

На правах рукописи



**Корбесова Кетеван Виссарионовна**

**Геоэкологическая оценка загрязнения городской среды горного региона  
промышленными и транспортными выбросами (на примере г. Владикавказ)**

Специальность: 1.6.21. «Геоэкология»  
(географические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
географических наук

Владикавказ 2023

Работа выполнена в Геофизическом институте – филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра "Владикавказский научный центр Российской академии наук" (ГФИ ВНЦ РАН)

**Научный руководитель:** **Заалишвили Владислав Борисович**, доктор физико-математических наук, профессор, научный руководитель ГФИ ВНЦ РАН

**Официальные оппоненты:** **Хаванский Александр Дмитриевич**, доктор географических наук, доцент, профессор кафедры социально-экономической географии и природопользования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Южный федеральный университет, Институт наук о Земле Южного федерального университета, г. Ростов–на–Дону

**Епринцев Сергей Александрович**, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет», факультет Географии, геоэкологии и туризма, г. Воронеж

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт» (г. Нальчик).

Защита диссертации состоится «03» июля 2023 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.0.075.03 (Д 999.228.03) при ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр РАН», ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова» по адресу: 363110, РСО-Алания, м. р-н Пригородный, с. Михайловское, ул. Вильямса, д. 1.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим высылать по адресу: 364051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр-т. Х.А. Исаева, д. 100, на имя ученого секретаря диссертационного совета 99.0.075.03 (Д 999.228.03) З.Ш. Гагаевой. E-mail: geodissovets@mail.ru; тел./факс 8(8712)223607

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке «ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова» и на сайтах: [https://gstou.ru/science/dissertation\\_council/](https://gstou.ru/science/dissertation_council/), [vak.minobrnauki.gov.ru](http://vak.minobrnauki.gov.ru)

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

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



З. Ш. Гагаева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В связи с растущим антропогенным воздействием охрана природной среды превратилась в глобальную проблему. Вклад в загрязнение природной среды в горных регионах вносит горнодобывающая промышленность, доля которой в загрязнении среды значительна. В условиях гористого рельефа проблема еще более обостряется из-за ограниченности и замкнутости пространства. Факторы, влияющие на состояние природной среды, в условиях высокогорья носят приоритетный характер из-за особых признаков ландшафтного, территориального и географического плана. Размещаемые в стесненных условиях отходы добычи и переработки создают экологически напряженную обстановку в регионах и способствуют деградации природной среды. Геоэкологическая емкость биосферы горных систем по сравнению с равнинными территориями ограничена, поэтому техногенное вмешательство в систему горных ландшафтов требует взвешенного подхода.

Важнейшей составной частью современной жизни является транспорт. Экономическое развитие всех регионов основано на доступе людей к товарам и услугам, которые обеспечиваются современной транспортной инфраструктурой. Автомобильный транспорт является основным способом транспортировки грузов и населения. В то же время положительные аспекты использования транспорта тесно связаны с загрязнением природной среды.

Исследования, проводимые в последние десятилетия, указывают на то, что загрязнение воздуха оказывает значительное негативное влияние на здоровье, и транспорт является при этом одним из важнейших источников загрязнения. Дорожное движение является крупнейшим источником выбросов многих вредных для здоровья загрязнителей воздуха, таких как оксид углерода, оксиды азота, бензол и первичные РМ10 (частицы различных веществ диаметром 10 мкм и менее).

Несмотря на большой объем научных исследований, проводимых в последние десятилетия, все еще открытым остается вопрос интегральной оценки уровня загрязнения природной среды от различных источников. При этом в целях разработки действенных мер по снижению уровня загрязнения необходимым представляется разработка карт загрязнения территории на основе подобного интегрального показателя. Построение карт предполагает использование значительного количества исходных данных, и разработку специальной методики для расчёта уровня загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом.

**Объект исследования.** Объектом настоящего исследования является урбанизированная территория горного региона, находящегося под воздействием промышленного и транспортного загрязнения.

**Предмет исследования.** Предметом исследования является воздействие промышленных и транспортных выбросов на городскую среду горного региона на примере города Владикавказ.

**Цель работы.** Цель настоящего исследования – разработка подходов и методов комплексной геоэкологической оценки загрязнения городской среды горного региона промышленными и транспортными выбросами.

В процессе выполнения настоящей работы были поставлены и решены следующие **задачи:**

1. Определить источники и масштабы промышленных и транспортных выбросов на территории РСО-Алания на основе картографирования основных поллютантов (оксида углерода, углеводородов и диоксидов азота и серы)

2. Обосновать применение подходов и методов оценки воздушного загрязнения в условиях урбанизированной горной местности.

3. Изучить взаимосвязи между уровнем загрязнения городской среды и ее основными геоэкологическими параметрами – метеоклиматическими условиями и удаленностью от источников загрязнения.

5. Оценить пространственную дифференциацию интегрального загрязнения территории г. Владикавказа на основе картографирования с последующей разработкой рекомендаций по оптимизации городской среды.

**Методы исследования.** В ходе настоящего исследования использовались следующие методы и подходы:

- Полевые натурные обследования основных промышленных и транспортных источников загрязнения с отбором проб и определением содержания оксида углерода, диоксидов азота и серы, углеводородов;

- Для выявления и изучения взаимосвязи между различными параметрами применялся корреляционный анализ, который позволяет определить, в какой степени изучаемая функция зависит от того или иного параметра. Для получения конкретной функциональной зависимости использовался регрессионный анализ, в рамках которого оценивалась достоверность полученной зависимости по рассчитанной величине достоверности аппроксимации и критерию Фишера.

- В работе также использовались методы статистической обработки экспериментальных данных и теоретического анализа процессов загрязнения атмосферного воздуха урбанизированной территории, с изучением и обобщением ранее полученных результатов в России и за рубежом.

Для построения карт загрязнения атмосферного воздуха применялось геоинформационное моделирование, в частности методы пространственной интерполяции (метод обратных взвешенных расстояний).

#### **Основные защищаемые положения.**

1. Загрязнение городской среды г. Владикавказа связано с выбросами от предприятий цветной металлургии и транспорта, при этом объемы выбросов от автомобильного транспорта в последние годы превышают на порядок выбросы от стационарных источников, что крайне негативно сказывается на общем уровне загрязнения воздуха и почв.

2. Геоэкологическая оценка загрязнения городской среды горного региона промышленными и транспортными выбросами опирается на сочетание точечных натурных обследований и пространственного моделирования с выявлением связи уровня загрязнения и основных геоэкологических параметров городской среды – метеоклиматических условий, удаленности от источников загрязнения, интенсивности транспортного потока.

3. В рамках геоэкологического подхода к оценке уровня загрязненности эффективным является показатель интегрального загрязнения атмосферного воздуха, рассчитываемый на основе отнесения текущей фоновой загрязненности к значению ПДК конкретных загрязнителей.

4. Оптимизация геоэкологической обстановки в г. Владикавказ базируется на учете пространственной неоднородности уровня и масштабов загрязнения, выработки рекомендаций к ареалам повышенного загрязнения, переходным зонам и территориям относительно незагрязненным.

