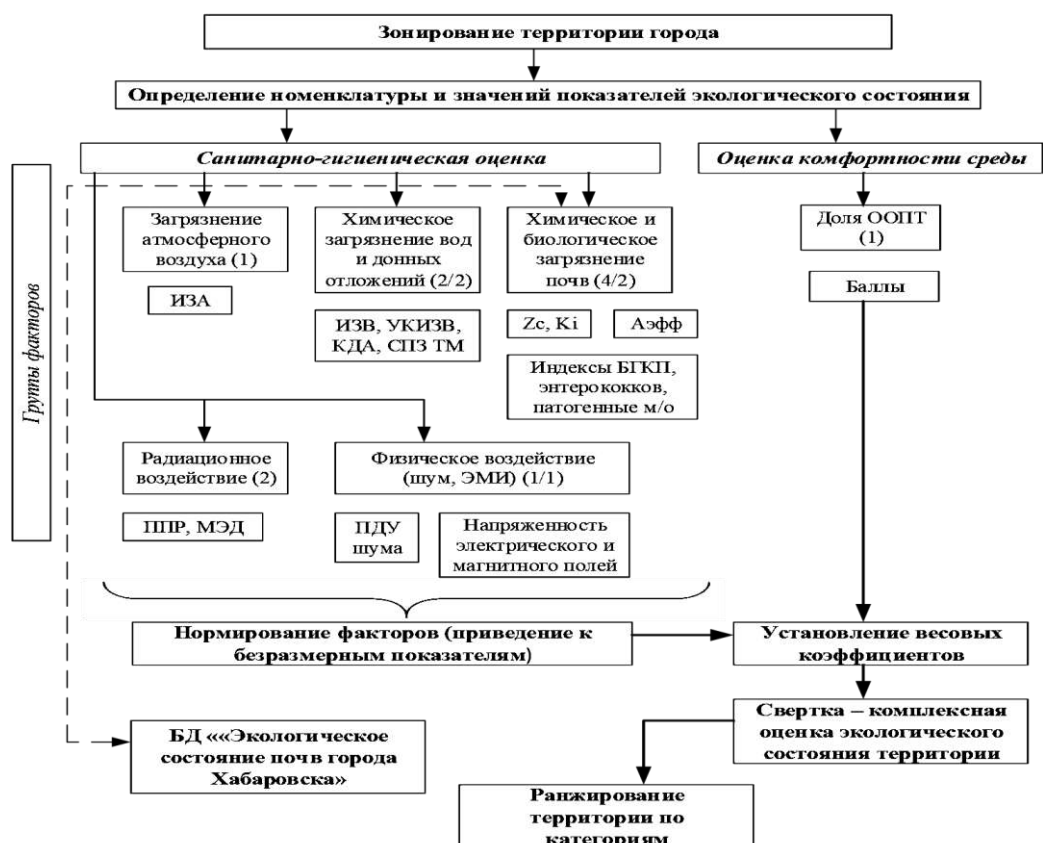


Рис. 8. Алгоритм зонирования территории города

Таблица 7. Расчётные весовые коэффициенты по группам факторов

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

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 8). В рамках апробации разработанного метода была проведена комплексная оценка текущего экологического состояния территории города Хабаровска, охватывающая его пять административных районов. Используются результаты исследований почв, поверхностных вод, донных отложений (малые реки города), физических факторов, приведенные в автореферате и диссертации, а также фондовые материалы, данные государственных докладов о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края, открытые данные Росгидромета, действующие нормативные документы.

