



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КАФЕДРА ГЕОГРАФИИ, БИОЛОГИИ И ХИМИИ

Проблемы качества атмосферного воздуха города Челябинск

**Выпускная квалификационная работа по направлению
05.03.06 Экология и природопользование**

**Направленность программы бакалавриата
«Природопользование»
Форма обучения очная**

Проверка на объем заимствований:
70,82 % авторского текста

Работа рекомендована к защите
рекомендована/не рекомендована

« 23 » 05 2025 г.

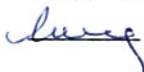
И.о. зав. кафедрой географии, биологии и
химии
(название кафедры)

 Малаев А.В.

Выполнила:

Студентка группы ОФ-423/058-4-1
Алексеевко Кристина Алексеевна

Научный руководитель:
канд. биол. наук, доцент

 Лиходумова Ирина Николаевна

Челябинск
2025

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 2 |
| ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА | 4 |
| 1.1. Качество атмосферного воздуха, его характеристики и основные источники загрязнения | 4 |
| 1.2. Нормирование качества атмосферного воздуха..... | 9 |
| 1.3. Методики определения качества атмосферного воздуха | 10 |
| Выводы по первой главе | 20 |
| ГЛАВА 2. КАЧЕСТВО АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. ЧЕЛЯБИНСК | 23 |
| 2.1 Основные источники загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинск..... | 23 |
| 2.2 Динамика загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинск | 26 |
| 2.3. Структура загрязнителей атмосферы в г Челябинск | 36 |
| 2.4. Неблагоприятные метеорологические условия (НМУ), как фактор влияющий на качество атмосферного воздуха г. Челябинск..... | 41 |
| Выводы по второй главе | 47 |
| ГЛАВА 3. ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В Г ЧЕЛЯБИНСК | 49 |
| 3.1 Модернизация и оптимизация промышленных предприятий | 49 |
| 3.2. Развитие устойчивой транспортной системы | 55 |
| 3.3. Повышение экологической осведомленности населения | 60 |
| Выводы по третьей главе | 62 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 63 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 66 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Пример введения системы велосипедных маршрутов | 70 |

ВВЕДЕНИЕ

Атмосферный воздух является самой важной жизнеобеспечивающей природной средой и представляет собой смесь газов и аэрозолей приземного слоя атмосферы, сложившуюся в ходе эволюции Земли и деятельности человека. Загрязнение атмосферного воздуха – мощный и постоянный фактор негативного воздействия на человека, животных и окружающую среду. Антропогенное воздействие ухудшает качество воздуха, что напрямую влияет на здоровье населения, особенно уязвимых групп (пожилые, дети, беременные, люди с хроническими заболеваниями). Загрязненный воздух, содержащий токсичные вещества и мелкие частицы, вызывает серьезные заболевания сердечно–сосудистой, репродуктивной, нервной и дыхательной систем, а также повышает риск развития рака и диабета. Животные также страдают от загрязнения воздуха, кислотных дождей и разрушения озонового слоя. Именно поэтому важно осуществлять государственный контроль в области охраны атмосферного воздуха, чтобы сохранить атмосферу на планете в состоянии, пригодном для ее использования без ущерба для здоровья и других жизненно важных функций.

Таким образом, **актуальность** темы обусловлена:

- 1) загрязнение воздуха уже стало первопричиной сокращения жизни человека;
- 2) загрязнение воздуха на прямую и косвенно влияет на жизнедеятельность животных, наносит вред почве и растительности;
- 3) загрязнение атмосферного воздуха может нести серьезные финансовые потери (например, за счет ухудшения качества сельскохозяйственных культур).

Цель работы– выявить проблемы качества атмосферного воздуха. Челябинск.

Для достижения цели исследования были поставлены следующие **задачи**:

1. Дать характеристику основным источникам загрязнения атмосферы.
2. Изучить динамику выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Челябинск.
3. Изучить неблагоприятные метеорологические источники (НМУ), как фактор определяющий качество атмосферного воздуха г. Челябинск.
4. Разработать пути улучшения качества атмосферного воздуха в г. Челябинск.

Объектом исследования является атмосферный воздух г. Челябинск.

Предметом исследования являются проблемы качества атмосферного воздуха г. Челябинск.

Теоретическая значимость – материалы, собранные в работе, позволяют оценить качество атмосферного воздуха г. Челябинск. Информация может быть использована людьми, заинтересованными проблемами атмосферного воздуха г. Челябинск.

Практическая значимость выпускной квалификационной работы заключается в выявлении проблем атмосферного воздуха в г. Челябинск. Данные материалы также могут быть использованы заинтересованными лицами.

При написании выпускной квалификационной работы были применены **следующие методы исследования**: изучение и анализ научной теоретической и методической литературы по рассматриваемой теме, методы сравнения, классификации и систематизации, статистическая обработка результатов исследования.

Структура работы – работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованных источников.

ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

1.1. Качество атмосферного воздуха, его характеристики и основные источники загрязнения

Под загрязнением атмосферного воздуха понимают изменение состава и свойств атмосферного воздуха вследствие поступления или образования в нем физических, биологических факторов и (или) химических соединений, которые могут неблагоприятно влиять на здоровье людей и состояние окружающей природной среды. Выброс – это поступление в атмосферный воздух загрязняющих веществ или их смеси. Загрязняющее вещество – это вещество химического или биологического происхождения, которое содержится или поступает в атмосферный воздух и может прямо или опосредованно отрицательно влиять на здоровье человека и состояние окружающей природной среды [3].

Основные характеристики атмосферного воздуха:

1. Температура. Показатель того, насколько воздух нагрет, определяемый скоростью движения его молекул. Температура воздуха варьируется в зависимости от местоположения, высоты над уровнем моря и времени суток/года.

2. Давление. Атмосферное давление измеряет силу, с которой воздух давит на поверхность. Стандартным значением у поверхности Земли считается 760 мм ртутного столба или 1013 гПа.

3. Влажность: Количество воды в воздухе, которое может присутствовать в виде пара, капель или льда. Обычно говорят о влажности воздуха, подразумевая количество водяного пара (абсолютную или относительную влажность).

4. Плотность воздуха. Это масса воздуха, приходящаяся на единицу объема. Влажный воздух легче сухого, так как водяной пар менее плотный, чем компоненты сухого воздуха.

Ухудшение состояния атмосферы – это одна из наиболее важных проблем для всего человечества. Наше существование зависит от того, имеем ли мы доступ к чистому воздуху. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в 2016 г. объявила, что загрязнение воздуха представляет собой одну из самых серьезных угроз для здоровья людей. Существуют самые разные причины загрязнения атмосферной оболочки нашей планеты. Все они делятся на большие группы:

1. Естественные – источником загрязнения выступают природные явления.

2. Антропогенные – являются следствием деятельности человека [34].

По времени воздействия загрязнения делятся на 2 типа:

- единичные,
- постоянные.

Загрязнители делятся на 3 вида:

- химические– это химические вещества, которые попадают в атмосферу в виде газообразных веществ или аэрозолей,
- биологические– представляют собой результат деятельности живых организмов. Биологическое загрязнение воздуха происходит через вирусы, споры грибов и бактерий, токсины,
- физические– обусловлены разнообразными физическими явлениями.

К основным природным источникам загрязнения окружающей среды относятся:

1. Вулканическая активность. Извержения вулканов выбрасывают в атмосферу огромное количество раскаленных газов и пыли. Эта деятельность губительна для флоры и фауны, а вдыхание вулканического пепла может привести к летальному исходу.

2. Самовозгорания, возникающие в природе. Зачастую причиной таких пожаров становятся удары молний в сухую древесину. Обширные

пожары насыщают воздух сажей и пеплом, уничтожая все живое на больших территориях.

3. Ветровая эрозия, наблюдаемая в регионах с сильными ветрами. Ветер поднимает в воздух почву и даже мелкие камни, что ведет к изменениям в ландшафте и загрязнению атмосферы твердыми частицами.

4. Биологическая активность. Газообразные вещества, выделяемые в процессе разложения органики и жизнедеятельности микроорганизмов, попадают в атмосферу. В высоких концентрациях они могут негативно влиять на экосистемы и здоровье человека.

5. Космическая пыль. Большинство метеоритов сгорают в атмосфере, но частицы, достигающие земной поверхности, способны загрязнять воздух.

Источник выброса – это любой объект, будь то завод, цех, оборудование, транспортное средство или другое, который выделяет загрязняющие вещества в атмосферу. Это может быть что угодно, от дымовой трубы до автомобильной парковки [37].