#### **Научная новизна работы.** В результате проведенной работы:

- Предложен интегральный индекс загрязнения атмосферного воздуха  $Z_{атм}$ , который отличается от традиционно используемого суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  тем, что при его расчете данные относятся вместо фонового значения концентрации загрязнения к значениям ПДК, что позволяет непосредственно сопоставлять уровень загрязнения различных территорий между собой. Для предложенного показателя  $Z_{атм}$  определены диапазоны значений для различных уровней воздействия на человека

- Предложена методика расчёта уровня загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом, позволяющая приводить измеряемые значения показателей к равным условиям, что позволяет моделировать наименее благоприятный сценарий загрязнения атмосферного воздуха в момент наибольшей загруженности автомобильных дорог.
- Впервые для территории г. Владикавказа построены карты загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом с выделением наиболее неблагоприятных зон. На их основе разработаны рекомендации по улучшению экологического состояния атмосферного воздуха.

**Обоснованность и достоверность результатов исследования.** Обоснованность и достоверность результатов исследования обеспечивается надежностью исходных данных и их представительностью, использованием математических методов обработки полученных данных и современных методов и признанных программных продуктов геоинформационного моделирования, результаты исследований сопоставимы с данными аналогичных прикладных и теоретических исследований на урбанизированных территориях.

**Теоретическая и практическая значимость исследования.** Теоретическая значимость исследования заключается в разработке интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха различными вредными веществами и методика расчёта уровня загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом, что позволяет в условиях ограниченности исходных данных оценивать уровень загрязнения.

Практическая значимость исследования заключается в разработке карт загрязнения атмосферного воздуха г. Владикавказа, что позволило выделить наиболее загрязненные участки, что служит основой для разработки рекомендаций по уменьшению загрязнения и оптимизации транспортных потоков.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации доложены и одобрены на Международной научной конференции «Актуальные проблемы зеленой архитектуры, гражданского строительства и экологии — ТРАСЕЕ 2019» Москва, Россия, 19 – 22 ноября 2019; International scientific conference construction and architecture: theory and practice of innovative development" Nalchik, Russian Federation, 16-17 декабря 2020 г.; XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» Ессентуки - Грозный, 17-20 ноября 2021 г.; IX Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» Ессентуки, 10–12 октября 2019 года; VII Международной конференции «Опасные природные и техногенные процессы в горных

регионах: модели, системы, технологии» Владикавказ, 30 сентября – 02 октября 2019 года; XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» Махачкала, 15-19 июня 2022 г.; .VIII Международной конференции «Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии», г. Владикавказ, 3-7 октября 2022 г., а также на заседаниях молодежного семинара «Основы геофизики, геологии, инженерной сейсмологии и геоинформатики в природных и техногенных системах» и семинара «Опасные природные и техногенные геологические процессы» ГФИ ВНИЦ РАН.

**Публикации.** По теме диссертации было опубликовано 11 работ, из них 3 в изданиях, рекомендованных ВАК, 5 статей, индексируемых в международной наукометрической базе данных Scopus и 5 статей в коллективных монографиях.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка использованной литературы. Содержание диссертации изложено на 133 листах машинописного текста, список литературы содержит 178 наименований, количество иллюстраций -30, число таблиц – 9, количество приложений – 2.

#### **Благодарности.**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90090.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность своему научному руководителю, д.ф.-м.н., профессору Владиславу Борисовичу Заалишвили за неоценимую помощь и поддержку на всех этапах подготовки диссертационной работы. Автор выражает глубокую благодарность к.т.н., доценту А.С. Канукову за участие в проведении исследований и активное сотрудничество и к.г.н. О.Г.Бурдзиевой за поддержку, ценные советы и рекомендации, а также другим коллегам.

#### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи, определяется научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** рассматривается современное состояние проблемы экологического загрязнения окружающей среды и методы ее исследования. Рассмотрены основные источники загрязнения природной среды стационарными и мобильными источниками. Дана характеристика рассматриваемой территории.

Проблемы с качеством воздуха, с которыми сегодня сталкиваются в мире, вызваны загрязнением от автомобильного транспорта. Информация о загрязнении может быть

получена на основе двух источников, а именно мониторинга содержания вредных веществ в атмосферном воздухе (полевые данные) и математическое моделирование (данные моделирования). Для моделирования качества воздуха были разработаны многочисленные модели, учитывающие весь спектр источников выбросов: дорожное движение, промышленные, коммерческие, бытовые и других менее четко определенных источники. При соответствующей калибровке эти модели могут служить полезным инструментом для косвенной оценки уровней загрязнения воздуха и, следовательно, их влияния на население. Примерами моделей, учитывающих выбросы от автомобильного транспорта, являются STREET, CPBM, OSPM, CAR, PANACHE, SPRAY и модели статистического распределения. Поскольку рассеивание уличного загрязнения сильно зависит от многих факторов, таких как топология улицы (ориентация улицы, ширина улицы, высота зданий, и т. д.) и местных турбулентностей ветра, калибровка этих моделей для достижения точной оценки требует много времени и является весьма трудоемкой задачей. Географические информационные системы (ГИС) при использовании данных моделей становятся все более полезным инструментом для автоматической интерпретации карт и представления конфигурации улиц при оценке воздействия загрязнения воздуха.

Выбросы двигателей внутреннего сгорания не являются единственным источником загрязнения природной среды. Автомобильные шины и детали тормозных систем также являются заметным источником загрязнения природной среды. В результате износа частицы шин, тормозных колодок и дисков рассеиваются в окружающей среде и могут заметно загрязнять ее, особенно если эти частицы содержат металлы.

На территории, рассматриваемой в настоящей работе, определены основные загрязнители природных компонентов. Так, установлено, что наибольший объем выбросов в атмосферный воздух осуществляется автомобильным транспортом, формируя также наибольший шумовой фон. Наибольшее же загрязнение водных ресурсов и почвенного покрова на исследуемой территории обуславливают промышленные предприятия.

В качестве мер по снижению выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта в настоящее время предлагаются модели оптимизации дорожного движения, в частности, создание «зеленых коридоров». Обоснование заявления о снижении выбросов заключается в том, что из-за заторов транспортные средства работают в неоптимальных условиях, что приводит к неполному сгоранию топлива и дополнительным выбросам NO<sub>x</sub>, CO и т. д.



На основе проведенного анализа сформулированы требования к показателям уровня загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом, методике измерения содержания вредных веществ в атмосферном воздухе.

**Во второй главе** рассмотрена существующая и предложена новая методика расчёта уровня загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом на основе проведенных исследований по измерению содержания оксида углерода, углеводородов, диоксидов азота и серы в атмосферном воздухе в зависимости от сезонности, удаления от дорог, высоты измерений, плотности потока транспортных средств и работы светофоров.

В ходе экспериментальных исследований содержания вредных веществ в атмосферном воздухе, проводимых с помощью газоанализатора «Эколаб», была исследована зависимость концентраций изучаемых в настоящей работе веществ от расстояния до дороги и от высоты установки измерительного прибора. Измерения проводились в течение 25 минут на каждой точке.

Для изучения влияния остановки и начала движения автотранспорта на уровень выбросов в атмосферу газоанализатор устанавливался непосредственно возле светофора. Пики концентраций изучаемых веществ совпадали с временем включения красного сигнала светофора, при этом ширина данных пиков зависела от количества остановившихся автомашин. В отсутствии автомашин концентрация всех измеряемых газов, за исключением диоксида азота, падала до нуля. При этом на тех улицах, где двигался непрерывный поток автомашин, нулевые значения концентраций загрязнителей практически не регистрировались. Таким образом, можно заключить, что учёт только ненулевых значений при расчёте средних значений концентраций позволяет смоделировать ситуацию полной загруженности автодороги, проводя измерения в любое дневное время и приводить эти значения к моментам максимальной загруженности. Данный подход позволяет получать значения более адекватные в сравнении с максимально измеренными концентрациями, т.к. подобные значения могут быть связаны с единственным транспортным средством, проезжающим мимо точки установки газоанализатора и выбрасывающим в атмосферу большое количество загрязняющих веществ.

