

Геофизический институт - филиал Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Федерального научного центра "Владикавказский научный  
центр Российской академии наук"

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)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Научный руководитель:  
Заалишвили Владислав Борисович  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Владикавказ – 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И МЕТОДЫ ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	11
1.1. Современные методы и подходы к оценке уровня загрязнения природной среды .....	11
1.2. Загрязнение природной среды исследуемой территории стационарными источниками загрязнения .....	17
1.3. Загрязнение природной среды исследуемой территории мобильными источниками загрязнения .....	22
1.4. Основные источники загрязнения природной среды автомобильным транспортом .....	26
1.5. Воздействие автомобильного транспорта на природную среду.....	36
1.5.1.Транспортная структура исследуемой территории .....	37
1.5.2.Шумовое загрязнение .....	39
1.5.3.Загрязнение водных ресурсов.....	41
1.5.4.Загрязнение почв .....	43
1.5.5.Загрязнение атмосферы .....	44
1.6. Выводы .....	46
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПЕРЕДВИЖНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ. ....	48
2.1. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха .....	48
2.2. Исследование влияния различных параметров на концентрацию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе .....	56
2.3. Разработка методики проведения экспериментальных исследований концентрации загрязняющих веществ автомобильным транспортом.....	60
2.4. Выводы .....	66

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ И ОБЪЕМОВ ВЫБРОСОВ ОТ СТАЦИОНАРНЫХ И МОБИЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ В ПРИРОДНУЮ СРЕДУ Г. ВЛАДИКАВКАЗА .....	68
3.1 Роль различных источников в общем уровне загрязнения природной среды .....	68
3.2 Экспериментальные исследования концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Владикавказа.....	73
3.3 Оценка сезонного влияния на концентрацию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.....	76
3.4 Выводы .....	83
ГЛАВА 4. ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ЕГО НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ .....	85
4.1 Влияние загрязнения природной среды на здоровье населения. Перенос загрязняющих веществ преобладающими воздушными потоками .....	85
4.2 Разработка интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом и создание соответствующей карты .....	91
4.3 Фиторемедиация токсичности воздуха автомобильных дорог.....	94
4.4 Разработка Рекомендаций по уменьшению негативного воздействия автомобильного транспорта на природную среду.....	97
4.5 Выводы .....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	102
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	104
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	125
Приложение 1 .....	126
Приложение 2. ....	131

## ВВЕДЕНИЕ

**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 [Заалишвили и др., 2010]. 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 [Бурдзиева и др., 2013]. 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.
4. Оценить пространственную дифференциацию интегрального

загрязнения территории г. Владикавказа на основе картографирования с последующей разработкой рекомендаций по оптимизации городской среды.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности: 1.6.21 «Геоэкология» по пунктам: 1. Изучение состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов; 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. Изучение роли геосферных оболочек в глобальных циклах переноса углерода, азота, воды и др. 6. Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, биологических, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли.

#### **Научная новизна 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 на городской территории.

### **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 полноценно оценивать уровень загрязнения.

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

Применение разработанных подходов позволит в будущем проводить аналогичные работы с целью изучения динамики загрязнения атмосферного воздуха не только г. Владикавказа, но и на других урбанизированных территориях, расположенных в горных регионах.

**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.



### **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.

**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 135 листах машинописного текста, список литературы содержит 178 наименований, количество иллюстраций -32, число таблиц – 9, количество приложений – 2.

**Благодарности.**

Исследование выполнено 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. 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.

# **ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И МЕТОДЫ ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

## **1.1. Современные методы и подходы к оценке уровня загрязнения природной среды**

Одной из самых острых экологических проблем современности является загрязнение природной среды, которое приводит к неблагоприятным последствиям для здоровья населения, в особенности городского [Бериев, Заалишвили, 2015].

В качестве показателя загрязнения природной среды используется показатель предельно допустимой концентрации (ПДК) [Алексеевко, Алексеевко, 2013]. ПДК представляет собой максимальную концентрацию какого-либо химического элемента, или его соединения, при которой в течение длительного влияния рассматриваемого элемента на организм человека не вызываются патологические изменения и какие-либо заболевания. Данная концентрация утверждается как норматив и рассчитывается с помощью специальных исследований, либо с помощью экспертных оценок. В качестве специальных исследований используются различные расчётные методы, на основании проводимых биологических экспериментов и наблюдений за состоянием здоровья людей, подвергающихся воздействию изучаемых химических элементов или их соединений. Получаемые значения ПДК вносятся в различные ГОСТы и иные нормативные документы [Гигиенические нормативы, 2017].

Главным недостатком подобного подхода является рассмотрение отдельных элементов, без учёта эффекта их интегрального влияния. Так, влияние на организм человека некоторых элементов может усиливаться в случае присутствия иных загрязнителей. Ещё одним недостатком является отсутствие учёта формы, в которой загрязнитель находится в среде. К примеру, ртуть, при попадании из почвы в воздух в виде различных неорганических соединений, в условиях невысокой концентрации, может не

иметь высокой опасности для человека, но, в то же время, при попадании в водную среду, форма соединения может перейти в метилированную, опасность которой может быть выше на один-два порядка [Петров, 1997].

В упрощенном подходе, в предположении одинаковой вредности различных элементов можно ввести некий суммарный показатель загрязнения природной среды, который может быть описан в следующем виде [Кануков, Корбесова, 2021]:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_{C_i}}, \quad (1.1)$$

где  $C_i$  – фактическая концентрация  $i$ -го загрязнителя,  $\text{ПДК}_{C_i}$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го загрязнителя,  $C$  – суммарный показатель загрязнения [Язиков, Шатилов, 2003].

В качестве общего способа оценки экологического состояния территории может выступать показатель мультикритериальной оценки, показывающий экологическую ценность рассматриваемой территории. В данном способе может быть использован подход, применяемый в теории информации [Мешалкин и др., 2010; Рыбак, 2010]. В этом подходе экологическая ценность будет приниматься как показатель потенциальной полезности природной среды на определенной территории, а ее непосредственное значение будет определяться как величина, обратно пропорциональная встречаемости. Пусть оцениваемой территории присущи некоторые свойства, при этом вероятность наблюдения  $i$ -го свойства  $p(i)$  определяется как:

$$p(i) = N_{ij}/N_j \quad (1.2)$$

где  $N_{ij}$  – количество объектов, обладающих свойством  $i$ , а  $N_j$  – общее количество объектов данного класса. В таком случае можно определить общую экологическую ценность (ЭЦ)  $n$ -ой территории как:

$$\text{ЭЦ}_n = -\sum_{i=1}^j \log p(i) \quad (1.3)$$

В качестве оценки антропогенного воздействия на природную среду могут вводиться экологические показатели. При этом данные показатели разделяются на две основные группы. К первой группе покомпонентных показателей относятся показатели состояния атмосферного воздуха, водной среды, почвенного покрова. В данной группе особое место занимают различные биоиндикаторы, на основании которых можно судить об экологическом состоянии территории. В качестве таких биоиндикаторов могут выступать разнообразие видов растительного и животного мира, наличие или отсутствие определенных видов, их состояние. Также могут использоваться показатели здоровья населения, проживающего на исследуемой территории. Такие биоиндикаторы могут служить показателем влияния всех загрязняющих веществ на организм в целом, т.к. их состояние определяется интегральным воздействием всех загрязнителей, находящихся в природной среде.

Во второй группе используются суммарные показатели, полученные с помощью интеграции различных нормативов или интегральных индикаторов. В качестве примера получения суммарного показателя может быть использован следующий подход. Суммарный показатель ( $X_s$ ) может быть представлен в виде:

$$X_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i k_i \quad (1.4)$$

где  $n$  – число покомпонентных нормативов,  $x_i$  – относительный нормативный показатель состояния компонента;  $k_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го норматива.

Разработка подобных интегральных показателей достаточно сложная задача, к настоящему времени не имеющая решения. Одна из сложностей – определение весовых коэффициентов, которая частично может быть решена с помощью экспертных оценок.

Рассмотрим методы, основанные на показателях здоровья населения,

которое проживает на исследуемой территории. Количество химических веществ, которые попадают в организм, как правило, вычисляются по формулам, в которых учитываются следующие характеристики: концентрацию вещества в той или иной среде, среднюю длительность воздействия, усредненное время воздействия, величину и периодичность контакта, а также среднее значение массы тела. В общем виде, выражение для нахождения количества поступающего химического вещества в организм человека можно представить как [Руководство, 2004]:

$$I = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1.5)$$

где, I – количество химического вещества, поступающего в организм человека на границе обмена, мг/кг массы тела в сутки;

C - концентрация химического вещества; значение средней концентрации, оказывающей воздействие в течение рассматриваемого периода экспозиции (например, мг/л воды);

CR - величина контакта; количество загрязненной среды, контактирующее с телом человека в единицу времени или за один случай воздействия (например, л/сутки);

EF - частота воздействий, число дней/год;

ED - продолжительность воздействия, количество лет;

BW – средняя масса тела за период экспозиции, кг;

AT - время осреднения; количество дней.

При выборе времени осреднения экспозиции руководствуются токсическими эффектами от поступления химических веществ в организм:

- Если рассматриваются вещества, поступающие в организм человека, которые имеют достаточно высокую степень воздействия, приводя к появлению различных отрицательных последствий, то имеет смысл рассматривать небольшие периоды времени (суточные или единичные воздействия);

- Если вещества не обладают канцерогенным действием, необходимо рассматривать их усредненное поступление за весь период воздействия. На основе данного значения рассчитывается, к примеру, суточное хроническое поступление.

- В случае, когда химические вещества обладают канцерогенным действием на организм, для расчётов используют отношение всей поступившей дозы к средней продолжительности жизни. Такое поступление носит название хронического ежедневного или пожизненного среднего суточного поступления.

Также при расчётах используется понятие потенциальной дозы – количества химического вещества, поступающего в организм пероральным, воздушным или кожным путем из различных сред [Burdzieva et al., 2021; Бурдзиева, Кануков, 2020]. Для каждого способа поступления химического вещества устанавливаются стандартные значения для частоты и продолжительности воздействия, а также значения степени контакта.

В Руководстве по оценке риска [Руководство, 2004] приведены формулы для расчёта среднесуточной дозы поступления тяжелых металлов в организм человека из почвы для различных способов. Данные значения лежат в основе оценки канцерогенных рисков и рассчитываются как отношение среднесуточной дозы к максимально допустимому значению. Так, для ингаляционного поступления используется следующее выражение:

$$I = (C_a \times IR \times ED \times EF) / (BW \times AT \times 365) \quad (1.6)$$

$$C_a = C_s (1/PEF + 1/EF) \quad (1.7)$$

где,  $I$  – среднесуточное ингаляционное поступление, мг/(кг·день),  $C_a$  и  $C_s$  – концентрации вещества в воздухе и почве соответственно,  $IR$  – скорость поступления,  $ED$  и  $EF$  – продолжительность и частота воздействия,  $BW$  – средняя масса тела взрослого человека, принимаемая равной 70 кг.,  $AT$  – период усреднения, равный 350 дням для канцерогенов,  $PEF$  и  $EF$  – расчётные величины факторов эмиссии полевых частиц и испарения из

ПОЧВЫ.

Для перорального поступления среднесуточная доза определяется как:

$$I = C_s \times FI \times EF \times ET \times CF_2 \times ((ED_c \times IR_c / BW_c) + (ED_a \times IR_a / BW_a)) / (AT \times 365) \quad (1.8)$$

где,  $I$  – среднесуточное пероральное поступление, мг/(кгхдень),  $C_s$  – концентрация вещества в почве,  $FI$  – загрязненная часть почвы, принимаемая равной единице (100%),  $EF$  – частота воздействия, равная 350 дн/г,  $ET$  – время воздействия, 1 ч/дн,  $CF_2$  - Пересчетный коэффициент – 1/24 дн/ч,  $ED_c$  и  $ED_a$  - Продолжительность воздействия в возрасте старше и младше 6 лет соответственно,  $IR_c$  и  $IR_a$  - Скорость поступления в возрасте старше и младше 6 лет соответственно,  $BW_c$  и  $BW_a$  – масса тела в возрасте старше и младше 6 лет соответственно,  $AT$  – период усреднения, равный 350 дням для канцерогенов.

Для накожной экспозиции среднесуточная доза определяется как:

$$DAD = (DA_e \times EF \times ED \times EV \times SA) / (BW \times AT \times 365) \quad (1.9)$$

где,  $DAD$  – среднесуточное значение накожной дозы, мг/(кгхдень),  $DA_e$  – полученная доза за одно событие, мг/см<sup>2</sup>,  $EF$  - частота воздействия, принимаемая равная 350,  $ED$  - продолжительность воздействия 30 лет,  $EV$ - количество воздействий в день,  $SA$  – среднее значение площади поверхности кожи, см<sup>2</sup>,  $BW$  - средняя масса тела взрослого человека - 70кг.,  $AT$  – период усреднения, равный 350 дням для канцерогенов.

Как видно из приведенных формул, расчёт среднесуточного ингаляционного поступления вещества может быть произведен с учётом содержания вещества, как непосредственно в атмосферном воздухе, так и с учётом попадания этого вещества из почвы в атмосферу.

Таким образом, в качестве оценки антропогенного воздействия на природную среду вводятся различные экологические показатели. Разработка подобных интегральных показателей достаточно сложная задача, к настоящему времени не имеющая решения. Одна из сложностей –



определение весовых коэффициентов, которая частично может быть решена с помощью экспертных оценок.

В общем же случае необходима разработка показателя, позволяющего сравнить два источника загрязнения, для которых характерен выброс в природную среду совершенно разных загрязняющих веществ.

## **1.2. Загрязнение природной среды исследуемой территории стационарными источниками загрязнения**

Количество выбросов вредных веществ, а также их химический состав напрямую влияют на уровень загрязнения атмосферы. Кроме того, существенными факторами являются высота, на которой происходят выбросы, а также климатические условия местности, которыми определяется перенос, превращение и рассеивание выбрасываемых вредных веществ. За загрязнением атмосферного воздуха в Республике Северная Осетия – Алания осуществляются регулярные наблюдения, проводимые в рамках части системы государственного мониторинга за атмосферным воздухом в единой системе государственного экологического мониторинга Российской Федерации. На территории Республики наибольший вклад в загрязнение природной среды вносит деятельность предприятий цветной металлургии и автотранспорта. Очевидно, что наибольшему загрязнению подвержен город Владикавказ - столица Республики, на территории которого расположены основные стационарные источники загрязнения и сосредоточено наибольшее количество автотранспорта. В сельских районах Республики стабильно удовлетворительное состояние атмосферного воздуха из-за отсутствия там крупных промышленных предприятий и большого количества автотранспорта.

В атмосферу города осуществляется выброс огромного количества следующих вредных веществ: пыль, диоксиды серы и азота, оксиды азота и углерода, которые считаются основными, и, кроме того, специфические

вещества, выброс которых осуществляется некоторыми производствами и предприятиями [Бериев и др., 2013].

Состояние атмосферного воздуха в г. Владикавказе и Республике в целом является неудовлетворительным, несмотря на то, что общее количество загрязнителей в атмосфере значительно меньше, по сравнению с крупными промышленными центрами страны. По данным Федеральной службы по надзору в сфере природопользования РСО-Алания занимает 73 место (из 85) в рейтинге по оценке выбросов загрязняющих атмосферу веществ стационарными и передвижными источниками по регионам РФ. По объемам выбросов республика опережает Камчатский край, Республики Крым и Адыгея, Магаданскую область, Республики Карачаево-Черкессия, Калмыкия, Тыва, Алтай, Ингушетия, Еврейскую автономную область, Чукотский автономный округ, г. Севастополь.

Более 30 предприятий находится в промышленном узле г. Владикавказ, 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 (Роза ветров). 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.

Суммарные выбросы вредных веществ, осуществляемые стационарными источниками в атмосферу Республики Северная Осетия – Алания согласно обобщенным данным статистической отчетности «2-тпвоздух», которые были представлены хозяйствующими субъектами в Территориальный орган Росприроднадзора по РСО-Алания в 2017 году составили 3,825 тыс. тонн, что примерно на 16% меньше, чем в предыдущем (таблица 1.1) [Государственный доклад..., 2018].

Таблица 1.1 – Динамика выбросов от стационарных источников по РСО-Алания в, тыс. тонн [Государственный доклад..., 2016-2018]

	Всего выброшено в атмосферу за 2015 год	Всего выброшено в атмосферу за 2016 год	Всего выброшено в атмосферу за 2017 год
Всего выброшено в атмосферу загрязняющих веществ	5,283	4,545	3,825
в том числе:			
твердые	0,296	0,412	0,521
газообразные и жидкие	4,987	4,132	3,305
из них: диоксид серы	0,328	0,357	0,360
оксид углерода	1,443	1,449	1,387
оксид азота (в пересчете на NO <sub>2</sub> )	0,268	0,253	0,288
углеводороды (без летучих органических соединений)	2,678	1,780	1,000
летучие органические соединения (ЛОС)	0,196	0,197	0,181
прочие газообразные и жидкие	0,074	0,096	0,088

В районе промышленных предприятий количество проб атмосферного воздуха с превышением ПДК за 3 года уменьшился на 69,2%. Но, несмотря на проводимую работу, ситуация с загрязнением воздуха в столице Республики далека от благополучной (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Доля проб атмосферного воздуха с превышением ПДК на селитебных территориях вблизи промышленных предприятий за 2006 – 2015гг. [Государственный доклад..., 2007-2016]

Годы	Вид исследований	Исследуемые ингредиенты					
		Взвешенные вещества	Серьдиоксид	Оксид углерода	Азота диоксид	Тяжелые металлы (свинец)	Всего
2006 г.	Всего исследований	1164	781	960	1005	739	4800
	Из них с превышением ПДК%	5,07	-	5,94	7,86	-	4,3
2007 г.	Всего исследований	862	767	856	866	704	4153
	Из них с превышением ПДК%	2,55	0,13	1,4	1,15	-	1,18
2008 г.	Всего исследований	1371	1215	1251	1259	702	6011
	Из них с превышением ПДК%	0,07	0,6	1,9	0,4	0	0,6
2009 г.	Всего исследований	1141	1211	1021	1187	804	5844
	Из них с превышением ПДК%	0,6	3,6	0,9	0,5	0	1,2
2010 г.	Всего	747	747	747	747	747	3735

	исследований						
	Из них с превышением ПДК%	0,27	0,94	-	0,54	-	0,35
2011 г.	Всего исследований	1130	1034	1097	1169	432	4862
	Из них с превышением ПДК%	0,4	0,2	2	0,17	0,7	1,3
2012г.	Всего исследований	-	-	-	-	-	-
	Из них с превышением ПДК%	-	-	-	-	-	-
2013г.	Всего исследований	1000	978	1068	6	194	4531
	Из них с превышением ПДК%	1,3	0	3,5	0	0	1,2
2014г.	Всего исследований	919	1107	1177	1152	123	4478
	Из них с превышением ПДК%	1,3	0	1,4	0,4	0	1,4
2015г.	Всего исследований	1341	1210	1280	1296	161	5603
	Из них с превышением ПДК%	2,2	0	6,2	0	0	2

Аналогично прошлым годам, наибольшее количество предприятий загрязняющих атмосферу расположено в черте г. Владикавказа. Выбросы данных предприятий составляют 2,448 тыс. тонн или порядка 64% относительно всех выбросов в атмосферный воздух от стационарных источников Республики.

В таблицах 1.2 и 1.3 приведены значения долей проб атмосферного воздуха с превышением ПДК на селитебных территориях и вблизи автомагистралей в зоне жилой застройки.

Таблица 1.3 – Доля проб атмосферного воздуха с превышением максимально разовых ПДК на автомагистралях в зоне жилой застройки за 2012 – 2015 гг. (Ф-18 по данным ИЛЦ ФБУЗ «ЦГиЭ в РСО – Алания») [Государственный доклад..., 2013-2016]

Исследуемые ингредиенты	Год							
	2012		2013		2014		2015	
	Всего исследований	Из них с превышением ПДК, %	Всего исследований	Из них с превышением ПДК, %	Всего исследований	Из них с превышением ПДК, %	Всего исследований	Из них с превышением ПДК, %
Взвешенные вещества	180	0	128	1,6	84	11,9	84	14,3
Диоксид серы	67	0	45	0	12	0	12	0
Оксид углерода	187	3,7	131	6,1	87	4,6	84	7,2
Диоксид азота	187	0	111	2,7	84	0	84	0
Всего	618	1,1	432	3,0	267	5,2	264	6,8

Количество жалоб от населения на загрязнение атмосферного воздуха постоянно фиксируется на "зеленой линии" Министерства природных ресурсов РСО–А и в Роспотребнадзоре. В 2015 году были зарегистрированы 37 жалоб, в 2016 – 43, в 2017 – 35, в 2018 – 14. В Северной Осетии в 2017 г. начала действовать межведомственная комиссия по оценке работы автоматизированных круглосуточных постов наблюдения за состоянием атмосферного воздуха.

### 1.3. Загрязнение природной среды исследуемой территории мобильными источниками загрязнения

Транспорт является важнейшей составной частью современной жизни. 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 [Zaalishvili et al., 2020a; Кануков и др., 2019]. В то же время положительные аспекты использования транспорта тесно связаны с такими негативными аспектами, как загрязнение природной среды и отрицательным влиянием на здоровье человека [Dora, Phillips, 2000]. Одна из главных проблем - загрязнение воздуха, которое осуществляется автомобильным транспортом. Исследования, проводимые в последние десятилетия, указывают, что загрязнение воздуха значительно вредит здоровью, и транспорт является при этом одним из важнейших источников загрязнения [European Commission, 2001].

Большое число воздушных загрязнителей различной токсичности поступает в природную среду при движении или работе автомобильного транспорта. Попадают загрязнители в природную среду из транспортных средств, оснащенных двигателями внутреннего сгорания, а также их элементов (тормоза, диски сцепления, шины и топливные баки), и, кроме того, от продуктов износа дорожного покрытия. Исследования влияния движения транспорта на качество природной среды в городских районах начаты за рубежом относительно недавно [Wheeler and Rolfe 1979; Elwood 1983; Elwood and Gallacher 1984; McClellan 1986;]. В большинстве исследований основное внимание уделяется загрязнению воздуха автомобильными выбросами и их воздействию на здоровье человека [Chamberlain 1983; Elwood 1986; Schroeder et al., 1987]. Подобные исследования достаточно активно проводятся и в России [Вигдорович и др., 2005; Кобрина, 2016; Каташинская, Суппес, 2016; Сонов и др., 2016; Шулепова, Сидоров, 2018 Сокол, Жердев, 2018].

В связи с тем, что большую часть исследуемой территории занимают горные и предгорные районы, автомобильный транспорт служит основным видом транспорта во внутривозрастных связях республики. Характерным для республики является расширение сферы рационального применения автомобильного транспорта. Автотранспорт принял на себя перевозки

мелких партий высокоценных и скоропортящихся грузов на дальние расстояния, значительную долю перевозок на средние расстояния (300-1000 км) и практически все перевозки на короткие расстояния (до 100-150 км). В структуре пассажирооборота перевозка пассажиров автомобильным транспортом составляет 64,9%.

Количество автотранспорта в г. Владикавказ за последние 20 лет увеличилось более чем в 2 раза (рис. 1) [Заалишвили и др., 2022a]. При этом, подобная тенденция наблюдается и для всей территории Российской Федерации (рис.2).

Как видно из представленного графика рост автомобильного транспорта носит линейный характер. Аппроксимируя данный график линейной функцией можно увидеть высокую корреляционную зависимость количества автотранспорта от года, с величиной достоверности аппроксимации  $R^2=0.984$ . Формула зависимости количества автотранспорта от года имеет вид:  $y = 7538x + 82794$ , где  $x$  – это год минус 1994. Согласно полученной формуле можно сделать прогноз по количеству автотранспорта в Республике на несколько лет вперед. Так, на 2018, 2019 и 2020 годы ожидаемое количество автотранспорта составит соответственно 263 706, 271 244 и 278 872 единицы автотранспорта. За 2017 год автомобили выбросили в атмосферу 81,1 тыс. тонн загрязняющих веществ. Республиканский автопарк устаревший, соответственно и вреда приносит больше. Наиболее загрязненными являются зоны возле автомобильных магистралей, а также Иристонский МО и Промышленный МО г. Владикавказа [Заалишвили и др., 2021a].

Согласно официальному portalу Республики Северная Осетия – Алания <http://alania.gov.ru> протяженность в Республике автомобильных дорог общего пользования имеющих твердое покрытие составляет 2,3 тыс. км; плотность составляет 286 км дорог на 1 тыс. кв. км территории. По данным показателям среди регионов, Республика занимает 4-е место, первые три места принадлежат г. Москве, г. Санкт-Петербургу и Калининградской



области. Через территорию Республики проходит 257 км федеральных и 2037 км региональных дорог. Всего транспортная инфраструктура представлена пятью трассами федерального значения, а также включает в себя несколько железнодорожных узлов и международный аэропорт «Владикавказ».

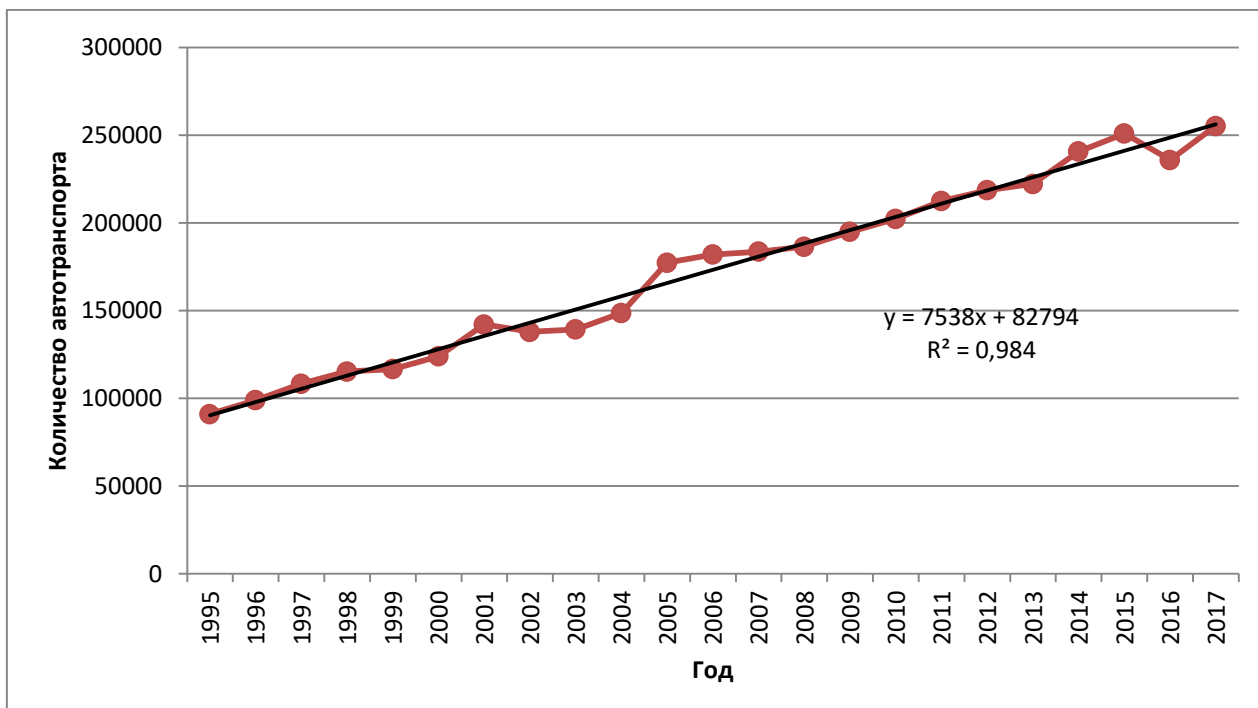


Рисунок 1.1 – Количество автотранспорта зарегистрированного на территории РСО-А за период 1995-2017 гг.

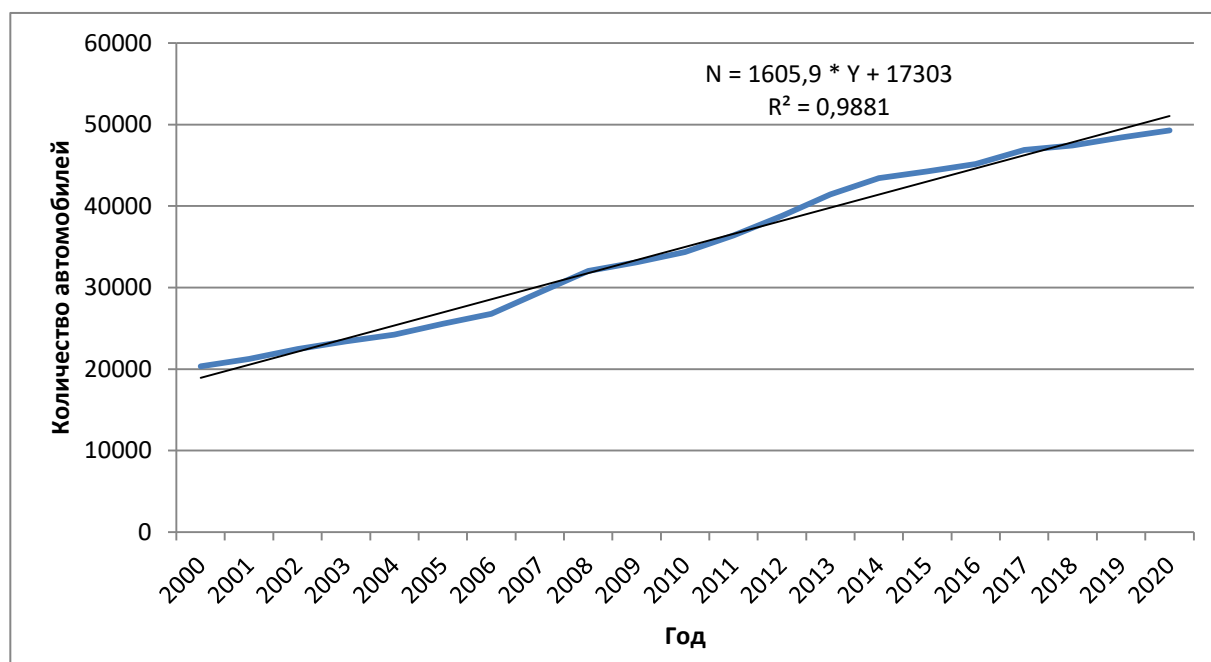


Рисунок 1.2. Рост числа легкового автотранспорта, зарегистрированного на территории РФ (по данным МВД РФ), период 2000-2020 гг.