Источники выбросов делятся на три основных типа:

– стационарные организованные: выбросы происходят через контролируемые каналы, например, дымовые трубы. Они могут быть точечными (из одного отверстия) или линейными (из протяженного источника),

– стационарные неорганизованные: выбросы происходят без специальных устройств, но в пределах одного места. Примеры: автостоянки, свалки, дороги,

– передвижные (нестационарные): источники, меняющие свое местоположение, такие как автомобили и переносное оборудование.

Организованные источники контролируются как внутренними экологическими службами предприятий, так и внешними надзорными органами.

Для борьбы с неорганизованными источниками применяются следующие меры:

- тщательный экологический мониторинг окружающей среды (воздуха, воды, почвы);
- реагирование на жалобы населения;
- более строгие требования к экологической экспертизе при открытии новых производств и эксплуатации оборудования.

Передвижные источники, такие как автомобили и переносное оборудование, также являются источниками загрязнения [37].

По химическому составу основными загрязнителями воздуха являются следующие вещества.

Монооксид углерода – опасное соединение, не имеющее ни цвета, ни запаха. Он возникает при неполном сгорании горючих материалов, таких как уголь, газ, нефтепродукты и другие ископаемые виды топлива. Попадая в организм, он связывается с гемоглобином крови, блокируя транспорт кислорода. В высоких концентрациях вызывает смерть от асфиксии.

Диоксид углерода – газ без цвета, но с характерным кисловатым запахом, играющий значительную роль в усилении парникового эффекта.

Сернистый газ образуется при сжигании топлива, содержащего серу, и при обработке серных руд. Он участвует в формировании кислотных осадков. Продолжительное воздействие оказывает пагубное влияние на функционирование дыхательной и сердечно–сосудистой систем.

Оксиды азота образуются в процессах горения, а также при производстве азотных удобрений. Основным источником выбросов оксидов азота является автомобильный транспорт. Они являются активными компонентами смога и способствуют развитию различных хронических заболеваний.

Озон – ядовитое вещество с острым, специфическим запахом. Обладает сильными окислительными свойствами. Его воздействие на

организм происходит постепенно, но приводит к развитию ряда серьезных заболеваний, таких как атеросклероз, астма, бронхит, а также к нарушениям нервной и иммунной систем.

Свинец – тяжелый металл серебристо-серого оттенка. Большая часть (около 80 %) свинца попадает в атмосферу из выхлопных газов автотранспорта, остальная часть – из выбросов химических производств. Попадая в организм, свинец оказывает отравляющее действие на центральную нервную систему.

Углеводороды – органические соединения, состоящие из различных сочетаний атомов углерода и водорода. Они попадают в атмосферу из-за неполного сгорания бензина и как побочный продукт химической промышленности. Углеводороды вызывают нарушения в экосистемах и оказывают негативное воздействие на здоровье человека [29].

Загрязнение воздуха оказывает разрушительное воздействие на всю живую природу: животные, птицы и насекомые страдают от отравления и погибают. Растения также подвержены негативному влиянию вредных веществ, содержащихся в воздухе, таких как соединения серы, фтора, оксид углерода, хлор и углеводороды. Эти загрязнители наносят серьезный ущерб сельскому хозяйству, лесам, садам и паркам, нарушая процесс фотосинтеза, замедляя рост и развитие растений, что приводит к их увяданию и гибели.

Вблизи промышленных предприятий, выбрасывающих в атмосферу соединения серы, фтора и мышьяка, наблюдается угнетение лесов, а деревья усыхают даже на удалении от источника загрязнения. Подкисление осадков особенно опасно для кислых почв, таких как подзолистые. Это приводит к нарушению круговорота веществ, вымыванию тяжелых металлов из почвы, повышению ее токсичности, уменьшению содержания кальция и угнетению роста растений.

Наибольшую опасность представляют предприятия черной и цветной металлургии, химической и цементной промышленности, а также теплоэлектростанции, использующие низкосортный уголь.

1.2. Нормирование качества атмосферного воздуха

Воздух атмосферы является жизненно важным компонентом окружающей нас среды и представляет собой естественную смесь из газов атмосферы, находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений [27].

Качество атмосферного воздуха – те свойства атмосферы, которые определяют степень воздействия различных факторов на людей, флору и фауну, а также на окружающую среду в целом. Право на благоприятную окружающую среду и достоверную информацию о её состоянии гарантировано ст. 42 Конституции РФ. В целях гласности, полноты и достоверности информации о состоянии атмосферного воздуха и его загрязнении, а также государственного регулирования выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в РФ осуществляется государственное управление в области охраны атмосферного воздуха, включающее:

1. Нормирование качества атмосферного воздуха и вредных физических воздействий на него [27].

2. Осуществление Правительством РФ, органами государственной власти субъектов РФ и органами местного самоуправления государственного мониторинга атмосферного воздуха, являющегося составной частью государственного экологического мониторинга [27].

3. Установление ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду (в том числе на атмосферный воздух) и дополнительных коэффициентов [39].

4. Осуществление Федеральной службой по надзору в сфере природопользования государственного надзора в области охраны атмосферного воздуха, являющегося составной частью государственного экологического надзора и др. [32].

Основным требованием, предъявляемым к организаторам производства и экологическим службам, является снижение количества неорганизованных источников загрязнения ОС и перевод их в организованные источники. Экологические службы на федеральном и региональном уровнях проводят регулярную инвентаризацию (учет) источников загрязнения окружающей среды. Эту работу проводят также специалисты ОВОС с целью выдачи экологической информации, необходимой для качественной работы экологической экспертизы, без положительного решения которой не может быть открыто ни одно новое предприятие в Российской Федерации. Методы проведения инвентаризации источников выбросов вредных веществ в ОС и периодичность инвентаризации зависят от вида источника загрязнения; она проводится в соответствии с Государственными стандартами РФ по охране атмосферы, воды и почвы.

Ухудшение состояния атмосферы – это одна из важнейших проблем для всего человечества. Существование людей зависит от того, имеется ли доступ к чистому воздуху. Существуют самые разные причины загрязнения атмосферной оболочки нашей планеты.

1.3. Методики определения качества атмосферного воздуха

Необходимо осуществлять мероприятия по контролю за выбросами загрязняющих веществ, для того чтобы добиться их снижения, для этого существуют государственные стандарты, которые регламентируют нормы содержания загрязняющих веществ в выбросах, осуществляемых от различных источников.

При контроле выбросов в атмосферу используются следующие методы.

Инструментальный метод: основан на применении автоматических газоанализаторов, непрерывно измеряющих концентрации загрязняющих веществ в выбросах контролируемых источников.

Инструментально-лабораторный метод: основан на отборе проб отходящих газов из контролируемых источников с последующим их анализом в химических лабораториях и на автоматических и полуавтоматических приборах. Метод применяют для контроля широкого спектра специфических загрязняющих веществ, не обеспеченных средствами инструментального контроля.

Индикаторный метод: основан на использовании селективных индикаторных элементов (колористических трубок), изменяющих свою окраску в зависимости от концентрации загрязняющих веществ в отбираемой пробе газа. Метод применяют для экспресс-анализа и предварительной оценки концентрации загрязняющих веществ (ЗВ) и индекса загрязнения атмосферы (ИЗА).

Расчетный метод: основан на определении массовых выбросов загрязняющих веществ по данным о составе исходного сырья и топлива, технологическом режиме и т.п. Метод применяют для предварительной оценки и при невозможности или экономической нецелесообразности прямых измерений.

Метод контроля выбросов по результатам анализа фактического загрязнения атмосферы: основан на определении фактических уровней загрязненности воздуха выбросами предприятия за его пределами и последующем их сравнении с эталонными (с учетом направления и скорости ветра). Метод применяют для контроля большого числа мелких источников, в том числе неорганизованных, рассредоточенных по территории предприятия. Результаты контроля оформляют для предприятия (промышленной площадки) в целом и сравнивают с

нормативами, установленными для предприятия (промышленной площадки) в целом.

В настоящее время основной объем данных о количественном составе выбросов в атмосферу получают на основе измерений с помощью инструментально-лабораторных методик или газоанализаторов (переносных или стационарных) [26].

Газоанализаторы используются для определения приоритетных газовых примесей (SO_2 , NO_x , CO) и наиболее важных специфических загрязняющих веществ (NH_3 , H_2S , фториды, меркаптаны, галогены). Но уже сейчас число веществ, подлежащих контролю, достигло нескольких сотен, что делает невозможным создание автоматических приборов для каждого из ЗВ. Таким образом, в ближайшие годы, очевидно, сохранится ведущая роль инструментально-лабораторных методов как источников получения информации о выбросах в атмосферу и основных средств контроля за соблюдением технических нормативов и нормативов ПДВ. В этой связи особое значение приобретает создание и внедрение в практику контроля наиболее эффективных лабораторных методов с учетом современных требований к методикам выполнения измерений [26].