На рисунке 1 приведены карты концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе г. Владикавказа. Слева – карта, где средние значения приведены ко времени максимальной загруженности дорог, справа – средние значения, полученные в процессе измерений. Как видно из представленных карт, использование разработанной методики позволяет выделить потенциально опасные участки, на которых во время наибольшей загруженности измеренные значения могут быть значительно превышены. Это позволяет производить

измерения, не привязываясь к определенному времени суток для создания интегральной или итоговой карты. Кроме того, это позволяет сократить длительность исследований, так как для создания подобной карты для случая максимальной загруженности автодорог время, в которое измерения могут быть произведены, значительно сокращаются, вплоть до нескольких десятков минут в сутки. Соответственно, измерения на большом количестве пунктов будут значительно растянуты во времени.

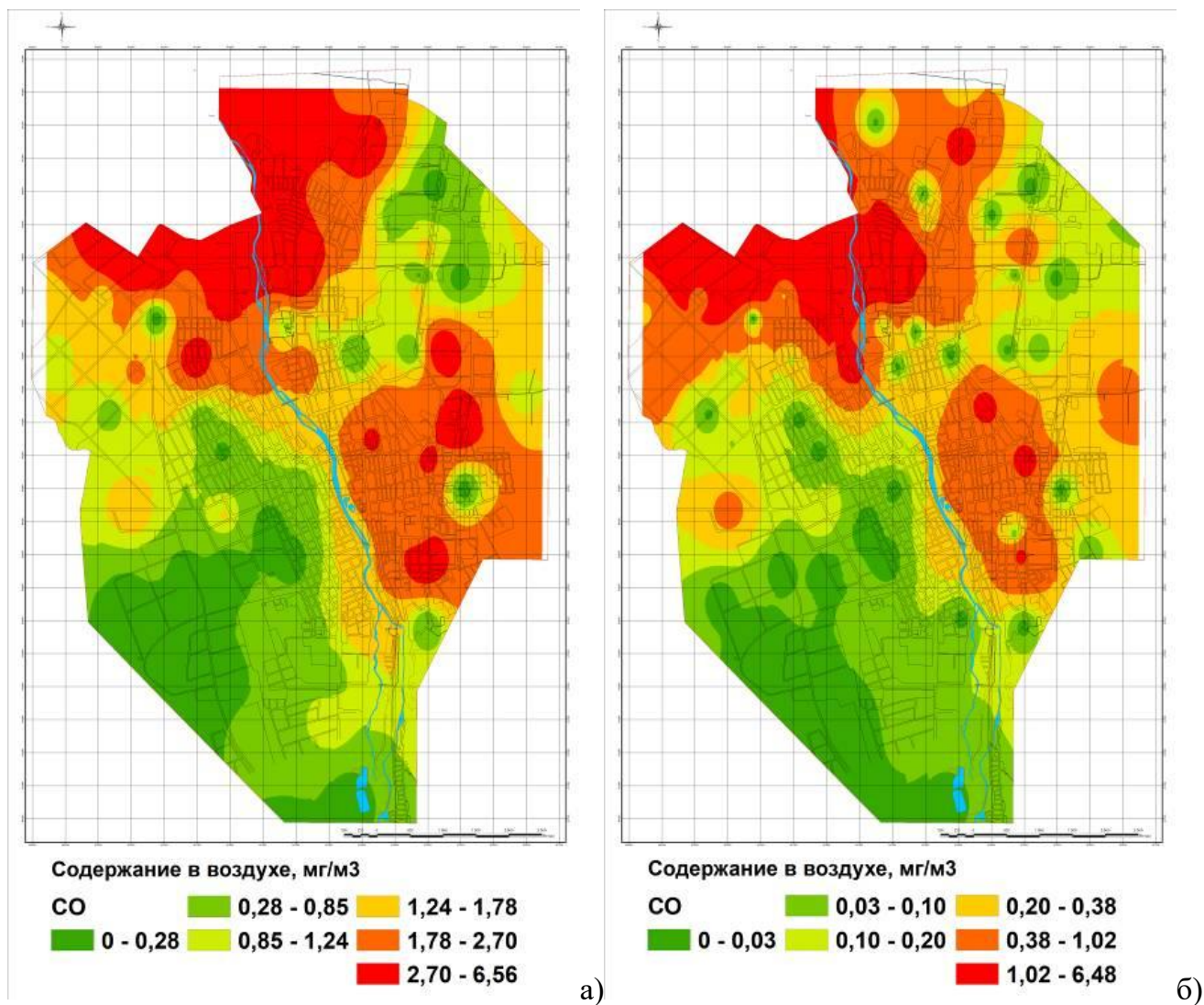


Рисунок 1. Карты концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе г. Владикавказа.

а) – карта, построенная по предложенной методике, б) – средние значения.

Для изучения влияния погодных условий и плотности трафика, измерения в указанных точках были повторно проведены в осенний период в дождливую погоду с высокой влажностью воздуха и невысокой температурой (рис. 2).

Из данного рисунка видно, что по сравнению с летним периодом, в осенний период концентрация диоксида серы и оксида углерода увеличилась. Полученные данные хорошо согласуются с последними зарубежными работами в этой области. Так установлено, что концентрация веществ, выбрасываемых автомобильным транспортом в атмосферный воздух,

имеют сезонный характер, и в летний период их значения концентрации (диоксид серы и оксид углерода) минимальны.