Лабораториями ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в РСО-Алания» Роспотребнадзора и ГБУ «ЦЭС ГСМ» Минприроды РСО-Алания проведены исследования атмосферного воздуха по основным автомагистралям города в 9 точках, из них в 6 – по городу и 3 – на въезде в город с одномоментным подсчетом количества проезжающего автотранспорта. Полученные результаты позволили установить, что прослеживается прямая зависимость между потоком машин и загрязнением воздушной среды, наиболее интенсивное загрязнение отмечено в районе кинотеатра «Дружба» и Архонского перекрестка. Отмечается высокая запыленность воздуха и загазованность при отсутствии ветра. На трассах при въезде в город выявлена высокая концентрация двуокиси серы (до 4 ПДК), что, в частности, может служить косвенным признаком использования некачественного топлива большегрузным транспортом. Полученные данные свидетельствуют об устойчивой тенденции увеличения загрязнения атмосферного воздуха от возрастающего негативного влияния выбросов автотранспорта, что также плохо сказывается на состоянии здоровья населения.

#### **1.4. Основные источники загрязнения природной среды автомобильным транспортом**

Как будет показано в третьей главе настоящей работы, на исследуемой территории основным источником загрязнения является автотранспорт, выбросы которого на порядок превосходят выбросы от стационарных источников.

Основной объем загрязняющих веществ от автомобильного транспорта в природную среду формируется в результате работы двигателя внутреннего сгорания. В то же время, данные выбросы не являются единственным источником загрязнения природной среды, заметный вклад вносят автомобильные шины. В результате износа частицы шин рассеиваются в природной среде и могут заметно загрязнять ее. Вклад в загрязнение природной

среды от автомобильных шин будет зависеть от скорости износа и концентрации потенциальных загрязнителей в них. В целом ряде работ [Yamashina, Miyazawa, 1984; Fukuzaki, Yanaka, & Urushiyama, 1986; Sadiq, et al., 1989; Adachi, Tainosho, 2004; Suryawanshi, 2016; Rivas et al., 2017; Roy et al., 2019] были исследованы концентрации различных металлов в разных марках автомобильных шин и содержание металлов в почве. В работе [Kreider et al., 2009] исследованы физические и химические свойства частиц, образующихся при взаимодействии шин и дорожных покрытий. Морфологию, распределение по размерам и химический состав сравнивали между частицами, полученными с использованием различных методов, включая сбор образцов на дорогах, лабораторное моделирование и криогенное разрушение резины протектора. Исследование экологического эффекта от истирания шин также посвящены следующие отечественные работы [Мингулова, 2011; Леванчук, 2014; Васильев и др., 2020]. Высвобождение продуктов износа шин происходит в результате контакта между поверхностью дороги и шиной. Количество и размер выделяемых частиц зависят от таких факторов, как климат (температура), состав и структура шины, дорожное покрытие, скорость и стиль вождения, а также характер контакта (например, качение или проскальзывание) [Alexandrova et al., 2007]. Контакт между шиной и поверхностью дороги вызывает сдвиг и нагревание шины; оба эти процесса приводят к образованию частиц износа. Силы сдвига приводят к выбросу сравнительно крупных частиц шин. Тепло аккумулируется, создавая горячие точки на поверхности шины, достигая температуры, при которой летучие компоненты испаряются, что приводит к последующему высвобождению относительно мелких субмикронных частиц. В дополнение к износу шин силы сдвига и тепло в резине также вызывают прилипание частиц дорожного износа к износу резины. Некоторые исследователи сообщают, что большая часть износа шин связана с износом дорог [Grigoratos, Martini, 2014; Kreider et al., 2010]. В этой связи необходимо отметить, что требования к отечественным покрытиям упрощены, что значительно повышает износ шин и выброс их частиц.

Уровень загрязнения воздуха варьируется во времени и пространстве, в зависимости от различных особенностей, таких как близость к дорогам, состав автопарка, транспортного потока и наличия других источников загрязнения. В современных работах исследуется пространственное распределение загрязнения на основе геоинформационных технологий [Zhang, 2006; Sutherland, Tolosa, 2000; Wang et al., 2012], проводится факторный анализ [Zalakeviciute et al., 2020]. Для оценки и моделирования загрязнения воздуха используется видеофиксация транспортных потоков [Ситников, 2016, 2017]. Содержание тяжелых металлов исследуется не только в грунтах, но и в различных растениях [Jankowski et al., 2014; Самолдина и др., 2016; Turkyilmaz et al., 2018; Степанова и др., 2019]. В силу особенностей корневой системы для оценки загрязнения воздуха может быть использован анализ содержания металлов во мхах и лишайниках [Garty, 2001; Kosta, Liiv, 2011]. Загрязнение природной среды твердыми частицами в отработанных газах может быть самой большой потенциальной угрозой здоровью населения [Hoek et al., 2002]. Многочисленные исследования указывают на то, что некоторые заболевания прямо связаны с уровнем загрязнения воздуха, вызванным влиянием большого числа автомобильного транспорта [Künzli et al., 2000]. Эффекты от воздействия вредных веществ на организм человека могут иметь различные последствия: от краткосрочного ухудшения и появления респираторных симптомов до сокращения продолжительности жизни. В резолюции Европейского парламента прямо указывается необходимость установления связи количества автомобильного транспорта и соответствующего загрязнения воздуха и респираторными заболеваниями населения [European Parliament, 2001, 2004].

Для моделирования качества воздуха были разработаны многочисленные модели, учитывающие весь спектр источников выбросов: дорожное движение, промышленные, коммерческие, бытовые и других менее четко определенные 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 [Johnson et al., 1973], CPBM [Yamartino, Wiegand, 1986], OSPM [Hertel, Berkowicz, 1989; Berkowicz et al., 2006], CAR [Den Boeft et al., 1996], PANACHE [Tripathi., 1996], SPRAY [Tinarelli et al., 1994; Calori et al., 2006], и модели статистического распределения [Gokhale, Khare, 2007]. 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 [Jensen et al., 2001; - Veyea, Hatch, 1999].

Традиционно моделирование рассеяния выхлопных газов транспортных средств можно разделить на эмпирическую модель Гаусса, статистическую модель и численную модель. Модель Гаусса, основанная на аналитическом решении переноса загрязняющих веществ, широко используется для прогнозирования рассеивания загрязняющих веществ от транспортных средств. Типичная гауссовская модель включает HIWAY [Zimmerman, Thompson, 1975] и ее обновленную версию HIWAY-2 [Petersen, 1980], GM [Chock, 1978] и серию моделей CALINE [Benson, 1992]. Хотя модель Гаусса можно легко использовать, коэффициенты диффузии необходимо эмпирически сопоставлять с различными местными атмосферными условиями. Кроме того, точность гауссовской модели вызывает сомнения в области ближнего следа за транспортным средством, поскольку постоянная рециркуляция и вихри в этой конкретной области приводят к тому, что дисперсия загрязняющих веществ больше не соответствует гауссовскому распределению. С другой стороны, большинство статистических моделей, повидимому, связаны с краткосрочными прогнозами

загрязняющих веществ в городских районах в режиме реального времени [Sharma, Khare, 2001]. Различные подходы к моделированию, такие как моделирование Монте-Карло [Liu et al., 1994], стохастический метод [Karim et al., 1998] и метод регрессии [Fomunung et al., 1999], использовались для описания изменчивость свойств загрязняющих веществ в процессе диспергирования загрязнителя. Однако применение статистических моделей для рассеивания загрязняющих веществ, выбрасываемых транспортными средствами, особенно в ближней зоне движения транспортных средств, имеет относительно ограниченное применение. Численная модель, которая численно интегрирует уравнения сохранения массы, импульса и энергии потока жидкости, недавно была использована для процесса рассеивания загрязняющих веществ от дорожных транспортных средств вблизи дороги, уличного каньона и городских масштабов. Эскридж и Хант [Eskridge, Hunt, 1979] разработали теорию следа транспортного средства, основанную на подходе пограничного слоя, для изучения дефицита скорости и масштаба длины следа.

Чан и др. [Chan et al., 2002] и Ридл и др. [Riddle et al., 2004] использовали усредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса (RANS) для моделирования структуры турбулентности, сохранения энергии и переноса частиц для сложного потока жидкости. На сегодняшний день большинство прогнозов рассеивания и переноса загрязняющих веществ из транспортных средств с помощью подхода RANS справились со сложной городской местностью, например, с уличным каньоном [Vardoulakis et al., 2003]. Чан и др. [Chan et al., 2001] разработали двумерную численную модель рассеяния загрязняющих веществ, основанную на объединенном подходе скалярной функции плотности вероятности (PDF) в сочетании с моделью турбулентности *аке*, для моделирования начального процесса рассеивания оксидов азота, распределения температуры и скорости потока из выхлопного шлейфа транспортного средства. Ким и др. [Kim et al., 2001] разработали трехмерную численную модель в сочетании с турбулентностью для прогнозирования рассеивания углекислого газа из выхлопных газов большегрузных грузовиков.

Хотя RANS позволяет рассчитывать сложные геометрии потока и турбулентность, она ограничена стационарными задачами. Моделирование больших вихрей (LES) кажется более привлекательным подходом к пониманию динамики структур потока и нестационарного процесса рассеивания загрязняющих веществ. Точное численное моделирование структур течения и рассеивания загрязняющих веществ (скалярного переноса) в ближней кильватерной зоне транспортного средства должно учитывать эффекты турбулентной диффузии, вихревой рециркуляции, теплопереноса и переноса частиц и т.д. Хотя подход LES также использовался для прогнозирования рассеивания загрязняющих веществ в каньоне городских улиц [Chabni et al., 1998; Walton et al., 2002; Liu and Barth, 2002; Liu et al., 2005] и на обочинах [Laatar et al., 2002], по всей видимости, подход LES не применяется для рассеивания загрязняющих веществ в зоне ближнего следа транспортных средств.

Крайне важно, что структура потока не только оказывает непосредственное влияние на здоровье человека, особенно на водителей, велосипедистов, пешеходов, людей, работающих поблизости, и пассажиров транспортных средств [Chan et al., 2001], но также составляет основную часть общего рассеивания загрязняющих веществ [Venkatram et al., 1999]. Длительное присутствие загрязняющих веществ в городской среде, особенно в дорожной пыли, значительно увеличивает подверженность городского населения воздействию металлов через вдыхание, проглатывание и попадание на кожу, вызывая аллергические реакции, бронхиальную гиперчувствительность и респираторный симптом [Wjst et al., 1993; Janssen et al., 2003; Балаболкин, 2002; Панасенкова и др., 2013; Дементьев и др., 2018].

Одним из методов по снижению объёма выбросов автомобильным транспортом являются мероприятия по управлению дорожным движением. В частности, координированные светофоры, создающие «зеленые волны» вдоль основных магистралей, все чаще используются для сокращения времени в пути. Хотя обычно предполагается, что улучшение транспортного

потока приведет к снижению выбросов транспортных средств, было проведено мало научных исследований влияния синхронизированных светофоров на выбросы. Путем моделирования ряда сценариев организации дорожного движения изучается влияние интенсивности движения, схем координации сигналов и параметров сигналов на шум, выбросы двуокиси углерода, оксидов азота и твердых частиц вдоль автомобильных дорог. Выявлено, что введение «зеленой волны» потенциально может снизить выбросы рассматриваемых загрязнителей воздуха на 10–40 % в наиболее благоприятных условиях в зависимости от транспортного потока и настроек времени сигнала. В ряде исследований было установлено, что уровни звукового давления снижаются на 1 дБ(А) вблизи светофоров, но увеличиваются на 1,5 дБ(А) между перекрестками. Также было установлено, что интенсивность движения и «зеленое разделение» оказывают наибольшее влияние на выбросы, в то время как продолжительность цикла не оказывает существенного влияния.

Оптимизация параметров сигналов светофора имеет долгую историю, начавшуюся в конце 1950-х годов с работы Вебстера [Webster, 1958] по определению времени изолированных пересечений на основе статистических методов. С тех пор уровень техники развился от сигналов светофоров, активируемых по времени, которые в некоторой степени удлиняют зеленый период, к адаптивным и совместно регулируемым системам, которые работают на основе фактической информации о потоке, предоставляемой детекторами трафика, и которые включают серию пересечений [Bretherton et al., 2004; Warberg et al., 2008; Osorio, Bierlaire, 2008]. Обычно системы разрабатываются для создания «зеленых волн» вдоль магистральных дорог с высокими требованиями, и для реализации этой стратегии существует ряд методов оптимизации [Gartner, Stamatiadis, 2002; Cheng et al., 2006]. Поскольку транспортный поток через сеть регулируемых перекрестков представляет собой сложную систему, далекую от равновесия, он широко изучался с точки зрения статистической механики с использованием



микроскопических имитационных моделей дорожного движения [Chowdhury, Schadschneider, 1999; Brockfeld et al., 2001; Huang, Huang, 2003; Nagatani, 2007, 2009; Varas et al., 2009].

Большинство методов оптимизации используют среднюю задержку транспортного средства или количество остановок в качестве меры эффективности. Тем не менее, есть некоторые конфликты интересов при выборе целей для оптимизации синхронизации сигналов [Li et al., 2004; Warberg et al., 2008]. Например, сведение к минимуму задержки транспортных средств на магистральной дороге может привести к увеличению времени ожидания для встречного движения и пешеходов, пересекающих дорогу; приоритет общественного транспорта может снизить производительность частного транспорта; оптимизация потоков может повлиять на безопасность водителей и пешеходов [Tindale, Hsu, 2005; Shinar et al., 2004] и т.д. Таким образом, оптимизация синхронизации сигнала считается многоцелевой задачей. Потенциальное положительное влияние «зеленых волн» на выбросы (шум и загрязнители воздуха) часто называют дополнительным аргументом в пользу их внедрения. Обоснование заявления о снижении выбросов (загрязнителей воздуха) заключается в том, что из-за заторов транспортные средства работают на субоптимальных скоростях и ускорениях, что приводит к неполному сгоранию и дополнительным выбросам NO<sub>x</sub>, CO и т. д. Хотя потенциал «зеленых волн» для сокращения поездок задержки широко распространены, однако побочные эффекты на выбросы транспортных средств (как шум, так и загрязнители воздуха) гораздо менее очевидны.

Основная причина относительного отсутствия научных данных о выбросах на перекрестках заключается в том, что хорошо контролируемые полевые эксперименты, в ходе которых измеряются выбросы, довольно сложны и дороги в проведении и, следовательно, не всегда осуществимы. С другой стороны, вычислительные модели для оценки выбросов, которые дают реалистичные результаты для поведения транспортных средств с

частыми остановками вблизи перекрестков, стали доступны недавно для шума [De Coensel et al., 2005, 2007; Can et al., 2008], а также для загрязнителей воздуха [Ahn et al., 2002; Int Panis et al., 2006; Silva et al., 2006; Chen, Yu, 2007; Smit et al., 2008; Mensink, Cosemans, 2008; Smit et al., 2008], и эти модели будут приобретать все большее значение для оценки экологической политики и развития инфраструктуры.

В рамках проекта SILENCE было проведено моделирование дороги с тремя сигнальными перекрестками с расстоянием между ними 200 м и 500 м [Bérengier, Picaut, 2008]. Сравнивались две ситуации с согласованными светофорами: зеленая волна (автомобили должны останавливаться только на первом светофоре) и красная волна (все автомобили должны останавливаться на всех светофорах). Учитывался только один набор параметров светофора и одна интенсивность движения (1440 авт./ч). Результаты показали, что зеленая волна может снизить уровни шума до 4 дБ(А) на перекрестках, но может увеличить уровни на целых 3 дБ(А) между перекрестками из-за более высоких средних скоростей.

Что касается выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, ранняя работа была выполнена [Rakha et al., 2000], которые использовали имитационную модель дорожного движения в сочетании с моделью мгновенных выбросов (СО и NO<sub>x</sub>) для оценки влияния внедрения зеленой волны вдоль магистральной дороги с тремя равноудаленными (350 м друг от друга) светофорами. Они рассмотрели крайние случаи, когда все транспортные средства должны останавливаться на всех сигналах, и идеальную «зеленую волну», и обнаружили сокращение выбросов в диапазоне 50% для последнего. Модель выбросов (мгновенные выбросы в зависимости от скорости и ускорения) была получена с помощью нелинейной регрессии на основе данных измерений, собранных для 8 легковых автомобилей в стабильных условиях высокой температуры, и не учитывала холодный запуск или высокие выбросы. Zito (2009) использовал микроскопическую имитационную модель дорожного движения (DRACULA)

в сочетании с искусственной нейронной сетью (обученной на данных измерений на станции мониторинга вдоль дороги) для оценки придорожных концентраций CO и С6Н6 вблизи определенного места.

Нойнхойзерер и Дигманн [Neunhäuserer, Diegmann 2010] использовали имитационную модель дорожного движения (VISSIM) для определения средней скорости за 1 минуту вдоль магистрали в Кельн-Мюльхайм, Германия, содержащей несколько регулируемых перекрестков на протяжении 1 км. Были рассмотрены два сценария, без и с согласованными светофорами. Затем были оценены средние выбросы NOx для каждого участка улицы с использованием линейной комбинации режимов вождения, подогнанных к смоделированным распределениям средней скорости.

Также [Zallinger et al., 2010] использовали модель моделирования дорожного движения VISSIM в сочетании с моделью мгновенного излучения (PHEM) для изучения эффекта координации сигналов вдоль существующей магистрали с 12 сигнальными перекрестками в Граце, Австрия. Моделирование показало, что оптимизированные настройки сигнала могут снизить расход топлива, выбросы NOx и твердых частиц соответственно. 14%, 19% и 17%. Результаты сравнивались с бортовыми измерениями вдоль реальной магистрали с использованием 2 автомобилей, и в целом было обнаружено хорошее совпадение. Концепция оптимизирования зеленых волн [Ellenberg and Bedeaux, 1999] была предложена в целях безопасности, а не для минимизации задержки в пути. В этом случае координация сигналов настроена таким образом, чтобы побудить водителей использовать более медленную и безопасную, но более постоянную скорость, избегая чрезмерного ускорения водителей, чтобы успеть за один сигнальный цикл между двумя перекрестками. Исходя из снижения средней скорости на 10–15 км/ч, можно ожидать снижения уровня шума примерно на 3 дБ(А) [Ellebjerg, 2007; Bérengier, 2009]. Однако один из недостатков этого типа сигналов светофором заключается в том, что они останавливают не только трафик, превышающий ограничение скорости, но и трафик, который не превышает

установленного ограничения; экспериментальные данные показывают, что доля несправедливо остановленных транспортных средств может достигать 30%, что приводит к увеличению содержания загрязнителей воздуха (СО, NO, HC) на 10-40% [Coelho et al., 2005b]. С другой стороны, если сигналы светофора, регулирующие скорость, изменяют поведение водителей, вызывая снижение скорости, они также приведут к уменьшению относительных выбросов загрязняющих веществ [Coelho et al., 2005a; Barkenbus, 2010].

### **1.5. Воздействие автомобильного транспорта на природную среду**

В последние годы проблема загрязнения воздуха автотранспортом в городах большинства стран мира принимает угрожающий характер [Владимиров, 2007].

Автотранспортный комплекс (АТК) представляет собой постоянно пополняющийся автомобильный парк. В настоящее время общее количество находящихся в эксплуатации транспортных средств составляет более 800 млн. ед. Из них более 100 млн. ед. приходится на Европу и 33,4 млн. ед. на Россию. При этом легковые автотранспортные средства составляют 85% от общего числа, 17% приходится на грузовые автомашины и автобусы. В течение прошедших 50 лет, количество выпускаемых легковых транспортных средств в год увеличилось в 5,5 раз. При этом их количество продолжает постоянно увеличиваться. Это приводит к ежегодному потреблению порядка 2,1 млрд. тонн топлива, при сжигании которого в атмосферный воздух выбрасывается порядка 700 млн. тонн загрязнителей, что соответствует выбросу 1,3 тонн в год одним автомобилем. В этой связи доля автотранспорта в общем уровне загрязнения атмосферы в развитых странах достигает в среднем 45-50 %, в России - 40, в среднем по городам - 50-60, мегаполисах - до 85-90 %. А при учёте всех загрязнителей, которые попадают в природную среду в результате работы всех транспортных средств, то доля каждого вида составит: 85% для автотранспорта, 5,3% для

морского, 3,7% для воздушного, 3,5 для железнодорожного и 2,5% для сельскохозяйственного. А если учесть все загрязнения, которые вносят все виды транспорта, то получится следующее распределение: автотранспорт - 85,0 %, речной и морской - 5,3, воздушный - 3,7, ж/д транспорт - 3,5, сельскохозяйственный - 2,5 % [Ясенков, 2007].

В настоящее время Российской Федерацией выполняются Европейские нормативы по выбросу загрязнителей природной среды, в рамках присоединения к Женевскому соглашению. Кроме того ведутся активные разработки безопасных двигателей, альтернативных двигателям внутреннего сгорания, например электродвигатели, двигатели, работающие на водороде и др. Это также должно решить проблему истощения природных энергоресурсов [Быков и др., 2008]. В вышеуказанной конвенции также введены нормы по объемам выбросов оксида углерода и углеводородов, поступающих в окружающую среду вместе с выхлопными газами для автомобилей категории «В» [Стокгольмская конвенция, 2002].

### **1.5.1. Транспортная структура исследуемой территории**

Транспортная система это совокупность транспортной инфраструктуры, транспортных предприятий, транспортных средств и их управление. Единой транспортной системой обеспечивается согласованное развитие и функционирование всех видов транспорта с целью максимального удовлетворения транспортных потребностей при минимальных затратах [Троицкая, 2003].

Согласно Федеральному закону N 16-ФЗ от 9 февраля 2007 года «О транспортной безопасности» инфраструктура включает используемые транспортные сети или пути сообщения (дороги, железнодорожные пути, воздушные коридоры, каналы, трубопроводы, мосты, тоннели, водные пути и т. д.), а также транспортные узлы или терминалы, где производится перегрузка груза или пересадка пассажиров с одного вида транспорта на

другой (например, аэропорты, железнодорожные станции, автобусные остановки и порты). Транспортными средствами обычно выступают автомобили, велосипеды, автобусы, поезда, самолёты.

Транспортная система исследуемой территории представлена железнодорожным, автомобильным, внутренним трубопроводным и воздушным транспортом. Каждым из данных видов транспорта выполняются определённые функции исходя из характера перевозимых грузов.

Железнодорожный транспорт является основным звеном в единой транспортной системе РФ. Данный вид транспорта является наиболее эффективным в случаях, когда требуется перевозка массивных грузов как на средние, так и на дальние расстояния, а также для осуществления пассажирских перевозок. Для железнодорожного транспорта характерна регулярность движения вне зависимости от времени года, большая скорость и относительно низкая себестоимость перевозок. При этом он малоэффективен в случаях отсутствия большой концентрации грузопассажирских потоков.

Город Владикавказ является «тупиковым» для железнодорожного транспорта, сквозное движение через город отсутствует. В этой связи количество ж/д транспорта весьма ограничено. Два регулярных маршрута поездов отправляются ежедневно и один через день, не считая электричек. Количество трамваев в городе весьма ограничено в сравнении с другими видами транспорта.

В настоящее время узкоспециализированными остаются трубопроводный и авиационный виды транспорта. Трубопроводы подразделяются на нефтепроводы, газопроводы и продуктопроводы. Транспортировка грузов по ним характеризуется низкой себестоимостью. Для данного вида транспорта характерно отсутствие выбросов в природную среду, при условии сохранения герметичности системы.

К основной функции авиационного транспорта относятся пассажирские перевозки и доставка срочных грузов. В труднодоступных

горных районах и районах Крайнего Севера авиационный транспорт является единственным видом. Аэропорт «Владикавказ» находится за пределами города, в 20 км, соответственно его влияние на экологическую обстановку исследуемой территории незначительно.

Автотранспорт России является самым массовым и гибким видом транспорта, обладая рядом важных признаков, отличных от иных систем транспорта. Большая часть автомобильного парка РФ используется нетранспортными организациями. При этом по автомобильным дорогам передвигаются личные автомобили граждан, наряду с коммерческими автотранспортными средствами. При этом сфера применения автотранспорта является весьма широкой. Автомобильным транспортом выполняется большая часть перевозок на небольшие расстояния, с его помощью осуществляется доставка грузов к железнодорожным станциям.

Ежедневно автотранспортом осуществляется перевозка порядка 17 млн. тонн грузов и более 62 млн. пассажиров. В сравнении с аналогичными показателями железнодорожного транспорта, автотранспортом перевозится в 6 раз больше грузов и в 17 раз больше пассажиров [Павлова, 2000]. По этой причине в настоящей работе рассматривается только автомобильный транспорт, как основной источник загрязнения природной среды.

### **1.5.2. Шумовое загрязнение**

Шумовое загрязнение входит в тройку самых значительных экологических нарушений в мире. С ростом урбанизации шум стал постоянной частью человеческой жизни, одним из существенных параметрических загрязнителей городской среды. Проблема защиты населения от повышенного шума – это в первую очередь, проблема сохранения здоровья [Музе, 2007]. Акустическое загрязнение во всем мире составляет порядка 70-75 % от всех экологических загрязнений. Шумовое

загрязнение приводит к повышенной утомляемости человека и животных, понижению производительности труда, физическим и нервным заболеваниям [Alborov et al., 2019].

Наблюдательные и экспериментальные исследования показали, что воздействие шума вызывает раздражение, нарушает сон и вызывает дневную сонливость, влияет на результаты лечения пациентов и эффективность работы персонала в больницах [Messingher et al., 2012; Fritschi et al., 2011.], увеличивает частоту гипертензии и сердечно-сосудистых заболеваний [van Kempen, Babisch, 2012; Sørensen et al. 2012].

Шум также влияет на производительность труда [Verbeek et al., 2012]. При уровнях шума свыше 80 дБА увеличения его на каждые 1-2 дБА вызовет снижение производительности труда не менее чем на 1%. Экономические потери от повышенного шума в развитых странах достигают десятки миллиардов долларов в год.

Одной из главных экологических проблем в городах является шумовое загрязнение природной среды от автомобильного транспорта и во многом определяет качество жизни населения [Mied, Oudshoorn, 2001]. Проектирование и постройка жилых домов вблизи промышленных зданий происходит согласно техническим нормам по эксплуатации зданий и сооружений. Поэтому звуки, достигающие жильцов близлежащих домов и людей, близко находящихся, не опасны для их здоровья. Шумовое загрязнение оценивается по следующим параметрам: уровню звука, громкости, вибрации и звуковому давлению [Ohrstrom et al., 2006].

Если в 60 – 70 годы прошлого столетия шум на улицах не превышал 80 ДБ, то в настоящее время он достигает 100 ДБ и более. На многих оживленных магистралях даже ночью шум не бывает ниже 70 ДБ, в то время как по санитарным нормам он должен не превышать 40 ДБ.

Благодаря техническому прогрессу большую популярность приобретают наушники с функцией активного шумоподавления, которые позволяют значительно снизить негативный эффект от шумового загрязнения



природной среды [Liang et al., 2012] и являются надежным средством защиты в особо зашумленных местах.

На исследуемой территории Геофизическим институтом ВНЦ РАН были проведены специальные исследования уровня шумового загрязнения [Закс, Бериев, 2009; Закс и др., 2016; Zaks et al., 2019; Бериев и др., 2017; Бериев и др., 2015]. Авторами были измерены показатели шумового загрязнения в 126 точках города Владикавказа. Более высокие показатели шума были отмечены на магистральных улицах и местах их пересечения. Разброс показателей составил от 53 до 105 дБ. По результатам наблюдений были выявлены определенные порядки и закономерности изменения структуры движения легкового и грузового автотранспорта по основным маршрутам движения в г. Владикавказ, в различные периоды суток, которые дают основание для анализа и разработки соответствующих математических моделей, а также прогноза экологического благополучия в зоне повышенного шумового риска. В целом, население города Владикавказа значительный временной отрезок суток продолжает подвергаться шумовому воздействию, которое превышает допустимый уровень, что может негативно влиять на здоровье горожан.

### **1.5.3. Загрязнение водных ресурсов**

Геофизическим институтом ВНЦ РАН выполнены работы по оценке качества водных ресурсов на изучаемой территории. Исследуемый участок расположен в долине р. Терек в черте г. Владикавказ.

Результаты исследований химического состава грунтовых вод в скважинах водоснабжения показали, что на всех выбранных водозаборах, за исключением скважины водозабора ООО «Агрофирма ФАТ» (1,45 ПДК), по степени минерализации грунтовые воды соответствуют нормам СанПиН 1.2.3685-21. Многолетняя амплитуда колебания общей минерализации грунтовых вод Заводского водозабора до 2004-2008 гг. обычно составляла

100-200 мг/дм<sup>3</sup> и, как правило, не превышала 400 мг/дм<sup>3</sup>, однако с 2008 г. наблюдается значительное увеличение показателя минерализации практически до 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Значения показателей рН и окисляемости перманганатной не превышали норму за весь исследованный период. Превышений допустимых норм содержания ионов NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и Cl<sup>-</sup> не выявлено.

На фоне всех исследованных водозаборов наиболее высокие концентрации химических компонентов характерны для грунтовых вод водозабора «Агрофирма ФАТ». Это, вероятно, связано с тем, что данный водозабор расположен на расстоянии менее 2-х километров по направлению движения подземных вод от площадки складирования отвалов предприятия ОАО «Электроцинк». В результате этого рассеивание химических компонентов природными миграционными процессами происходит более интенсивно, и загрязнение гидрогеологической среды проявляется сильнее, чем на других исследуемых участках.

Химический состав грунтовых вод подземных вод водозаборов северной части г. Владикавказа, расположенных на небольшой площади около 10 км<sup>2</sup> и, предположительно, испытывающих негативное воздействие отвалов предприятия ОАО «Электроцинк», неоднороден. По характеру минерализации грунтовые воды можно подразделить на следующие основные типы: сульфатно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-сульфатный и гидрокарбонатный типы кальциевого катионного состава.

Как показала интегральная оценка качества грунтовых вод, несмотря на повышенные показатели жесткости, грунтовые воды всех исследованных водозаборов характеризуются как условно чистые (1-я категория качества), по степени устойчивости – устойчивое состояние. По степени условий естественной защищенности водоносного горизонта грунтовые воды относятся к IV категории – условно защищенные.

Отличительной особенностью процесса загрязнения подземных вод является то, что он в значительной степени обусловлен загрязнением других природных сред – атмосферного воздуха, поверхностных вод, почв. Будучи

загрязненными вследствие выбросов различных веществ антропогенного происхождения, эти среды становятся вторичными источниками загрязнения, влияющими на подземные воды. В свою очередь загрязненность подземных вод может сказаться на качестве речных вод в местах разгрузки загрязненных подземных вод в реки [Джгамадзе, Заалишвили, 2006; Джгамадзе и др., 2019].

Таким образом, имеет место взаимосвязь причин и следствий в загрязнении подземных и поверхностных вод. Но вместе с тем, как показывает анализ фактического материала, воздействие загрязненных природных сред на подземные воды неизмеримо больше обратного воздействия [Джгамадзе и др., 2019]. В сложившихся условиях для определения генезиса трансформации гидрохимического состава подземных вод в последние десятилетия важным условием является определение условий защищенности водоносного горизонта [Джгамадзе, Заалишвили, 2009].

Таким образом, несмотря на то, что автомобильный транспорт является достаточно значимым источником загрязнения водных ресурсов, наибольшее загрязнение водных ресурсов на исследуемой территории обуславливают промышленные предприятия.