Государственными нормативными актами определено, что при контроле источников загрязнения атмосферы можно использовать только методики, отвечающие предъявляемым к ним требованиям и согласованные в установленном порядке. В настоящее время функции согласующих ведомств выполняют Министерство природных ресурсов и экологии и Госстандарт России. Все остальные методические документы по контролю источников загрязнения атмосферы, в том числе и согласованные Минздравсоцразвития России методики, нельзя применять при контроле содержания загрязняющих веществ в выбросах. Это распространяется как на государственный, так и на производственный контроль [26].

Все средства, которыми измеряются параметры потоков загрязняющих веществ, должны быть внесены в Государственный Реестр средств измерений РФ и быть аттестованы.

Государственное регулирование подробно регламентирует процедуру измерений параметров газовых потоков: скорости, давления и температуры. Техническое обеспечение определения массовых концентраций вредных компонентов с использованием физико-химических методов осуществляется универсальным лабораторным оборудованием и приборами [26].

Процесс измерений включает:

1. Забор проб выхлопных газов непосредственно от промышленного источника (рис. 1) [6].

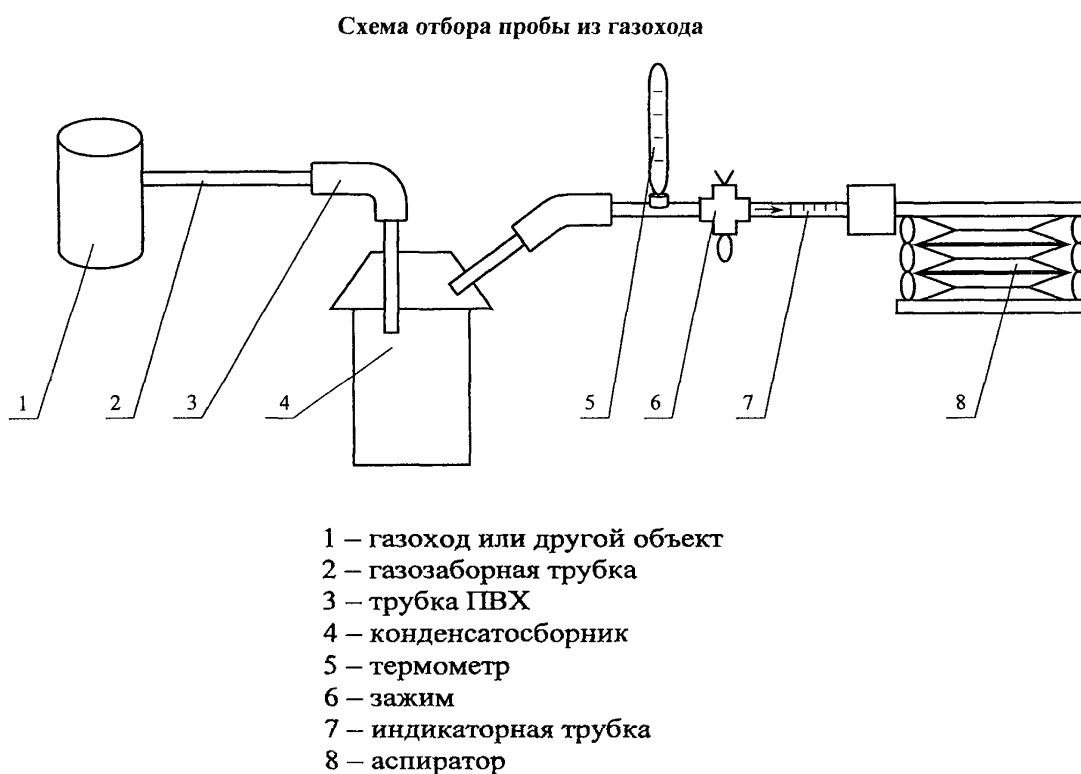


Рисунок 1 – Схема отбора пробы

2. Транспортировка образца в аналитическую лабораторию с условиями сохранения.

3. Анализ пробы: подготовка, преобразование и получение анализа.

4. Контроль точности полученных данных (рис. 2).

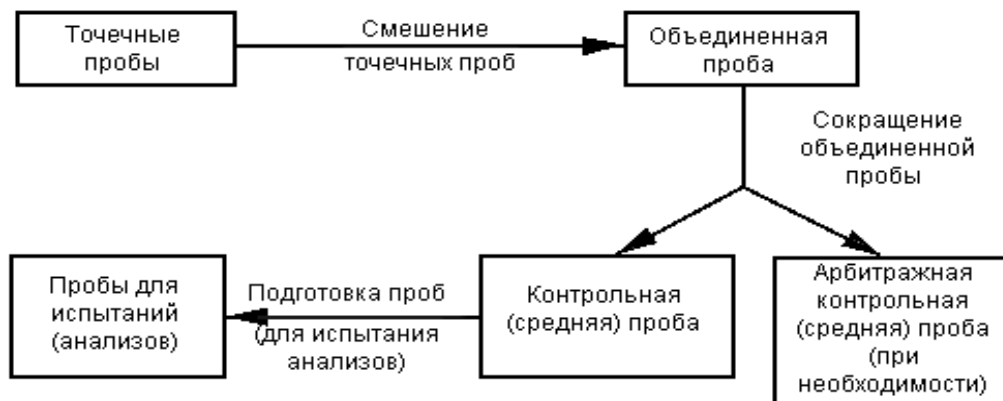


Рисунок 2 – Порядок выполнения измерений [6]

5. Формализованное оформление результатов измерений.

Применяются практически все существующие физико-химические методики: атомная абсорбция, спектрофотометрия, газовая и жидкостная хроматография, полярография, потенциометрия.

Методика отбора газовых проб варьируется в зависимости от конкретного загрязнителя:

- отбор с использованием пипеток или шприцев для малореактивных газов (СО и легких углеводородов) с ограниченным сроком хранения;
- адсорбция на сорбентах: полимерных, силикагелях, активированном угле, саже.

Преимущества включают удобство транспортировки, работу при низких температурах и более длительное сохранение образцов. Отбор аэрозолей производится: внутренней фильтрацией (фильтр внутри газохода) с преимуществом в упрощении процесса, либо внешней фильтрацией (вне газохода), где предпочтение отдается внутреннему методу.

В качестве материалов для фильтров используются бумажные, фторопластовые, кварцевые и другие специализированные материалы в зависимости от условий эксплуатации.

Лабораторные методы анализа, используемые при контроле источников загрязнения атмосферы:

Физико-химические методы инструментального анализа выбросов: для инструментального анализа состава газовых смесей применяют ряд физико-химических методов газового анализа, наиболее же распространены электрохимические, оптические, хроматографический и пламенноионизационный методы.

Электрохимические методы подразделяются на кондуктометрический и кулонометрический.

Работа кондуктометрических анализаторов заключается в регистрации изменений электропроводности раствора, возникающих в результате поглощения газовой смеси. Недостатком метода является то, что все растворяющиеся в реактиве с образованием ионов газы сильно влияют на электропроводность электролита, на точность показаний влияет температура внешней среды, прибор нуждается в частой смене электролита и имеет нелинейную шкалу.

Кулонометрический метод состоит в непрерывном автоматическом титровании вещества реагентом, электрохимически генерируемым на одном из электродов в реакционной схеме. При этом ток электродной реакции служит мерой содержания определяемого вещества в реакционной среде. Кулонометрический метод анализа обладает высокой чувствительностью и широким динамическим диапазоном. Современные кулонометрические анализаторы имеют сравнительно простое устройство, небольшие габариты и массу, сравнительно низкую стоимость. К недостаткам кулонометрических приборов можно отнести низкую селективность и необходимость периодической смены электролита.

Оптические методы анализа включают в себя абсорбционные и эмиссионные методы.

Абсорбционные методы анализа основаны на способности веществ избирательно поглощать лучистую энергию в характерных участках

спектрального диапазона. В свою очередь абсорбционные методы делят на недисперсионные и дисперсионные.

Недисперсионный метод анализа основан на выделении нужной спектральной области без разложения излучения в спектр. Для такого выделения чаще всего используют газовые фильтры.

Дисперсионный метод основан на выделении нужной спектральной области путем разложения излучения в спектр [11].

Интегральным показателем загрязнения воздуха атмосферы считается индекс загрязнения атмосферы (ИЗА).

ИЗА – количественная характеристика уровня загрязнения атмосферы, которая позволяет учитывать концентрации нескольких примесей, а также обозначить уровень загрязнения воздуха конкретным числом.