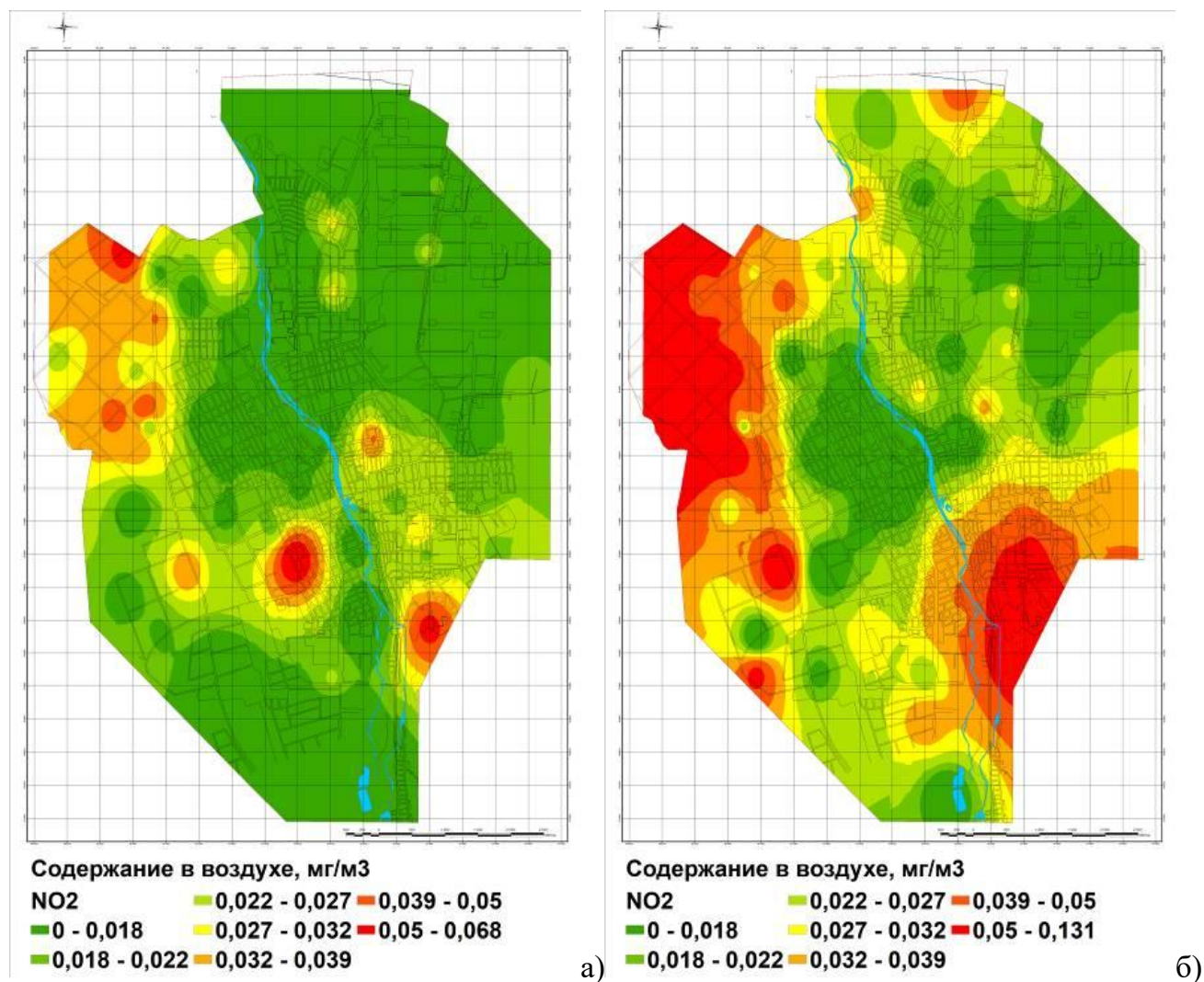


Рисунок 2. Концентрация диоксида азота в различные периоды:

а) – в осенний период, б) – в летний период.

Для сопоставления интегральных ситуаций строились карты пространственного распределения оксида углерода и диоксида азота в летний и осенний период. Несмотря на более высокое значение количества автомобильного транспорта на улицах, и увеличение концентрации угарного газа, концентрация диоксида азота уменьшилась в осенний период вследствие значительно более высокого уровня влажности (рис. 3). Полученные результаты также согласуются с результатами подобных исследований, проведенных в последние годы за рубежом.

Кроме того, во время проведения повторных измерений на одном из самых загруженных перекрестков города (Архонский «круг») Госавтоинспекцией проводился эксперимент по отключению светофоров и организации дорожного движения по знакам приоритета. Из-за особенностей работы двигателей внутреннего сгорания, концентрация

вредных веществ в выхлопных газах автомобилей максимальна в момент остановки и начала движения транспортных средств. На основе анализа содержания угарного газа в одной и той же точке, было установлено, что, несмотря на то, что в остальной части города уровень его содержания повысился, только оптимизация дорожного движения в данной точке, когда значительно снизились заторы на данном участке и двигатели транспортных средств работали в более оптимальном режиме, позволила заметно снизить его концентрацию. Это позволяет сделать вывод об оптимизации дорожного движения, как действенного фактора уменьшения уровня загрязнения природной среды от автомобильного транспорта.

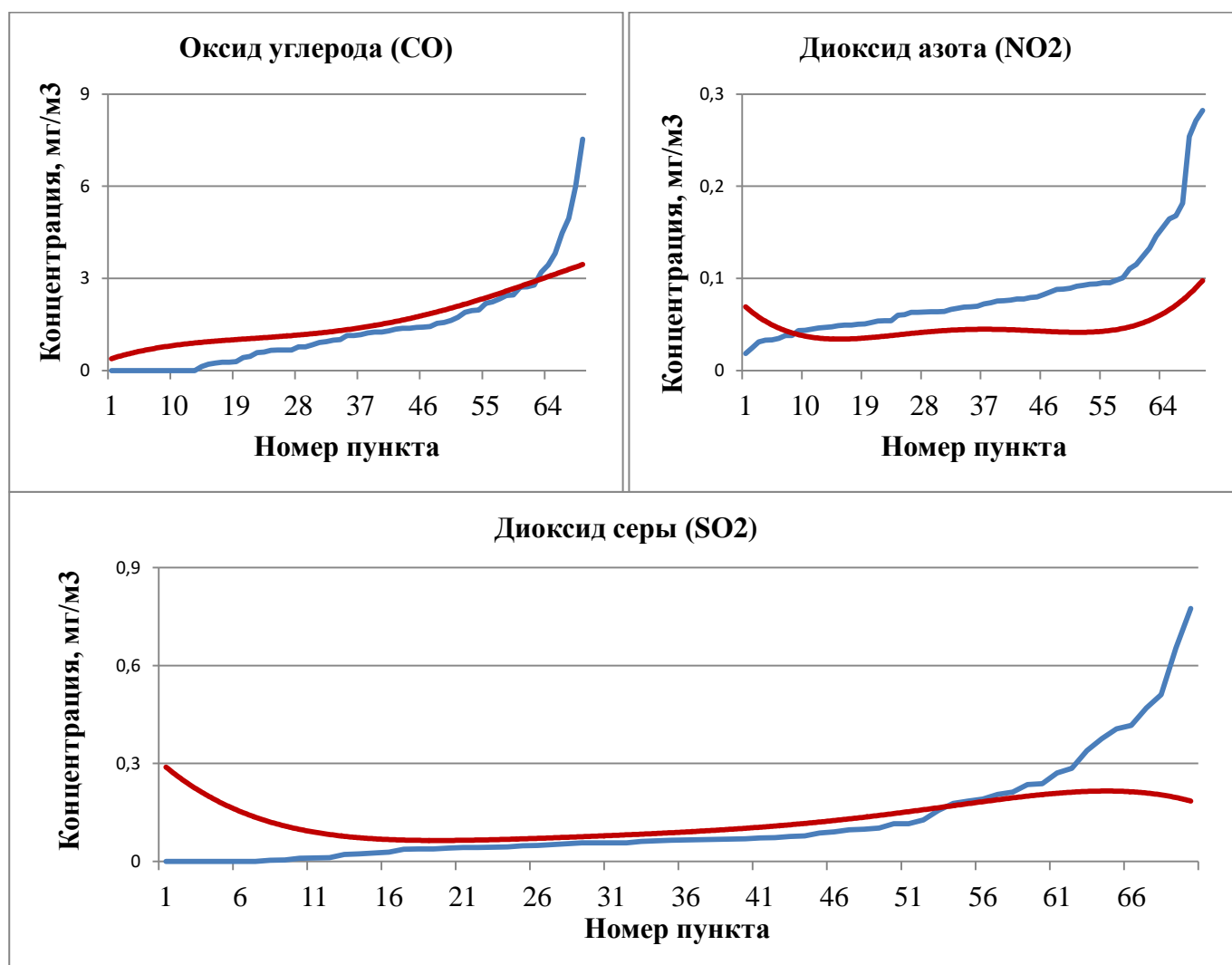


Рисунок 3. Концентрации исследуемых веществ по всем точкам наблюдений (синий цвет – весенне-летний период, красный цвет – осенний период).