#### **1.5.4. Загрязнение почв**

Городские почвы представляют собой антропогенно измененные почвы, включающие созданный в результате человеческой деятельности поверхностный слой мощностью более 50 см, полученный перемешиванием, насыпанием или погребением материала урбогенного происхождения, в том числе строительного-бытового мусора [Заалишвили и др., 2013].

Значительную опасность для городских почв представляют вредные вещества, такие как тяжелые металлы, которые выпадают в непосредственной близости к источнику загрязнения. Таким образом,

проявляется загрязнение территории в виде техногенных геофизических аномалий, то есть формирование зон с повышенной концентрацией металлов, как в почвах, так и в растительности. Кроме того, необходимо учитывать и состав материалов, слагающих почвы, т.к. для рыхлых грунтов адсорбционная способность значительно выше, чем для плотных. При этом наличие водоупорных глинистых грунтов в верхней части грунтовой толщи препятствует попаданию загрязнителей в грунтовые воды, обуславливая их накопление в поверхностной части грунтовой толщи.

При удалении от источника загрязнения, концентрации тяжелых металлов в почвах и растительности уменьшается достаточно сильно. В пределах вышеуказанных аномалий выделяются две зоны. Первая зона непосредственно примыкает к источнику выброса загрязнителей. Для неё характерны сильные разрушения почвенного покрова, растительный и животный мир в этой зоне, как правило, уничтожается. Концентрация металлов в данной зоне максимальна. Вторая зона является более обширной, в почвенном покрове, не смотря на сохранение своего строения, наблюдается значительное угнетение микробиологической активности.

Согласно различным исследованиям [Парфенова, 2011], посвященных изучению содержания тяжелых металлов в образцах почвенного покрова территорий, непосредственно прилегающих к автомобильным магистралям, было установлено, что большая их часть лежит как в пределах, так и ниже допустимых концентрации. В то же время, в пробах почв, отобранных на расстоянии, не превышающем 50 метров, отмечается превышение ПДК по таким тяжелым металлам, как свинец, медь и кадмий.

### **1.5.5. Загрязнение атмосферы**

Преобладающими вредными примесями, которые содержатся в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания, являются: оксиды углерода и азота, альдегиды, углеводороды, а также другие вещества. В

процессе сгорания бензина образуется ряд химических соединений, состоящих, в основном, из угарного газа, оксидов азота, углеводородов и соединений свинца. В выхлопах дизельных двигателей содержится сажа, наличие которой приводит к образованию смога, несгоревшие углеводороды, окислы азота и серный ангидрид. [Кебалова, 2017].

Скорость ветра способствует переносу и рассеиванию примесей, так как с усилением ветра возрастает интенсивность перемешивания воздушных слоев. Среднегодовое значение скорости ветра для г. Владикавказа равно 2,5 м/сек., ветер с такой скоростью можно охарактеризовать как весьма слабый и не способный перенести загрязнители атмосферы на значительные расстояния. Таким образом, загрязнители остаются и циркулируют вблизи промышленных предприятий и мест движения автотранспорта.

Солнечная радиация обуславливает фотохимические реакции в атмосфере и формирование различных вторичных продуктов, обладающих часто более токсичными свойствами, чем вещества, поступающие от источников выбросов. Так, в процессе фотохимических реакций в атмосфере происходит окисление сернистого газа с образованием сульфатных аэрозолей. В результате фотохимического эффекта в ясные солнечные дни в загрязненном воздухе формируется фотохимический смог. При туманах концентрация примесей может сильно увеличиться. С туманами связаны смоги, при которых в течение продолжительного времени удерживаются высокие концентрации вредных примесей. Токсичные вещества, такие как окислы азота, серы, углерода, оседая на капельках тумана, образуют кислоты, которые вместе с вдыхаемым воздухом проникают в дыхательные пути человека. В результате могут возникать приступы удушья, нехватки воздуха, обостряться сердечнососудистые заболевания. Особенно чувствительны к таким неблагоприятным условиям люди с хроническими заболеваниями легких, сердца, пожилые люди и дети.

Необходимо отметить, что загрязнение атмосферы является первичным в процессе загрязнения природной среды автомобильным

транспортом, т.к. вредные вещества попадают в другие среды (воду, почву) именно через атмосферу.

## 1.6. Выводы

1. Глобальная индустриализация и техническое развитие привели к значительному ухудшению экологического состояния природной среды. Основными источниками её загрязнения являются стационарные источники и транспорт.

2. На территории Республики Северная Осетия - Алания наибольший вклад в загрязнение природной среды вносит деятельность предприятий цветной металлургии и автотранспорта. Более 30 предприятий находится в промышленном узле г. Владикавказа, их деятельность в той или иной мере связана с загрязнением атмосферного воздуха., при этом основным источником загрязнения является автомобильный транспорт, число которого увеличивается год за годом, на фоне уменьшения суммарных выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников.

3. Количество автотранспорта в г. Владикавказ за последние 20 лет увеличилось более чем в 2 раза на фоне сокращения деятельности промышленных предприятий. При этом оценивать вред, наносимый природной среде, только по объему выбросов является некорректным, т.к. в выбросах от стационарных источников присутствует большое количество тяжелых металлов, при этом вред от их поступлений может превышать вред от выбросов газообразных соединений, характерных для автомобильного транспорта.

4. Преобладающими вредными примесями, которые содержатся в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания, являются: оксиды углерода и азота, альдегиды, углеводороды, а также другие вещества.

5. В районе промышленных предприятий количество проб атмосферного воздуха с превышением ПДК за 3 года уменьшился на 69,2%. Но, несмотря на проводимую работу, ситуация с загрязнением воздуха в

столице Республики далека от благополучной.

6. Для оценки канцерогенного риска для здоровья населения при воздействии загрязняющих веществ используются среднесуточные значения поступающих в организм вредных веществ пероральным, воздушным или накожным путем из различных сред.

7. В качестве оценки антропогенного воздействия на природную среду могут вводиться экологические показатели. Разработка подобных интегральных показателей достаточно сложная задача, к настоящему времени не имеющая решения. Одна из сложностей – определение весовых коэффициентов, которая частично может быть решена с помощью экспертных оценок.

8. В общем случае необходима разработка показателя, позволяющего сравнить два источника загрязнения, для которых характерен выброс в природную среду совершенно разных загрязняющих веществ.

## **ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПЕРЕДВИЖНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ.**

### **2.1. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха**

Приказом от 27 ноября 2019 г. N 804 Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации утверждена методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха.

Согласно данной методике для организации натурных обследований потоков автотранспорта производится анализ их территориального распределения, изучаются данные по размерам изучаемой территории, количеству проживающего на ней населения, схемы организации дорожного движения, собирается информация по расположению объектов, которые оказывают отрицательное воздействие на природную среду, а также изучается зависимость интенсивности дорожного движения от времени суток, дней недели, сезонов и годовые изменения в целом.

Данные о схеме организации как улично-дорожной сети, так и организации движения транспортных средств, запрашиваются в органах государственной власти субъектов Российской Федерации. После сбора необходимой информации составляется программа по обследованию структуры и интенсивности автотранспортных потоков.

При проведении натурных обследований по установлению интенсивности движения и его структуры применяются следующие способы:

- фиксация движения автотранспортных средств визуальными методами
- использование видеозаписей для видеофиксации
- использование данных по непрерывному автоматическому учёту для



## видеофиксации

В качестве визуального способа обследования используется фиксация количества автотранспорта, которые проезжают по исследуемому участку автомобильной дороги.

Использование видеозаписей для видеофиксации осуществляется в два этапа:

- производится видеофиксация с сохранением видеоматериала, по которому можно идентифицировать типы, технические и конструктивные особенности автотранспортных средств, осуществляющих движение в потоке трафика;
- по видеофайлам визуально определяется интенсивность движения

В случае, когда используется способ по использованию видеозаписей для видеофиксации, в точке наблюдения за участком дороги на штативе устанавливается камера. В течение каждого часа от одного до двух раз производится 20минутная запись.

При использовании данных по непрерывному автоматическому учёту для видеофиксации требуется наличие данных не менее чем за двухлетний период.

При фиксации транспортных средств, движущихся по выбранному участку автодороги, осуществляется их разделение на следующие типы:

К первому типу относятся легковые автомобили (Л);

Ко второму типу относятся автофургоны и микроавтобусы снаряженной массой не более 3,5 тонн (АМ) (грузовые и пассажирские автофургоны, оборудованные не более 8мью сидячими местами, не считая водителя и иные транспортные средства с малой грузоподъемностью, вне зависимости от наличия прицепов или их отсутствия);

К третьему типу относят грузовые автомобили с разрешенной массой от 3,5 до 15 тонн ( $\Gamma < 12$ ) (двух и трехосные автомобили без прицепа);

К четвертому типу относят грузовые автомобили с разрешенной массой более 12 тонн ( $\Gamma > 12$ ) (четырёхосные автотранспортные средства,

независимо от количества прицепов; тягачи с полуприцепом, независимо от количества прицепов; а также специальные транспортные средства: бульдозеры, асфальтные катки, автокраны и автоцистерны, в том числе армейских образцов);

К пятому, последнему типу относят автобусы с разрешенной массой свыше 3,5 тонн

Для автомобильных дорог, которые не являются транзитными, вводится характеристика «часы пик», для периода с 7 - 8 часов утра до 9 - 10 часов вечера. При этом выделяется как один максимум в течение указанного периода, так и два (с 7-8 часов до 10-11 часов утра и с 4-5 часов до 7-8 часов вечера). При установлении структуры и интенсивности движения автотранспортных средств, при проведении натурных обследований необходимые измерения, указанные ниже, следует проводить не менее 4 раз в вышеуказанные часы на каждом обследуемом участке автомобильной дороги в течение минимум семи рабочих дней в теплые периоды года.

Необходимые измерения на каждом из участков автомобильной дороги подразумевают под собой фиксацию следующих параметров:

- измеряется ширина проезжей части (ед. измерения - метр);
- для каждого направления движения указывается количество полос;
- измеряется длина выбранного участка автомобильной дороги (ед. измерения – км), с одновременным указанием названий улиц, которые ограничивают данный участок;
- вычисляется средняя скорость движения потока трафика, отдельно для каждого из следующих типов транспортных средств: автобусы, грузовой и легковой транспорт.

Расчёт показателей выбросов для потоков автомобильного трафика выполняется для следующих веществ, которые поступают в атмосферу с продуктами сгорания топлива:

- 1) углерода оксид (CO);
- 2) азота оксид (NO);

- 3) азота диоксид (NO<sub>2</sub>);
- 4) взвешенные частицы PM<sub>2,5</sub>;
- 5) бензин;
- 6) керосин;
- 7) серы диоксид (SO<sub>2</sub>);
- 8) формальдегид (CH<sub>2</sub>O);
- 9) бензапирен (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>);
- 10) метан (CH<sub>4</sub>).

Значение удельного пробегового выброса выбросов *i*-го загрязнителя (г/с) от движущегося потока трафика на обследуемом участке автодороги с установленной протяженностью *L* (км) определяется согласно следующему выражению (2.1):

$$M_{M,i} = \frac{L}{1200} \sum_1^k M_{k,i}^L * G_k (G_{kn}) * r_{V_{k,j}} \quad (2.1)$$

где *L* (км) - протяженность участка автомобильной дороги;

$M_{k,i}^L$  (г/км) - удельный пробеговой выброс *i*-го загрязнителя для *k*-го типа автотранспортного средства (определяется по данным таблицы 2.1);

$G_k$  – параметр, определяющий наибольшую интенсивность движения транспортного потока, который определяется как максимальное количество автотранспортных средств для каждой *k*-ой группы, прошедших через установленное сечение определенного участка автомобильной дороги за 20минутный интервал времени в обоих направлениях движения и по всем полосам;

$G_{kn}$  – число автотранспортных средств для каждого *k* типа, которые находились в «пробке» на всём обследуемом участке автомобильной дороги в 20 минутный интервал времени. Данный параметр используется вместо  $G_k$  в случае наличия на исследуемом участке «пробки».

*k* - количество групп всех транспортных средств, движущихся по

обследуемому участку;

$r_{V_{k,j}}$  - поправочный коэффициент, с помощью которого учитывается зависимость изменения объема поступающих загрязняющих веществ в зависимости от средней скорости потока трафика ( $V_{k,j}$  (км/час) на выбранном участке автодороги (всей автодороги), который определяется по таблице 2.2. Наименьшая скорость движения транспортного потока в "пробке" принимается равной 5 км/час. Для выбросов оксидов азота используются поправочный коэффициент  $r_{V_{k,l}}(\text{NO}_x)$ .

Таблица 2.1

Удельные пробеговые выбросы загрязняющих веществ  $M_{k,i}^L$  (г/км)  
для различных типов транспортных средств

Типы транспортных средств		Легковые автомобили	Автофургоны и микроавтобусы, до 3,5 т	Грузовые автомобили, от 3,5 до 12 т	Грузовые автомобили, свыше 12 т	Автобусы, свыше 3,5 т
N		I	II	III	IV	V
Выбросы $M_{k,i}^L$ , г/км	CO	0,9	4,6	5,30	5,60	3,90
	NO	0,043	0,234	0,832	0,975	0,767
	NO <sub>2</sub>	0,264	1,44	5,12	6,0	4,72
	Бензин	0,26	0,70	-	-	-
	керосин	-	-	1,50	2,00	0,50
	взвешенные частицы PM <sub>2,5</sub>	$0,55 \cdot 10^{-2}$	$3,70 \cdot 10^{-2}$	0,37	0,44	0,25
	SO <sub>2</sub>	$0,66 \cdot 10^{-2}$	$1,40 \cdot 10^{-2}$	$2,60 \cdot 10^{-2}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$2,20 \cdot 10^{-2}$
CH <sub>2</sub> O	$1,50 \cdot 10^{-3}$	$2,50 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-2}$	$0,8 \cdot 10^{-2}$	$0,22 \cdot 10^{-2}$	

	$C_{20}H_{12}$	$0,18 \cdot 10^{-6}$	$0,20 \cdot 10^{-6}$	$0,60 \cdot 10^{-6}$	$0,73 \cdot 10^{-6}$	$0,20 \cdot 10^{-6}$
	$CH_4$	0,04	0,03	0,07	0,14	0,11

Таблица 2.2

Значения коэффициентов  $r_{vk,l}$ , учитывающих изменения выбросов в зависимости от средней скорости движения транспортных средств

	V	$r_{vk,l}$
Скорость движения V, км/ч	5	1,4
	10	1,35
	15	1,30
	20	1,20
	25	1,10
	30	1,00
	35	0,90
	40	0,75
	45	0,65
	50	0,50
	60	0,30
	70	0,40
	80	0,50
	100	0,65
	110	0,75
120	0,95	

Для расчёта суммарного годового выброса для  $i$ -го загрязняющего вещества на обследуемом участке в тёплый период года используется следующее выражение 2.2:

$$M_{\Gamma,i} = M_{M,i} \cdot K_n, \quad (2.2)$$

где:  $M_{M,i}$  - значение удельного пробегового выброса выбросов  $i$ -го загрязнителя, определенного из выражения (2.1);  $K_n$  – коэффициент, с помощью которого ведется перерасчёт наибольшего разового выброса в интегральный годовой выброс с учётом категории автомобильной дороги.

Для расчёта суммарного годового выброса для  $i$ -го загрязняющего вещества на обследуемом участке в холодный период года в выражении (2.2) применяется дополнительный коэффициент 0,8.

Автомобильные дороги относят к следующим категориям, определяемым на основе обследования интенсивности движения трафика и его структуры и изменения их количественных показателей в течение суток:

- к категории 1а относят автомобильные дороги, которые характеризуются одним или двумя наибольшими значениями (на 30% выше среднечасового значения) интенсивности дорожного движения (с 7-8 часов до 10-11 часов утра и с 4-5 часов до 7-8 часов вечера), за исключением транзитных дорог.

- к категории 2а относятся автодороги, для которых наблюдается повышенная интенсивность (с отклонением не более 20% от максимального часового значения) в период с 7ми утра до 9ти вечера, за исключением транзитных дорог.

- к категории 3т относят транзитные автомобильные дороги, для которых характерно постепенное увеличение интенсивности потоков трафика с 5 часов утра до 10 часов вечера, не превышающие 3000 авто в час и сохраняющие количество транспортных средств в объеме не менее 15% от среднечасового дневного значения в период с часу ночи до четырех часов утра

В случае, когда для обследования интенсивности движения трафика и его структуры используются данные непрерывного автоматического учёта на обследуемом участке автодороги, значения валовых выбросов для  $i$ -го загрязняющего вещества от потока автомобильного транспорта за текущий

год, вне зависимости от характера автомобильной дороги и характера движения используется следующее выражение (2.3):

$$Q^{\Gamma} = Q^P + Q^B \quad (2.3)$$

где:  $Q^P$  - выбросы  $i$ -го загрязнителя от автотранспортного потока в период рабочих дней календарного года;  $Q^B$  – те же выбросы, но в периоды выходных, в том числе праздничных дней календарного года

Значения  $Q^P$  рассчитываются с помощью следующего выражения (2.4):

$$Q^P = 0,0036 * (N_T^P * (\sum_{k=1}^{24} M_{kT}^P) + N_X^P * (\sum_{k=1}^{24} M_{kX}^P)) \quad (2.4)$$

где: коэффициент 0,0036 используется для перерасчёта из г/с в т/год;  $N_T^P$  - число рабочих дней в расчетном теплом периоде;  $M_{kT}^P$  - значение наибольшего разового выброса за  $k$ -й час, рассчитываемого по значениям интенсивности и скоростном режиме в рабочие дни теплого периода;  $N_X^P$  - число рабочих дней в холодный период;  $M_{kX}^P$  - наибольший разовый выброс за  $k$ -й час, рассчитываемый по соответствующим значениям интенсивности и скоростному режиму в рабочие дни холодного периода.

Значения  $Q^B$  рассчитываются с помощью следующего выражения (2.5):

$$Q^B = 0,0036 * (N_T^B * (\sum_{k=1}^{24} M_{kT}^B) + N_X^B * (\sum_{k=1}^{24} M_{kX}^B)) \quad (2.5)$$

где: коэффициент 0,0036 используется для перерасчёта из г/с в т/год;  $N_T^B$  - число выходных дней в расчетном теплом периоде;  $M_{kT}^B$  - значение наибольшего разового выброса за  $k$ -й час, рассчитываемого по значениям интенсивности и скоростном режиме в выходные дни теплого периода;  $N_X^B$  - число выходных дней в холодный период;  $M_{kX}^B$  - наибольший разовый выброс за  $k$ -й час, рассчитываемый по соответствующим значениям

интенсивности и скоростному режиму в выходные дни холодного периода.

Таким образом, для того, чтобы оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха требуются трудоемкие наблюдения, проводимые не один год. Кроме того, в данном подходе используются усредненные значения объемов выбросов автотранспортом, без учёта технического состояния автомобильного парка, без учёта фактического содержания загрязнителей в атмосферном воздухе.

## 2.2. Исследование влияния различных параметров на концентрацию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Для изучения фактического содержания некоторых вредных веществ (оксид углерода, углеводороды и диоксиды азота и серы) в атмосферном воздухе города Владикавказ нами были проведены измерения с помощью газоанализатора «Эколаб» (рис. 2.1).



Рисунок. 2.1. – Измерение концентрации содержания отдельных вредных веществ газоанализатором «Эколаб».



На рисунке 3 приведена зависимость концентрации оксида углерода и диоксидов азота и серы от удаления до автодороги. На графиках приведены рассчитанные регрессионные выражения связи уровня загрязнения атмосферного воздуха от удаления до дороги. Вычисляя по формуле (1) концентрацию оксида углерода в атмосферном воздухе на расстоянии 10 метров от края дорожного полотна, мы получили среднее значение  $C_{CO} = 0,0165 \text{ мг/м}^3$ . Аналогично при экспериментальных наблюдениях, при удалении от дороги на расстояние 10 метров и более, концентрация CO и SO<sub>2</sub> снижалась практически до нуля.

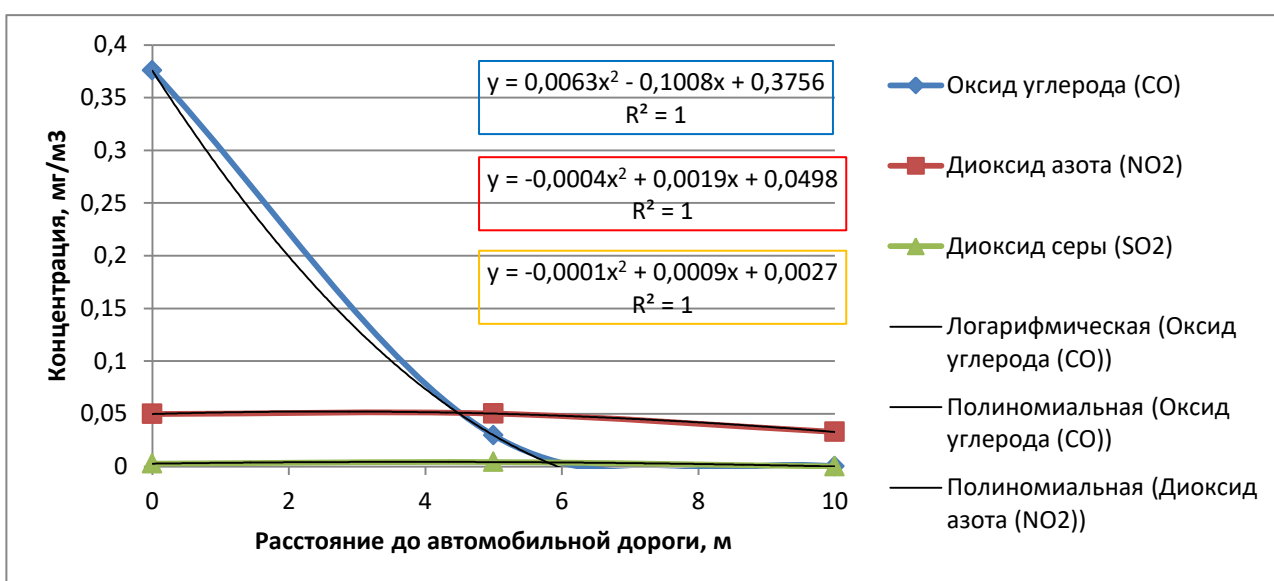


Рисунок 2.2. Зависимость концентрации оксида углерода и диоксидов азота и серы от удаления до автодороги. Точка наблюдений «ул. Московская, Асик»

Кроме того было установлено, что при установке газоанализатора на высоту 1 метр от уровня проезжей части концентрация оксида углерода уменьшается в 1,5 раза, углеводороды на такой высоте не фиксировались, а концентрация диоксида серы снизилась на 2 порядка. Не изменялась лишь концентрация диоксида азота.

Для изучения влияния остановки и начала движения автотранспорта на уровень выбросов в атмосферу газоанализатор устанавливался непосредственно возле светофора. Пики концентраций изучаемых веществ совпадали со временем включения красного сигнала светофора, при этом

ширина данных пиков зависела от количества остановившихся автомашин. В отсутствие автомашин концентрация всех измеряемых газов, за исключением диоксида азота, падала до нуля (рис. 2.3). При этом во время большей загруженности, когда двигался непрерывный поток автомашин, нулевые значения концентраций загрязнителей практически не регистрировались (рис. 2.4.).



Рисунок 2.3. Измерения концентрации оксида углерода возле светофора. Большая концентрация фиксировалась в моменты остановки большого количества автотранспорта.

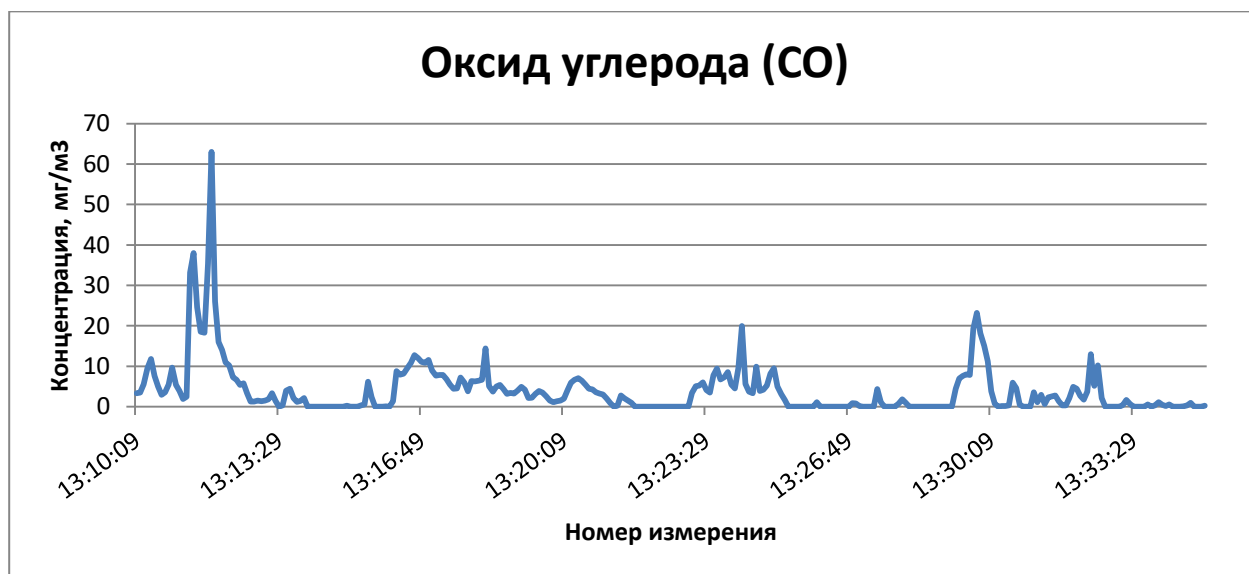


Рисунок 2.4. Измерения концентрации оксида углерода во время большей загруженности автодороги.

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.

Кроме того, во время проведения повторных измерений на одном из самых загруженных перекрестков города (Архонский «круг») 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 рисунках 2.5 и 2.6 приведены графики содержания угарного газа в одной и той же точке, из которых следует, что, несмотря на то, что в остальной части города уровень его содержания повысился, оптимизация дорожного движения в данной точке позволила снизить его концентрацию.



Рисунок 2.5. Измерения концентрации оксида углерода на точке «Архонский круг» в условиях работы светофора.



Рисунок 2.6. Измерения концентрации оксида углерода на точке «Архонский круг» в условиях работы по знакам приоритета.

Это позволяет подтвердить вывод о необходимости оптимизации дорожного движения, как фактора уменьшения уровня загрязнения природной среды от автомобильного транспорта.

### **2.3. Разработка методики проведения экспериментальных исследований концентрации загрязняющих веществ автомобильным транспортом**

На основе приведенных выше исследований разработана собственная оригинальная методика экспериментальных исследований загрязненности атмосферного воздуха. Помимо определения мест установки прибора и длительности наблюдений, сформирован подход к расчёту средней концентрации изучаемого вещества. Установлено, что в отсутствие автомобильного транспорта концентрации большинства изучаемых веществ снижаются до нуля, максимальные же концентрации достигаются в случае остановки, например при запрещающем сигнале светофора или при создании «пробок» на дороге, работающих транспортных средств вблизи установки прибора. При таком сценарии, когда наблюдается остановка транспортного

потока, концентрации изучаемых веществ падают до нуля в единичных случаях, в целом же средний уровень становится ненулевым. Как известно, уровень транспортного потока очень сильно зависит от времени, так, к примеру существуют часы «пик», в которые уровень максимален и связан с перемещением людей с или на места работы, учёбы и т.д. В ночные же часы движение транспорта, как правило, минимально. Таким образом, измеряемые концентрации загрязняющих веществ будут достаточно сильно зависеть от времени экспериментальных наблюдений. В этой связи предлагается при расчётах средних концентраций не учитывать зафиксированные нулевые значения, моделирую ситуацию условного часа «пик» или случай возникновения затора. При таком подходе отпадает необходимость проведения экспериментальных исследований в одно и то же время для различных точек наблюдения. При учете, в том числе, и нулевых значений, сравнивать уровни загрязнения атмосферного воздуха в различных точках не представляется возможным, т.к. может наблюдаться значительная разница между величинами транспортного потока. При этом наиболее информативными являются данные полученные в моменты наибольшей загруженности автодорог. В данном случае величина концентраций вредных веществ будет уже зависеть от таких параметров, как ширина проезжей части и, как следствие, количество автотранспорта на автомобильной дороге, режимы работы светофоров, направление и скорость ветра и др.

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. Измерения проводятся в течение 25 минут. Для приведения полученных значений к среднему значению, необходимо учитывать только ненулевые концентрации, тем самым моделируя ситуацию измерения во время максимальной загруженности данного участка дороги.

На рисунках 2.7-2.10 приведены карты концентрации изучаемых

веществ для сравнения разработанного подхода по расчёту концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, полученных экспериментально, со средними рассчитанными значениями. Хорошо видно, что разработанный подход позволяет более чётко выделять зоны с различной степенью загрязнения. При этом значения, вычисляемые в рамках данного подхода, являются более согласованными с измерениями, получаемыми в случае измерения изучаемых параметров в часы максимальной загруженности автодорог.