Существуют разные методики расчета индекса загрязнения атмосферы: наиболее часто комплексный индекс загрязнения атмосферы $I(m)$, учитывающий m -загрязняющих веществ, рассчитывается по формуле (1):

$$I(m) = \sum_i^m I_i = \sum_i^m \left(\frac{X_i}{\text{ПДК}_i} \right) C_i \quad (1)$$

где X_i – среднегодовая концентрация i -го вещества;

ПДК_i – его среднесуточная предельно допустимая концентрация;

C_i – безразмерный коэффициент, позволяющий привести степень загрязнения воздуха i -м веществом к степени загрязнения воздуха диоксидом серы. Значения C_i равны 0,85; 1,0; 1,3 и 1,5 соответственно для 4, 3, 2 и 1 классов опасности вещества.

ИЗА, рассчитанный по формуле (1), показывает, какому уровню загрязнения атмосферы (в единицах ПДК диоксида серы) соответствуют фактически наблюдаемые концентрации m -вещества в городской атмосфере, то есть показывает, во сколько раз суммарный уровень

загрязнения воздуха превышает допустимое значение по рассматриваемой совокупности примесей в целом.

Для городов России характерно наличие 5 веществ, которые вносят наибольший вклад в загрязнение воздуха в городе. Из-за этого для расчета ИЗА в конкретном населенном пункте за конкретный период необходимо сначала выбрать 5 веществ, для которых отношение средней измеренной концентрации к ПДК будут максимальны, а затем по ним с учетом класса опасности вещества рассчитать ИЗА. Он зависит не только от количества выбросов, но и от климатических условий, влияющих на рассеивание загрязняющих веществ и формирование приземных концентраций.

Но поскольку люди находятся под воздействием сразу всех загрязнителей, а не только тех, которые вносят больший вклад в загрязнение, используется комплексный индекс загрязнения атмосферы, который позволяет оценить уровень загрязнения города по всему комплексу ЗВ.

При ранжировании городов и регионов по уровню загрязнения атмосферного воздуха для расчета комплексного ИЗА используют значения единичных индексов пяти веществ с наибольшими показателями, вносящих основной вклад в уровень загрязнения.

При оценке степени экологической ситуации в регионах России (включая города) основное внимание уделяют загрязнителям атмосферы с наиболее значимыми концентрациями: оксиды азота, диоксид серы, бензапирен, формальдегид, фенолы, свинец и пылевые частицы.

Для определения интегрального загрязнения воздуха (ИЗА) в конкретной местности за установленный период выбирают пять наиболее опасных примесей с максимальным превышением средней концентрации над допустимыми пределами (ПДК). При расчете ИЗА учитывается уровень токсичности веществ.

Для расчета комплексного индекса загрязнения атмосферы (ИЗА5) используют значения единичных индексов ИЗА тех пяти веществ, у которых эти значения наибольшие.

В Российской Федерации степень загрязнения классифицируют следующим образом: низкая при ИЗА менее 5, повышенная – от 5 до 6 включительно, высокая – в диапазоне от 7 до 13 и крайне высокая – при значении ИЗА равном или превышающем 14.

Степень загрязнения атмосферного воздуха в целом по городу определяется при соблюдении двух условий:

- наличие измерений концентраций в воздухе не менее 5 примесей,
- количество наблюдений в течение года – не менее 500 за каждой примесью.

При несоблюдении этих условий оценка считается ориентировочной. Уровень загрязненности характеризуется четырьмя стандартными градациями показателей СИ (стандартный индекс), НП (Наибольшая повторяемость превышений ПДК) и ИЗА [21].

Состояние атмосферного воздуха оценивается путем сравнения полученных величин средних и максимальных концентраций примесей с установленными на федеральном уровне предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Предельные показатели в России установлены для более, чем 700 загрязняющих веществ. Средние концентрации за год или месяц обычно сравниваются со среднесуточными ПДК. Для определения уровня загрязнения используются характеристики загрязнения атмосферного воздуха:

- средняя концентрация примеси в воздухе,
- среднее квадратическое отклонение,
- максимальная разовая концентрация примеси.

Для оценки загрязнения атмосферного воздуха с учетом ПДК рассчитываются:

- повторяемость разовых концентраций загрязняющего вещества выше ПДК данного вещества,
- наибольшая повторяемость (НП) превышения ПДК любым загрязняющим веществом,

- повторяемость разовых концентраций загрязняющего вещества выше 5 ПДК,
- число дней с концентрацией загрязняющего вещества, превышающей 10 ПДК,
- наибольшая зафиксированная в городской черте разовая концентрация любого загрязняющего вещества, деленная на ПДК – стандартный индекс (СИ).

СИ определяется из данных измерений на всех постах за одной примесью или на всех постах за всеми примесями. Величина устанавливается в результате сравнения всех полученных за день показателей СИ для всех примесей за все время наблюдений, а для города – всех значений СИ на всех постах и выделения наибольшего значения СИ (табл. 1).

Таблица 1 – Градации загрязнения воздуха в величинах стандартного индекса (СИ) [21]

| Показатель СИ | Градация | Уровень загрязнения |
|---------------|----------|---------------------|
| 0–1 | I | Низкий |
| 2–4 | II | Повышенный |
| 5–10 | III | Высокий |
| > 10 | IV | Очень высокий |

Показатели наибольшей повторяемости (НП) также распределяются на 4 градации.

Загрязненность воздуха за сутки оценивается по значениям СИ, за месяц – по значениям СИ и НП. В случае различных градаций СИ и НП загрязненность оценивается по наибольшему показателю.

Загрязненность атмосферного воздуха за год оценивается по совокупности трех показателей (табл. 2).

Таблица 2 – Оценка загрязненности воздуха по трем показателям (ИЗА, СИ, НП)

| Уровень загрязнения атмосферы | ИЗА | СИ | НП |
|-------------------------------|-----------|------|---------|
| Повышенный | 5–6 | 5 | < 20 % |
| Высокий | 7–13 | 5–10 | 20–50 % |
| Очень высокий | ≥ 14 | > 10 | > 50 % |

Выводы по первой главе

Атмосфера Земли – жизненно важная часть экосистемы, характеризующаяся специфическими физико-химическими параметрами, оказывающими воздействие на здоровье людей и состояние окружающей среды. Ключевые характеристики атмосферного воздуха – это его состав, температурный режим, барометрическое давление и уровень влажности. Главными факторами, загрязняющими атмосферу, выступают промышленные отходы, транспортные средства, сельскохозяйственная деятельность, а также природные катаклизмы (лесные пожары, извержения вулканов).

Для поддержания чистоты атмосферного воздуха разработаны государственные нормативы и стандарты, направленные на охрану здоровья населения и уменьшение отрицательного влияния загрязняющих веществ. Данные нормативы регулируют предельно допустимые концентрации вредных веществ и устанавливают требования к контролю качества воздуха и системам ограничения выбросов.

Существуют различные способы вычисления уровня загрязнения атмосферного воздуха, которые предоставляют средства для оценки степени загрязнения и его воздействия на здоровье человека и окружающую среду.

Важность темы охраны атмосферы возрастает на фоне глобальных экологических проблем. Глубокое понимание свойств атмосферного воздуха, действующих норм и методик вычисления загрязнений

необходимо для создания результативных стратегий управления качеством воздуха и уменьшения его загрязнения.

ГЛАВА 2. КАЧЕСТВО АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г.ЧЕЛЯБИНСК

2.1 Основные источники загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинск

Загрязнение атмосферного воздуха – это многогранный процесс, обусловленный как природными факторами, так и деятельностью промышленности, при котором вредные вещества попадают в нижние слои атмосферы и распространяются в них. Источники, вызывающие загрязнение воздуха, классифицируются на два типа: мобильные и фиксированные. К стационарным источникам относятся промышленные установки, коммунальные службы, а также объекты сельского хозяйства.

Для предприятий, осуществляющих выбросы в атмосферу, жизненно необходимо измерять концентрацию твёрдых частиц, исходящих от стационарных источников. Твёрдые частицы, загрязняющие воздух, различаются по размеру и составу, и могут включать множество химических соединений. Значительная часть этих частиц возникает в результате сложных химических реакций между диоксидом серы и оксидами азота – загрязнителями, выбрасываемыми электростанциями, фабриками и автомобилями. Транспортные средства представляют собой передвижной источник загрязнения.

Вследствие высокой концентрации промышленных предприятий в регионе, атмосферный воздух содержит высокие концентрации тяжёлых металлов, таких как свинец, ртуть, марганец, хром, бензапирен, а также оксиды азота, углекислый газ, сажу и другие ядовитые вещества. В среднем, на каждого жителя Челябинской области приходится от 200 кг до 2 000 кг выбросов в год, что значительно превышает средний показатель по стране (375 кг). Росгидромет оценивает уровень загрязнения воздуха как «высокий» [35].