Таким образом, разработанная методика проведения измерения концентраций загрязняющих веществ сводится к следующему. Установку прибора необходимо производить непосредственно возле края проезжей части, высота установки прибора не должна превышать 0,5 м от уровня дорожного полотна. Для приведения полученных

значений к среднему значению, необходимо учитывать только ненулевые концентрации, моделируя ситуацию измерения во время максимальной загруженности данного участка дороги.

**В третьей главе** собран и проанализирован весь доступный материал по динамике выбросов от стационарных и мобильных источников в природную среду г. Владикавказа за последние десятилетия, также проведены собственные исследования загрязнения почв изучаемой территории.

В ходе настоящего исследования нами было изучено текущее состояние объемов выбросов вредных веществ в атмосферный воздух г. Владикавказа и их основных источников. Более 30 предприятий находится в промышленном узле г. Владикавказа, их деятельность в той или иной мере связана с загрязнением атмосферного воздуха. Самым крупным предприятием в Республике являлось ОАО "Электроцинк", которое все годы существования активно загрязняло среду обитания. Начиная с 2004 года на ОАО «Электроцинк» реализовывался переход на новую технологию производства свинца. Позже, имело место установка фильтров и других специальных систем (2006). Хотя эти мероприятия позволили значительно снизить выбросы загрязняющих веществ на 74%, процесс загрязнения территории не уменьшился и даже временами возрастал. Этот странный феномен нашел объяснение в результате исследований О.Г. Бурдзиевой. Ею было достоверно установлено, что основную роль в продолжающемся загрязнении территории города играло загрязнение, находящимися на открытом пространстве, мощными отвалами хозяйственной деятельности завода на Грозненском шоссе в г. Владикавказе, продуваемыми преобладающими в городе воздушными потоками. Достаточно большой объем этих отвалов вывезен за пределы Республики на более глубокую переработку. В настоящий момент ОАО «Электроцинк», оказавшийся в центре густонаселенного района города, находится в состоянии консервации.

Количество автотранспорта в Республике Северная Осетия - Алания за последние 20 лет увеличилось более чем в 2 раза. На рисунке 4 приведен график объемов выбросов для стационарных источников и автомобильного транспорта по годам. Для стационарных источников шкала объема выбросов приведена слева, а для автомобильного транспорта справа. Как видно из представленного графика объемы выбросов от стационарных источников уменьшались за весь рассматриваемый почти 20-летний период, на фоне возрастающего количества выбросов от автотранспорта, причём объем выбросов последних превышает стационарные источники на порядок.

Выбросы двигателей внутреннего сгорания не являются единственным источником загрязнения природной среды. Автомобильные шины и детали тормозных систем также являются заметным источником загрязнения окружающей среды. В результате износа частицы шин, тормозных колодок и дисков рассеиваются в природной среде и могут заметно загрязнять ее, особенно если эти частицы содержат металлы.

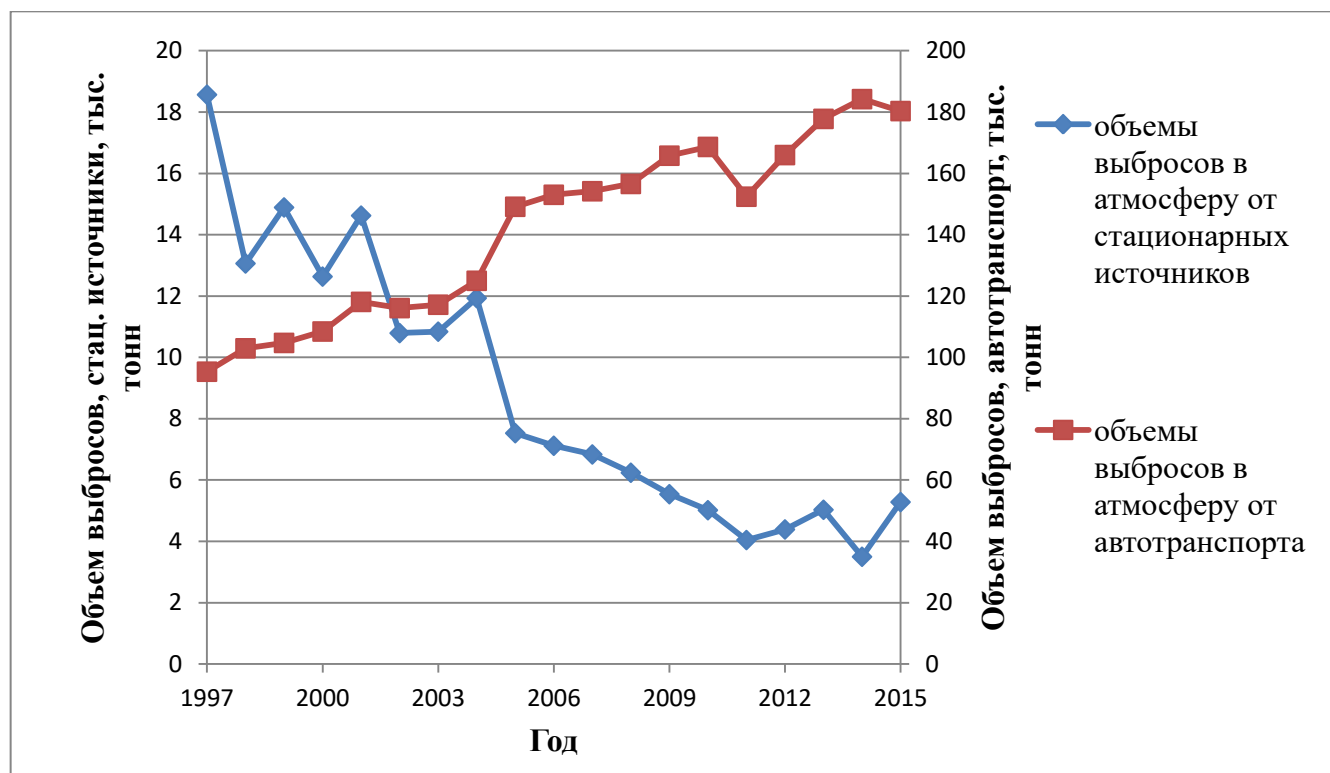


Рисунок 4. Динамика объемов выбросов от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А за 1997-2015 гг.

Для вычисления объемов продуктов износа автомобильных шин на исследуемой территории, вследствие их истираемости, нами были изучены существующие работы по оценке загрязнения природной среды продуктами износа шин, проведенных в разных странах. Был отобран материал по результатам исследований, проведенных в 13 странах мира. Усредненные же значения величины истираемости были сведены в одну таблицу (табл. 1).

На основе таблицы 1 были рассчитаны средние показатели для вычисления объема выбросов в природную среду продуктов износа автомобильных шин. Данный способ был выбран исходя из многофакторности величины износа шин. На исследуемой территории расположены дороги, как с хорошим, так и с неудовлетворительным качеством покрытия, в автомобильном парке используются шины большого числа производителей, с разной величиной истираемости. Климатические условия также соответствуют усредненным значениям исследуемых территорий. Кроме того, размеры частиц, зарегистрированные в любом конкретном экспериментальном исследовании, также зависят от экспериментальной

установки. Таким образом, для территории г. Владикавказа было получено, что в год в окружающую среду города выбрасывается порядка 258 тонн продуктов износа шин, что составляет 860 грамм на одного жителя.

Таблица 1.