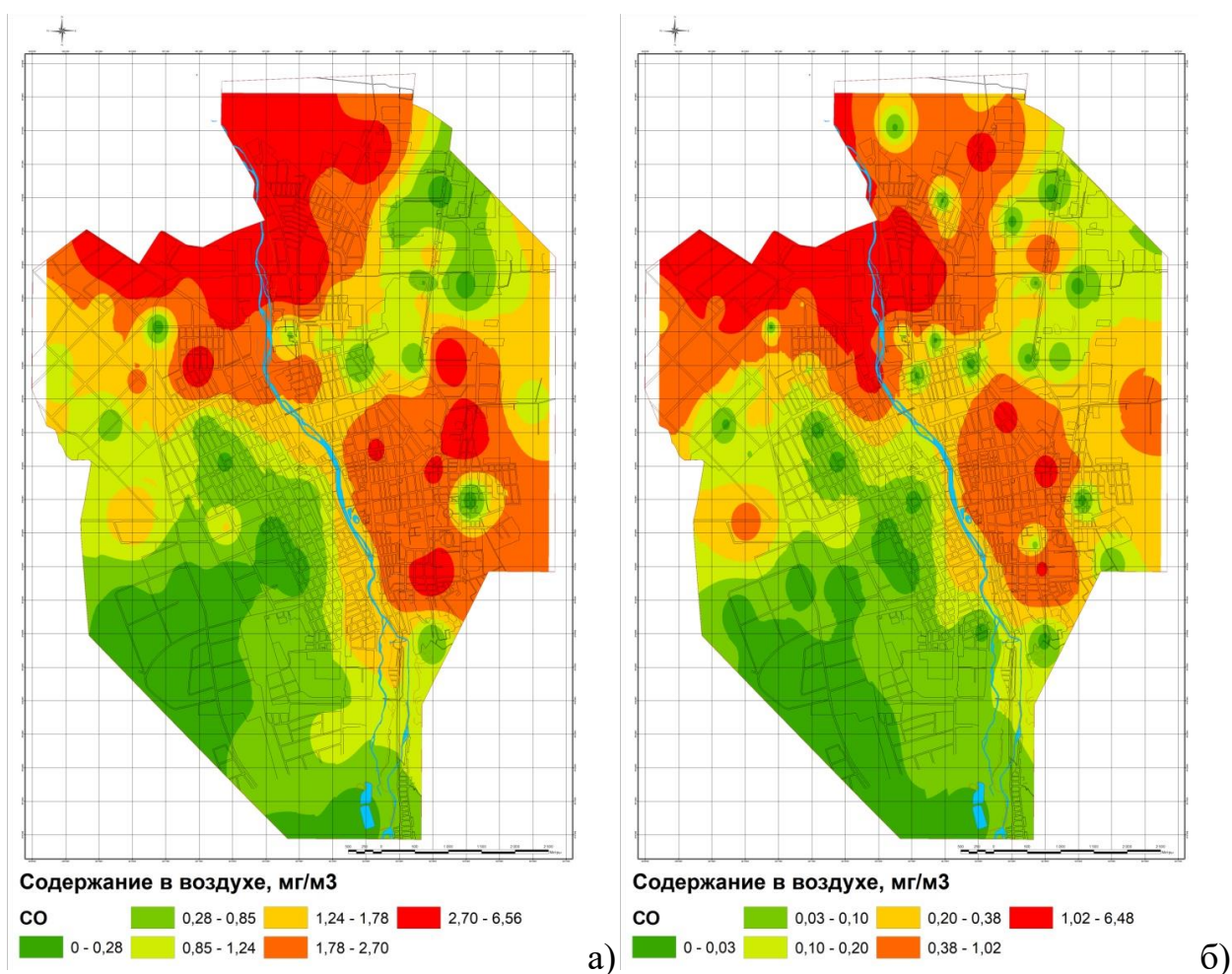


Рисунок 2.7. Карты концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе г. Владикавказа. а) – карта, построенная по предложенной методике, б) – средние значения.



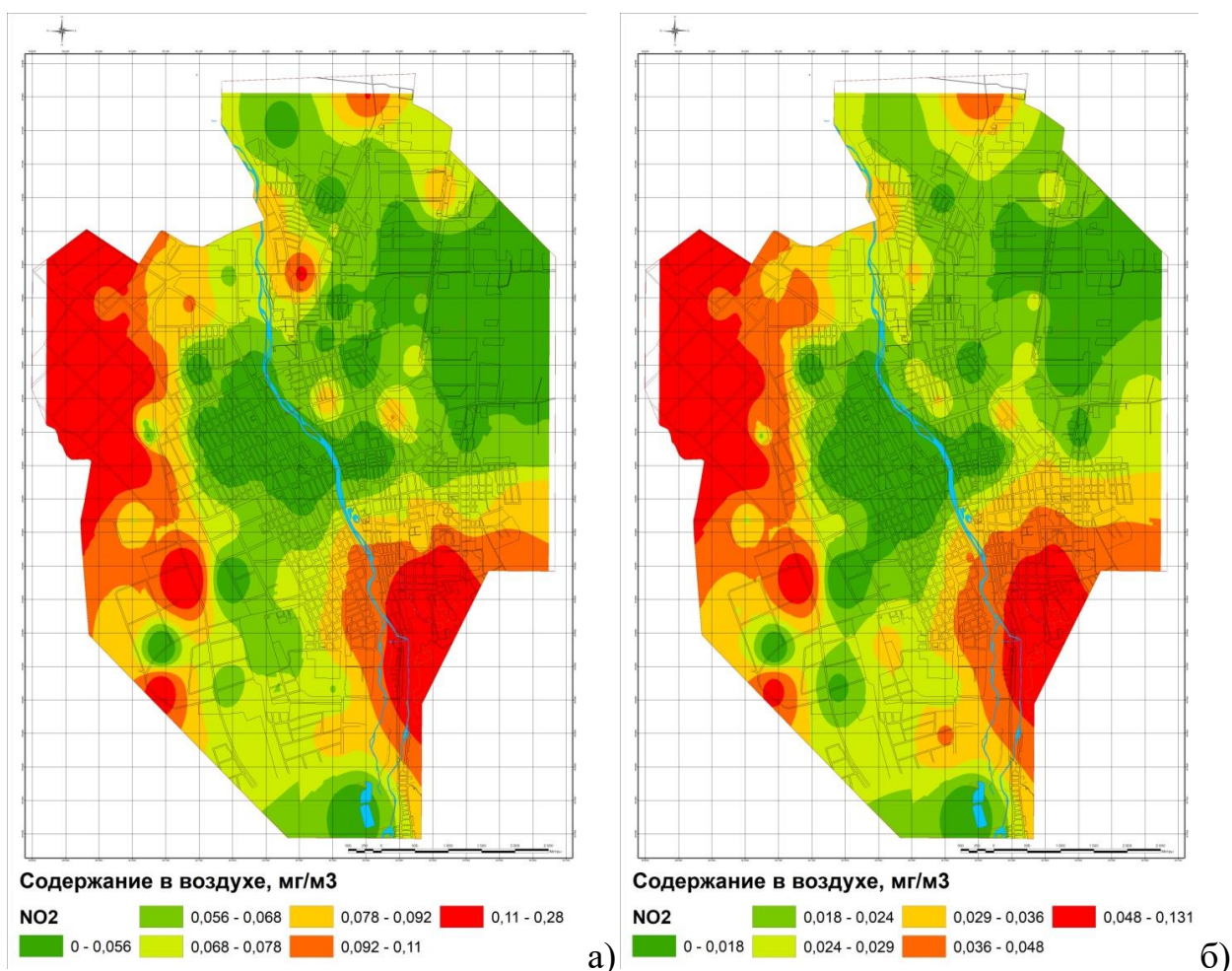


Рисунок 2.8. Карты концентрации диоксида азота в атмосферном воздухе г. Владикавказа. а) – карта, построенная по предложенной методике, б) – средние значения.

Для разработки карт пространственного распределения различных загрязнителей необходимо использование методов пространственной интерполяции данных. Получившими наибольшее распространение являются следующие методы: метод обратных взвешенных расстояний (IDW), кригинг и сплайн.

При построении вышеуказанных карт применялся метод обратных взвешенных расстояний (IDW), в основе которого лежит предположение, что прогнозные значения представляют из себя линейную комбинацию доступных данных. Интерполирующая функция в данном методе определяется следующим образом:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (2.6)$$

$$w_i = d_i^{-u}$$

где  $Z(x)$  – предсказываемое значение в расчётной точке,  $Z_i$  – значение в известной точке,  $n$  - общее число фактических точек, которые используются при интерполяции,  $d_i$  - расстояние между известной точкой  $i$  и предсказываемой точкой, а  $w_i$  - это вес, присваиваемый точке  $i$ . Большие значения веса присваиваются значениям, близким к рассчитываемой точке. По мере отдаления вес уменьшается, а  $u$  - сила веса, данная величина определяет, насколько вес уменьшается при увеличении расстояния.

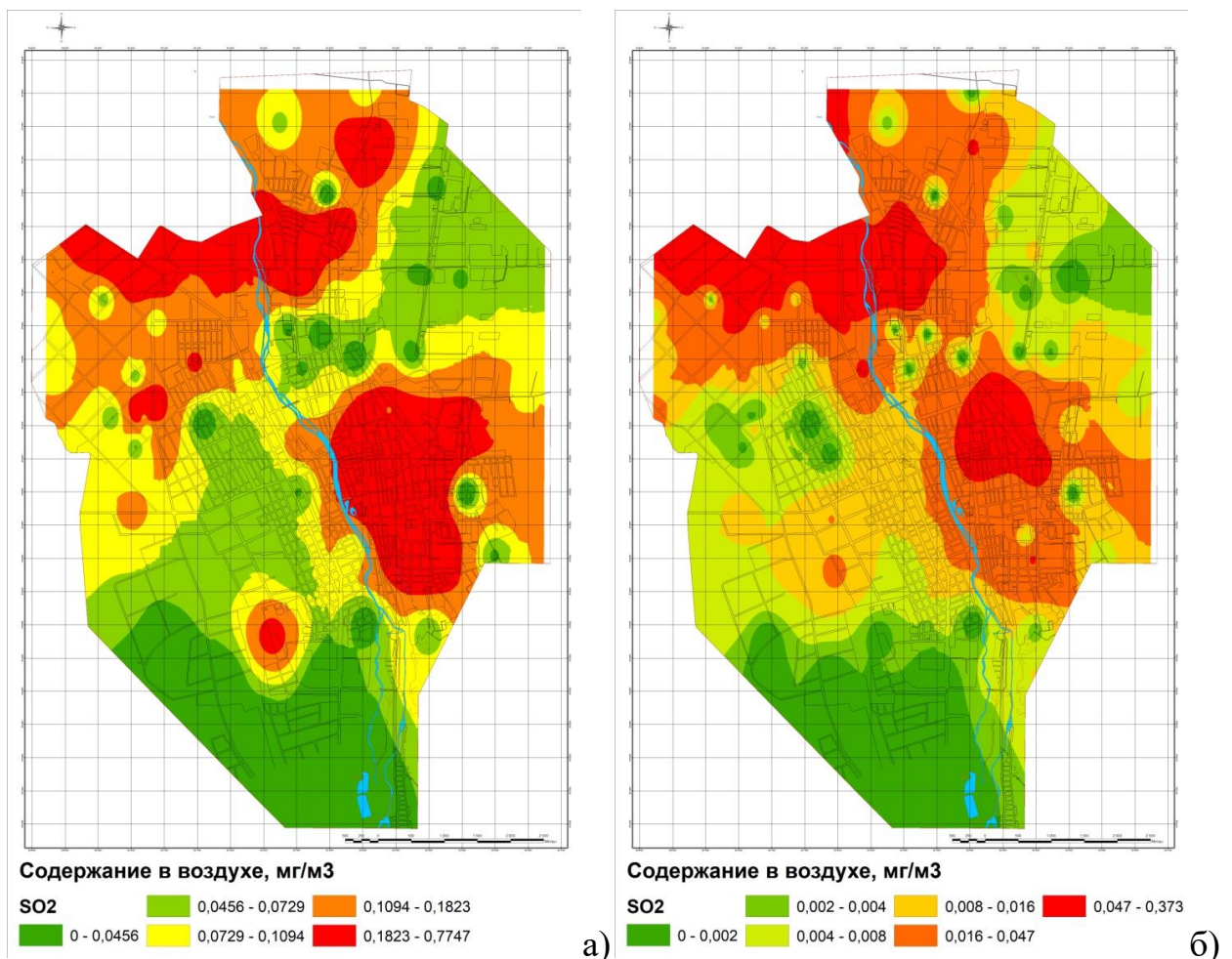


Рисунок 2.9. Карты концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе г. Владикавказа. а) – карта, построенная по предложенной методике, б) – средние значения.



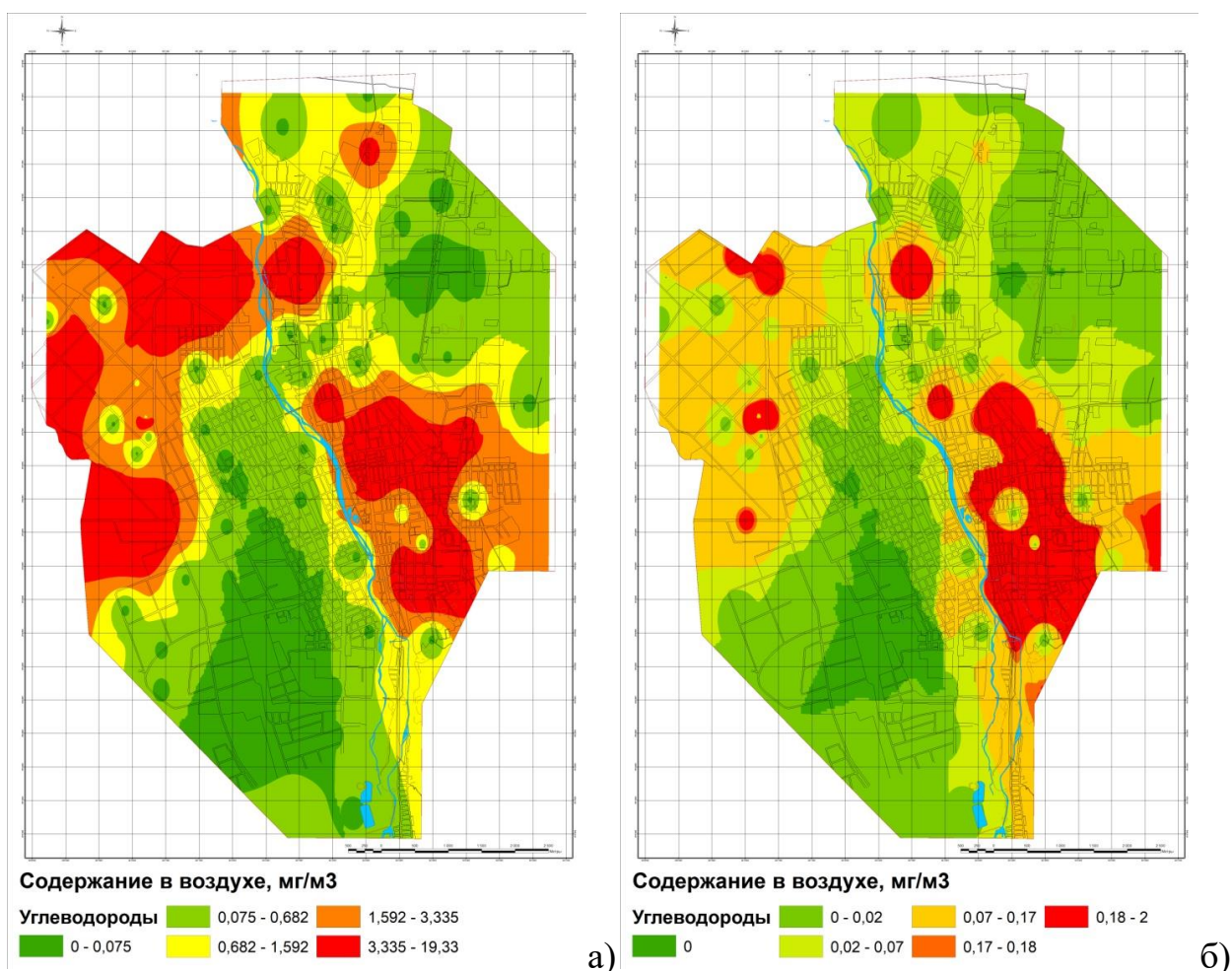


Рисунок 2.10. Карты концентрации углеводородов С1-С10 в атмосферном воздухе г. Владикавказа. а) – карта построенная по предложенной методике, б) – средние значения.

При построении данных карт для выделения зон с различной степенью загрязнения дифференциация диапазонов концентраций проводилась с использованием квантилей. С помощью данного подхода осуществлялось деление на интервалы с равными вероятностями попадания концентрации изучаемого загрязнителя в одну из сформированных зон. При этом хорошо видно, что для всех исследуемых веществ, за исключением углеводородов С1-С10, размеры полученных зон изменились, не столь значительно, но уровни канцентраций заметно выросли, что соответствует случаям наибольшей загруженности автодорог.

## 2.4. Выводы

1. Установлено, что существующая методика оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха предполагает проведение многолетних трудоемких наблюдений. Кроме того, в данном подходе используются усредненные значения объемов выбросов автотранспортом, без учёта технического состояния автомобильного парка и без учёта фактического содержания загрязнителей в атмосферном воздухе.

2. Для изучения фактического содержания некоторых вредных веществ (оксид углерода, углеводороды и диоксиды азота и серы) в атмосферном воздухе города Владикавказ нами были проведены измерения с помощью газоанализатора «Эколаб».

3. Выполнены экспериментальные исследования зависимости концентраций изучаемых веществ в зависимости от таких параметров, как удаление прибора от автодороги, от высоты его установки, величины транспортного потока, режимов работы светофора.

4. На основе проведенных исследований разработана методика проведения измерения концентраций загрязняющих веществ, которая 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. Измерения проводятся в течение 25 минут. Для приведения полученных значений к среднему значению, необходимо учитывать только ненулевые концентрации, тем самым моделируя ситуацию измерения во время максимальной загруженности данного участка дороги.

5. Построены карты концентраций различных загрязняющих веществ по разработанной методике и по средним концентрациям.

6. При построении данных карт для выделения зон с различной степенью загрязнения дифференциация диапазонов концентраций проводилась с использованием квантилей. Показано, что для всех исследуемых веществ, за исключением углеводородов C1-C10, размеры

полученных зон изменились, не столь значительно, но уровни канцетраций заметно выросли, что соответствует случаям наибольшей загрузки автодорог.

### ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ И ОБЪЕМОВ ВЫБРОСОВ ОТ СТАЦИОНАРНЫХ И МОБИЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ В ПРИРОДНУЮ СРЕДУ Г. ВЛАДИКАВКАЗА

#### 3.1 Роль различных источников в общем уровне загрязнения природной среды

В первой главе настоящей работы было показано, что основными источниками загрязнения природной среды на территории РСО-А являются предприятия промышленности и автотранспорт. В ходе настоящей работы были собраны и проанализированы все имеющиеся данные по динамике объемов выбросов от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А за 1997-2015 гг. (рис. 3.1). Данные, приводимые после 2015 года, нами не были учтены, т.к. была изменена методика расчёта объемов выбросов, применяемая Министерством природных ресурсов и экологии Республики Северная Осетия-Алания при подготовке Государственных докладов. Это сделало невозможным сравнение данных за период с 1997 по 2015 годы с периодом после 2015. При этом выбор периода с 1997 по 2015 годы обусловлен значительно большей продолжительностью.

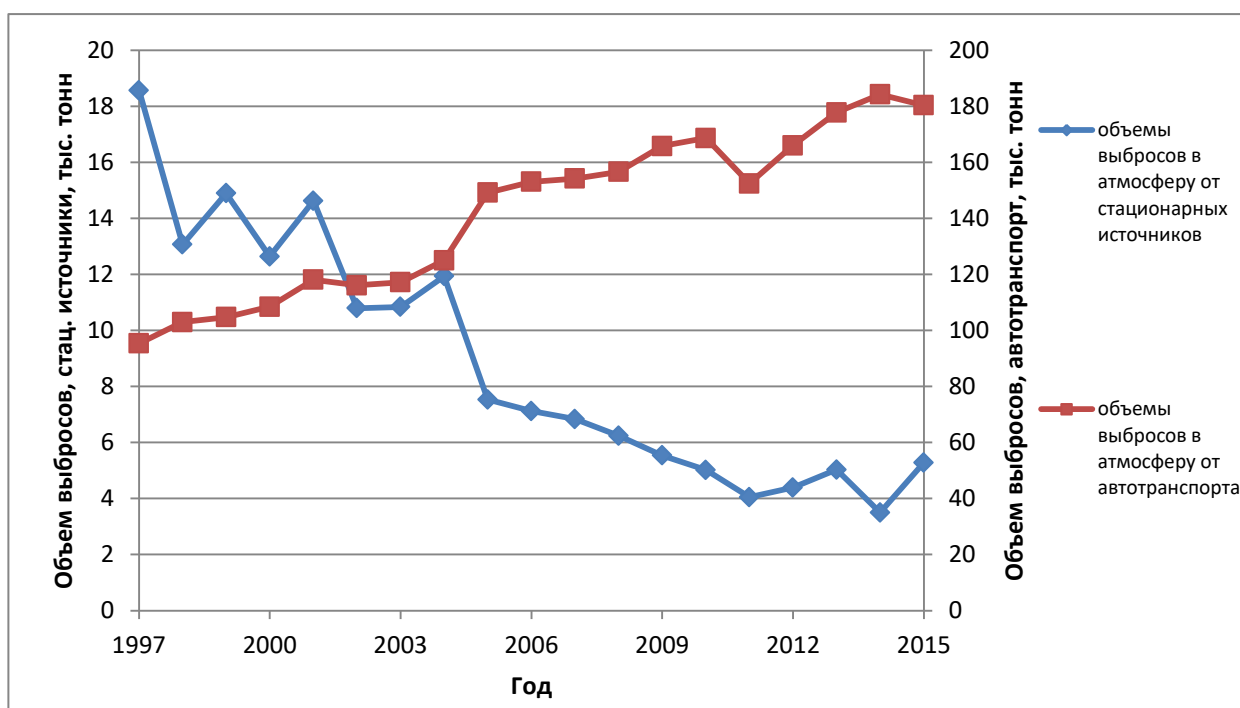


Рисунок 3.1. Динамика объемов выбросов от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А за 1997-2015 гг.

На данном графике для каждого из источника выбросов использовалась

собственная ось ординат, т.к. объемы выбросов отличались весьма значительно, ось ординат для стационарных источников приведена слева, для автотранспорта – справа. Как видно из представленных графиков, основным загрязнителем атмосферного воздуха в РСО-Алания является автомобильный транспорт, на порядок превышая объемы выбросов, осуществляемых стационарными источниками.

В данном случае оценивалось общее количество выбросов всех загрязняющих веществ. Но оценивать вред, наносимый природной среде, только по объему выбросов является некорректным, т.к. в выбросах от стационарных источников присутствует большое количество тяжелых металлов, при этом вред от их поступлений может превышать вред от выбросов газообразных соединений, характерных для автомобильного транспорта. Применяя методику, которая использовалась при определении количества выбросов от автомобильного транспорта в Государственных докладах Министерства природных ресурсов и экологии Республики Северная Осетия-Алания нами были рассчитаны выбросы определенных химических соединений, которые можно сравнить напрямую с выбросами от стационарных источников (рис. 3.2-3.4).

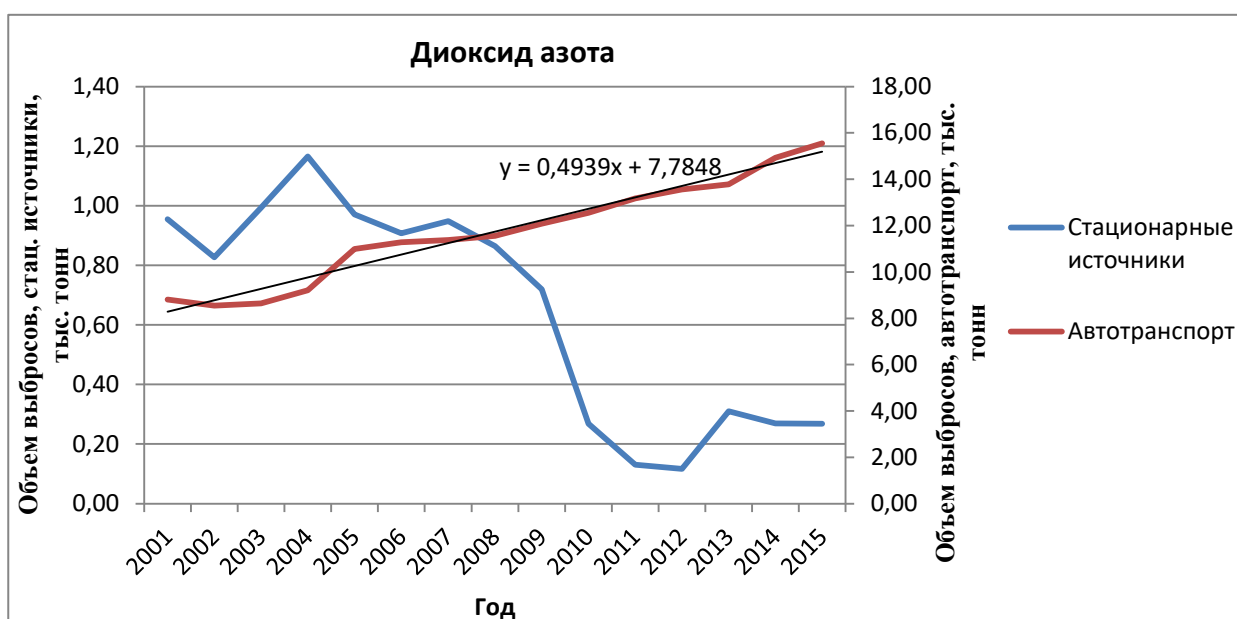


Рисунок 3.2. Динамика объемов выбросов диоксида азота от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А за 2001-2015 гг.

Установлено, что рост поступлений в атмосферу загрязняющих

веществ от автомобильного транспорта растёт линейно, подобно росту количества автотранспорта. При этом величина достоверности аппроксимации  $R^2$  равна 0,97.

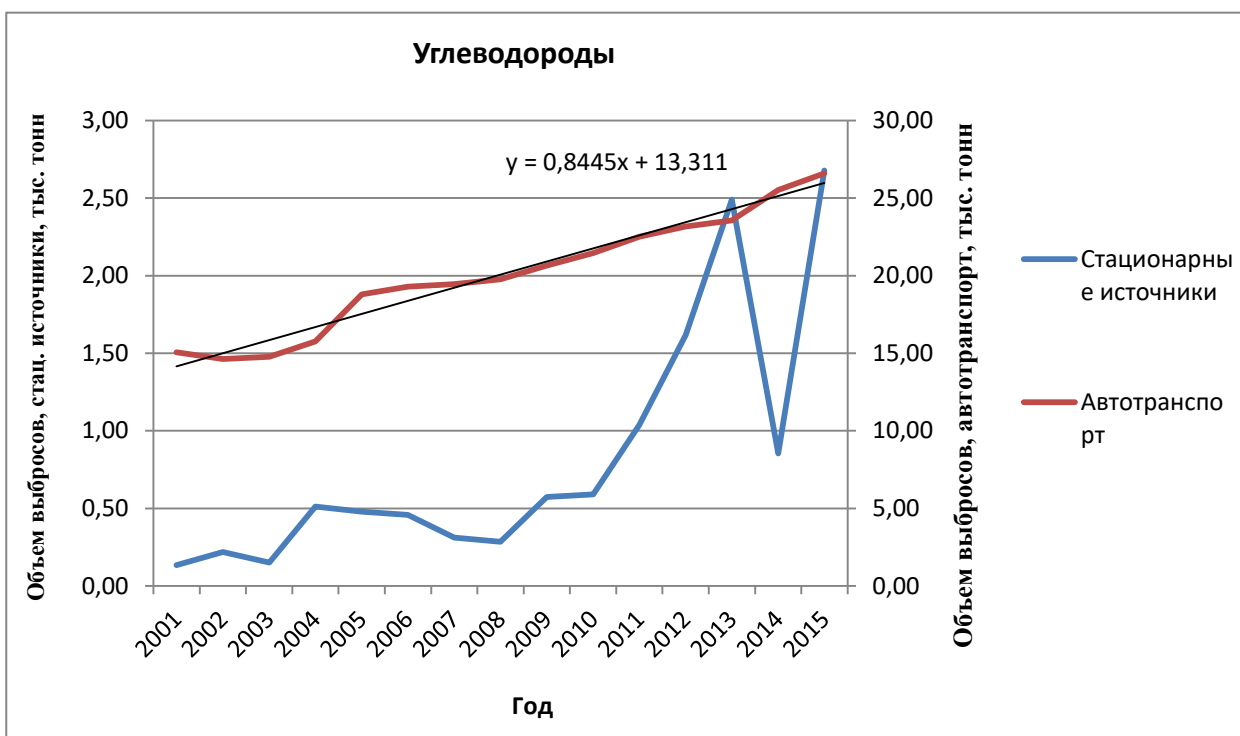


Рисунок 3.3. Динамика объемов выбросов углеводородов от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А за 2001-2015 гг.

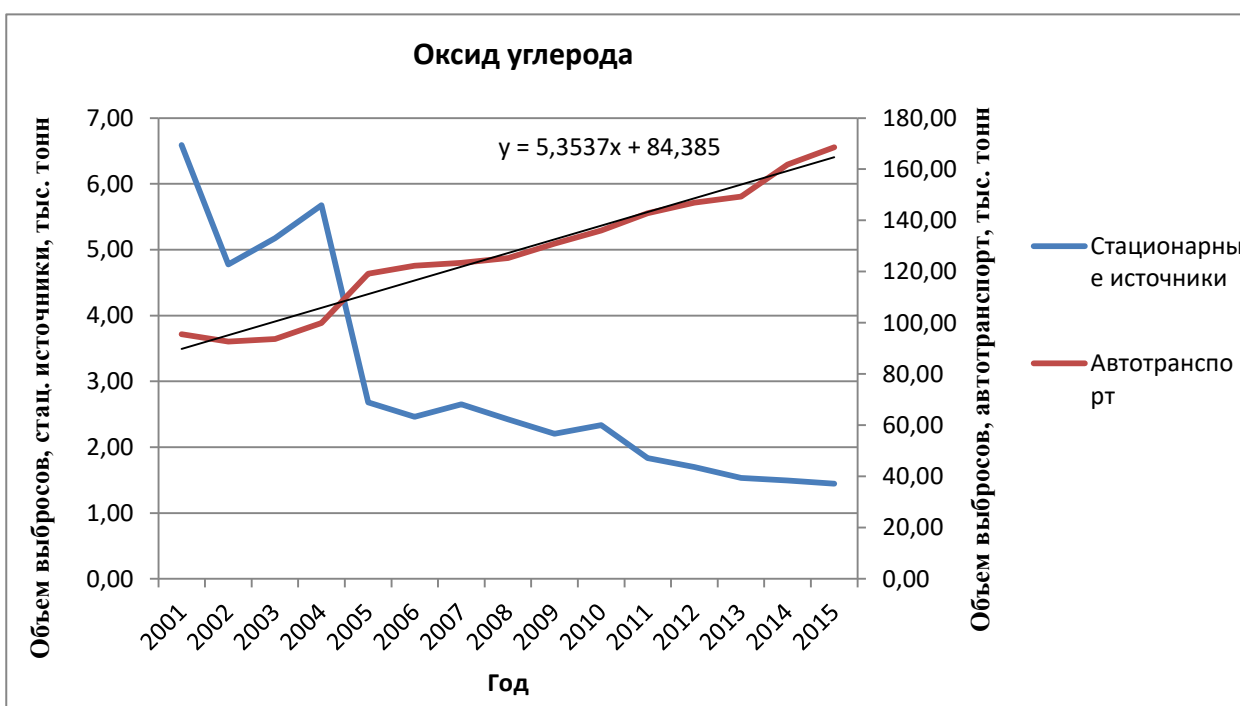


Рисунок 3.4. Динамика объемов выбросов оксида углерода от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А за 2001-2015 гг.

Лабораториями ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в РСО-Алания»

Роспотребнадзора и ГБУ «ЦЭС ГСМ» Минприроды РСО-Алания проводятся многолетние регулярные исследования содержания вредных веществ в атмосферном воздухе по основным автомагистралям города в 9 точках, из них в 6 – по городу и 3 – на въезде в город с одномоментным подсчетом количества проезжающего автотранспорта. В качестве примера на рисунке 3.5 приведены данные наблюдений за один год.