Таблица 8. Показатели, категории загрязнения и баллы

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 почв ТМ (значения Zc)	< 16 1	16-32 4	32-128 7	>128 10
	2	Химическое загрязнение почвы БП, уровни ПДК	< 2 ПДК 1	- -	2 – 5 ПДК 7	>5 ПДК 10
	3	Химическое загрязнение почвы НП, мг/кг	< 1000 1	1000 – 3000 4	3000 – 5000 7	>5000 10
	4	Микробиологическое (бактериологическое) загрязнение почвы, КОЕ/г	< 9 1	10 – 99 4	100 – 999 7	>1000 10
	5	Радионуклиды в почвах (эффективная активность ЕРН), Бк/кг	< 370 1	370-740 4	740-1350 7	>1350 10
Донные отложения (СП 502.1325800.2 021, СанПиН 1.2.3685-21)	6	Химическое загрязнение донных отложений ТМ (значения Zc)	< 16 1	16-32 4	32-128 7	>128 10
	7	Химическое загрязнение донных отложений БП, уровни ПДК	< 2 ПДК 1	- -	2 – 5 ПДК 7	>5 ПДК 10
	8	Химическое загрязнение донных отложений НП, мг/кг	< 1000 1	1000 – 3000 4	3000 – 5000 7	>5000 10
Подземные воды (СП 11-102-	9	Химическое загрязнение подземных вод, уровни ПДК	< 3 ПДК 1	3 – 10 4	10 – 100 7	>100 10
	10	Химическое загрязнение пресных поверхностных вод, уровни ИЗВ	<1 1	1 – 4 4	4 – 10 7	>10 10
Атмосферный воздух	11	Химическое загрязнение атмосферного воздуха, уровни ИЗА	< 5 1	5 - 7 4	7 - 14 7	>14 10
Радиационное воздействие (СанПиН 2.6.1.2800-10)	12	ППР – <u>максимальные уровни</u> , мБк/(м²*с)	<80 1	80 - 250 4	>250 7	- -
	13	МЭД гамма-излучения - <u>максимальные уровни</u> , мкЗв/ч	<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	<55 1	55 - 70 4	>70 7	- -
	15	ЭМИ. Напряженность электрического поля кВ/м	< 0,5 1	0,5 – 1,0 4	>1,0 7	- -
Зелёные насаждения [17]	16	Степень озеленения территории городской территории, %	Очень высокий уровень >77 1	Высокий уровень 61-76 4	Средний уровень 40-60 7	Низкий уровень < 40 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*
		Допустимая	Удовлетворительная	Напряженная	Критическая	Кризисная
		n	- количество параметров, принятых к расчёту.			
		x	- значение точки шкалы ранжирования.			
		*	- с учетом весовых коэффициентов			

Показано, что в Кировском районе экологическая ситуация характеризуется как «напряженная», в остальных – «удовлетворительная». К достоинствам предлагаемого методологического подхода можно отнести следующее: простота и понятность алгоритма, учёт воздействия достаточно 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. Методика апробирована в городах Комсомольск-на-Амуре и Благовещенск.

В разделе 4.2 дана характеристика базы данных (БД) «Экологическое состояние почв города Хабаровска», разработанной коллективом авторов (Бархатов К.А., Майорова Л.П., Кошельков А.М.). В базу занесены данные о загрязнении почв города, полученные автором диссертационного исследования. На рисунке 9 представлено главное окно базы данных.