Величины износа шин в различных странах

Страна	Количество жителей	Количество автомобилей	Общий объем выбросов от шины (тонн/год)	Выброс на душу населения/год	Количество выбросов на 1 автомобиль, кг
Нидерланды	17 016 967	9 612 273	8834	0,52	0,92
Норвегия	5 265 158	3 671 885	7884	1,5	2,15
Швеция	9 880 604	5 755 952	13 238	1,3	2,30
Дания	5 593 785	2 911 147	6721	1,2	2,31
Германия	80 722 792	52 391 000	92 594	1,1	1,77
Великобритания	64 430 428	35 582 650	63 000	0,98	1,77
Италия	62 007 540	51 269 218	50 000	0,81	0,98
Япония	126 702 133	76 763 402	239 762	1,9	3,12
Китай	1 373 541 278	250 138 212	756 240	0,55	3,02
Индия	1 266 883 598	159 490 578	292 674	0,23	1,84
Австралия	22 992 654	17 180 596	20 000	0,87	1,16
США	323 995 528	265 043 362	1 524 740	4,7	5,75
Бразилия	205 823 665	81 600 729	294 011	1,4	3,60
Всего	3 564 856 130	1 011 411 004	3 369 698	0,95	2,36

В четвертой главе приводится решение задачи по разработке интегрального показателя уровня загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом и выполнена апробация работы. С помощью методов геоинформационного моделирования и разработанных подходов впервые для территории г. Владикавказа построены карты загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом с выделением наиболее неблагоприятных зон. Даны рекомендации по улучшению геоэкологической обстановки исследуемой территории.

Для изучения загрязнения почв тяжелыми металлами были отобраны пробы в 63 точках на территории г. Владикавказа, которые подверглись анализу на содержание следующих элементов: Cd, Sb, Mn, V, Pb, As, Hg, Cu, Ni, Cr (кадмий, сурьма, марганец, ванадий, свинец, мышьяк, ртуть, медь, никель и хром). В качестве примера пространственного распределения тяжелых металлов приведены карты распределения свинца и кадмия. Установлено, что вся исследуемая территория является чрезвычайно

загрязненной (рис. 5), но наибольшие ареалы загрязнений тяжелыми металлами расположены вблизи предприятий и выделение вклада автотранспорта представляется весьма сложной задачей.

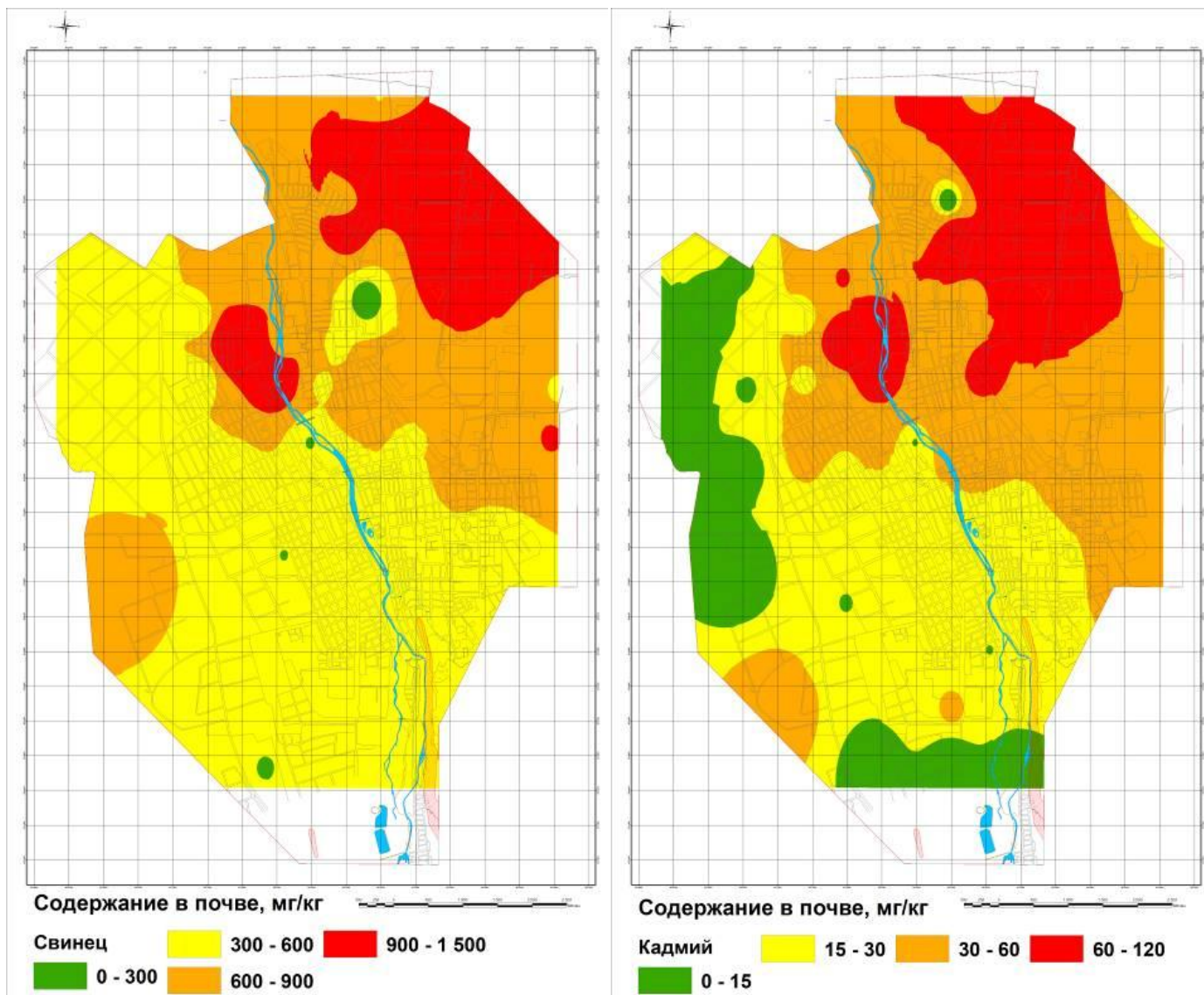


Рисунок 5. Содержание тяжелых металлов в почвах г. Владикавказа.

В качестве показателя загрязнения природной среды используется показатель предельно допустимой концентрации (ПДК). ПДК представляет собой максимальную концентрацию какого-либо химического элемента, или его соединения, которое при ежедневном воздействии в течение неограниченного времени не вызывает патологические изменения и какие-либо заболевания.

Полагая, что различные элементы имеют одинаковую вредность, тогда можно ввести суммарный показатель загрязнения, широко применяющийся в задачах геоэкологического мониторинга в следующем виде:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_{C_i}}, \quad (1)$$



где  $C_i$  – фактическая концентрация  $i$ -го загрязнителя,  $ПДК_{C_i}$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го загрязнителя,  $C$  – суммарный показатель загрязнения.

Подобный подход используется в расчёте суммарного показателя загрязнения почвы  $Z_c$ . В данном случае используется понятие концентрации химического элемента, которая равна отношению фактического содержания данного элемента в почве, к его фоновому региональному:

$$K_i = C_i / C_{\phi}, \quad (2)$$

где  $K_i$  – концентрация химического элемента,  $C_i$  – содержание элемента в почве,  $C_{\phi}$  – региональное фоновое содержание элемента.

При этом суммарный показатель рассчитывается, как сумма концентрации химических элементов и может быть представлен в виде:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{C_i} - (n-1), \quad (3)$$

где  $n$  – количество учитываемых химических элементов;  $K_{C_i}$  – коэффициенты концентрации загрязнителей.