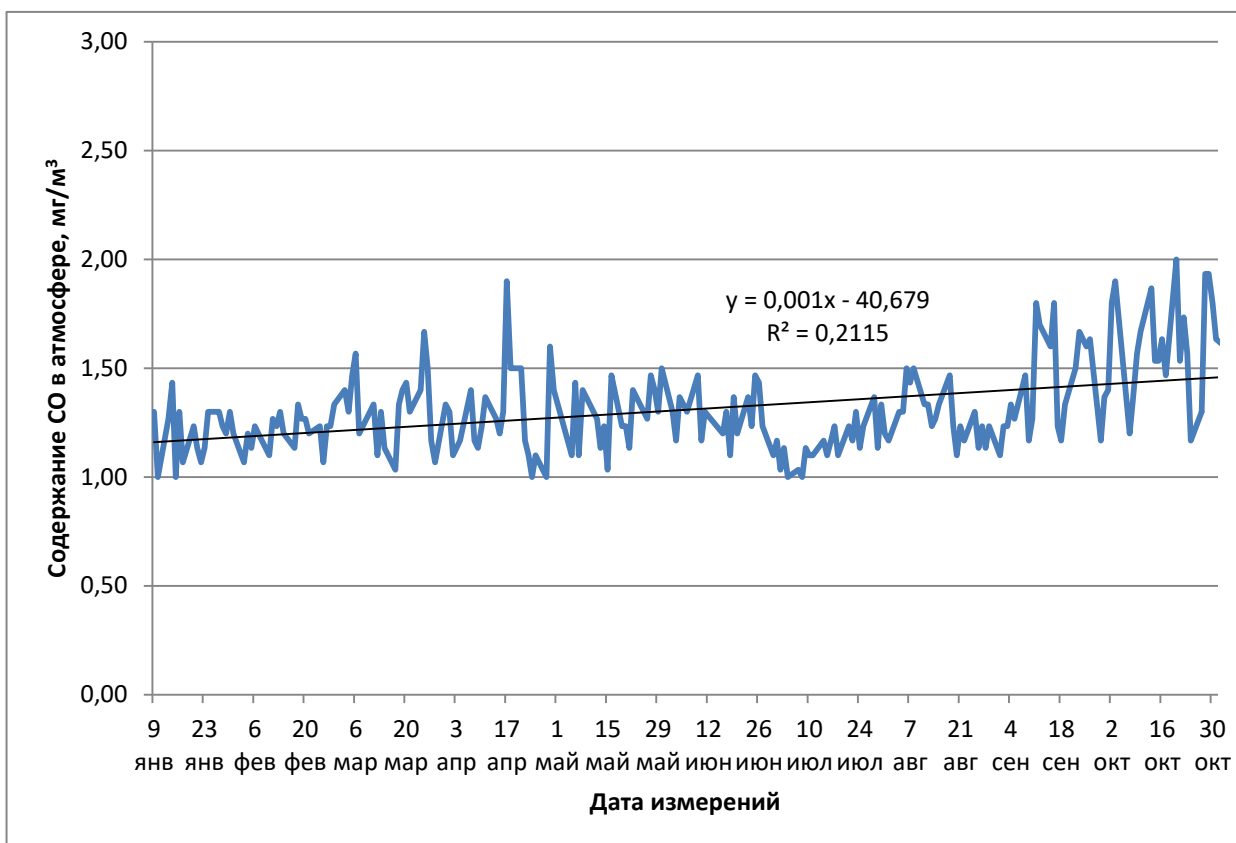


Рисунок 3.5. Среднесуточные концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе в течение года, мг/м<sup>3</sup>

Как уже указывалось в первой главе, двигатели внутреннего сгорания не являются единственным источником загрязнения природной среды, заметный вклад вносят автомобильные шины. Нами были изучены существующие работы по оценке загрязнения природной среды продуктами износа шин, проведенных в разных странах [Yamashina, Miyazawa, 1984; Fukuzaki, Yanaka, & Urushiyama, 1986; Sadiq, et al., 1989; Adachi, Tainosho, 2004; Suryawanshi, 2016; Rivas et al., 2017; Roy et al., 2019]. Усредненные показатели износа, по всем указанным данным, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Величина износа автомобильных шин

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

На основе таблицы 3.1 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 природную среду города выбрасывается порядка 258 тонн продуктов износа шин, что составляет 860 грамм на одного жителя.

Таким образом, достоверно установлено, что основным источником выбросов загрязняющих веществ в природную среду города Владикавказа является автомобильный транспорт, на порядок превосходя выбросы от стационарных источников.

### **3.2 Экспериментальные исследования концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Владикавказа**

Для изучения фактического содержания некоторых вредных веществ (оксид углерода, углеводороды и диоксиды азота и серы) в атмосферном воздухе города Владикавказ нами были проведены измерения в более чем 70 точках на его территории (рис. 3.6, табл. П1), при этом измерения проводились как на оживленных, так и на относительно «спокойных» улицах [Заалишвили и др., 2021; Заалишвили и др., 2022]. Экспериментальные исследования проводились с помощью газоанализатора «Эколаб» (рис. 3.7-3.8). Газоанализатор выполнен в виде портативного моноблока со встроенными датчиками различной физической природы (фотометрический, термокаталитический, электрохимический, сорбционный, полупроводниковый и др.)

Измерения проводились согласно методике, приведенной во второй главе настоящей работы.

Изначально город разбивался равномерной сеткой с размером ячейки 500x500 м. Впоследствии, на месте точки наблюдения вносились корректировки, выбиралась ближайшая точка возле автодороги. Перед началом наблюдений прибор «прогревался» в течение пяти минут.

Технические характеристики газоанализатора «Эколаб», используемого в экспериментальных наблюдениях, приведены в таблице 3.2. Данный прибор

имеет модификацию АР.

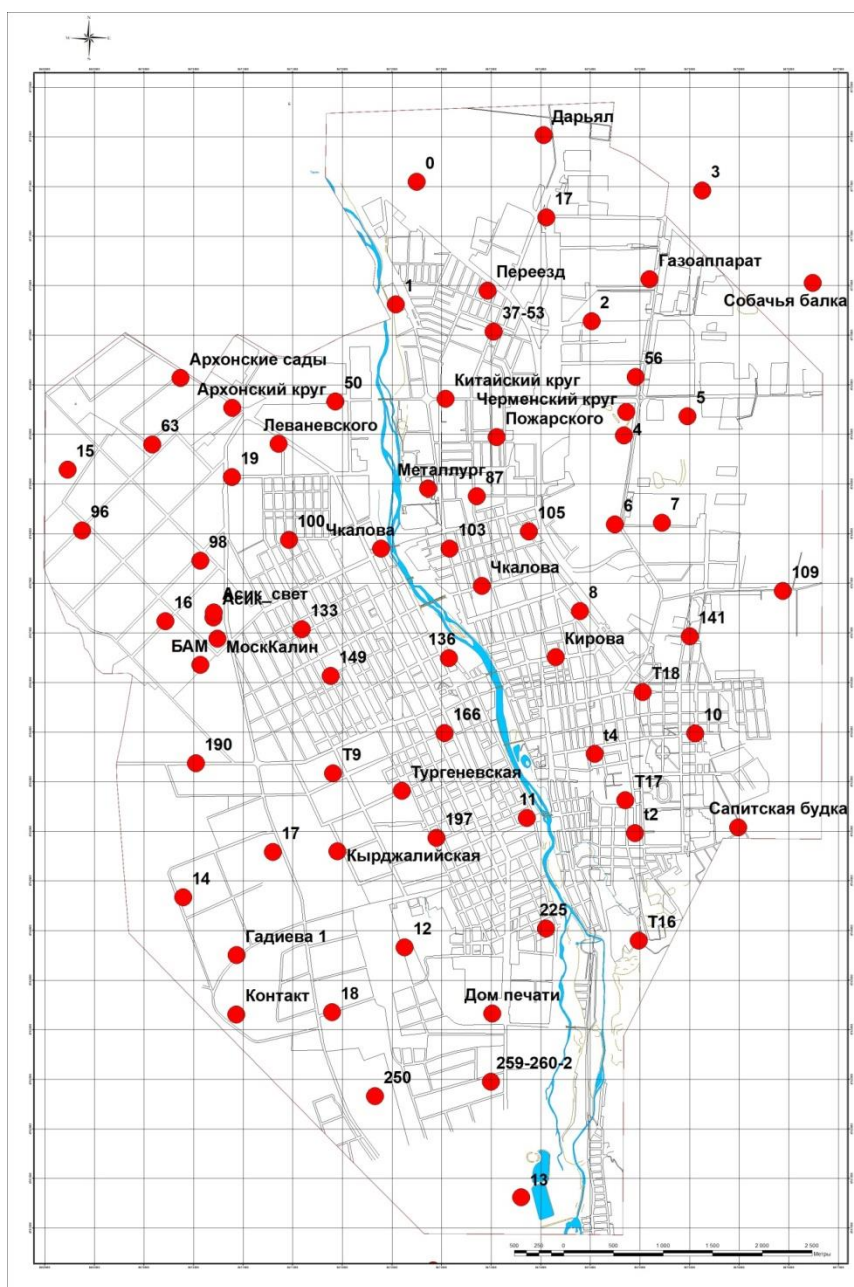


Рисунок 3.6. Карта-схема местоположения точек наблюдений.

Таблица 3.2. Технические характеристики газоанализатора «Эколаб»

Диапазоны измерения вредных веществ	
А — атмосферный воздух	от 0,2 ПДК с.с. — до 0,5 ПДК р.з.
Р — воздух рабочей зоны	от 0,5 ПДК р.з. — до 20 ПДК р.з.
АР — расширенный диапазон	от 0,2 ПДК с.с. — до 20 ПДК р.з.
Пределы основной относительной погрешности	± 20%

измерений, не более Предел допускаемой дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры природной среды	на каждые 10°C, в диапазоне от + 5°C до + 50°C, должен быть не более 0,2.
Продолжительность отбора одной пробы, с	от 5 до 30
Время прогрева прибора, не более	5 мин.
Питание газоанализатора	а) от сети переменного тока 220 В 50 Гц б) от встроенного аккумулятора
Время непрерывной работы от аккумулятора, не менее	6 часов. Важно: время работы указано для прибора без установленных в него датчиков.
Габаритные размеры, мм	210 x 170 x 85
Масса прибора, не более	2 кг
Метрологическое обеспечение	Государственная поверка, межповерочный интервал — 1 год
Гарантия со дня первичной государственной поверки	12 месяцев



Рисунок 3.7. Измерения концентрации загрязняющих веществ



Рисунок 3.8. Измерения концентрации загрязняющих веществ

Газоанализатор «Эколаб» имеет встроенные датчики для определения температуры, атмосферного давления и относительной влажности воздуха. Кроме встроенных датчиков газоанализатор был доукомплектован датчиками для определения концентраций следующих веществ: оксид углерода (CO), диоксид азота (NO<sub>2</sub>), углеводородов (C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>) и диоксида серы (SO<sub>2</sub>). Измерения проводимые в помощью газоанализатора заносятся в энергонезависимую память. Для дополнительных датчиков записываются значения концентраций в двух единицах измерений: ppm и мг/м<sup>3</sup>.

### **3.3 Оценка сезонного влияния на концентрацию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе**

Первые измерения проводились в конце весны/начале лета, в сухую погоду, при этом плотность трафика на улицах была низкой, т.к. число машин значительно сокращалось из-за отсутствия занятий у школьников и студентов. В подобный период времени пробки в городе практически отсутствуют. 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. В осенний период плотность трафика значительно выше, что отразилось на возросшем уровне содержания оксида углерода и диоксида серы.

На рисунке 3.9 приведены концентрации измеряемых веществ в весенне-летний и осенний периоды по всем точкам наблюдений. В данном представлении не удастся чётко выделить характер измерений, так как для различных точек наблюдается как увеличение, так и уменьшение измеренных концентраций для различных периодов наблюдений. Для получения более наглядного представления о сезонном влиянии на уровень содержания загрязнителей в атмосферном воздухе была проведена сортировка по летним показателям (рис. 3.10), с одновременной перестановкой осенних. При сглаживании осенних показателей (рис. 3.11) видно, что по сравнению с летним периодом, в осенний период концентрация диоксида серы и оксида углерода увеличилась.

Полученные данные хорошо согласуются с работой [Cichowicz et al., 2017], согласно которой концентрации веществ, выбрасываемых автомобильным транспортом в атмосферный воздух, имеют сезонный характер, и в летний период их значения концентрации (диоксид серы и оксид углерода) минимальны.

Для сопоставления интегральных ситуаций рассматривались карты пространственного распределения оксида углерода и диоксида азота в летний и осенний период (рис. 3.12- 3.14). Несмотря на более высокое значение количества автомобильного транспорта на улицах, и увеличение концентрации угарного газа, концентрация диоксида азота уменьшилась вследствие значительно более высокого уровня влажности. Полученные результаты согласуются с результатами подобных исследований, проведенных за рубежом [Janta et al, 2020].

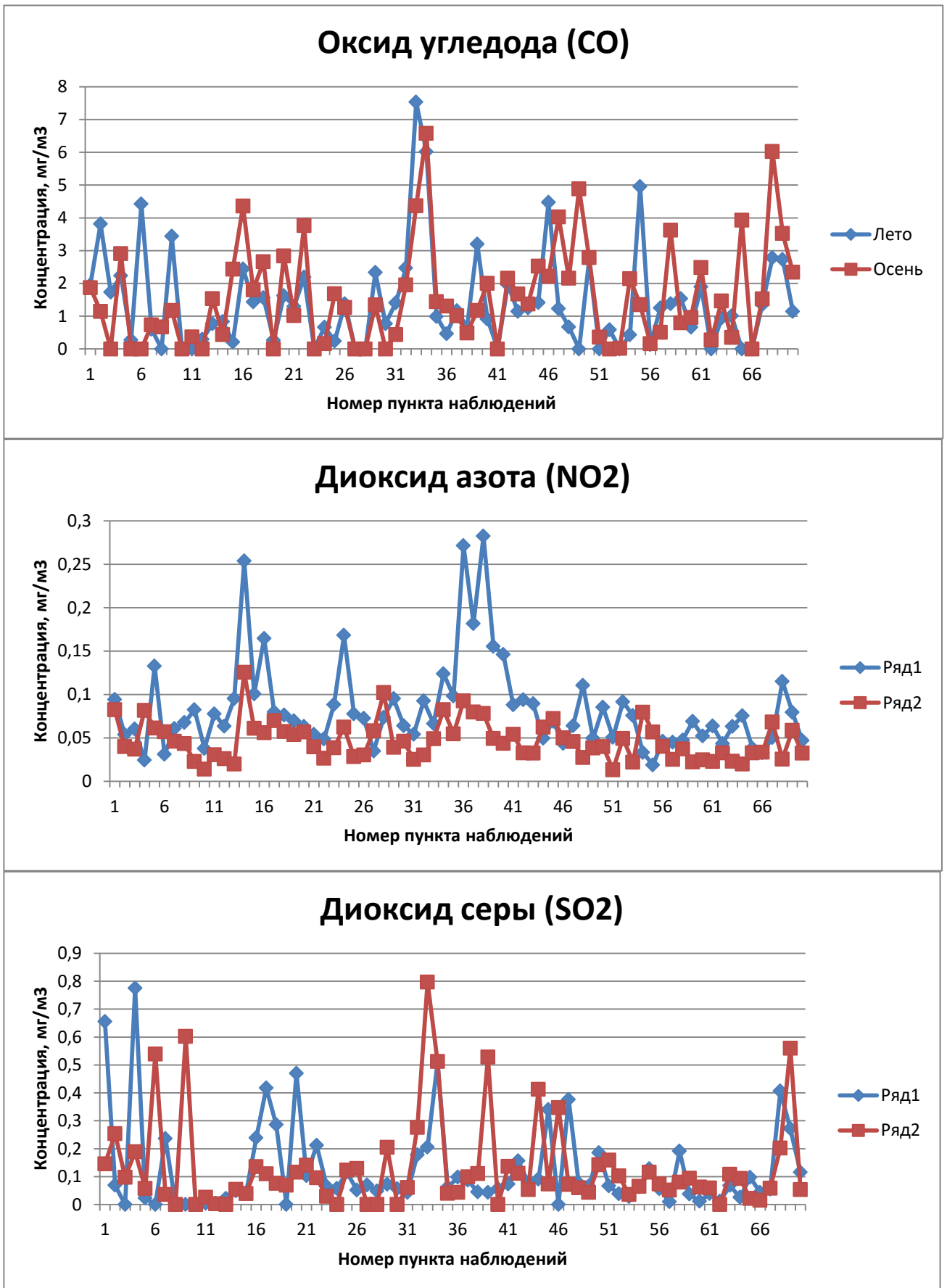


Рисунок 3.9. Концентрации измеряемых показателей в различное время по пунктам измерений

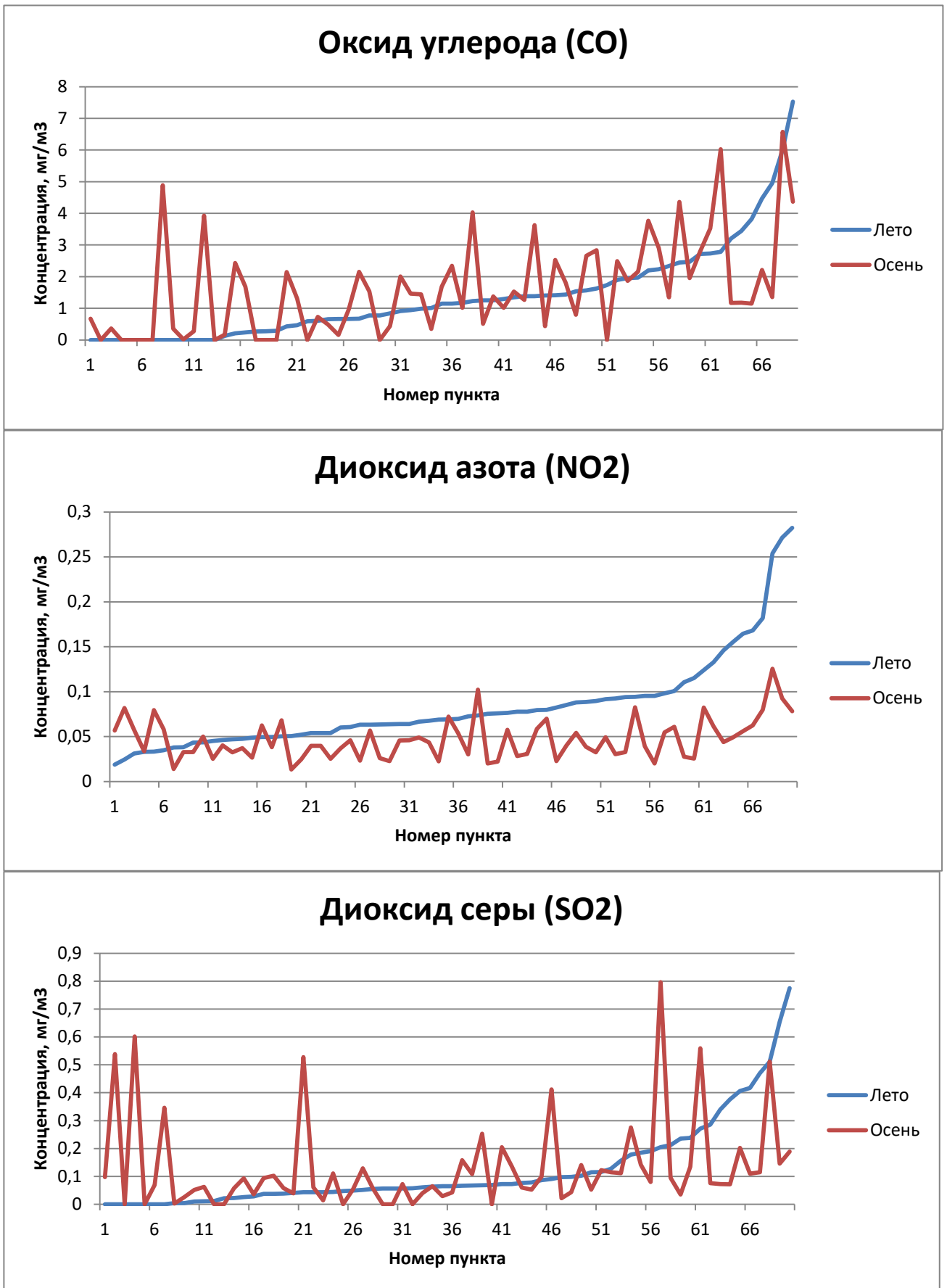


Рисунок 3.10. Отсортированные по летним значениям концентрации измеряемых показателей в различное время по пунктам измерений

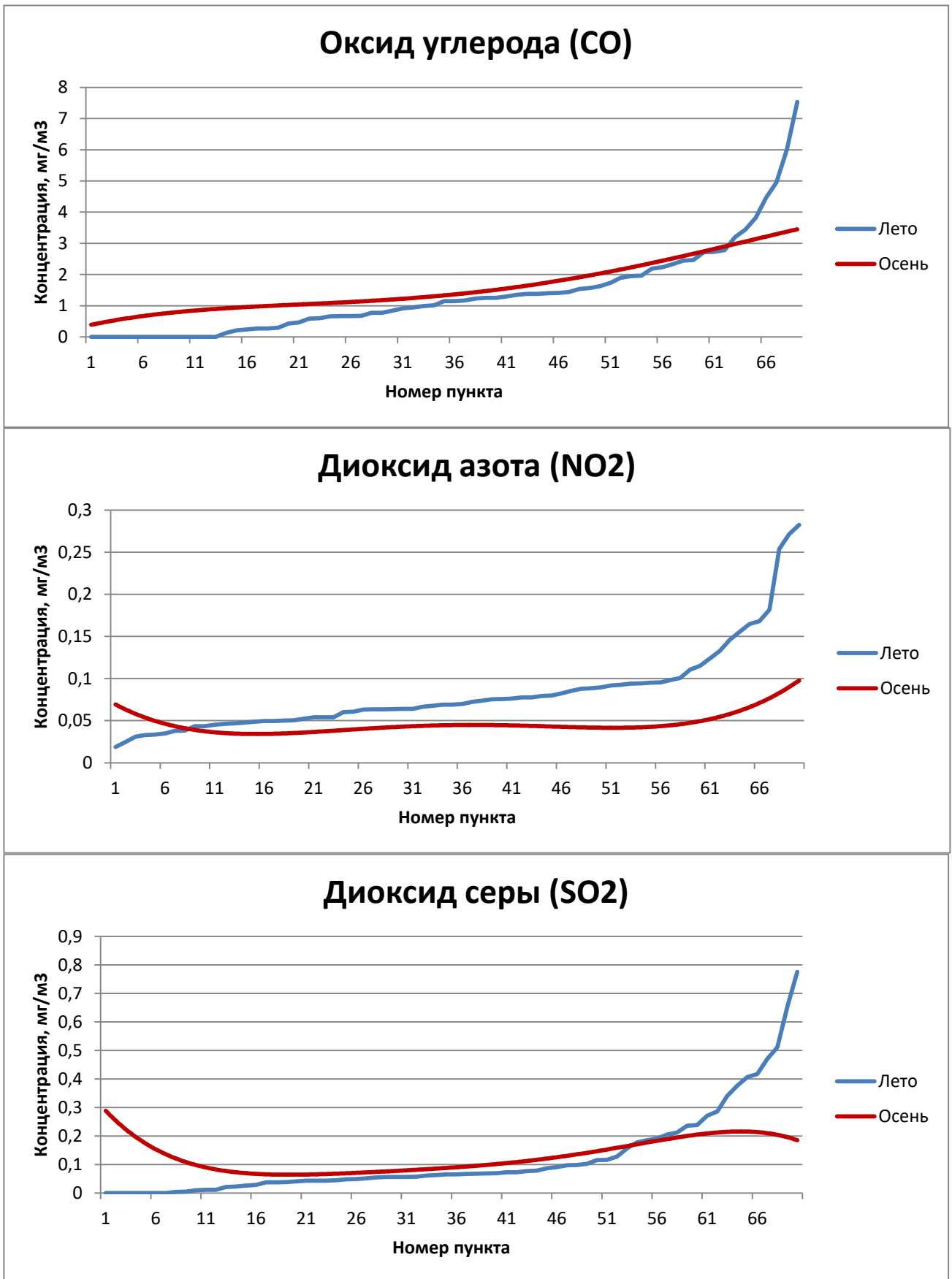


Рисунок 3.11. Отсортированные по летним значениям сглаженные концентрации CO, NO<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub> в различное время по пунктам измерений



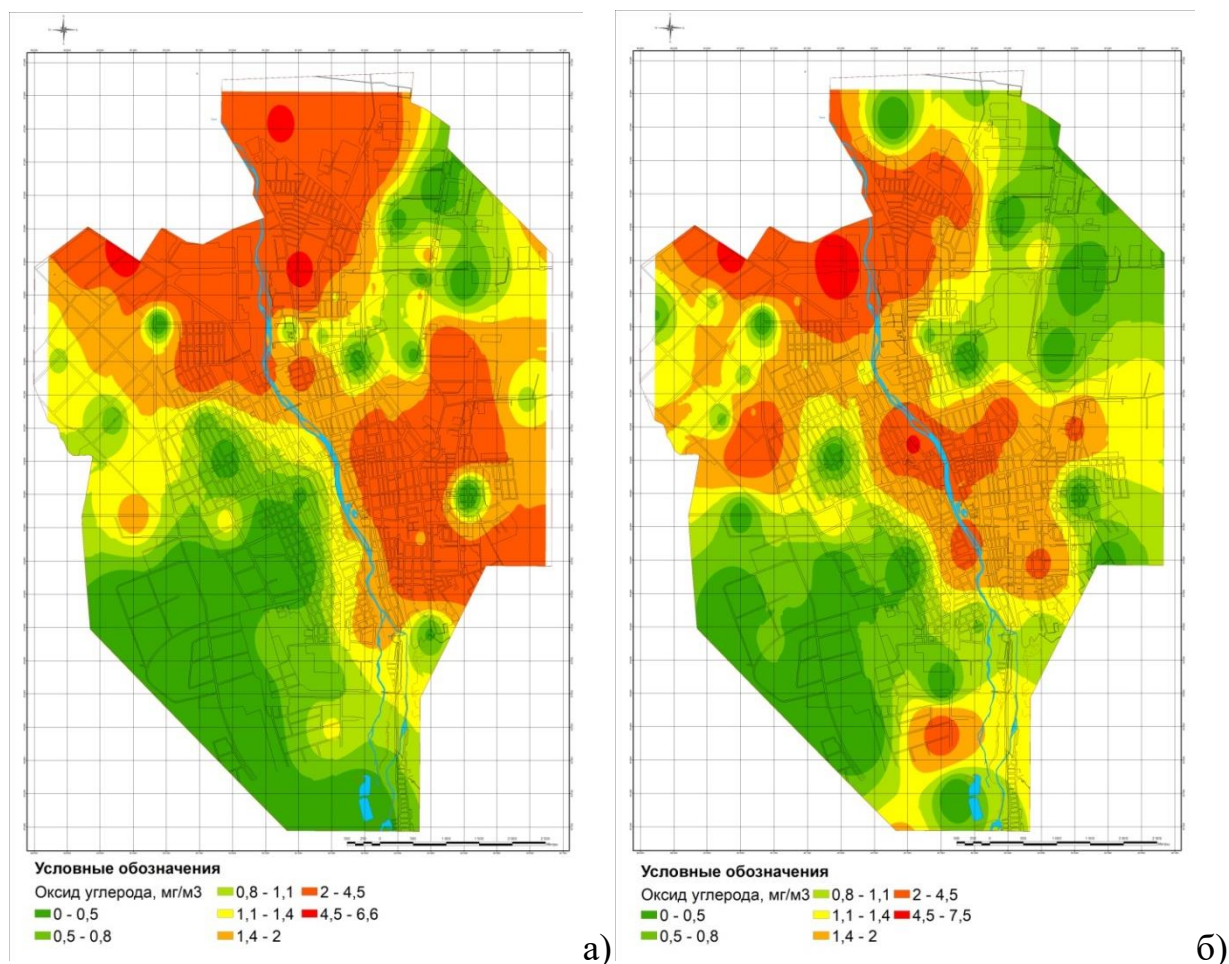


Рисунок 3.12. Концентрация оксида углерода в различные периоды: а) – в осенний период, б) – в летний период.

Для того чтобы можно было наглядно сравнивать между собой карты, построенные по данным, полученным в разные периоды измерений, дифференциация по уровням концентраций проводилась также с помощью квантилей для карт, построенных для весенне-летнего периода. Для осеннего же периода квантили не использовались, значения диапазонов значений концентрации дублировались с весенне-летнего периода. Это позволило присвоить каждому из диапазонов одни и те же цвета. Необходимо только учитывать, что для осеннего периода диапазонам наибольших уровней концентраций диоксида серы и оксида углерода соответствуют более высокие максимальные значения.

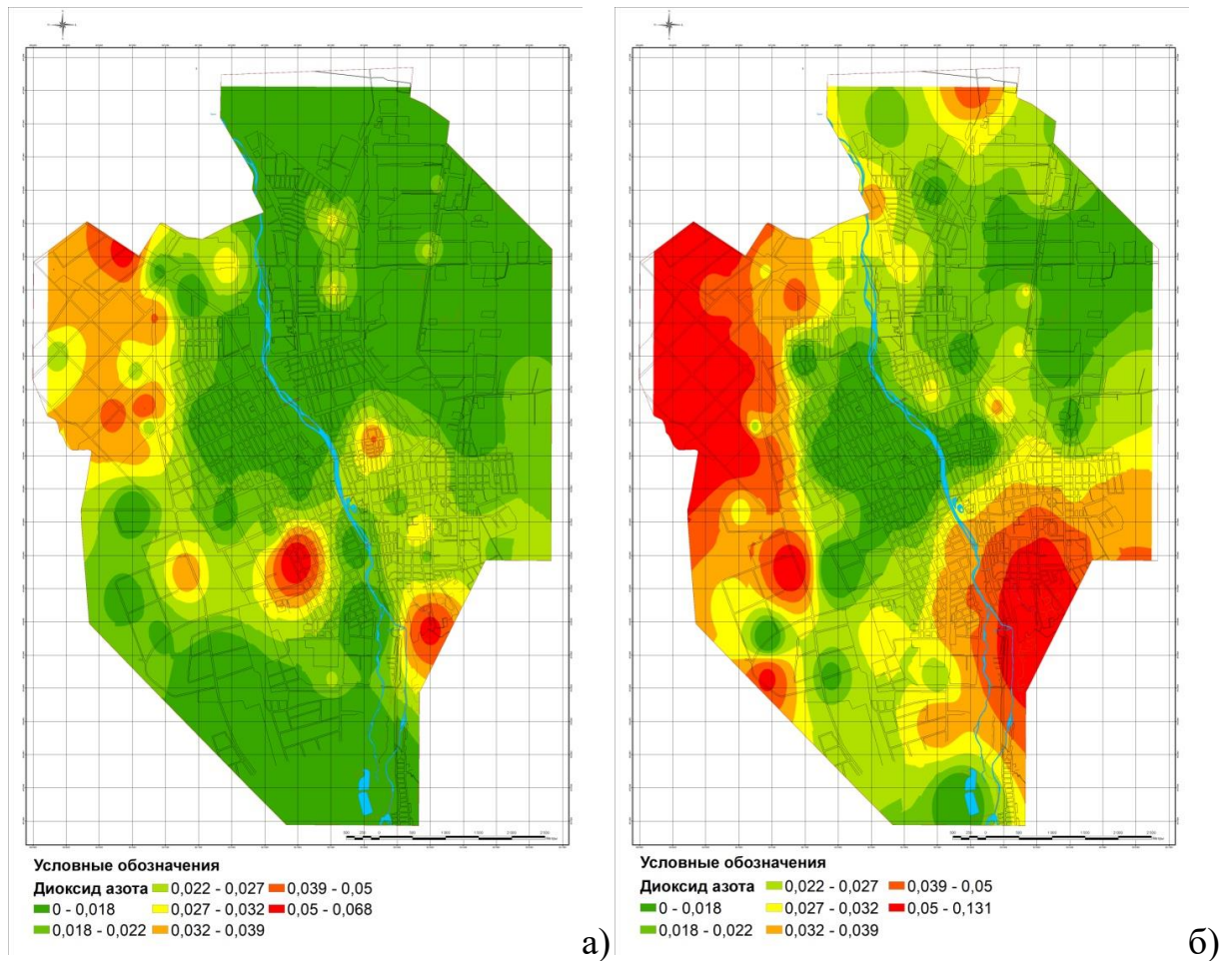


Рисунок 3.13. Концентрация диоксида азота в различные периоды: а) – в осенний период, б) – в летний период.