К стационарным источникам причисляются промышленные комплексы, тепловые электростанции, котельные и иные объекты,

имеющие постоянную локацию. В Челябинске эта категория играет определяющую роль в суммарном объеме вредных веществ.

Металлургическая промышленность (черная и цветная), машиностроение, химическая и нефтехимическая отрасли, представленные в Челябинске, выступают главными виновниками выбросов оксидов азота и серы, тяжелых металлов (свинца, кадмия, ртути), летучих органических соединений (ЛОС) и взвешенных частиц (сажи, пыли). Изношенное оборудование и недостаточная эффективность очистных систем на отдельных предприятиях только усугубляют ситуацию.

Челябинские ТЭЦ, использующие преимущественно уголь, выделяют значительное количество диоксида серы, оксидов азота, тяжелых металлов и твердых частиц. Несмотря на постепенное внедрение современных технологий очистки, теплоэнергетика остается значимым источником загрязнения. Множество котельных, обеспечивающих теплом жилые дома и организации, также вносят свою лепту в загрязнение воздушной среды, особенно в зимний период, выбрасывая оксиды азота, серы и твердые частицы [18].

Передвижные источники охватывают автотранспорт, железнодорожный транспорт, авиацию и водный транспорт. В Челябинске, как и в большинстве крупных городов, наибольшая доля в этой категории принадлежит автотранспорту.

Интенсивное автомобильное движение является вторым по важности источником загрязнения атмосферного воздуха в Челябинске. Выхлопы автомобилей содержат оксиды азота, углерода, углеводороды и твердые частицы. Заторы на дорогах, низкое качество топлива и изношенность автопарка усугубляют негативное воздействие. Вклад железнодорожного, воздушного и водного транспорта в общее загрязнение воздуха в Челябинске сравнительно невелик по сравнению с автомобильным транспортом и промышленными предприятиями.

В динамике выбросов загрязняющих веществ на территории г. Челябинск (рис. 3) отмечается снижение объемов выбросов, в период 2012–2022 гг. Оно сократилось практически в 2 раза: в 2012г. в атмосферу было выброшено 975,7 тыс. тонн загрязняющих веществ, в 2022 г.– 558,3 тыс. тонн. Снижение выбросов от стационарных источников можно связать с введением программы «Чистый воздух». Для реализации проекта в Челябинской области в декабре 2018 г. утвердили комплексный план мероприятий по снижению вредных выбросов, в 2019 г. заключили четырехсторонние соглашения о взаимодействии между министерством природы и экологии РФ, Федеральной службой по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор), правительством Челябинской области и 15 крупными предприятиями Челябинска. Снижение выбросов автотранспорта связано с сокращением выбросов оксида углерода. Вероятнее всего, изменение данного показателя связано с изменением системы учета оксида углерода, отходящего от передвижных источников, а также с увеличением количества автомобилей с газовым двигателем.

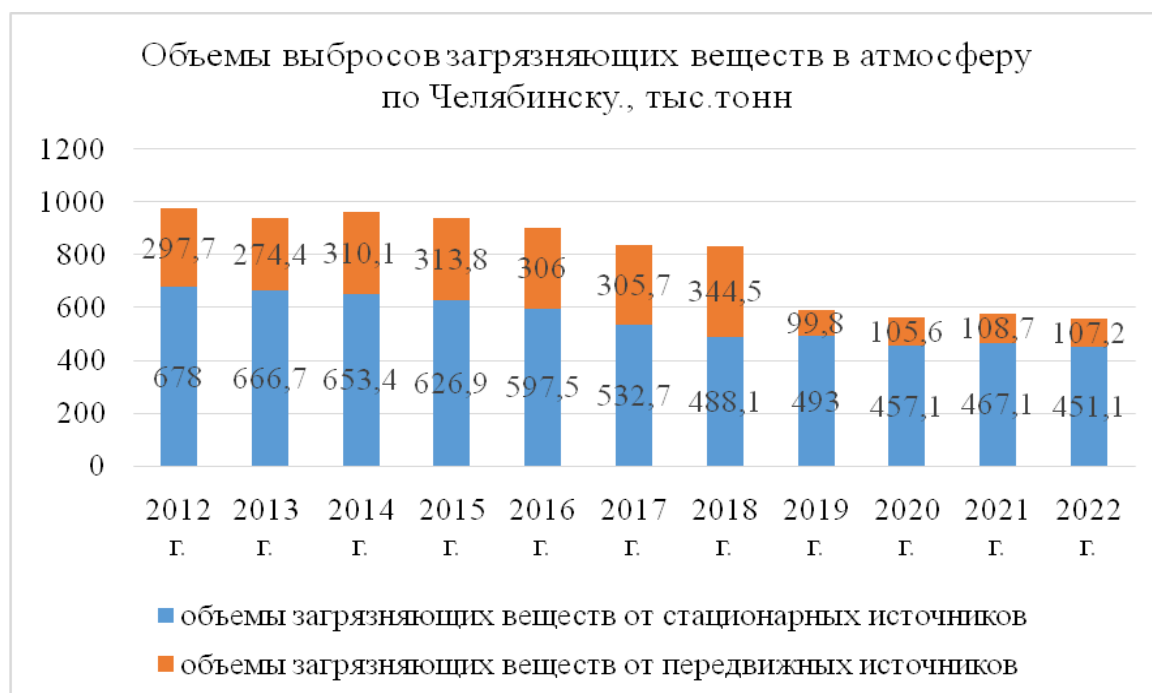


Рисунок 3 – Объемы выбросов от передвижных и стационарных источников за 2012–2022 гг.

Точное соотношение между стационарными и мобильными источниками загрязнения может изменяться в зависимости от времени года, погодных условий и других факторов. Однако, по данным мониторинга и оценкам специалистов, стационарные источники, в первую очередь промышленные предприятия, являются доминирующим источником загрязнения атмосферы в Челябинске, составляя, по различным данным, от 60 % до 80 % от общего объема выбросов. Передвижные источники, в основном автотранспорт, вносят оставшуюся часть.

В структуре выбросов (рис. 3) большую долю неизменно занимают объемы загрязняющих веществ от стационарных источников: в 2012г. их доля от общего объема выбросов составляла 69,4 %, в 2022 г. – 80,8 %.

Сегодня в городе функционирует порядка 10-ти крупнейших предприятий – заводы Челябинска, работающие в тяжелой металлургии, машиностроении, текстильной промышленности. Так, ОАО ЧТПЗ – производитель трубной продукции (20 % общего рынка), входящий в состав металлургического комплекса страны и в 10 первых трубных мировых компаний [41].

Уровень загрязнения воздуха в мегаполисе определяют выбросы промышленных предприятий. Самая высокая степень загрязнения атмосферного воздуха отмечалась в периоды неблагоприятных метеорологических условий, способствующих скоплению вредных примесей в приземном слое, в районах, в которых находятся крупные промышленные предприятия. Главными загрязнителями атмосферного воздуха в 2022 г. являются предприятия: ПАО «ЧМК», АО «ЧЭМК» и ПАО «ЧЦЗ» [41].

2.2 Динамика загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинск

Определить самый загрязненный район Челябинска однозначно невозможно. Уровень загрязнения воздуха в разных частях города

постоянно меняется из-за погоды, времени суток, времени года и расположения относительно заводов и фабрик. Официального списка самых грязных районов не существует.

Тем не менее, можно сделать следующие предположения о качестве атмосферного воздуха в районах города:

1. Наиболее загрязненными обычно являются промышленные районы: Metallургический и Тракторозаводский. Здесь сосредоточены крупные заводы, которые выбрасывают в воздух много вредных веществ.

2. Центр города также часто страдает от загрязнения из-за большого количества машин и плотной застройки, которая не дает воздуху хорошо рассеиваться. В эту же категорию можно отнести Калининский район.

3. Окраинные районы (Советский, Курчатовский) и пригороды, как правило, имеют более чистый воздух. Но даже здесь загрязнение может увеличиваться, если ветер дует со стороны промышленных зон.

Основные загрязняющие вещества, которые могут выбрасывать в атмосферный воздух указанные предприятия:

1. Челябинский завод по производству коксохимической продукции: пыль, летучие органические соединения (ЛОС), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ, включая бензапирен), фенол, формальдегид, сероводород, аммиак, диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода.

2. Челябинский металлургический комбинат (ЧМК): Пыль, диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть, хром, никель, марганец и др.), фтористые соединения, бензапирен, фенол, формальдегид, летучие органические соединения (ЛОС).

3. Челябинский электродный завод: пыль, диоксид серы, оксид углерода, сероводород, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ, включая бензапирен), фтористые соединения.

4. Челябинский лакокрасочный завод: летучие органические соединения (ЛОС), пыль, формальдегид.