Недостатком данного подхода можно считать то, что выделение опасных зон производится относительно фонового содержания исследуемых элементов в данном районе. При этом, для отдельных территорий, фоновое содержание может быть выше уровня ПДК, тогда, в сравнении с «чистым» регионом, мы получим заниженную оценку уровня загрязнения территории. В качестве примера можно привести случай, когда содержание различных элементов близко к фоновым значениям, в обоих случаях значение суммарного показателя загрязнения будет близко к единице, при этом реальное загрязнение может отличаться в несколько раз.

В этой связи для оценки загрязнения атмосферного воздуха нами предложено ввести суммарный показатель  $Z_{атм}$ , рассчитываемый как сумма отношений концентрации отдельных загрязнителей к значениям ПДК за вычетом количества используемых показателей минус единица:

$$Z_{атм} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{ПДК_i}} - (n-1), \quad (4)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го загрязнителя в атмосфере,  $C_{ПДК_i}$  – значение ПДК  $i$ -го загрязнителя.

Нами разработаны уровни опасности для показателя загрязненности атмосферного воздуха. Пусть все учитываемые показатели равны ПДК, тогда, согласно определению

разработанного показателя, уровень опасности составит 1. Превышение одного из показателей увеличит данное значение ещё больше, соответственно, значение в одну единицу необходимо определить как допустимую. В таком случае, по аналогии с показателем  $Z_c$  уровни воздействия на организм человека определяются следующим образом: допустимая – менее 1; умеренно опасная – 1-2; опасная – 2-8; чрезвычайно опасная – более 8.

Для картографирования пространственного распределения загрязняющих веществ требуется применение методов пространственной интерполяции. Наиболее часто используются такие методы интерполяции, как метод обратных взвешенных расстояний (IDW), кригинг и сплайн.

В настоящей работе использовался метод обратных взвешенных расстояний (IDW), который основан на предположении, что прогнозы представляют собой линейную комбинацию доступных данных. Интерполирующая функция:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (6)$$
$$w_i = d_i^{-u}$$

где  $Z(x)$  - предсказанное значение в интерполированной точке,  $Z_i$  - в известной точке,  $n$  - общее количество известных точек, используемых при интерполяции,  $d_i$  - расстояние между точкой  $i$  и точкой предсказания, а  $w_i$  - это вес, присвоенный точке  $i$ . Большее значение веса присваивается значениям, близким к интерполированной точке. По мере увеличения расстояния вес уменьшается, а  $u$  - сила веса, которая определяет, как вес уменьшается с увеличением расстояния.

На рисунке 6 приведена карта значений разработанного интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха г. Владикавказа.

Как видно из представленной карты, наибольшей загрязненностью характеризуются въезды/выезды из города и прилегающие территории, а также историческая центральная часть г. Владикавказа, для которой характерен большой транспортный поток, при достаточно узкой ширине проезжей части.

В процессе изучения способов уменьшения уровня загрязнения атмосферного воздуха, был проведен анализ сорбционной способности различных растений, аккумулирующих тяжелые металлы. Это позволило выделить фитоиндикаторы, способные снижать токсичность воздуха и почвы. Подобранный состав фитоценоза позволяет значительно снизить токсичность воздуха автомобильных дорог. Представителей этих видов семейств не скашивают, оставляя их для возобновления роста с помощью семян, осыпающихся в начале июня. Преимущество должны иметь растения из семейства пасленовых, сорбирующие

больше кадмия, а растения с опушенными листьями больше поглощают мышьяк и ртуть. Результаты проведенных работ показали, что с целью снижения содержания вредных химических веществ вдоль автомагистралей рационально высевать растения с гипераккумулирующими свойствами из семейства пасленовых, крестоцветных, астровых, сложноцветных, злаковых и бобовых в комплексе.

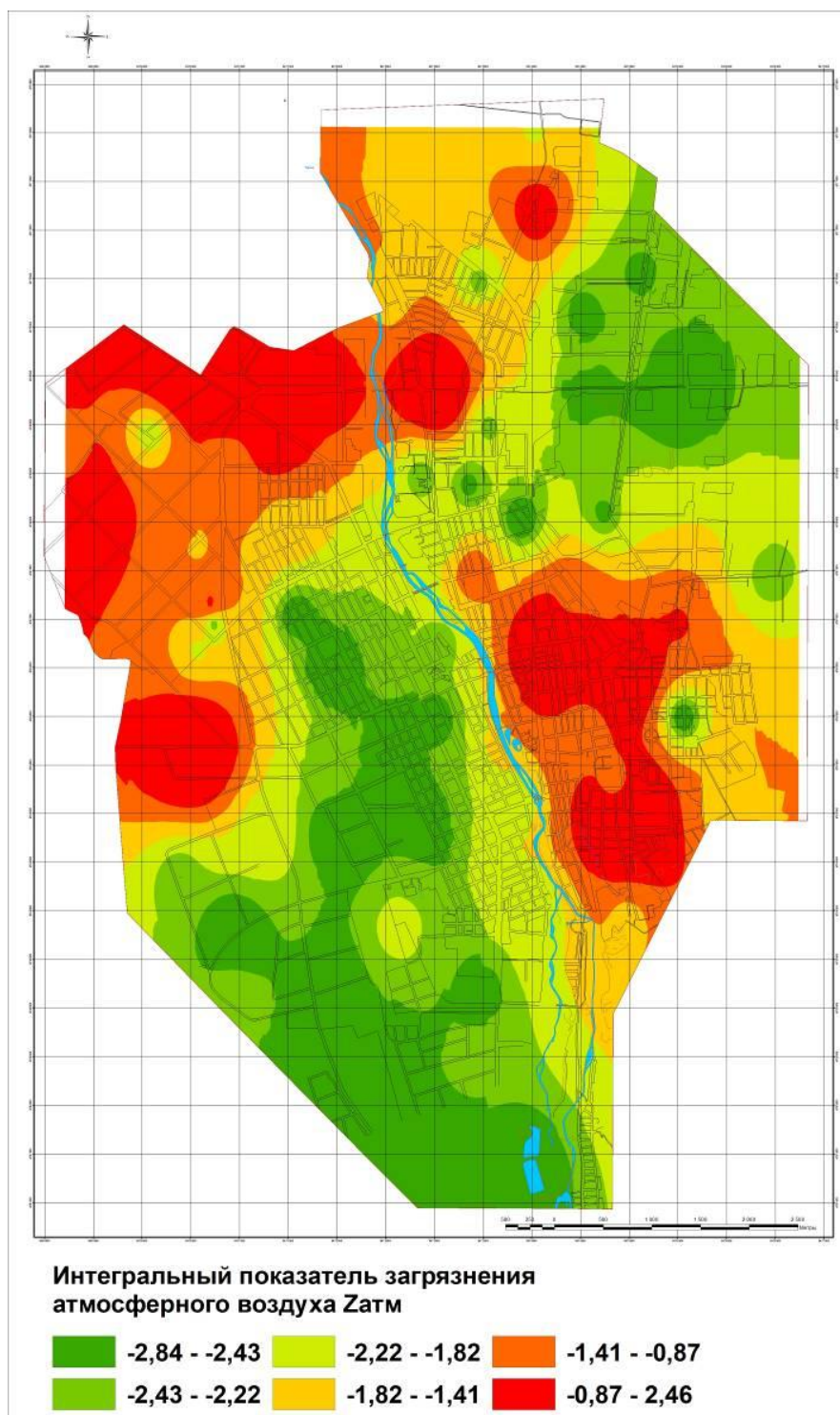


Рисунок 6. Карта значений интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха Затм г. Владикавказа.