Таким образом, достоверно установлено, что концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе имеют сезонный характер и при высокой среднесуточной температуре их значения минимальны. При этом, для диоксида азота в случае высокой относительной влажности воздуха ситуация может быть противоположной.

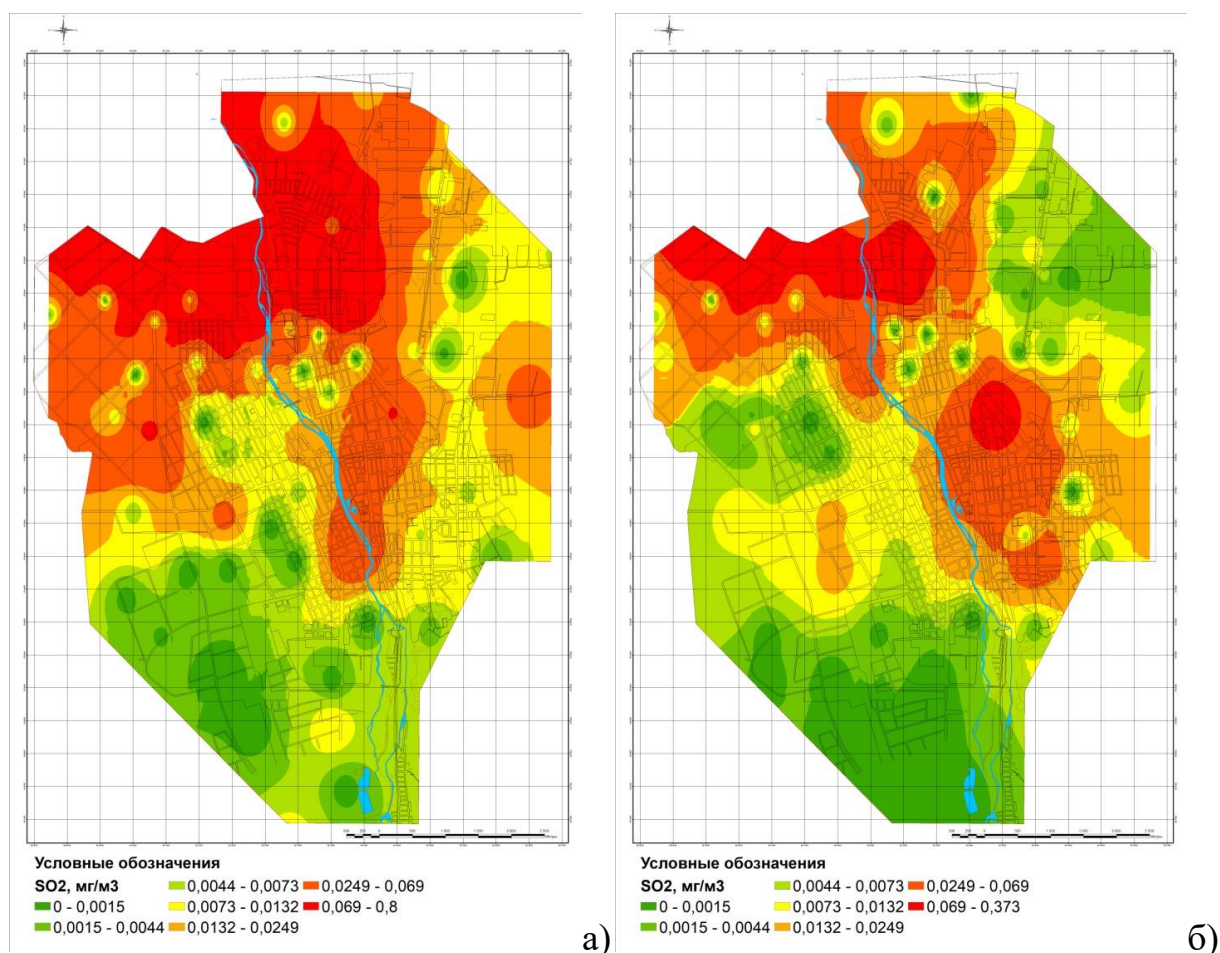


Рисунок 3.14. Концентрация диоксида серы в различные периоды: а) – в осенний период, б) – в летний период.

Данный факт необходимо учитывать при подготовке итоговой интегральной карты загрязнения атмосферного воздуха. В следующей главе будет представлена разработка подобного интегрального показателя, при расчёте которого учитывались измерения, полученные в периоды максимальной концентрации изучаемых веществ.

### 3.4 Выводы

1. В процессе выполнения настоящей работы были собраны и проанализированы все имеющиеся данные по динамике объемов выбросов от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А.
2. Установлено, что рост поступлений в атмосферу загрязняющих веществ от автомобильного транспорта растёт линейно, подобно росту количества

автотранспорта и основным загрязнителем атмосферного воздуха в РСО-Алания является автомобильный транспорт, превышая на порядок объемы выбросов, осуществляемых стационарными источниками.

3. Двигатели внутреннего сгорания не являются единственным источником загрязнения природной среды, заметный вклад в загрязнение вносят также автомобильные шины. На основе известных исследований по оценке загрязнения природной среды продуктами износа шин, проведенных в разных странах, установлено, что в год в природную среду города Владикавказа, помимо выбросов двигателями внутреннего сгорания, выбрасывается порядка 258 тонн продуктов износа шин, что составляет около килограмма на одного жителя.

4. Для изучения фактического содержания некоторых вредных веществ (оксид углерода, углеводороды и диоксиды азота и серы) в атмосферном воздухе города Владикавказ нами были проведены измерения в более чем 70 точках на его территории. Экспериментальные исследования проводились с помощью газоанализатора «Эколаб».

5. 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.

6. По данным, полученным в результате экспериментальных исследований, построены карты концентраций загрязнителей атмосферного воздуха в различные периоды, в осенний и весенне-летний период.

7. Установлено, что концентрации веществ, выбрасываемых автомобильным транспортом в атмосферный воздух, имеют сезонный характер, и в летний период их величина (для диоксида серы и оксида углерода) меньше, чем в осенний период. При этом концентрация диоксида азота уменьшается в осенний период вследствие значительно более высокого уровня влажности.

## **ГЛАВА 4. ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ЕГО НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ**

### **4.1 Влияние загрязнения природной среды на здоровье населения. Перенос загрязняющих веществ преобладающими воздушными потоками**

Негативное воздействие избыточного количества тяжелых металлов в природной среде на здоровье человека выявляется на основе анализа экотоксикологической обстановки в биогеохимических провинциях и здоровья длительно проживающих здесь людей. Используются также результаты анализа закономерностей распространения профзаболеваний в областях производств, вызывающих загрязнение природной среды химическими элементами [Алборов и др., 2013; Заалишвили и др., 2019; Бериев, 2015] (таблица 4.1).

В 2016 году Геофизическим институтом ВНЦ РАН проводилось исследование экологического состояния почв г. Владикавказа. 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. В качестве примера пространственного распределения тяжелых металлов приведены карты распределения свинца и кадмия (рисунок 4.1).

Таблица 4.1 – Избирательная токсичность для человека некоторых ТМ

Элемент	Заболевания
Мышьяк	Рак лёгких, кожные болезни, изъязвление, гематологические эффекты, анемия
Бериллий	Дерматиты, воспаление слизистых оболочек
Кадмий	Острые и хронические респираторные заболевания, почечная дисфункция, злокачественные образования
Хром	Рак лёгких, злокачественные образования желудочно-кишечного



Элемент	Заболевания
	тракта, дерматиты
Свинец	Нарушения кроветворения, повреждение печени и почек, неврологические эффекты
Ртуть	Воздействие на нервную систему, нарушение краткосрочной памяти, нарушение координации, почечная недостаточность
Никель	Респираторные заболевания, астма, поражение плода, уродства
Ванадий	Раздражение дыхательных путей, астма, нервные расстройства, изменение формулы крови

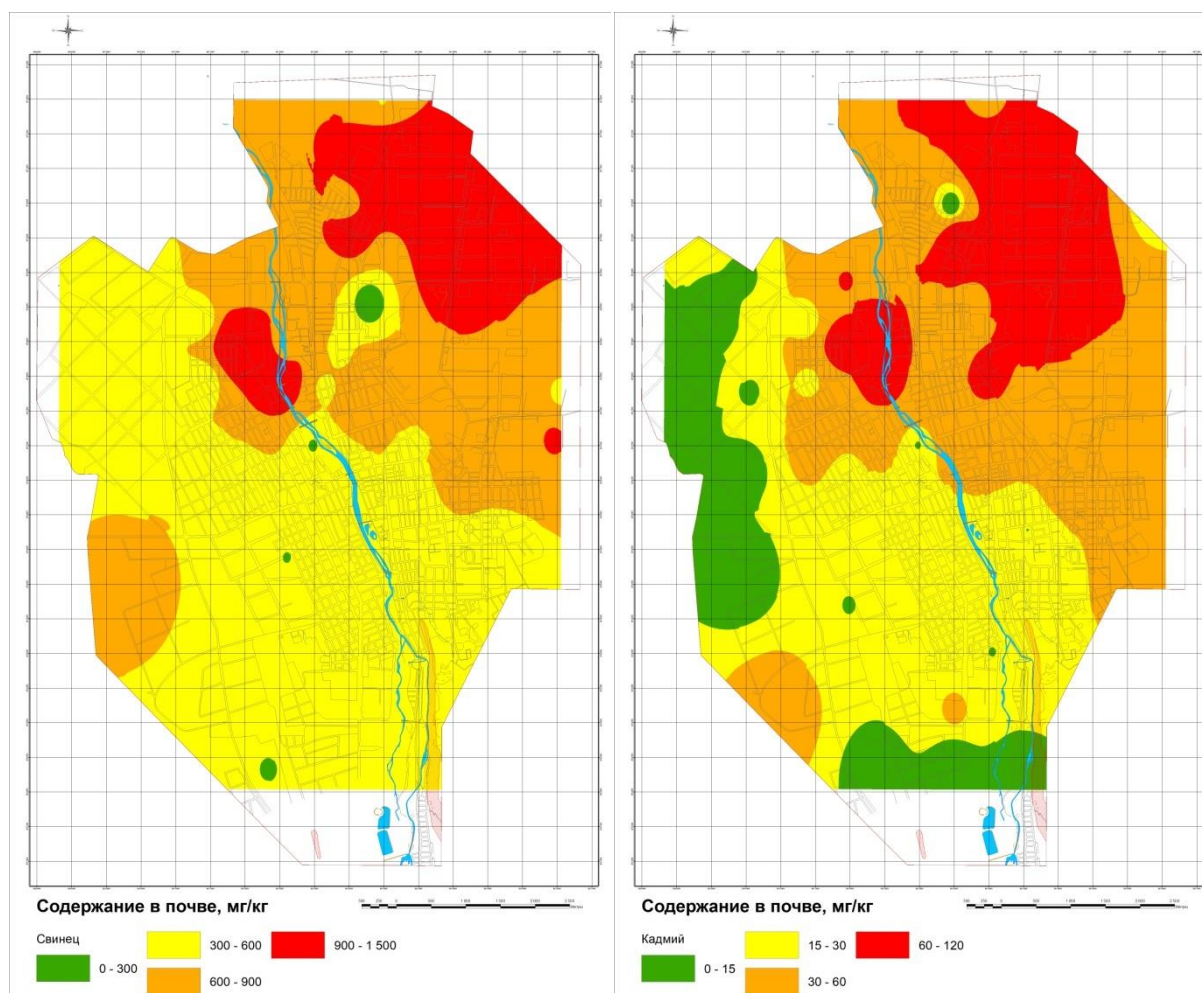


Рисунок 4.1. Содержание тяжелых металлов в почвах г. Владикавказа.

По результатам исследований было установлено, что вся исследуемая территория является чрезвычайно загрязненной, но наибольшие ареалы

загрязнений тяжелыми металлами расположены вблизи предприятий и выделение вклада автотранспорта представляется весьма сложной задачей. При этом уровень загрязнения автотранспортом, как было показано выше, на порядок превосходит стационарные источники по ряду других загрязнителей, формируя наибольший ущерб для качества атмосферного воздуха.

Значительное влияние оказывают погодные условия. В соответствии с направлением преобладающих ветряных потоков формируются области наибольшей загрязненности почв. По данным Росгидромета о повторяемости направлений ветра в 2013 году была составлена Роза ветров г. Владикавказа (рис. 4.2).



Рисунок 4.2. Роза ветров г. Владикавказа. Штиль – 15% повторяемость

Тем не менее, выборка за один год может значительно отличаться от средних значений повторяемости преобладающих направлений ветров. На сайте <https://lakka-sails.ru/winds/> собраны фактические "срочные" данные от различных метеостанций на территории РФ за период с 2008 по 2018 года. Информация на указанном сайте составлена из опубликованных в свободном доступе данных подразделениями Росгидромета (ВНИИГМИ-МЦД). Нами

был проанализирован весь имеющийся материал и построены средние десятилетние Розы ветров по всем сезонам за указанный период (рис. 4.3). Как видно из представленных данных, значительные сезонные изменения в преобладающих направлениях ветра отсутствуют. Из среднегодовой Розы ветров за десятилетний период (рис. 4.4) видно, что преобладающим направлением направления ветра является южное.

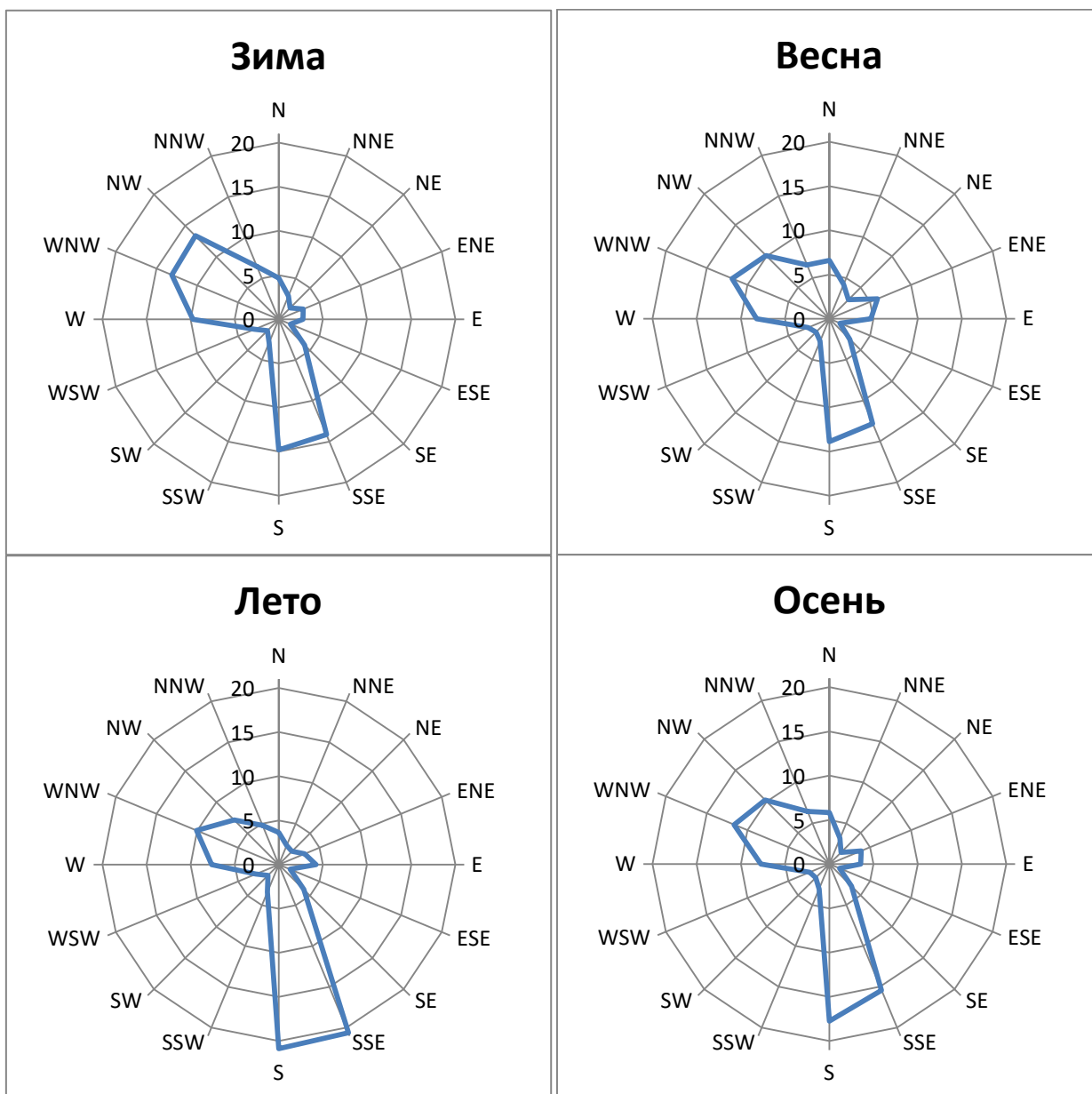


Рисунок 4.3. Сезонные Розы ветров г. Владикавказа за 2008-2018 года.

Штиль (повторяемость) зима – 22,90%, весна – 15,00%, лето – 12,70, осень –

21,00



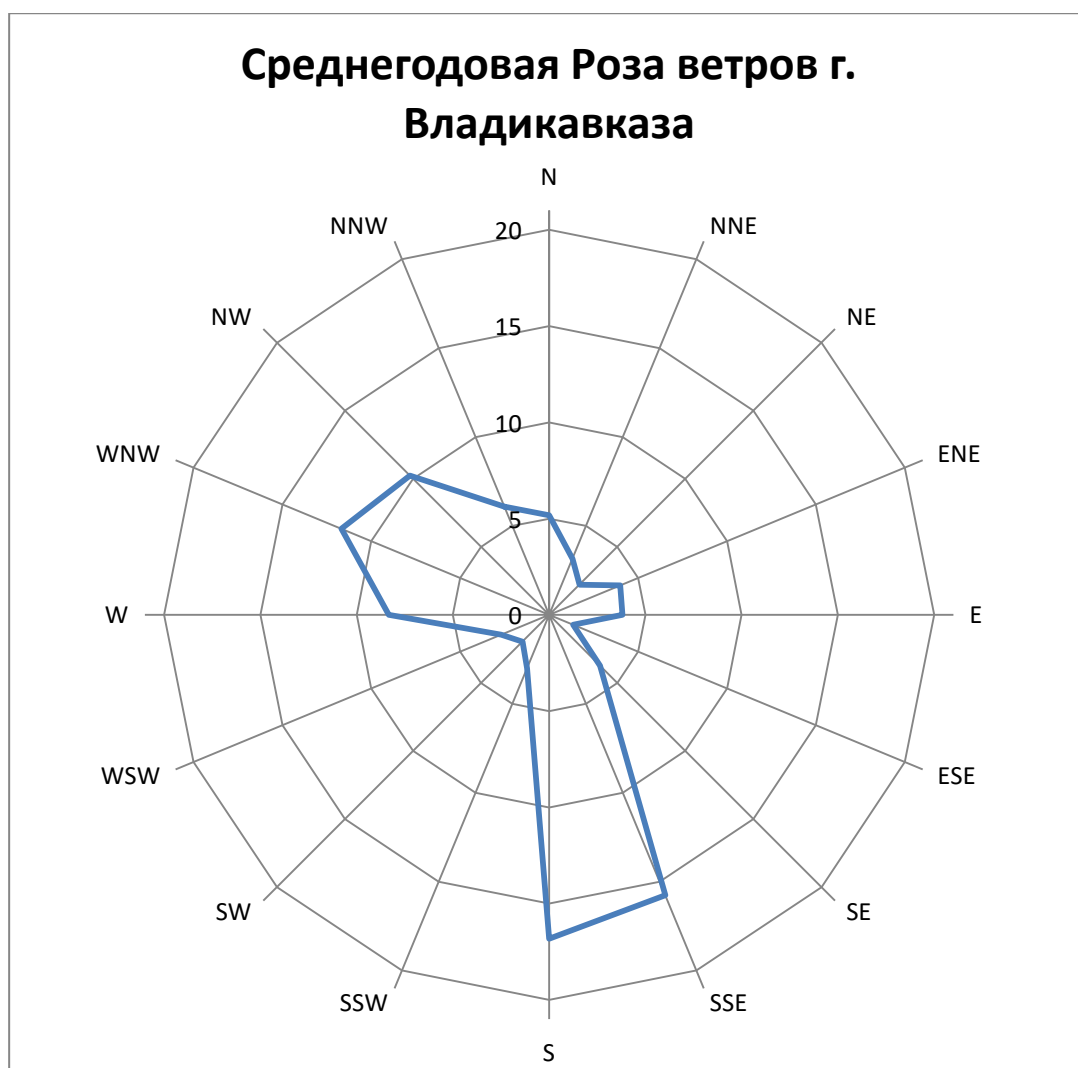


Рисунок 4.4. Среднегодовая Роза ветров г. Владикавказа за 2008-2018 года.

Штиль – 17,9% повторяемость

Как было указано ранее, скорость ветра непосредственно влияет на площадь загрязненных территории, чем она выше, тем больше ширина зон в которых концентрации вредных веществ максимальны. Большое значение имеет также и влажность воздуха, т.к. в условиях её повышенных значений может наблюдаться конденсация загрязнителей в жидкую форму, которая имеет значительно меньшую миграционную способность.

В рамках ранее проведенных исследований Геофизического института [Заалишвили и др., 2013; Burdzieva et al., 2016; Бурдзиева и др., 2019] была составлена карта онкозаболеваемости населения г. Владикавказа (рис. 4.5).

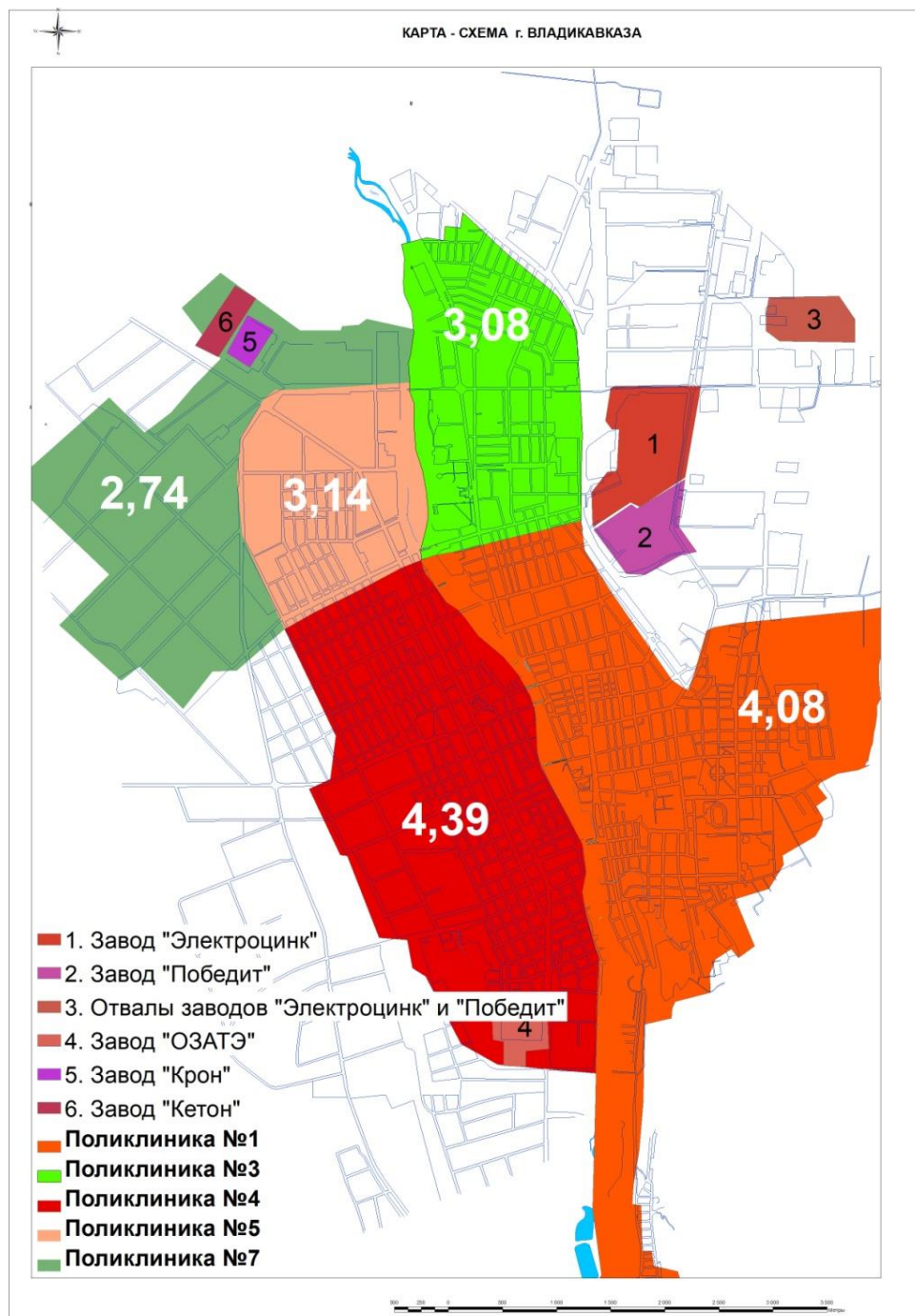


Рисунок 4.5. Заболеваемость новообразованиями по территории городских поликлиник.

Из-за высокого уровня выбросов от промышленных предприятий, выделить вклад загрязнения, осуществляемого автомобильным транспортом, в заболеваемость населения представляется достаточно сложной задачей. Тем не менее, определенная корреляция всё же прослеживается. Так, наибольшие показатели заболеваемости достигаются у жителей южной части города. Уровень загрязнения атмосферы автомобильным транспортом -

наибольший в центральной (исторической) и северной частях города. Тем не менее, в соответствие с преобладающими воздушными потоками в городе (Роза ветров), загрязненный воздух северной части переносится в южную часть преобладающим воздушным потоком. Несовпадение, на первый взгляд, наблюдается в районе обслуживания поликлиники №7, где заболеваемость имеет наименьшее значение при высоком уровне загрязнения атмосферного воздуха. Но, при этом, необходимо отметить, что данная часть города характеризуется более высотной застройкой, в то время, как в центральной части города преобладают одноэтажные индивидуальные дома, которые, очевидно, подвергаются значительно более высокому негативному воздействию от выбросов в атмосферный воздух автотранспорта и их аккумуляции.

#### **4.2 Разработка интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом и создание соответствующей карты**

Как было показано в первой главе, в упрощенном подходе, вводится некий суммарный показатель загрязнения природной среды:

Подобный подход используется в расчёте суммарного показателя загрязнения почвы  $Z_c$  [Burdzieva et al., 2016; Бурдзиева и др., 2012; Бурдзиева и др., 2014]. В данном случае используется понятие концентрации химического элемента, которая равна отношению фактического содержания данного элемента в почве, к его фоновому региональному:

$$K_i = C_i / C_{\phi}, \quad (4.1)$$

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

Суммарный же показатель рассчитывается, как сумма концентрации химических элементов и может быть представлен в следующем виде:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{C_i} - (n-1), \quad (4.2)$$

где  $n$  - количество учитываемых химических элементов;  $K_{Ci}$  – коэффициенты концентрации тех загрязнителей, значение которых превышает единицу. Недостатком данного подхода можно считать то, что выделение опасных зон производится относительно фоновое 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 содержания различных элементов близки к фоновым значениям, в обоих случаях значение суммарного показателя загрязнения будет близко к единице, при этом реальное загрязнение может отличаться в несколько раз.

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:

$$Z_{атм} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{ПДК_i}} - (n-1), \quad (4.3)$$

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

Для введенного суммарного показателя  $Z_{атм}$  нами были разработана новая оценочная шкала категорий загрязненности атмосферного воздуха. Пусть концентрация каждого учитываемого показателя равна ПДК, тогда, согласно определению разработанного суммарного 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.

На рисунке 4.6 приведена карта пространственного распределения значений разработанного показателя для территории г. Владикавказа.