5. Челябинский цинковый завод: диоксид серы, пыль, тяжелые металлы (цинк, свинец, кадмий, мышьяк, ртуть и др.), оксиды азота, сероводород.

6. Челябинский завод профилированного стального настила: пыль, масляный туман, летучие органические соединения (ЛОС).

7. Челябинский электровозремонтный завод: сварочные аэрозоли, пыль, летучие органические соединения (ЛОС), масляный туман.

8. Челябинский электрометаллургический комбинат (ЧЭМК): пыль, оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, тяжелые металлы (хром, марганец, кремний и др.), фтористые соединения.

9. Челябинский тракторный завод (ЧТЗ): пыль, газы литейного производства (оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, фенол, формальдегид), летучие органические соединения (ЛОС), масляный туман.

10. Челябинские строительно-дорожные машины: пыль, сварочные аэрозоли, летучие органические соединения (ЛОС), масляный туман.

11. Челябинский механический завод: пыль, масляный туман, сварочные аэрозоли, продукты сгорания.

12. Челябинский завод металлоконструкций: сварочные аэрозоли, пыль, летучие органические соединения (ЛОС).

Для более точного понимания ситуации с распространением загрязняющих веществ по городу следует обозначить основные предприятия-загрязнители (рис. 4):

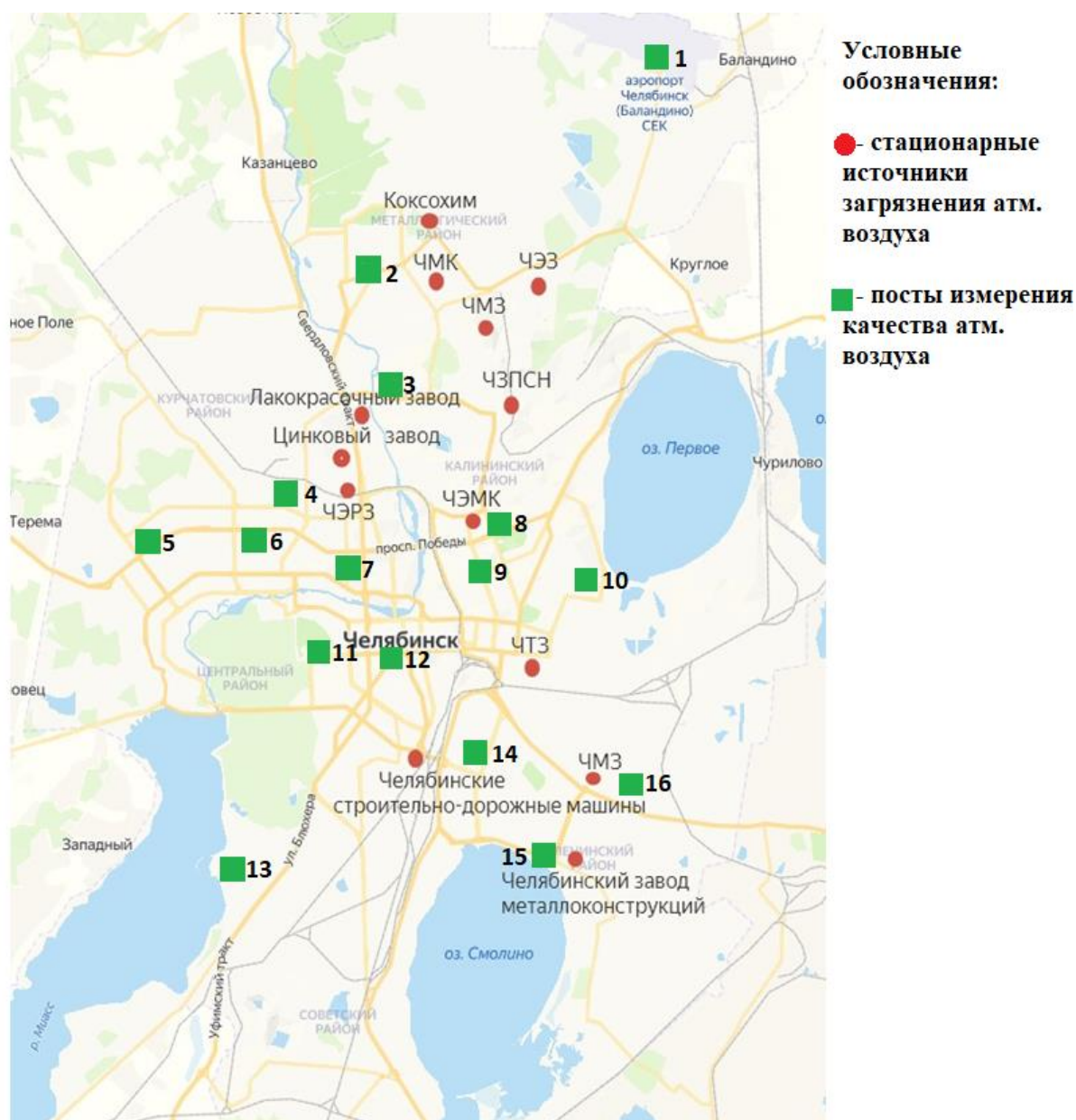


Рисунок 4 – Стационарные источники загрязнения воздуха и изучаемые посты системы мониторинга г. Челябинск

Для определения уровня загрязнения можно воспользоваться действующей Единой информационной системой мониторинга качества атмосферного воздуха Челябинской области. Для этого необходимо рассчитать индекс загрязнения атмосферы в каждом районе города, взяв при этом среднее значение выбросов загрязняющих веществ на постах, расположенных в определенном районе. В основу расчетов легли показания качества атмосферного воздуха в г. Челябинск за период с 14.04.25 по 20.04.25 г. (табл. 3)(рис. 4)

Таблица 3 – Результаты расчета ИЗА по данным Единой информационной системы мониторинга качества атмосферного воздуха Челябинской области

| Название точки | Загрязняющее вещество | Среднесуточная концентрация ЗВ за неделю | ИЗА | КИЗА |
|---|-----------------------|--|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Металлургический район | | | | |
| 1. Аэропорт 1-й пос., Уйская улица | Диоксид серы | 0,062 | 1,24 | 1,71 |
| | Оксид углерода | 0,46 | 0,18 | |
| | Оксид азота | 0,008 | 0,13 | |
| | Аммиак | 0,01 | 0,13 | |
| | Частицы 2.5 мкм | 0,001 | 0,03 | |
| 2. №67, АСК ул.Румянцева, д.28а | Диоксид серы | 0,015 | 0,3 | 1,54 |
| | Оксид углерода | 0,3 | 0,13 | |
| | Диоксид азота | 0,094 | 0,92 | |
| | Оксид азота | 0,005 | 0,08 | |
| | Частицы 2.5 мкм | 0,004 | 0,11 | |
| 3. Челябинская ТСН, №13, ул. Аральская, 21 | Диоксид серы | 0,024 | 0,48 | 2,56 |
| | Оксид углерода | 0,3 | 0,01 | |
| | Диоксид азота | 0,089 | 0,86 | |
| | Оксид азота | 0,042 | 0,7 | |
| | Частицы 2.5 мкм | 0,018 | 0,51 | |
| Среднее значение КИЗА (Металлургический район) = 1,94 | | | | |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-----------------|-------|-------|------|
| Курчатовский район | | | | |
| 4. Челябинск (ТЧН), №21, ул. Чайковского д.1 | Диоксид серы | 0,009 | 0,18 | 1,34 |
| | Оксид углерода | 0,4 | 0,16 | |
| | Диоксид азота | 0,042 | 0,32 | |
| | Озон | 0,047 | 0,28 | |
| | Частицы 2.5 мкм | 0,014 | 0,4 | |
| Среднее значение КИЗА (Курчатовский район) = 1,34 | | | | |
| Калининский район | | | | |
| 5. Челябинск (ТЧН), №9, ул. Чичерина д.22 | Диоксид серы | 0,011 | 0,22 | 0,85 |
| | Оксид углерода | 0,3 | 0,01 | |
| | Диоксид азота | 0,024 | 0,16 | |
| | Оксид азота | 0,004 | 0,06 | |
| | Сероводород | 0,004 | 0,4 | |
| 6. Челябинск (ТЧН), №2, пр.Победы д.287 | Диоксид серы | 0,002 | 0,04 | 1,24 |
| | Оксид углерода | 0,5 | 0,2 | |
| | Диоксид азота | 0,014 | 0,08 | |
| | Оксид азота | 0,052 | 0,86 | |
| | Сероводород | 0,001 | 0,06 | |
| 7. №73, АСК пр.Победы, д.198а | Диоксид серы | 0,004 | 0,08 | 1,37 |
| | Оксид углерода | 0,3 | 0,12 | |
| | Диоксид азота | 0,039 | 0,29 | |
| | Оксид азота | 0,001 | 0,002 | |
| | Озон | 0,093 | 0,88 | |
| Среднее значение КИЗА (Калининский район) = 1,15 | | | | |