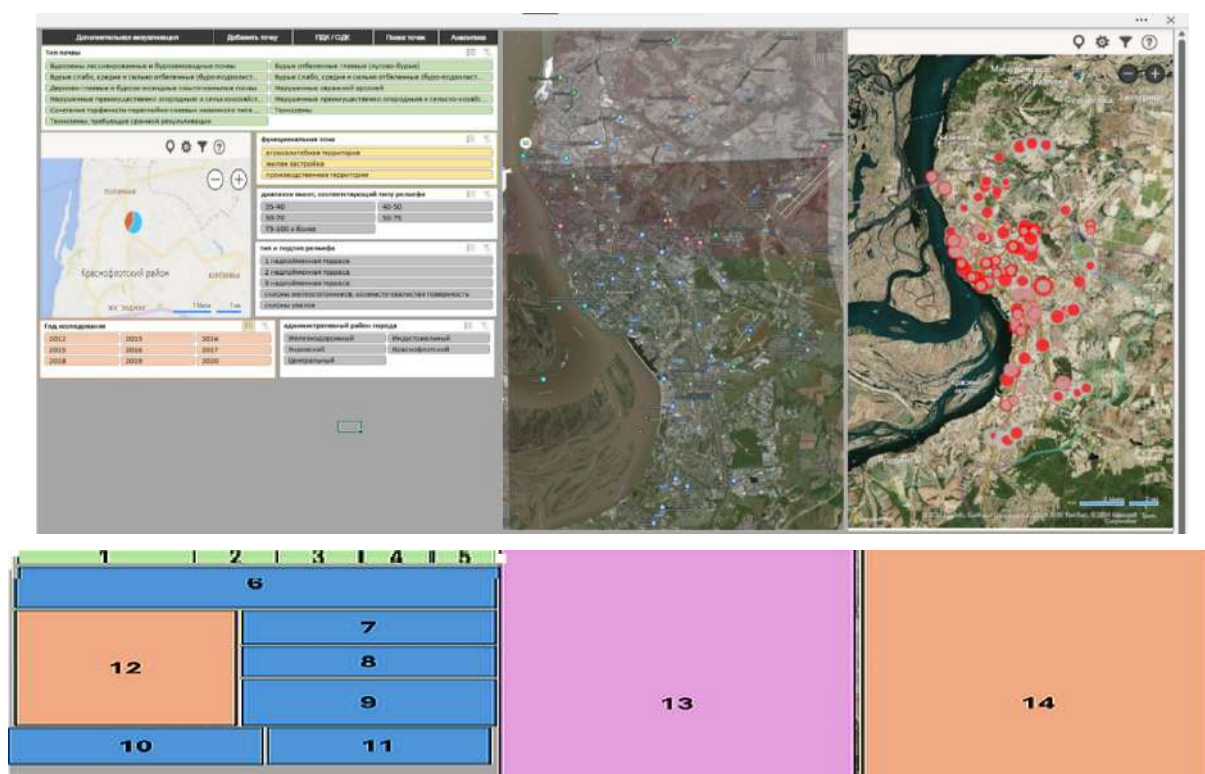


Рисунок 9 – Главный экран базы данных. Блоки: 1 – «Дополнительная визуализация»; 2 – «Добавить точку»; 3 – «ПДК/ОДК»; 4 – «Поиск точек»; 5 – «Аналитика»; 6 – 11 – фильтры данных для формирования пользовательских выборок по обширному набору параметров (6 – «Тип почв», 7 – «Функциональные зоны», 8 – «Диапазон 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.

БД разработана в среде Excel с применением стандартных функций программы и макросов на языке VBA. Содержит 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, что обеспечивает возможность оценить динамику загрязнений. Позволяет не только хранить и накапливать информацию о загрязнении почв, но и осуществлять её удобную оперативную обработку (рассчитать Z_c , отразить максимальные, средние и

минимальные значения показателей, отследить превышения ПДК и ОДК в выборке, подготовить отчет в PDF) и визуализировать выбираемые параметры на карте. Наглядность отображаемых выборок способствует объективной оценке исследуемых параметров и отслеживанию их взаимосвязей. Программа позволяет автоматизировать процессы, существенно сократить время на обработку информации и избежать ошибок. Практическая значимость БД состоит в формировании основы для разработки проектной и рабочей документации в рамках инженерно-экологических изысканий. БД может быть использована как для производства (в т.ч. для принятия решений о развитии территории), так и 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 оказывают 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 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, утвержденным Указом Президента РФ от 18.06.2024 № 529.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК (RSCI, Scopus):

1. Биогеохимические особенности вод, почвогрунтов и донных отложений промзоны г. Хабаровска. Гаретова Л.А., Фишер Н.К., Имранова Е.Л., Кириенко О.А., Кошельков А.М., Тюгай З., Харитонов Г.В. / Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 5. С. 56-61.

2. Особенности формирования органических соединений в грунтах и донных отложениях промзоны г. Хабаровск. Гаретова Л.А., Фишер Н.К., Имранова Е.Л., Кириенко О.А., Кошельков А.М. / Геохимия. 2021. Т. 66. № 5. С. 464-472.
3. Оценка загрязнения нефтепродуктами почв города Хабаровска / Кошельков А.М., Майорова Л.П. / Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 12. С. 65-71.
4. Оценка загрязнения почв города Хабаровска бенз(а)пиреном / Кошельков А.М., Майорова Л.П. / Экология человека. 2023. Т. 30. № 3. С. 181-198.
5. Оценка состояния воды, почв и донных отложений территории, сопряжённой с бывшим золоотвалом / Гаретова Л.А., Имранова Е.Л., Кириенко О.А., Фишер Н.К., Кошельков А.М. / Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 2. С. 60-66.
6. Оценка загрязнения тяжёлыми металлами и мышьяком почв города Комсомольск-на-Амуре / Архипов Е.А., Кошельков А.М., Гладун И.В. / Экология и промышленность России. 2024. Т. 28. № 6. С. 42-49.
7. Эколого-геохимическая оценка системы «водоток и его водосбор» малой р. Полежаевка (бассейн р. Амур) / Гаретова Л.А., Имранова Е.Л., Фишер Н.К., Кошельков А.М. / Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2024. Т. 28. № 6. С. 67-77.
8. Комплексная оценка экологического состояния урбанизированной территории / Майорова Л.П., Архипов Е.А., Кошельков А.М. / Экология и промышленность России. 2025. Т. 29. № 5. С. 44-50.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