По результатам настоящей работы разработаны следующие Рекомендации:

1. Для снижения нагрузки на въездах и выездах из города необходимо создание дополнительных транспортных путей.

2. В связи с тем, что концентрация части вредных веществ в выхлопных газах максимальна в момент остановки и начала движения транспортных средств, необходима оптимизация работы светофоров и их синхронизация на близко расположенных перекрестках для создания «зеленых коридоров».

3. Предлагается внести требование для исключения возможности движения автомобилей с низким или отсутствующим экологическим классом в центральной части города.

4. Предлагается высадка вдоль дорог отобранных растений, позволяющих уменьшить уровень загрязнения атмосферного воздуха.

5. Необходимо создание инфраструктуры на территории Северной Осетии для электрического транспорта.

**В заключении** приводятся основные результаты, полученные в диссертации, формулируются выводы и рекомендации, основанные на проведённых исследованиях и полученных результатах.

#### **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ:**

1. Изучены существующие показатели загрязнения природной среды. По результатам проведенного анализа в качестве традиционно используется показатель комплексного загрязнения почвы  $Z_c$ . При этом текущие показатели локального загрязнения относятся к фоновому значению концентрации для рассматриваемой территории. Авторами предложено использовать интегральный индекс загрязнения атмосферного воздуха  $Z_{атм}$ , который отличается от показателя  $Z_c$  тем, что при его расчете данные относятся вместо фонового значения концентрации загрязнения к значениям ПДК, что позволяет непосредственно сопоставлять уровень загрязнения различных территорий между собой.

2. Предложена методика расчёта уровня загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом, позволяющая приводить измеряемые значения показателей к одинаковым условиям, что позволяет моделировать наихудший сценарий загрязнения атмосферного воздуха в момент наибольшей загруженности автомобильных дорог.

3. Впервые для территории г. Владикавказа с использованием предложенного показателя  $Z_{атм}$  построены карты загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом с выделением наиболее неблагоприятных зон.

4. Выполнено сопоставление уровней загрязнения природной среды на территории г. Владикавказа от автомобильного транспорта и стационарных источников.

5. Проведено исследование уровня загрязнения почв исследуемой территории на содержание следующих элементов: Cd, Sb, Mn, V, Pb, As, Hg, Cu, Ni, Cr, с последующим составлением карт.

6. Результаты исследований позволили установить, что прослеживается прямая зависимость между плотностью потока машин и загрязнением воздушной среды. Полученные данные свидетельствуют об устойчивой тенденции увеличения загрязнения атмосферного воздуха от возрастающего негативного влияния выбросов автотранспорта, что отрицательно сказывается на состоянии здоровья населения.

7. Установлена устойчивая зависимость концентрации различных загрязнителей атмосферного воздуха от его температуры и влажности.

8. Проведена комплексная оценка уровня загрязнения природной среды формируемого автомобильным транспортом, включая загрязнение выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания, продуктами износа автомобильных шин и «микросейсмическое» загрязнение.

9. Практическая значимость исследования заключается в разработке карт загрязнения атмосферного воздуха г. Владикавказа, что позволило установить наиболее загрязненные участки города. Это, в свою очередь, послужило основой для анализа конкретной ситуации в пространстве и ее выправления.

10. Разработаны Рекомендации по снижению негативного воздействия автотранспорта на природную среду в виде ее загрязнения и необходимой оптимизации транспортных потоков.

#### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

##### ***В изданиях, включенных в перечень ВАК и Scopus:***

1. **Корбесова К.В.** Оценка влияния автомобильного движения транспорта на загрязнение урбанизированных территорий / Заалишвили В.Б., Кануков А.С., Корбесова К.В. // Геология и геофизика Юга России. 2021. Т. 11. № 4. С. 135-146 (ВАК, Scopus)

2. **Корбесова К.В.** Фиторемедиация токсичности воздуха автомобильных дорог / Бекузарова С.А., Тебиева Д.И., Бекмурзов А.Д., Кебалова Л.А., Корбесова К.В. // Геология и геофизика Юга России. 2020. Т. 10. № 2. С. 127-135. (ВАК, Scopus)

3. **Корбесова К.В.** Воздействие мобильных и стационарных источников загрязнения на геоэкологическое состояние урбанизированных территорий в горном регионе / Заалишвили В.Б., Корбесова К.В., Ганapati Г.П., Архиреева И.Г // Устойчивое развитие

горных территории. 2022. Т 14, №4(54). С 564-575 DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-4-564-575 (BAK, Scopus)

4. **Korbesova K.V.** Monitoring the auto-road air and reducing its toxicity / Zaalishvili V.B., Bekuzarova S.A., Burdzieva O.G., Korbesova K.V. // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development" (CATPID-2020). 2020. С. 052051. (Scopus)

5. **Korbesova K.V.** Pollution of urbanized territories by motor transport using the example of the republic of North Ossetia – Alania / Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Korbesova K.V. // В сборнике: E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. 2020. С. 07024. (Scopus)

#### *Публикации в других научных изданиях:*

6. **Корбесова К.В.** Заболеваемость населения урбанизированной территории в условиях неблагоприятной экологической обстановки / Заалишвили В.Б., Бурдзиева О.Г., Кануков А.С., Архиреева И.Г., Дзобелова Л.В., Корбесова К.В., Маргошвили М.Т. // В сборнике: Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Коллективная монография по материалам IX Всероссийской научно-технической конференции. 2019. С. 598-603.

7. **Корбесова К.В.** Загрязнение урбанизированных территорий автомобильным транспортом на примере республики Северная Осетия – Алания / Кануков А.С., Джусоева Н.Г., Корбесова К.В. // В сборнике: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Коллективная монография. Под редакцией А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. 2019. С. 696-702.

8. **Корбесова К.В.** Оценка влияния автомобильного транспорта на загрязнение атмосферного воздуха / Заалишвили В.Б., Кануков А.С., Корбесова К.В. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Керимов И.А., Широкова В.А., Заалишвили В.Б., Черкашин В.И., Абумуслимов А.А., Авилов В.С., Акшаяков З.Т., Алахвердиев Ф.Д., Александрова Г.Н., Анаев М.Т., Андрианов Н.И., Архиреева И.Г., Атабиева Ф.А., Ахсалба А.К., Бабкова Е.А., Бадаев С.В., Бадов А.Д., Бадов О.А., Батукаев А.А., Батчаев И.И. и др. Коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием "Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2021)". Науч. редакторы: И.А. Керимов, В.А. Широкова, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашин. Москва, 2021. С. 440-443.

9. **Корбесова К.В.** Анализ в ГИС технологиях взаимосвязи заболеваемости населения и загрязненности на урбанизированной территории / Бурдзиева О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С., Корбесова К.В. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2019. № 4 (79). С. 115-123.

10. **Корбесова К.В.** Современные методы и подходы к оценке уровня загрязнения окружающей среды / Кануков А.С., Корбесова К.В. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2021. № 2 (85). С. 61-68.

11. **Корбесова К.В.** Вклад автомобильного транспорта в уровень загрязнения окружающей среды (на примере г. Владикавказа) / Заалишвили В.Б., Кануков А.С., Корбесова К.В. // Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Коллективная монография. Под редакцией В.Б. Заалишвили. 2022. С 395-401