Продолжение таблицы 3

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-----------------|-------|-------|------|
| Тракторозаводский район | | | | |
| 8. Челябинск (ТСН), №26, ул. Механическая д.65 | Оксид углерода | 0,3 | 0,12 | 1,25 |
| | Диоксид азота | 0,035 | 0,26 | |
| | Озон | 0,047 | 0,28 | |
| | Частицы 10 мкм | 0,01 | 0,16 | |
| | Частицы 2.5 мкм | 0,015 | 0,43 | |
| 9. №70, АСК ул.Горького, д.79 | Диоксид серы | 0,013 | 0,26 | 2,04 |
| | Оксид углерода | 0,3 | 0,12 | |
| | Диоксид азота | 0,09 | 0,87 | |
| | Оксид азота | 0,008 | 0,13 | |
| | Озон | 0,078 | 0,66 | |
| 10. Челябинск (ТСН), №1, ул.Мамина д.19б | Диоксид серы | 0,003 | 0,06 | 1,43 |
| | Оксид углерода | 0,2 | 0,09 | |
| | Диоксид азота | 0,027 | 0,18 | |
| | Оксид азота | 0,006 | 0,1 | |
| | Формальдегид | 0,01 | 1,0 | |
| Среднее значение КИЗА (Тракторозаводский район) = 1,57 | | | | |
| Центральный район | | | | |
| 11. Челябинская ТСН, №12, Челябинск, пр. Ленина 89Б | Оксид углерода | 0,2 | 0,09 | 0,62 |
| | Диоксид азота | 0,001 | 0,002 | |
| | Оксид азота | 0,001 | 0,016 | |
| | Частицы 10 мкм | 0,024 | 0,4 | |
| | Частицы 2.5 мкм | 0,004 | 0,11 | |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-----------------|-------|------|------|
| 12. Челябинск (ТЧН), №28, пр-т Ленина, д.57 | Оксид углерода | 0,3 | 0,12 | 1,32 |
| | Диоксид азота | 0,022 | 0,14 | |
| | Озон | 0,059 | 0,41 | |
| | Частицы 10 мкм | 0,017 | 0,28 | |
| | Частицы 2.5 мкм | 0,013 | 0,37 | |
| Среднее значение КИЗА (Центральный район) = 0,97 | | | | |
| Советский район | | | | |
| 13. Челябинск (ТЧН), №5, ул.Кузнецова д.51 | Диоксид серы | 0,003 | 0,06 | 0,95 |
| | Оксид углерода | 0,3 | 0,12 | |
| | Диоксид азота | 0,025 | 0,16 | |
| | Оксид азота | 0,005 | 0,08 | |
| | Частицы 10 мкм | 0,032 | 0,53 | |
| Среднее значение КИЗА (Советский район) = 0,95 | | | | |
| Ленинский район | | | | |
| 14. Челябинск (ТЧН), №11, ул.Южный бульвар, 35 | Оксид углерода | 0,4 | 0,16 | 1,46 |
| | Диоксид азота | 0,039 | 0,29 | |
| | Оксид азота | 0,021 | 0,35 | |
| | Аммиак | 0,01 | 0,13 | |
| | Частицы 10 мкм | 0,032 | 0,53 | |
| 15. Челябинск (ТЧН), №25, ул. Новороссийская д.63 | Оксид углерода | 0,3 | 0,12 | 1,67 |
| | Диоксид азота | 0,073 | 0,66 | |
| | Озон | 0,044 | 0,25 | |
| | Частицы 10 мкм | 0,016 | 0,27 | |
| | Частицы 2.5 мкм | 0,013 | 0,37 | |

Окончание таблицы 3

| Среднее значение КИЗА (Ленинский район) = 1,57 | | | | |
|---|-----------------|-------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 16. Челябинск (ТСН), №6, ул.Пирогова, д.1Г/1 | Диоксид серы | 0,009 | 0,18 | 1,58 |
| | Оксид углерода | 0,2 | 0,09 | |
| | Оксид азота | 0,028 | 0,47 | |
| | Частицы 10 мкм | 0,023 | 0,38 | |
| | Частицы 2.5 мкм | 0,016 | 0,46 | |

Таким образом, примерное распределение уровня загрязнения воздуха можно обозначить так:

- 1) Металлургический район – самый загрязненный район;
- 2) Тракторозаводский и Ленинский районы;
- 3) Курчатовский район;
- 4) Калининский район;
- 5) Центральный район;
- 6) Советский район – наименее загрязненный район.

Тем не менее полученные результаты не совпадают с ожидаемыми, из чего можно сделать вывод о том, что для более точного расчета не хватает исходных данных о загрязняющих веществах на изучаемых постах мониторинга.

Возьмем в учет розу ветров г. Челябинск за январь и июль. В январе преобладающим направлением ветра является юго–восточное, а в июле – западное. Тогда распределение загрязняющих воздух веществ по городу можно представить так: (рис. 5)

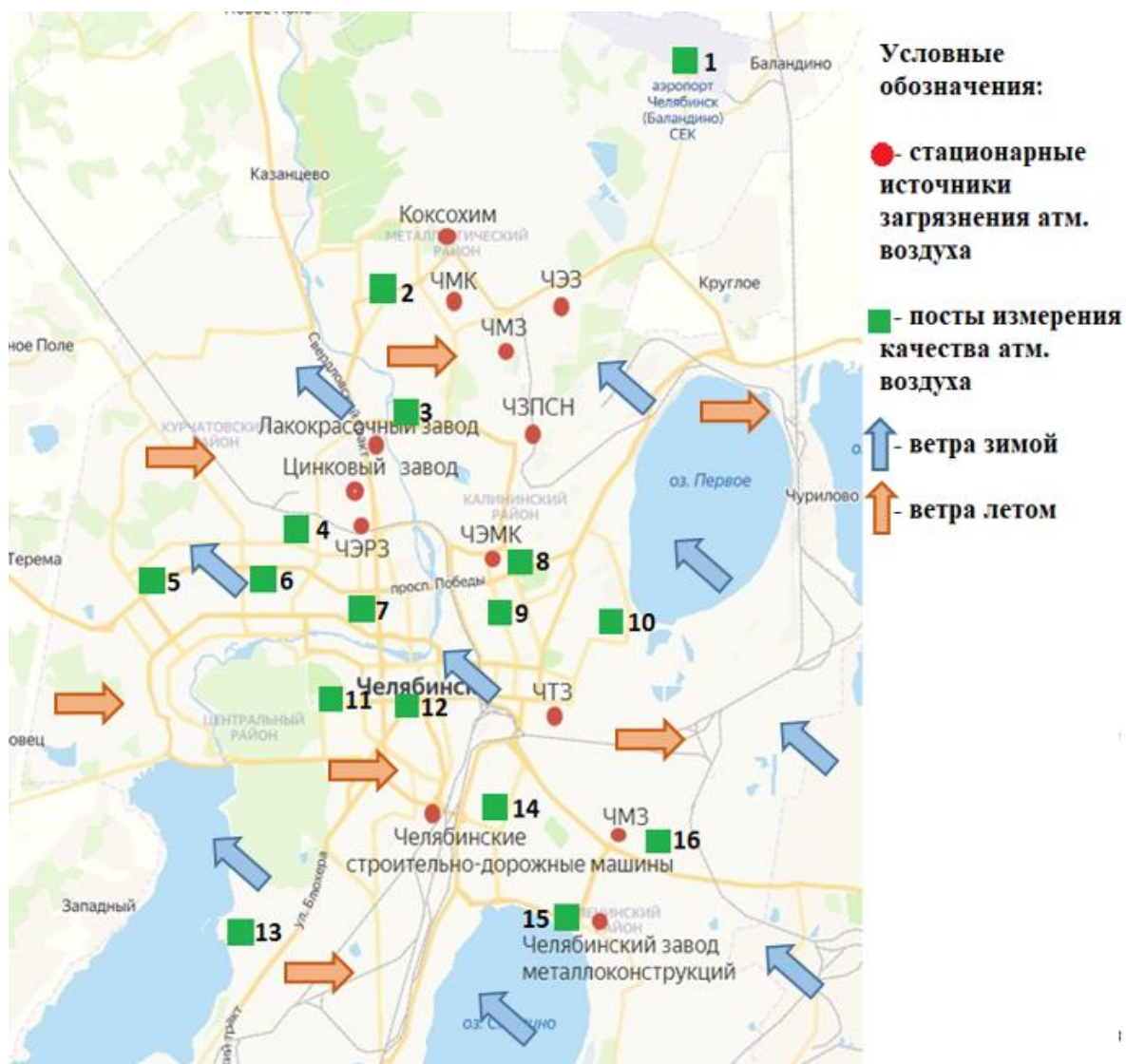


Рисунок 5 – Карта загрязненности атмосферного воздуха с учетом розы ветров в г. Челябинск

Можно сказать, что в зимнее время в Челябинске, с учетом преобладания ветров с юго-восточного направления, господствующие ветры переносят выбросы с городских предприятий на северо-западные части города, увеличивая там концентрацию загрязняющих веществ. Также стоит учитывать, что зимой ТЭЦ работают интенсивнее. В Челябинске две крупные ТЭЦ: Челябинская ТЭЦ-1 (ЧТЭЦ-1) и ТЭЦ-2, расположенные в Ленинском районе. Кроме того, есть и более мелкие источники тепловой энергии, например, котельные. Получается, что эти источники загрязнения атмосферы сосредоточены в центральной и северо-

западных частях. Таким образом, зимой северо-западные части города более загрязнены из-за переноса загрязняющих веществ ветрами.