9. Оценка химического загрязнения почв водоохранных зон малых рек города Хабаровска / Кошельков А.М., Матюшкина Л.А./Региональные проблемы. 2018. Т. 21. № 2. С. 76-85.
10. Оценка углеводородного загрязнения территории промзоны г. Хабаровска (вода, почвогрунты, донные отложения). Гаретова Л.А., Фишер Н.К., Имранова Е.Л., Кириенко О.А., Кошельков А.М., Тюгай З.Н. / Региональные проблемы. 2018. Т. 21. № 4. С. 44-51.
11. Микробные сообщества почвогрунтов, загрязнённых нефтепродуктами / Кошельков А.М., Имранова Е.Л., Кириенко О.А., Тюгай З.Н. / В сборнике: Природные опасности, современные экологические риски и устойчивость экосистем: VII Дружининские чтения. материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. 2018. С. 47-49.
12. Экологическое состояние водоохранных зон малых рек города Хабаровска / Кошельков А.М., Матюшкина Л.А. / В сборнике: Природные опасности, современные экологические риски и устойчивость экосистем: VII Дружининские чтения. материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. 2018. С. 218-223.
13. Особенности качества воды реки Амур у Хабаровска в мае-июне 2019 года / Фишер Н.К., Гаретова Л.А., Шестеркина Н.М., Кошельков А.М., Николаева Х.Н. / Региональные проблемы. 2019. Т. 22. № 3. С. 58-64.
14. Распределение углеводов и биотических компонентов в почвогрунтах промзоны г. Хабаровск / Гаретова Л.А., Имранова Е.Л., Кириенко О.А., Кошельков А.М., Фишер Н.К., Климин М.А., Тюгай З. / В сборнике: Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы. Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Анатолия Даниловича Воронина. 2019. С. 655-657.
15. OIL POLLUTION OF RIVER BOTTOM SEDIMENTS. Koshelkov A.M., Tyugaj Z., Krutikova V.O., Kharitonova G.V./ В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020 International Science and Technology Conference on Earth Science, ISTCEarthScience 2020. IOP Publishing Ltd, 2021.
16. Смачиваемость речных донных отложений, загрязнённых нефтепродуктами. Кошельков А.М., Тюгай З., Крутикова В.О., Харитонова Г.В. /В сборнике: Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы. сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Анатолия Даниловича Воронина. 2019. С. 159-164.

17. Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почв Ванино-Токинской агломерации. Кошельков А.М., Майорова Л.П., Кузнецова А.А. / Философия современного природопользования в бассейне реки Амур : материалы XI научно-практической конференции с международным участием, Хабаровск, 28 апреля 2022 г. Хабаровск : Издательство ТОГУ, 2022. Вып. 11. С. 64-69 .
18. Определение весовых коэффициентов различных факторов при комплексной оценке экологического состояния городской территории. Майорова Л.П., Архипов Е.А., Кошельков А.М. / Инновации и инвестиции. 2023. № 7. С. 252-257.
19. Создание специализированного программного обеспечения для экологов «Изыскатель - ДВ». Бархатов К.А., Кошельков А.М. / Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: материалы XII научно-практической конференции с международным участием, Хабаровск, 24 апреля 2023 г.]. - Хабаровск : Издательство ТОГУ, 2023. Вып. 12. С. 172-176
20. Оценка экологического состояния почв в г. Благовещенске. Кошельков А.М., Архипов Е.А. / Философия современного природопользования в бассейне реки Амур : материалы XII научно-практической конференции с международным участием, Хабаровск, 24 апреля 2023 г- Хабаровск : Издательство ТОГУ, 2023. Вып. 12. С. 104-110.
21. Оценка загрязнения цинком почв города Хабаровск. Кошельков А.М., Матюшкина Л.А. / В сборнике: 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 . 2023. С. 295-298.
22. Техногенные геохимические аномалии города Хабаровск. Кошельков А.М., Майорова Л.П. В сборнике: 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 . 2023. С. 292-295.
23. Тяжёлые металлы в почвах городов Благовещенск, Хабаровск и Комсомольск-на-Амуре. Кошельков А.М., Майорова Л.П. В сборнике: Современные проблемы регионального развития. Материалы X Всероссийской научной конференции с международным участием, Биробиджан. 2024. С. 179-182.
24. Экологическое состояние почв города Хабаровска. Майорова Л.П., Бархатов К.А., Кошельков А.М. База данных, № свидетельства RU 2024621705. Патентное ведомство: Россия. Год публикации: 2024. Дата регистрации: 14.08.2024. Дата публикации: 10.10.2024.
25. Сравнительный анализ загрязнения почв городов Дальнего Востока Российской Федерации. Кошельков А.М., Майорова Л.П., Архипов Е.А. В сборнике: Экологическая культура и охрана окружающей среды: IV Дорофеевские чтения: Материалы международной научно-практической конференции, Витебск, 29 ноября 2024г. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2024. С. 201-204.
26. Фоновое содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвах юга Хабаровского края. Кошельков А.М., Майорова Л.П. / В сборнике: Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, социальные и хозяйственные системы. Владивосток: ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённой 300-летию Российской академии наук, 55-летию Института водных и экологических проблем ДВО РАН. 2025. С. 134-139.

Кошельков Антон Михайлович

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

Автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата географических наук

Подписано к печати _____
Формат _____. Усл. п. л. 1,4. Тираж ____ экз. Заказ № ____
Отпечатано: ИП Шевченко А.В.