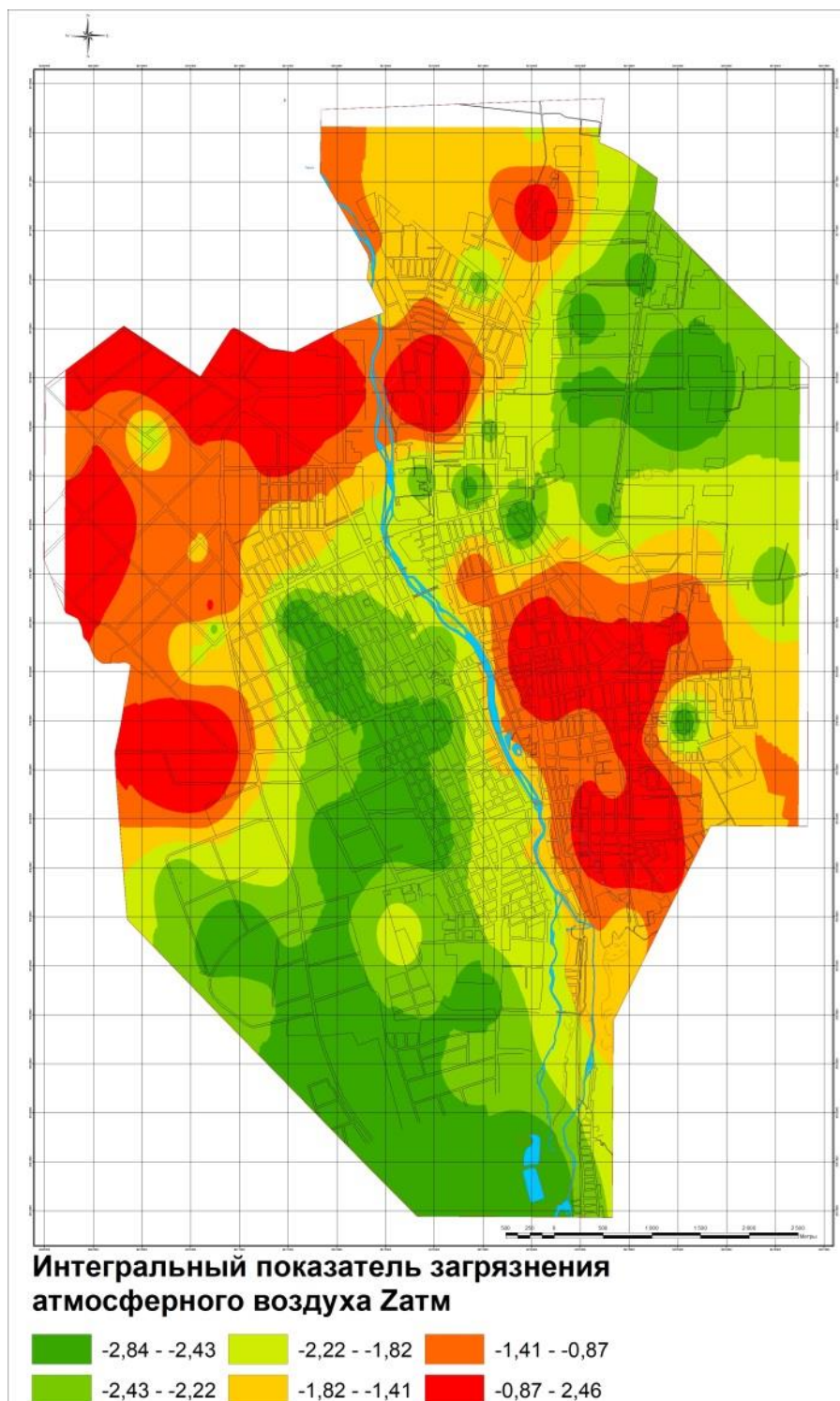


Рисунок 4.6. Карта значений интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха Затм г. Владикавказа.

Хотя большинство зон представляются допустимыми по уровню воздействия на человека, тем не менее, данный подход позволил выделить наиболее неблагоприятные места. Для уточнения значений суммарного показателя необходимо провести дополнительные исследования по

содержанию других загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. На построенной карте выделяются следующие участки дорог, подвергающиеся наибольшему загрязнению: основные въезды/выезды с города со стороны ст. Архонская, с. Гизель, Черменского круга, а также центральная (историческая) часть города. Загрязнение центральной части связано, очевидно, с невысокой шириной проезжих частей в исторической части, плохой проветриваемостью и высоким уровнем трафика на дорогах.

### **4.3 Фиторемедиация токсичности воздуха автомобильных дорог**

Один из возможных способов по снижению токсичности воздуха – высадка растительных организмов, обладающих высокой сорбционной способностью поглощать вредные вещества в процессе фотосинтеза [Zaalishvili et al., 2020].

В современных научных исследованиях зарубежных стран говорится об очистке воздуха с помощью растений, которые своей корневой системой извлекают тяжелые металлы из почвы и надземными органами из воздуха [Sozaeva, 2018].

Однако в известном способе продуктивность растений невысокая, низкие темпы роста, неполное поглощение вредных веществ воздуха, низкая ограниченность используемого растения, что с помощью растений снижается количество токсических веществ почвы.

Это растения однолетних бобовых трав, поглощающие тяжелые металлы с помощью корневой системы. При этом используют биопрепарат для интенсивности роста после укоса срезаемых растений [Борисюк, 2013; Berkowicz, 2016]. Используются растения одного семейства бобовых трав, которые образуют небольшую надземную биомассу, что ограничивает возможность поглощать токсиканты из воздуха.

Известно также, где в качестве растений – ремедиантов воздуха используются деревья ясеня, тополя, березы и вяза [Русакова, 2014]. Однако

наличие деревьев на автодорогах, накапливающих в течение ряда лет огромное количество кадмия и других вредных химических веществ, загрязняющих автодорожные трассы и недостаточно очищающих атмосферу, не целесообразно.

Наиболее значимо предложение авторов, которые считают, что в течение вегетации на небольших участках необходимо выделять растения, максимально сорбирующие тяжелые металлы, выбирая индикаторные виды [Вольнов, 2012].

Однако в данной технологии можно отметить следующие недостатки:

- определяют аккумулирующие способности образцов в пять этапов, и для определения токсикантов в растениях, охватывают только часть площади, где выделяют аккумулирующие способности растений;

- проводят анализы только на естественных и доминирующих растениях;

- не решается вопрос по снижению вредных веществ в воздухе, поскольку из произрастающих растений проводят анализы и выделяют растения с небольшой способностью аккумулировать токсиканты воздуха (клевер луговой, мать-и-мачеха, одуванчик).

В процессе изучения способов уменьшения уровня загрязнения атмосферного воздуха, нами был проведен анализ сорбционной способности различных растений, аккумулирующих тяжелые металлы,. Это позволило выделить фитоиндикаторы, способные снижать токсичность воздуха и почвы [Бекузарова и др., 2020].

На обочинах автодорог, шириной полос не менее 3-4 метров, высевали смесь семян растений, обладающих способностью максимально сорбировать химические вещества из воздуха, в частности, семейства: пасленовые – 40–50%, крестоцветные 20–30%, астровые (сложноцветные) – 20–25%, маревые и бобовые по 10–15%, при этом, количество видов растений определяется нормой посева культуры на гектар. На участке автотрассы Владикавказ–Ростов, протяженностью 100 км на обочинах дорог подготовили полосы

шириной 3 метра. После обработки почвы и прикатывания полос, высевали смесь мелкосеменных трав: никандру в количестве 40% от нормы высева на гектар, то есть 7 кг/га, рыжик озимый 3 кг/га, цикорий 4 кг/га, пайзу и клевер по 2 кг/га. Высеянные травы оставляли в течение 2-3 лет для самообновления.

Подобранный состав фитоценоза (табл. 4.2.) позволяет значительно снизить токсичность воздуха автомобильных дорог.

Таблица 4.2. Снижение содержания токсикантов в воздухе автодорог (по результатам исследования)

Токсикант	Содержание в воздухе автодорог до начала опыта	Никандра + рыжик + цикорий + пайза, клеверпо 10–15% /	Никандра + рыжикпо 30%	Пайза + клеверпо 30%	Никандра 40%+рыжик 20%	Никандра 40%+пайза+ клевер 30%	Предлагаемое	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
Кадмия оксид	0,9	0,4	0,035	0,39	0,28	0,19	0,001	<b>0,0003</b>
Бенз (а) пирен	0,18	0,15	0,14	0,15	0,11	0,09	0,04	<b>0,1 м/100 м<sup>3</sup></b>
Ртуть	0,03	0,2	0,12	0,24	0,09	0,06	0,002	<b>0,0003</b>
Свинец	0,15	0,13	0,14	0,16	0,09	0,06	0,004	<b>0,0003</b>
Меди оксид	0,5	3,5	1,22	0,36	0,031	0,03	0,002	<b>0,002</b>



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.

Комплексный подбор растений, обладающих аккумулярующей способностью из семейства пасленовых, астровых (сложноцветных), маревых подобранных по их сорбционным свойствам, снижает количество токсикантов в воздухе автодорог, загрязненных выше предельно допустимых концентраций. Следовательно, вдоль автотрасс для снижения токсических элементов необходимо высевать растения с гипераккумулирующими способностями из семейства пасленовых, крестоцветных, астровых, сложноцветных, злаковых и бобовых в комплексе.

#### **4.4 Разработка Рекомендаций по уменьшению негативного воздействия автомобильного транспорта на природную среду**

Как было показано выше, основной объем загрязняющих веществ в природную среду исследуемой территории генерируется автотранспортом. При этом основными источниками являются двигатели внутреннего сгорания, автомобильные шины и детали тормозных систем. При неисправности транспортного средства, появляются ещё такие источники, как системы охлаждения (протекающие радиаторы и трубки), системы смазки (масляные насосы, фильтры и др.), трубки тормозных систем и др.

Одной из возможных путей решения задачи по снижению объемов выбросов является замена основных источников на агрегаты иного типа или состава. К сожалению, не все узлы поддаются замене. В последние годы

развитие получают транспортные средства, в которых используются электродвигатели, взамен двигателей внутреннего сгорания.

Согласно статистическому обзору мировой энергетики компании British Petroleum, природный газ является доминирующим топливом, используемым для производства электроэнергии в Северной Америке, СНГ, на Ближнем Востоке и в Африке. Более половины электроэнергии в Южной и Центральной Америке приходится на гидроэлектроэнергию, в то время как в Азии на уголь приходится 57% генерирующих мощностей, что намного выше, чем в любом другом регионе. В Европе возобновляемые источники энергии (включая биоэнергетику) являются крупнейшим источником выработки электроэнергии с 23,8% впервые, обогнав атомную энергетику с 21,6%. Генерация в Европе довольно равномерно распределена между возобновляемыми источниками энергии, атомной энергией, газом (19,6%) и гидроэнергетикой (16,9%).

На глобальном уровне уголь является доминирующим топливом для производства электроэнергии, однако его доля в 2020 году упала на 1,3 процентных пункта до 35,1%, что является самым низким значением за время наблюдений. При этом доля возобновляемых источников энергии выросла до рекордного уровня в том же 2020 году (11,7%), а совокупная доля возобновляемых источников энергии и электроэнергии, работающей на газе (35,1%), впервые сравнялась с углем. Доля возобновляемых источников энергии в Европе в производстве электроэнергии достигла 23,8%, превысив ядерную энергию и сделав Европу первым регионом, где возобновляемые источники энергии стали доминирующим источником производства электроэнергии.

Таким образом, переход на электричество, как альтернативный вид топлива для автотранспортных средств, не снимает проблему загрязнения природной среды, перенося места загрязнения с автодорог на территории электростанций, подавляющее большинство которых осуществляет выбросы тех же веществ, что и двигатели внутреннего сгорания при сжигании

топлива. Тем не менее, для рассматриваемой территории данное решение является весьма актуальным. Согласно Схеме и программе развития электроэнергетики Республики Северная Осетия-Алания на 2022 - 2026 годы, утвержденной Указом Главы РСО-А от 27 апреля 2021 года N 83, особенностью электроэнергетики Северной Осетии является доминирование гидрогенерации над другими способами выработки электричества. На данный вид генерации приходится 98 % установленной мощности электростанций. Кроме того, использование автотранспорта также значительно снизит шумовое загрязнение города.

Ещё один способ снижения токсичности атмосферного воздуха, как было показано в предыдущем разделе настоящей главы, заключается в высадке специальных растений.

Кроме того, на построенной карте значений интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха  $Z_{\text{атм}}$  г. Владикавказа были выделены ареалы наибольшего загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом. Наибольшее загрязнение характерно для въездов/выездов города, что указывает на необходимость создания дополнительных транспортных путей. Весьма высокой загрязненностью характеризуется историческая центральная часть г. Владикавказа, но для неё, создание подобных дополнительных дорог, является неосуществимой задачей. Тем не менее, возможно введение требований к экологическому классу автомобиля, имеющего право передвигаться по данной территории.

Как было показано во второй главе, большое значение в формировании уровня загрязненности воздуха имеет особенности организации дорожного движения. Так, уменьшение времени работы двигателей на холостом ходу во время остановки на запрещающий сигнал светофора позволяет значительно снизить объемы выбросов загрязняющих веществ.

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.

#### **4.5 Выводы**

1. 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.

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

3. Изучены существующие показатели загрязнения природной среды. По результатам проведенного анализа традиционно используется показатель комплексного загрязнения почвы Zc. При этом текущие

показатели локального загрязнения относятся к фоновому значению концентрации для рассматриваемой территории.

4. 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.

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

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

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены существующие показатели загрязнения природной среды. По результатам проведенного анализа установлено, что в качестве основного 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 ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алборов И. Д., Заалишвили В.Б., Тедеева Ф. Г. Экологический риск, принципы оценки окружающей природной среды и здоровья населения: Для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению 280700 «Техносферная безопасность». Владикавказ: Центр геофизических исследований Владикавказского НЦ РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания, 2013. 343 с. ISBN 978-5-904868-08-6.

2. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону. Изд-во Южного Федерального университета. 2013. 388 с.

3. Балаболкин И.И. Аллергия у детей и экология // Российский педиатрический журнал. 2002. № 5. С. 4-8.

4. Бекузарова С.А. 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.

5. Бериев О.Г. Загрязнение почв городских территорий тяжелыми металлами, как фактор, влияющий на здоровье горожан / Образование, охрана труда и здоровье: Материалы V международной заочной научно-практической конференции. Владикавказ: Издательство «Профиздат», 2015. 168-175 с.

6. Бериев О. Г., Заалишвили В.Б., Закс Т.В. Роль шума в загрязнении городской среды / Материалы научно-практической конференции "Экологическая безопасность горных территорий и здоровье населения": Сборник статей научно-практической конференции, Владикавказ, 03 июня 2015 года. Владикавказ: ООО НПКП "МАВР", 2015. С. 34-37.

7. Бериев О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С. Исследование экогеофизических и метеорологических факторов окружающей среды



г. Владикавказа // Геология и геофизика Юга России. 2017. № 3. С. 27-39.  
DOI 10.23671/VNC.2017.3.9503.

8. Бериев О.Г. Онкозаболеваемость населения г. Владикавказа и его взаимосвязь с различными факторами / Бериев О.Г., Заалишвили В.Б., Бурдзиева О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С. // Геология и геофизика Юга России. 2013. №3. С. 29-38.

9. Бериев О.Г., Заалишвили В.Б. Состояние загрязнения атмосферы и заболеваемость населения города Владикавказа // Геология и геофизика Юга России. 2015. №4. С. 47-36.

10. Борисюк Н.В., Дмитриев С.М. Автомобильно-дорожный комплекс в системе городской экологии. Чем грозят горожанину мелкодисперсные взвешенные частицы, попадающие в воздух над дорогами и магистралями // Научно-популярный журнал «Экология и жизнь». 2013. №1. С. 63–68.

11. Бурдзиева О.Г. Об экологических аспектах современной урбанизированной территории при сильных землетрясениях / Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б., Бериев О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2012. № 3. С. 62-67.

12. Бурдзиева О.Г. Влияние горнодобывающей деятельности на загрязнение окружающей среды / Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б., Бериев О.Г., Кануков А.С., Майсурадзе М.В. // Геология и геофизика Юга России. 2014. № 4-2. С. 8-13.

13. Бурдзиева О.Г. 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.

14. Бурдзиева О.Г., Кануков А.С. Индекс канцерогенного риска территории г. Владикавказа в гис технологиях - показатель уровня природно-техносферной безопасности / Современные проблемы геологии, геофизики и

геоэкологии Северного Кавказа. Коллективная монография по материалам X Всероссийской научно-технической конференции в 2-ух частях. Грозный. 2020. С. 278-284.

15. Быков В.А. Перспективное автомобильное топливо / Быков В.А., Потапов И.И., Щетинина И.А., Фонарева М.В.// Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. № 6. 2008. С.69-77.

16. Васильев А.Н. Исследование загрязнения мелкодисперсной пылью воздуха придорожных территорий / Васильев А.Н., Гараев А.Л., Кагриев Р.С., Козловцева Е.Ю. // Инженерный вестник Дона. 2020. № 3 (63). С. 40.

17. Вигдорович В. И., Габелко Н. В., Спасский Р. В Загрязнение воздуха города Тамбова выхлопными газами // Вестн. Удм. ун-та. 2005. № 8. С. 79-86.

18. Владимиров К.Н. Водородная энергетика: проблемы и перспективы // Экологический вестник России. № 2. 2007. С.11-13.

19. Вольнов А.С. Методы оценки и пути снижения уровня экологической опасности автотранспортных предприятий / К.В. Щурин, Л.Н. Третьяк, Е.М. Герасимов, А.С. Вольнов. // Экология и промышленность России. 2012. №2. С. 44–46.

20. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.3492-17 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений". 2017.

21. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды и природных ресурсов Республики Северная Осетия-Алания. Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Республики Северная Осетия – Алания. Владикавказ, 2007-2020.

22. Дементьев А.А., Ляпкало А.А., Цурган А.М. Влияние основных компонентов выхлопных газов автотранспорта на состояние здоровья детского населения центра субъекта Федерации // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2018. Т. 6. № 1. С. 19-27.

23. Джгамадзе А.К., Дзеранов Б.В., Гогичев Р.Р. Существующее состояние Орджоникидзевского месторождения пресных подземных вод и перспективы обеспечения г. Владикавказ питьевой водой / Коллективная монография «Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии». Под редакцией А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. Владикавказ. ГФИ ВНЦ РАН. 2019. С. 675-680.

24. Джгамадзе А.К., Заалишвили В.Б. Мониторинг влияния интенсивной добычи грунтовых вод бесланского месторождения на экологическую характеристику территории // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2006. № 6. С. 41-46.

25. Джгамадзе А.К., Заалишвили В.Б. Экологические аспекты ухудшения качества питьевых подземных вод в юго-восточной части Северо-Осетинского артезианского бассейна // Вестник МАНЭБ. 2009. Т. 14, № 5. С. 26-28.

26. Заалишвили В.Б. Бурдзиева О.Г., Джусоева Н.Г. Геоэкологические проблемы горных территорий в условиях высокой сейсмической опасности / Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа, Владикавказ, 08–10 октября 2010 года. Владикавказ. Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук, 2010. С. 186-192.

27. Бурдзиева О.Г. Об экологических аспектах современной урбанизированной территории при сильных землетрясениях / Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б., Бериев О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С. // Современные задачи геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства: Сборник научных трудов первой международной научной конференции молодых ученых, посвященной 70-летию основания НАН РА, Ереван, 12–16 мая 2013 года. Ереван. "ГИТУТЮН" НАН РА, 2013. С. 180-185.

28. Заалишвили В.Б. Онкозаболеваемость населения г. Владикавказа и его взаимосвязь с различными факторами / Заалишвили В.Б., Бериев О.Г.,

Бурдзиева О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С. // Геология и геофизика Юга России. 2013. № 3. С. 29-38.

29. Заалишвили В.Б. 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. М. 2019. Т. XI. С. 598-603.

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

31. Заалишвили В.Б., Кануков А.С., Корбесова К.В. Оценка влияния автомобильного транспорта на загрязнение атмосферного воздуха / Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. 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, 2021а. Т. XI. С. 440-443.

32. Заалишвили В.Б. Воздействие мобильных и стационарных источников загрязнения на геоэкологическое состояние урбанизированных территорий в горном регионе / Заалишвили В.Б., Корбесова К.В., Ганапати Г.П., Архиреева И.Г. // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т 14, №4(54). С 564-575 DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-4-564-575.

33. Заалишвили В.Б., Кануков А.С., Корбесова К.В. Вклад автомобильного транспорта в уровень загрязнения окружающей среды (на примере г. Владикавказа) / Сборник трудов VIII Международной конференции «Опасные природные и техногенные процессы в горных

регионах: модели, системы, технологии». Владикавказ. ГФИ ВНЦ РАН. 2022а. С 395-401.

34. Заалишвили В.Б., Бекузарова С.А., Осикина Р.В. Фитоиндикаторы загрязнения урбанизированной территории / Современные города: проблемы и перспективы развития: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Владикавказ, 26 апреля 2013 года. Под редакцией Б.М. Бероева, З.Ю. Калоевой, З.П. Оказовой. Владикавказ. Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова. 2013. С. 578-581.

35. Закс Т. В., Бериев О. Г. Влияние шумового загрязнения на здоровье человека / Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе: Труды III Кавказской международной школы-семинара молодых ученых, Владикавказ, 24–26 сентября 2009 года. Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А; редакторы: Николаев А.В., Заалишвили В.Б. Владикавказ. 2009. С. 470-475.

36. Закс Т.В. Мониторинг экогеофизических факторов окружающей среды г. Владикавказа / Закс Т.В., Кануков А.С., Малиев И.Н., Мельков Д.А., Туаев Г.Э., Тучашвили Д.Б. // Геология и геофизика Юга России. 2016. № 4. С. 68-74. DOI 10.23671/VNC.2016.4.20900.

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

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

39. Каташинская Л.И., Суппес Н.Е. Анализ источников загрязнения атмосферного воздуха в городе Ишиме и влияние химического загрязнения

атмосферы на здоровье населения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2-3. С. 697-701.

40. Кебалова Л.А. Экологическая оценка состояния атмосферного воздуха города Владикавказ // Географический вестник. 2017. 3(42). С.71-77.

41. Кобрина Н.В. Системы мониторинга загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом // Экология и промышленность. 2016. № 2 (47). С. 97-102.

42. Леванчук А.В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильных шин // Технологии техносферной безопасности. 2014. № 4 (56). С. 32.

43. Мешалкин В.П., Бутусов О.Б., Гнаука А.Г. Основы информатизации и математического моделирования экологических систем. Учебное пособие. Москва: ИНФРА-М, 2010. 357 с.

44. Мингулова И.Р. Методическое обоснование оценки количества загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду мегаполиса при истирании протекторов шин и колесных тормозных механизмов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2011. № 3 (28). С. 197-202.

45. Павлова Е.И. Экология транспорта: Учебник для вузов. М.: Транспорт, 2000. 248 с.

46. Панасенкова Е.В., Косенкова Т.В., Легонькова Т.И. Влияние антропогенной нагрузки на течение и формирование бронхиальной астмы у детей // Профилактическая и клиническая медицина. 2013. № 4 (49). С. 13-19.

47. Парфенова Е. А. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами в результате влияния выбросов автотранспорта // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. 2011. № 25. С. 590-592.

48. Петров К. М. Общая экология: взаимодействие общества и природы. Учебное пособие для вузов. СПб: Химия. 1997. 352 с.

49. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М:

Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.

50. Русакова Т.И., Беляев Н.Н., Карплюк В.И. Исследование динамики загрязнения атмосферного воздуха на улицах при выбросах автотранспорта // Вестник Днепропетровского университета. Серия «Механак». 2014. №5. Вып. 18. Т. 1. С. 127–138.

51. Рыбак В.А. Антропогенная нагрузка на окружающую среду: количественная оценка, анализ, нормирование: монография. Минск: РИВШ. 2010. 334 с.

52. Самолдина С.В., Медведева Ж.В., Дорохова Н.Д. Влияние атмосферного загрязнения на состояние хвой сосны обыкновенной села Дмитро-Титово Кытмановского района Алтайского края // Новое слово в науке: перспективы развития. 2016. № 1-1 (7). С. 35-39.

53. Ситников А.И., Толстых А.А., Власов В.А. Анализ моделей загрязнения воздуха для построения вычислительной системы мониторинга выбросов автотранспорта / Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: Сб. ст. по матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. Воронеж. ВИ ГПС МЧС России. 2017. С. 467-468.

54. Ситников А.И., Толстых А.А., Власов В.А. О возможности оценки загрязнения воздуха городской территории выхлопами автотранспорта на основании данных видеофиксации / Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных обстоятельств: Сб. ст. по матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч., 28-29 апр. 2016 г. Воронеж. ВИ ГПС МЧС России. 2016. С. 488-489.

55. Сокол П.А., Жердев А.В. Анализ воздействия отработанных газов двигателя внутреннего сгорания на экологическую безопасность // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. Т. 1. С. 605-607.

56. Сонов А.А., Ажахова Л.С., Теунова Ф.А. Экспериментальное исследование химического состава атмосферных осадков и определение

степени загрязнения атмосферы выхлопными газами // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-1. С. 27-30.

57. Степанова Л.П. Оценка изменения почвенной биоты в условиях воздействия различных уровней поллютантов / Степанова Л.П., Писарева А.В., Яковлева Е.В., Раскатов В.А. // Труды Карадагской научной станции им. Т.И.Вяземского – природного заповедника РАН. 2019. № 2 (10). С. 30-41.

58. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях: Текст и приложения. Женева. 2002.

59. Троицкая Н. А. Единая транспортная система: Учебник для студентов учреждений сред. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 240 с.

60. Шулепова О.В., Сидоров П.Т. О влиянии автотранспорта на окружающую среду на примере города Тюмени // Агропродовольственная политика России. 2018. № 3 (75). С. 45-47.

61. Язиков Е.Г., Шатилов А.Ю. Геоэкологический мониторинг Учебное пособие для вузов. Томск, 2003. 336 с.

62. Ясенков Е.П. Элементы автотранспортного комплекса и их воздействие на окружающую среду // Автомобильная промышленность. № 8. 2007. С.13-17.

63. Adachi K., & Tainosho Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust // Environment International, 2004. 30(8), 1009-1017. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.04.004>.

64. Ahn K. Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels / Ahn K., Rakha H., Trani A., Van Aerde M. // J. Transp. Engrg. 2002. 128, 182e190.

65. Alborov I.D., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Technology for the maintenance of acoustic comfort on the transcaucasian highway in the zone of the residential areas adjusting the motor road // Akustika. 2019. Т. 32. С. 211-215.

66. Alexandrova O.; Kaloush K.; Allen J. Impact of asphalt rubber friction course overlays on tire wear emissions and air quality models for Phoenix,



- Arizona, airshed // *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 2007. 2011. 98–106.
67. Barkenbus J.N., Eco-driving: an overlooked climate change initiative // *Energy Policy*. 2010. 38, 762e769.
68. Benson P.E., A review of the development and application of the CALINE3 and 4 models // *Atmospheric Environment*. 1992.26B, 379–390.
69. Bérengier M.C., Emission, propagation and control of road traffic noise: some solutions for the future / In: *Proc. Inter\$noise*, Ottawa, Canada. 2009.
70. Bérengier M.C., Picaut J. Methods for Noise Control by Traffic Management: Impact of Speed Reducing Equipments. Deliverable H.R2 / SILENCE Project, Sixth Framework Programme. European Commission, Brussels, Belgium. 2008.
71. Berkowicz R., Winther M., Ketzel M., Traffic pollution modelling and emission data // *Environmental Modelling & Software*. 2006. 21 (4), 454e460.
72. Berkowicz R. Modelling traffic pollution in streets. National Environmental Research Institute, Roskilde, Denmark. [http://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Miljoetilstand/3\\_luft/4\\_spredningsmodeller/5\\_OS\\_P\\_M/5\\_description/ModellingTrafficPollution\\_report.pdf](http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Miljoetilstand/3_luft/4_spredningsmodeller/5_OS_P_M/5_description/ModellingTrafficPollution_report.pdf) 20.09.2016.
73. Beyea J., Hatch M. Geographic exposure modelling: a valuable extension of geographic information systems for use in environmental epidemiology // *Environmental Health Perspectives*. 1999. 107, 181e190.
74. Bretherton D., Bodger M., Baber N. SCOOT d the future [urban traffic control] / In: *Proceedings of the 12th International Conference on Road Transport Information and Control (RTIC)*, London, UK. 2004. pp. 301e306.
75. Brockfeld E. Optimizing traffic lights in a cellular automaton model for city traffic / Brockfeld E., Barlovic R., Schadschneider A., Schreckenberg M. // *Phys. Rev.* 2001. E 64, 056132.
76. Burdzieva O.G. Mining impact on environment on the North Ossetian territory / Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maisuradze M.V. // *International Journal of GEOMATE*. 2016. T. 10. № 1. pp. 1693-1697.

77. Burdzieva O.G. Correlation analysis of the morbidity and pollution using GIS / Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Zaks T.V. // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. Cep. "Advances in Intelligent Systems and Computing" 2021. C. 481-491.
78. Calori G. Air quality integrated modelling in Turin urban area / Calori G., Clemente M., De Maria R., Finardi S., Lollobrigida F., Tinarelli G. // Environmental Modelling & Software 2006. 21 (4). 468e476.
79. Can A., Leclercq L., Lelong J. Dynamic estimation of urban traffic noise: influence of traffic and noise source representations // Appl. Acoust. 2008. 69, 858e867.
80. Chabni A. Modelling of pollutant dispersion in urban street canyons by means of a large-eddy simulation approach / Chabni A., LeQue' re' P., Tenaud C. Laatar H. // International Journal Vehicle Design. 1998. 20. 88–95.
81. Chamberlain AC Effect of airborne lead on blood lead // Atmos Environ. 1983. 17. 677-692.
82. Chan T.L. Monte Carlo simulation of nitrogen oxides dispersion from a vehicular exhaust plume and its sensitivity studies / Chan T.L., Dong G., Cheung C.S., Leung C.W., Wong C.P., Hung W.T. // Atmospheric Environment. 2001. 35. 6117–6127.
83. Chan T.L. Validation of a two-dimensional pollutant dispersion model in an isolated street canyon / Chan T.L., Dong G., Leung C.W., Cheung C.S., Hung W.T. // Atmospheric Environment. 2002. 36. 861–872.
84. Chen K., Yu L. Microscopic traffic-emission simulation and case study for evaluation of traffic control strategies // J. Transpn. Sys. Eng. IT. 2007. 7, 93e100.
85. Cheng S.F., Epelman M.A., Smith R.L. CoSIGN: a parallel algorithm for coordinated traffic signal control // IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 2006. 7. 551e564.
86. Chock D.P. A simple line-source model for dispersion near roadways

// Atmospheric Environment. 1978. 12. 823–829.

87. Chowdhury D., Schadschneider A. Self-organisation of traffic jams in cities: effects of stochastic dynamics and signal periods // Phys. Rev. 1999. E 59, R1311eR1314.

88. Cichowicz R, Wielgosinski G, Fetter W. Dispersion of atmospheric air pollution in summer and winter season // Environmental Monitoring and Assessment. 2017. 189. 10.1007/s10661-017-6319-2.

89. Coelho M.C., Farias T.L., Roupail N.M. Impact of speed control traffic signals on pollutant emissions // Transport. Res. 2005a. D 10. 323e340.

90. Coelho M.C., Farias T.L., Roupail N.M. A methodology for modelling and measuring traffic and emission performance of speed control traffic signals // Atmos. Environ. 2005b. 39. 2367e2376.

91. De Coensel B. Microsimulation based corrections on the road traffic noise emission near intersections / De Coensel B., Botteldooren D., Vanhove F., Logghe S. // Acta Acust. Acust. 2007. 93. 241e252.

92. De Coensel B. The influence of traffic flow dynamics on urban soundscapes / De Coensel B., De Muer T., Yperman I., Botteldooren D. // Appl. Acoust. 2005. 66. 175e194.

93. Den Boeft J. CAR International: a simple model to determine city street quality / Den Boeft J., Eerens H.C., den Tonkelaar W.A.M., Zandveld P.Y.J. // The Science of the Total Environment 1996. 189/190. 321e326.

94. Dora C, Phillips M. Transport, environment and health. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe. WHO Regional Publications, European Series 2000. No. 89; <http://www.euro.who.int/document/e72015.pdf>, accessed 26 November 2004.

95. Ellebjerg L. Effectiveness and Benefits of Traffic Flow Measures on Noise Control. Deliverable H.D1. SILENCE Project, Sixth Framework Programme. European Commission, Brussels, Belgium. 2007.

96. Ellenberg M., Bedeaux J.F. April/May Calming waves for safety: a time to rethink green waves? // Traffic Technol. Int. 1999. 55e58.

97. Elwood PC. Blood lead and petrol lead. *br med j.* 1983. 286.1515.
98. Elwood PC The sources of lead in blood // *Sci Total Environ* 1986. 52. P.1-23.
99. Elwood PC, Gallacher JEJ. Lead in petrol and levels of lead in blood: scientific evidence and social policy // *J Epidemiol and Community Health* 1984. 38. p.315-318.
100. Eskridge R.E., Hunt J.C.R. Highway modeling. Part I: prediction of velocity and turbulence fields in the wake of vehicles // *Journal of Applied Meteorology.* 1979. 18, p.387–400.
101. European Commission. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the sixth environment action programme of the European Community Environment 2010: OUR FUTURE, OUR CHOICE. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities 2001. [http://europa.eu.int/eurex/en/com/pdf/2001/en\\_501PC00.31.pdf](http://europa.eu.int/eurex/en/com/pdf/2001/en_501PC00.31.pdf), accessed 26 November 2022).
102. European Parliament European parliament resolution on a European environment and health strategy (COM(2003) 338 C5-0551/2003 2003/2222(INI)). Strasbourg, European Parliament. 2004.
103. Fomunung I., Washington S., Guensler R. A statistical model for estimating oxides of nitrogen emissions from light duty motor vehicles // *Transportation Research Part* 1999. D 4. p.333–352.
104. Fritschi L Burden of disease from environmental noise. / Fritschi L, Brown AL, Kim R, Schwela DH, Kephelopoulos S. // Bonn: World Health Organization, 2011.
105. Fukuzaki N., Yanaka T., & Urushiyama Y. Effects of studded tires on roadside airborne dust pollution in Niigata, Japan // *Atmospheric Environment.* 1986. 20(2), 377-386. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(86\)90041-7](https://doi.org/10.1016/0004-6981(86)90041-7).
106. Gartner N.H., Stamatiadis C. Arterial-based control of traffic flow in urban grid networks // *Math. Comput. Model.* 2002. 35. 657e671.

107. Garty J. Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: Theory and application [Review] // *Critical reviews in plant sciences*. 2001. 20(4). 309-371. [https://doi.org/10.1016/s0735-2689\(01\)80040-x](https://doi.org/10.1016/s0735-2689(01)80040-x).

108. Gokhale S., Khare M. Statistical behavior of carbon monoxide from vehicular exhausts in urban environments // *Environmental Modelling & Software* 2007. 22 (4). 526e535.

109. Grigoratos T.; Martini G. Non-Exhaust Traffic Related Emissions. Brake and Tyre Wear PM. European Commission, Joint Research Centre, Institute of Energy and Transport: Ispra, Italy, 2014.

110. Hertel O., Berkowicz R. Modelling Pollution from Traffic in a Street Canyon. Evaluation of Data and Model Development, DMU Luft. 1989. A-129. 77 p.

111. Hoek G. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the netherlands: a cohort study // *Lancet*. 2002. 360(9341). p. 1203–1209.

112. Huang D.W., Huang W.N. Traffic signal synchronization // *Phys. Rev.* 2003. E 67. 056124.

113. Int Panis L., Broekx S., Liu R. Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits // *Sci. Total Environ.* 2006. 371. 270e285.

114. Jankowski K. Lead and cadmium content in some grasses along expressway areas / Jankowski K., Jankowska J., Ciepiela G. A., Sosnowski J., Wisniewska-Kadzajan B., Kolczarek R., Deska J. // *Journal of Elementology*. 2014. 19(1). 119-128. <https://doi.org/10.5601/jelem.2014.19.1.591>.

115. Janta R. Measurement of Nitrogen Dioxide Concentration in Traffic Areas of Nakhon Si Thammarat Province and Health Risk Assessment / Janta R., Kaewrat J., Rattikansukha C., Sichum S. // *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*. 2020. 30. 10.14416/j.kmutnb.2020.06.006.

116. Janssen N. A. H. The relationship between air pollution from heavy

traffic and allergic sensitization, bronchial hyperresponsiveness, and respiratory symptoms in Dutch schoolchildren / Janssen N. A. H., Brunekreef B., van Vliet P., Aarts F., Meliefste K., Harssema H., Fischer P. // *Environmental Health Perspectives*. 2003. 111(12). 1512-1518. <https://doi.org/10.1289/ehp.6243>.

117. Jensen S.S. Decision support GIS tool for Management of Urban Air Quality and Human Exposures / Jensen S.S., Berkowicz R., Hansen H.S., Hertel O. A // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2001. 6 (4). 229e241.

118. Johnson W.B. An urban diffusion simulation model for carbon monoxide / Johnson W.B., Ludwig F.L., Dabbert W.F., Allen R.J. // *JAPCA*. 1973. 23. 490e498.

119. Karim M.M., Mastsui H., Guensler R. A mathematical model of wind flow, vehicle wake, and pollution concentration in urban road microenvironments. Part II: Model results // *Transportation Research*. 1998. Part D 3. 171–191.

120. Kim D.H., Gautam M., Gera D. On the prediction of concentration variations in a dispersing heavy-duty truck exhaust plume using k $\epsilon$  turbulent closure // *Atmospheric Environment*. 2001. 35. 5267–5275.

121. Kosta H., & Liiv S. Spatial and temporal trends of heavy metal accumulation in mosses in Estonia. *Ecosystems and Sustainable Development* Viii. 2011. 133. <https://doi.org/10.2495/eco110121>.

122. Kreider M. L. Physical and chemical characterization of tire-related particles: comparison of particles generated using different methodologies / Kreider M. L., Panko J. M., McAtee B. L., Sweet L. I., & Finley B. L. // *Science of the Total Environment*. 2010. 408(3). 652-659. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.016>.

123. Künzli N et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment // *Lancet*. 2000. 356(9232). p.795–801.

124. Laatar A.H. 2D large eddy simulation of pollutant dispersion around a covered roadway / Laatar A.H., Benahmed M., Belghith A., LeQue'ré' P. // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2002. 90. p.617–637.

125. Li X. Signal timing of intersections using integrated optimization of traffic quality, emissions and fuel consumption: a note / Li X., Li G., Pang S.S., Yang X., Tian J. // *Transport. Res.* 2004. D 9. 401e407.
126. Liang MJ. Characteristics of noise-canceling headphones to reduce the hearing hazard for MP3 users / Liang MJ, Z hao F, French D, Zheng YQ. // *J Acoust Soc Am.* 2012. 131. 4526–34.
127. Liu C.H., Barth M.C. Large-eddy simulation of flow and scalar transport in a modeled street canyon // *Journal of Applied Meteorology.* 2002. 41. 660–673.
128. Liu C.H., Leung D.Y.C., Barth M.C. On the prediction of air and pollutant exchange rates in street canyons of different aspect ratios using large-eddy simulation // *Atmospheric Environment.* 2005. 39. 1567–1574.
129. Liu J.J., Chan C.C., Jeng F.T. Predicting personal exposure levels to carbon monoxide (CO) in Taipei, based on the actual CO measurements in microenvironments and a Monte Carlo simulation methods // *Atmospheric Environment* 1994. 28. 2361–2368.
130. McClellan RO Health effects of diesel exhaust: a case study in risk assessment // *Am Ind Hyg Assoc.* 1986. J 47:1-13.
131. Mensink C., Cosemans G. From traffic flow simulations to pollutant concentrations in street canyons and backyards // *Environ. Modell. Softw.* 2008. 23. 288e295.
132. Messinger G, Ryherd EE, Ackerman J. Hospital noise and staff performance // *J Acoust Soc Am.* 2012. 132. 203.
133. Miedema HME, Oudshoorn CGM. Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals // *Environ Health Perspect.* 2001. 109. 409–16.
134. Muzet A. Environmental noise, sleep and health // *Sleep Med Rev* 2007. 11. 135–42.
135. Nagatani T. Vehicular traffic through a sequence of green-wave lights // *Physica A.* 2007. 380. 503e511.

136. Nagatani T. Green-light paths in city traffic controlled by signals // *Phys. Lett.* 2009. A 373, 536e539.

137. Neunhäuserer L., Diegmann V. Analysis of the impacts of an environmental traffic management system on vehicle emissions and air quality / *Proceedings of the 18th International Symposium Transport and Air Pollution (TAP'10)*, Dübendorf, Switzerland. 2010.

138. Ohrstrom E. Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness / Ohrstrom E., Skanberg A., Svensson H., Gidlof-Gunnarsson A. // *J Sound Vibrat.* 2006. 295. 40–59.

139. Osorio C., Bierlaire M. A multiple model approach for traffic signal optimization in the city of Lausanne / *Proceedings of the 8th Swiss Transport Research Conference (STRC)*, Monte Verità, Ascona, Switzerland. 2008.

140. Petersen W.B. User's guide for HIWAY-2, highway air pollutant model / EPA-600/8-80-018. 1980.

141. Rakha H. Requirements for evaluating traffic signal control impacts on energy and emissions based on instantaneous speed and acceleration measurements / Rakha H., Van Aerde M., Ahn K., Trani A.A. // *Proceedings of the 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., USA. 2000.

142. Riddle A. Comparisons between the FLUENT and ADMS for atmospheric dispersion modelling / Riddle A., Carruthers D., Sharpe A., McHugh C., Stocker J. // *Atmospheric Environment.* 2004. 38. p.1029–1038.

143. Rivas I. Determinants of black carbon, particle mass and number concentrations in London transport microenvironments / Rivas I., Kumar P., Hagen-Zanker A., Andrade M. D., Slovic A. D., Pritchard J. P., Geurs K. T. // *Atmospheric Environment.* 2017. 161. p.247-262. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.004>.

144. Roy S. Ecological and human health risk assessment of heavy metal contamination in road dust in the national capital territory (nct) of Delhi, India / Roy S., Gupta S. K., Prakash J., Habib G., Baudh K., & Nasr M. // *Environmental*



Science and Pollution Research. 2019. 26(29). 30413-30425.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-06216-5>.

145. Sadiq M. Preliminary evaluation of metal pollution from wear of auto tires / Sadiq M., Alam I., Elmubarek A., & Almohdhar H. M. // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 1989. 42(5). 743-748.  
<https://doi.org/10.1007/bf01700397>.

146. Schroeder WH. Toxic trace elements associated with airborne particulate matter: a review / Schroeder WH., Dobson M., Kane DM., Johnson ND. // JAPCA. 1987. 37. 1267-1285.

147. Sharma P., Khare M. Modelling of vehicular exhausts—a review // Transportation Research 2001. Part D 6. 179–198.

148. Shinar D., Bourla M., Kaufman L. Synchronization of traffic signals as a means of reducing red-light running // Hum. Factors. 2004. 46. 367e372.

149. Silva C.M. Evaluation of numerical models for simulation of real-world hot-stabilized fuel consumption and emissions of gasoline light-duty vehicles / Silva C.M., Farias T.L., Frey H.C., Roupail N.M. // Transport. Res. 2006. D 11. 377e385.

150. Smit R., Brown A.L., Chan Y.C. Do air pollution emissions and fuel consumption models for roadways include the effects of congestion in the roadway traffic flow? // Environ. Modell. Softw. 2008. 23. 1262e1270.

151. Sørensen M, Andersen ZJ, Nordsborg RB. Road traffic noise and incident myocardial infarction: a prospective cohort study / PLoS One. 2012. 7. e39283.

152. Sozaeva L.T. Evaluation of Emission of Pollutants in the Atmosphere Produced by Heating Enterprises of Nalchik Town / Materials Science Forum. October 2018. Vol.931. p. 1047–1051.

153. Suryawanshi P. V. Determining heavy metal contamination of road dust in Delhi, India / Suryawanshi P. V., Rajaram B. S., Bhanarkar A. D., Rao C. V. C. // Atmosfera. 2016. 29(3). p.221-234.  
<https://doi.org/10.20937/atm.2016.29.03.04>.

154. Sutherland R. A., Tolosa C. A. Multi-element analysis of road-deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii // *Environmental Pollution*. 2000. 110(3). p.483-495. [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(99\)00311-5](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(99)00311-5).
155. Tinarelli G. Lagrangian particle simulation of tracer dispersion in the lee of a schematic twodimensional hill / Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Giostra U., Morselli M.G., Moussafir J., Tampieri F., Trombetti F. // *Journal of Applied Meteorology*. 1994. 33. 744e756.
156. Tindale S.A., Hsu P.P. Crash data and signal coordination: a one-way pair case study // *J. Saf. Res.* 2005. 36. 481e482.
157. Tripathi S. Near-field Dispersion of Pollutants on a Complex Urban Terrain of Heavy Gases by Fluidyn-PANACHE / 4th Workshop on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes in Oostende, Belgium. 1996.
158. Turkyilmaz A. Changes in heavy metal accumulation depending on traffic density in some landscape plants / Turkyilmaz A., Sevik H., Cetin, M., Saleh E. A. A. // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2018. 27(5). 2277-2284. <https://doi.org/10.15244/pjoes/78620>.
159. van Kempen E, Babisch W. The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: a meta-analysis // *J Hypertens* 2012. 30. 1075–86.
160. Varas A. Resonance, criticality, and emergence in city traffic investigated in cellular automaton models / Varas A., Cornejo M.D., Toledo B.A., Muñoz V., Rogan J., Zarama R., Valdivia J.A. // *Phys. Rev.* 2009. E 80. 056108.
161. Vardoulakis S. Modelling air quality in street canyons: a review / Vardoulakis S., Fisher B.E.A., Pericleous K., Gonzalez-Flesca N. // *Atmospheric Environment*. 2003. 37. 155–182.
162. Venkatram A. Using a dispersion model to estimate emission rates of particulate matter from paved road / Venkatram A., Fitz D., Bumiller K., Du S., Boeck M., Ganguly C. // *Atmospheric Environment*. 1999. 33. 1093–1102.

163. Verbeek JH. Interventions to prevent occupational noise-induced hearing loss / Verbeek JH., Kateman E., Morata TC., Dreschler WA., Mischke C. // *Cochrane Database Syst Rev* 2012. 10. CD006396.

164. Walton A., Cheng A.Y.S., Yeung W.C. Large-eddy simulation of pollutant dispersion in an urban street canyon—Part I: comparison with filed data // *Atmospheric Environment*. 2002. 36. 3601–3613.

165. Wang M. E. A GIS technology based potential eco-risk assessment of metals in urban soils in Beijing, China / Wang M. E., Bai Y. Y., Chen W. P., Markert B., Peng, C., Ouyang Z. Y. // *Environmental Pollution*. 2012. 161. 235-242. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.09.030>.

166. Warberg A., Larsen J., Jørgensen R.M. Green Wave Traffic Optimization A Survey. Technical Report. Department of Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark. 2008.

167. Webster F.V. Traffic Signal Setting // *Road Research Technical Paper* 39. Her Majesty's Stationery Office, London, UK. 1958.

168. Wheeler GL, Rolfe GL. The relationship between daily traffic volume and the distribution of lead in roadside soil and vegetation // *Environ Pollut* 1979. 18. 265- 274.

169. Wjst M. Road traffic and adverse-effects on respiratory health in children / Wjst M., Reitmeir P., Dold S., Wulff A., Nicolai T. Vonloeffelholzcolberg E. F., Vonmutius E. // *British Medical Journal*. 1993. 307(6904). 596-600. <https://doi.org/10.1136/bmj.307.6904.596>.

170. Yamartino R.J., Wiegand G. Development and evaluation of simple models for flow, turbulence and pollutant concentration fields within an urban street canyon // *Atmospheric Environment*. 1986. 20. 2137e2156.

171. Yamashina S., Miyazawa S. Ultrastructural and microanalytical studies on alveolar foreign-bodies in stray dogs of the snowy districts of Japan with special reference to air-pollution caused by studded tires of automobiles // *Journal of Electron Microscopy*. 1984. 33(1). 46-53.

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

173. Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Korbesova K.V. Pollution of urbanized territories by motor transport using the example of the republic of North Ossetia – Alania / E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. 2020a. P. 07024.

174. Zaks T. V., Burdzieva O. G., Zaalishvili V. B. Impact of noise, gamma radiation and other geophysical factors on population health // Akustika. 2019. Vol. 32. P. 206-210.

175. Zalakeviciute R. Chemical characterization of urban pm10 in the tropical Andes / Zalakeviciute R., Rybarczyk Y., Granda-Albuja M. G., Suarez M. V. D., Alexandrino K. // Atmospheric Pollution Research. 2020. 11(2). p.343-356. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.11.007>.

176. Zallinger M. Coupling of microscale traffic and emission models to minimize emissions by traffic control systems / Zallinger M., Luz R., Hausberger S., Hirschmann K., Fellendorf M. // Proceedings of the 18th International Symposium Transport and Air Pollution (TAP'10), Dübendorf, Switzerland. 2010.

177. Zhang C. S. Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soils in Galway, Ireland // Environmental Pollution. 2006. 142(3), 501-511. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.10.028>.

178. Zimmerman J.R., Thompson R.S. User's guide for HIWAY, a highway air pollutant model. 1975. EPA-650/4-74-008.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

**Приложение 1. Результаты измерения содержания CO и NO2 в атмосферном воздухе в весенне-летний период**

Название точки	Высота, м	Широта	Долгота	Время	Дата	Оксид углерода (CO), ppm	Оксид углерода (CO), mg/m3	Диоксид азота (NO2), ppm	Диоксид азота (NO2) mgm3
Асик	670	43,0386	44,64045	10:05	17 мая	0,1514	0,1638	0,0171	0,0304
Асик_свет	670	43,03905	44,64048	10:49		0,3448	0,3756	0,0278	0,0498
МоскКалин	670	43,0367	44,64094	11:37		0,1079	0,1165	0,0122	0,0217
Дендрарий	789	42,97944	44,66793	13:59		0	0	0,0112	0,0195
Кирова	700	43,03512	44,68281	15:26		0,5155	0,548	0,0025	0,0044
Контакт	700	43,00261	44,6435	10:38	26 мая	0	0	0,0318	0,0548
Гадиева 1	700	43,00798	44,6435	11:10		0	0	0,0046	0,0079
12	700	43,00874	44,66427	11:45		0,0557	0,0596	0,018	0,0316
Дом печати	700	43,00278	44,6751	12:18		0,0424	0,0454	0,0137	0,0241
259-260-2	700	42,9966	44,675	12:51		0,0706	0,0754	0,0211	0,0372
13	700	42,98612	44,67879	13:24		0	0	0,0051	0,0089
250	700	42,99524	44,66069	14:02		0,0045	0,0047	0,0148	0,0257
18	700	43,00285	44,65532	14:43	0	0	0,0092	0,0157	

225	700	43,0105	44,68173	15:15		0,0098	0,0102	0,0225	0,0386
T16	700	43,00943	44,69319	11:41	27 мая	0,0042	0,0044	0,058	0,0995
Сапитская будка	700	43,01976	44,70544	12:15		0,0395	0,0404	0,0226	0,0381
t2	700	43,01919	44,69269	12:50		1,1149	1,1408	0,0407	0,0687
T17	700	43,02217	44,69148	13:27		0,063	0,0656	0,024	0,0411
t4	700	43,02638	44,68765	14:03		0,3887	0,4084	0,0188	0,0324
10	700	43,02825	44,70008	14:52		0	0	0,0179	0,0308
T18	700	43,03199	44,69357	15:30		1,2548	1,3244	0,0172	0,0298
109	687	43,04122	44,71087	9:29		0,4238	0,4479	0,0152	0,0265
141	687	43,03707	44,69938	10:04	0,2224	0,2333	0,0086	0,0149	
14	709	43,0132	44,63688	10:52	0	0	0,017	0,0289	
17	709	43,01737	44,64792	11:29	0,001	0,0011	0,0417	0,0707	
190	689	43,02537	44,63838	11:59	0,4941	0,5108	0,0168	0,0284	
T9	692	43,02452	44,65533	12:39	0,1759	0,1807	0,0148	0,025	
Кырджалийская	699	43,01745	44,65591	13:16	0	0	0,0021	0,0036	
197	699	43,01869	44,66815	13:51	0	0	0,0138	0,0233	
11	692	43,02052	44,6793	14:27	0,2992	0,3079	0,0213	0,0361	

Тургеневская	698	43,02294	44,66384	15:05		0	0	0,0095	0,0159	
166	689	43,0282	44,66908	15:39		0,0043	0,0044	0,0056	0,0095	
8	680	43,03933	44,68579	16:11		1,3162	1,3456	0,0201	0,0338	
50	654	43,05824	44,65541	9:35	31 мая	3,712	3,9336	0,0152	0,0265	
Архонские сады	647	43,06031	44,63626	10:12		6,2201	6,4886	0,0322	0,0552	
63	649	43,05428	44,63281	10:44		0,7555	0,7878	0,025	0,0428	
15	647	43,05194	44,62232	11:20		0,288	0,299	0,0764	0,1303	
96	652	43,04644	44,62415	11:54		0,4866	0,5015	0,0485	0,0821	
16	670	43,03825	44,63452	12:25		0,0095	0,0098	0,0777	0,1313	
БАМ	675	43,0343	44,63887	12:58		0,0945	0,0975	0,0458	0,0775	
98	665	43,04375	44,6388	13:31		0,097	0,0995	0,0325	0,0546	
19	659	43,05136	44,64268	14:03		0	0	0,022	0,0371	
Леваневского	657	43,05439	44,64842	14:33		0,3482	0,3588	0,0254	0,043	
Чкалова	677	43,04158	44,67361	15:09		0,2395	0,2456	0,0176	0,0297	
Пожарского	662	43,05507	44,67538	9:26		1 июня	0,7897	0,8308	0,0104	0,0179
37-53	654	43,06465	44,67495	9:58			0,2489	0,2613	0,0124	0,0214
Переезд	640	43,06837	44,67419	10:29	0,014		0,0147	0,0087	0,0149	



17	643	43,07501	44,68141	11:04		1,3212	1,3777	0,0161	0,0276
Дарьял	633	43,08247	44,68104	11:33		0,2138	0,2228	0,0269	0,0461
0	632	43,07821	44,66536	12:06		0,0153	0,0159	0,0109	0,0185
1	646	43,06708	44,66284	12:48		0,9068	0,9358	0,0206	0,0348
2	649	43,06562	44,68707	13:26		0,0058	0,006	0,0095	0,0161
Газоапарат	619	43,06946	44,69423	13:56		0	0	0,0159	0,0269
3	628	43,07751	44,70071	14:28		0,0001	0,0001	0,0113	0,0191
Собачья балка	636	43,06917	44,71444	15:05		0,0137	0,0143	0,0077	0,0132
136	674	43,03502	44,66959	9:41	2 ИЮНЯ	0,1243	0,1304	0,0012	0,002
149	687	43,03334	44,65496	10:12		0,0005	0,0005	0,0039	0,0067
133	680	43,03756	44,6514	10:43		0,0033	0,0034	0,0108	0,0184
100	669	43,04567	44,64974	11:13		0,1731	0,1807	0,007	0,012
Металлург	666	43,05039	44,66693	11:49		0,1533	0,1593	0,0146	0,025
87	669	43,04969	44,67295	12:19		0,0093	0,0096	0,0106	0,0181
103	672	43,04493	44,66964	12:51		0,008	0,0083	0,0159	0,0271
105	673	43,04651	44,67943	13:20		0,0018	0,0018	0,0082	0,014
4	659	43,05526	44,69115	13:54		0,2397	0,2479	0,0173	0,0294
6	668	43,04719	44,69004	14:24		0,0079	0,0082	0,0166	0,0281

7	685	43,04736	44,69587	14:54		0,038	0,039	0,0066	0,0112
5	656	43,05702	44,69896	15:55		0	0	0,003	0,005
Черменский круг	658	43,0574	44,69142	10:24	3 июня	0,0087	0,0091	0,0025	0,0043
56	659	43,06058	44,69257	10:53		0,7737	0,8089	0,0083	0,0142
Китайский круг	660	43,05852	44,66903	11:27		3,9972	4,1627	0,0179	0,0306
Архонский круг	651	43,05763	44,64267	12:04		3,1684	3,2932	0,018	0,0308
Чкалова	671	43,0449	44,66114	12:40		1,2758	1,3273	0,0076	0,013

**Приложение 2. Результаты измерения содержания углеводородов C1-C10 и SO<sub>2</sub> в атмосферном воздухе в весенне-летний период**

Название точки	Высота, м	Широта	Долгота	Время	Дата	Углеводороды (C1-C10), ppm	Углеводороды (C1-C10) mgm <sup>3</sup>	Диоксид серы (SO <sub>2</sub> ), ppm	Диоксид серы (SO <sub>2</sub> ) mgm <sup>3</sup>
Асик	670	43,0386	44,64045	10:05	17 мая	0,8432	0,7513	0	0
Асик_свет	670	43,03905	44,64048	10:49		0	0	0,0011	0,0027
МоскКалин	670	43,0367	44,64094	11:37		0	0	0,0038	0,0094
Дендрарий	789	42,97944	44,66793	13:59		0,0086	0,0076	0	0
Кирова	700	43,03512	44,68281	15:26		0,147	0,1302	0,0283	0,069
Контакт	700	43,00261	44,6435	10:38	26 мая	0	0	0,0001	0,0001
Гадиева 1	700	43,00798	44,6435	11:10		0	0	0	0
12	700	43,00874	44,66427	11:45		0	0	0,0003	0,0008
Дом печати	700	43,00278	44,6751	12:18		0	0	0	0
259-260-2	700	42,9966	44,675	12:51		0	0	0	0
13	700	42,98612	44,67879	13:24		0	0	0	0
250	700	42,99524	44,66069	14:02		0	0	0	0

18	700	43,00285	44,65532	14:43		0	0	0	0
225	700	43,0105	44,68173	15:15		0	0	0,0002	0,0004
T16	700	43,00943	44,69319	11:41		0	0	0,0012	0,0029
Сапитская будка	700	43,01976	44,70544	12:15		0,0252	0,0215	0,0021	0,005
t2	700	43,01919	44,69269	12:50	27	2,8802	2,4484	0,0209	0,0489
T17	700	43,02217	44,69148	13:27	мая	0	0	0,0023	0,0055
t4	700	43,02638	44,68765	14:03		0,0122	0,0107	0,0109	0,0261
10	700	43,02825	44,70008	14:52		0	0	0	0
T18	700	43,03199	44,69357	15:30		0,2448	0,2147	0,0282	0,068
109	687	43,04122	44,71087	9:29		0	0	0,0022	0,0054
141	687	43,03707	44,69938	10:04		0,0432	0,0377	0,0037	0,009
14	709	43,0132	44,63688	10:52		0	0	0,0028	0,0066
17	709	43,01737	44,64792	11:29	30	0	0	0,0037	0,0087
190	689	43,02537	44,63838	11:59	мая	0,2255	0,1938	0,0042	0,01
T9	692	43,02452	44,65533	12:39		0	0	0,0069	0,0162
Кырджалийская	699	43,01745	44,65591	13:16		0	0	0,0084	0,0195
197	699	43,01869	44,66815	13:51		0	0	0,0019	0,0044

11	692	43,02052	44,6793	14:27		0	0	0,0075	0,0176	
Тургеневская	698	43,02294	44,66384	15:05		0	0	0,0035	0,0081	
166	689	43,0282	44,66908	15:39		0	0	0,0038	0,0089	
8	680	43,03933	44,68579	16:11		0,6137	0,5211	0,0697	0,163	
50	654	43,05824	44,65541	9:35	31 мая	0,0453	0,0398	0,0349	0,0846	
Архонские сады	647	43,06031	44,63626	10:12		0,2492	0,2158	0,1567	0,3737	
63	649	43,05428	44,63281	10:44		0	0	0,0009	0,002	
15	647	43,05194	44,62232	11:20		0	0	0,0025	0,0059	
96	652	43,04644	44,62415	11:54		0,1703	0,146	0,0038	0,0089	
16	670	43,03825	44,63452	12:25		0	0	0,0011	0,0025	
БАМ	675	43,0343	44,63887	12:58		0	0	0,0006	0,0014	
98	665	43,04375	44,6388	13:31		0,0179	0,0153	0,0073	0,0172	
19	659	43,05136	44,64268	14:03		0,0632	0,0535	0,0033	0,0078	
Леваневского	657	43,05439	44,64842	14:33		0,0978	0,0837	0,0035	0,0083	
Чкалова	677	43,04158	44,67361	15:09		0,3246	0,2766	0,0071	0,0166	
Пожарского	662	43,05507	44,67538	9:26		1 июня	0	0	0,0073	0,0175
37-53	654	43,06465	44,67495	9:58			0	0	0,009	0,0215

Переезд	640	43,06837	44,67419	10:29		0	0	0	0
17	643	43,07501	44,68141	11:04		0,0931	0,0807	0,0207	0,0495
Дарьял	633	43,08247	44,68104	11:33		0	0	0,0004	0,001
0	632	43,07821	44,66536	12:06		0	0	0,0012	0,0028
1	646	43,06708	44,66284	12:48		0	0	0,012	0,0283
2	649	43,06562	44,68707	13:26		0	0	0,001	0,0024
Газоаппарат	619	43,06946	44,69423	13:56		0	0	0,0017	0,004
3	628	43,07751	44,70071	14:28		0	0	0,0012	0,0029
Собачья балка	636	43,06917	44,71444	15:05		0	0	0,0007	0,0017
136	674	43,03502	44,66959	9:41		2 ИЮНЯ	0	0	0,0041
149	687	43,03334	44,65496	10:12	0		0	0,0003	0,0008
133	680	43,03756	44,6514	10:43	0		0	0	0
100	669	43,04567	44,64974	11:13	0		0	0,0011	0,0025
Металлург	666	43,05039	44,66693	11:49	0		0	0,0005	0,0012
87	669	43,04969	44,67295	12:19	0		0	0	0,0001
103	672	43,04493	44,66964	12:51	0		0	0,0002	0,0005
105	673	43,04651	44,67943	13:20	0		0	0	0
4	659	43,05526	44,69115	13:54	0		0	0,0004	0,0009

6	668	43,04719	44,69004	14:24		0	0	0	0,0001
7	685	43,04736	44,69587	14:54		0	0	0,0007	0,0016
5	656	43,05702	44,69896	15:55		0	0	0,0002	0,0006
Черменский круг	658	43,0574	44,69142	10:24	3 ИЮНЯ	0	0	0,0007	0,0018
56	659	43,06058	44,69257	10:53		0	0	0,0041	0,0098
Китайский круг	660	43,05852	44,66903	11:27		0,5038	0,4358	0,1331	0,3169
Архонский круг	651	43,05763	44,64267	12:04		0,2751	0,2373	0,1085	0,2579
Чкалова	671	43,0449	44,66114	12:40		0	0	0,021	0,0499