В летнее время преобладающими румбами являются ветра западного направления. Помимо загрязнения воздуха от предприятий в сторону восточных частей города, нужно учитывать, что в летнее время возрастает вклад автотранспорта в загрязнение атмосферного воздуха в г. Челябинск. Также летние метеоусловия способствуют рассеиванию загрязняющих веществ.

Для оценки загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинска был составлен график с значениями ИЗА за период 2012– 2022 гг. [36].

Результаты представлены в рисунке 6:

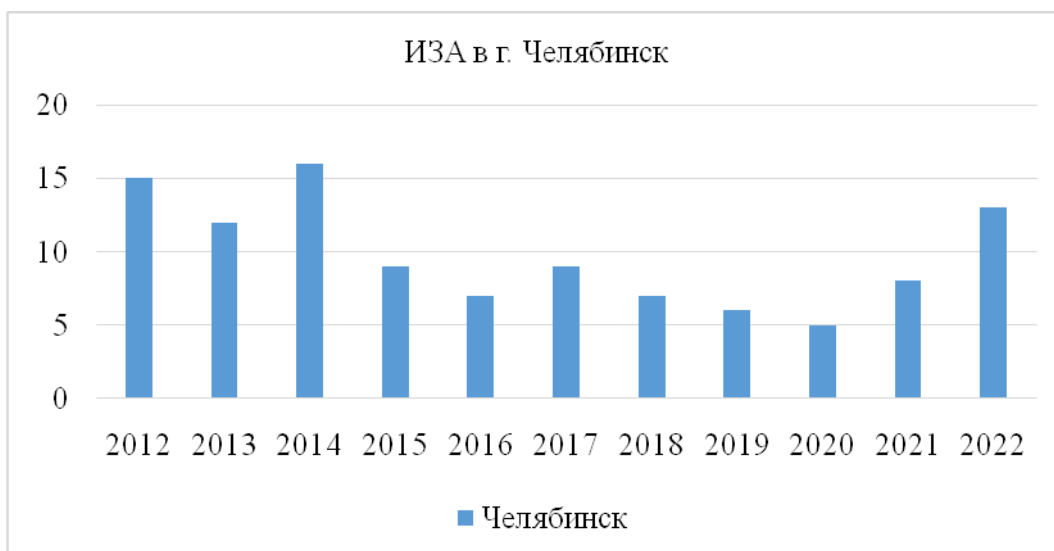


Рисунок 6 – ИЗА за период 2012 – 2022 гг.

Значения ИЗА: низкий – менее 5, повышенный – от 5 до 6, высокий – от 7 до 13, очень высокий – более 14.

Среднее значение ИЗА в Челябинске за рассмотренный период равно 10, что соответствует оценке «высокий».

2.3 Структура загрязнителей атмосферы в г. Челябинск

Воздушная среда Челябинска, как крупного индустриального центра, подвергается влиянию разнообразных загрязняющих элементов, что

негативно сказывается на здоровье людей и состоянии окружающей среды. Подробный анализ структуры этих загрязнителей, их химического строения и количественного соотношения, является важным этапом для создания и внедрения действенных мер по улучшению качества воздуха.

Загрязняющие вещества в атмосфере Челябинска можно разделить на несколько основных категорий:

1. Твердые частицы (PM10 и PM2.5): данная категория включает в себя смесь твердых и жидких частиц различного происхождения, с диаметром менее 10 мкм (PM10) и менее 2.5 мкм (PM2.5). PM2.5 представляют наибольшую угрозу для здоровья, так как могут проникать глубоко в дыхательную систему. Состав твердых частиц может включать сульфаты, нитраты, аммиак, хлориды, органический углерод, сажу, частицы почвы, минеральную пыль и тяжелые металлы. В общей доле загрязнения занимают около 40 %.

2. Газообразные неорганические соединения: к этой группе относятся диоксид серы (SO₂), оксиды азота (NO_x), оксид углерода (CO) и озон (O₃). Занимают около 37% от общей доли загрязнения атмосферного воздуха.

3. Летучие органические соединения (ЛОС): обширная группа органических веществ, испаряющихся при комнатной температуре. Примерно 3 % от общей доли загрязнения.

4. Тяжелые металлы: в атмосферном воздухе Челябинска присутствуют тяжелые металлы, такие как свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, никель, хром, цинк, медь и другие. Около 11 % от общей доли загрязнения атмосферного воздуха в Челябинске.

5. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ): группа органических соединений, образующихся при неполном сгорании органических веществ. Наиболее известный представитель – бенз(а)пирен, обладающий канцерогенными свойствами. Около 9 % от общей доли загрязнителей.

Для более наглядного представления о структуре основных категорий загрязняющих веществ в г. Челябинск можно составить круговую диаграмму, показывающую долю каждой из категорий-загрязнителей (рис. 7):



Рисунок 7 – Процентное соотношение категорий загрязнителей атмосферного воздуха в Челябинске

Таким образом, можно сделать вывод о том, что наибольшими загрязнителями атмосферного воздуха в Челябинске являются твердые частицы, которые представляют собой пыль, в их состав могут входить сульфаты, нитраты, аммиак, хлориды, органический углерод, сажа, частицы почвы, минеральная пыль и тяжелые металлы.

В таблице 4 представлены некоторые из наиболее частых загрязнителей.

Таблица 4 – Основные загрязнители атмосферного воздуха Челябинска [33]

| Загрязнитель | Класс опасности | ПДК | Превышение |
|-----------------|-----------------|---|--|
| Пыль | 1–4 | 0,0001 мг/м ³ – 6 мг/м ³ | В Челябинске в 2024 г.у фиксировали превышение содержания твёрдых частиц в воздухе, в частности РМ 2,5 — мельчайшей пыли размером от нанометра до 2,5 микрон |
| Формальдегид | 2 | 0,05 мг/м ³ | В 2022 г. средняя концентрация формальдегида превысила предельно допустимую концентрацию (ПДК) в 7,2 раза. В 2023 г. и первом квартале 2024 г. содержание формальдегида ежемесячно превышало норматив в 1,2–2 раза |
| Марганец | 2 | 0,01 мг/м ³ | Среднее содержание марганца в воздухе Челябинска в 2022 г. превысило ПДК в 2,4 раза |
| Бенз(а)пирен | 1 | 1х10 ⁻⁶ мг/м ³ | В 2022 г. средняя концентрация бенз(а)пирена превысила ПДК в 1,7 раза |
| Фторид водорода | 2 | 0,02 мг/м ³ | В 2022 г. средняя концентрация фторида водорода превысила ПДК в 1,5 раза |
| Озон | 1 | 0,16 мг/м ³ | В 2022 г. средняя концентрация озона превысила ПДК в 1,2 раза |
| Сероводород | 2 | 0,008 мг/м ³ | Зимой 2024 г. в Челябинске были зафиксированы превышения ПДК сероводорода в 1,6 раза |
| Оксид углерода | 4 | 5 мг/м ³ | Источником угарного газа являются автомобили, двигатели на промышленных предприятиях |

Воздействие этих загрязняющих веществ на здоровье человека и окружающую среду:

1. Твердые частицы (PM10 и PM2.5).

Здоровье: мелкодисперсная пыль, особенно PM2.5, глубоко проникает в органы дыхания, провоцируя раздражение, кашель, бронхит, астматические проявления и обострение существующих заболеваний легких и сердца. Возрастает вероятность развития рака легких.

Окружающая среда: ухудшает видимость, загрязняет почвенный покров и водные ресурсы, оседая на поверхности. Может замедлять рост растений, ограничивая доступ солнечного света [23].

2. Формальдегид (НСНО).

Здоровье: оказывает раздражающее воздействие на слизистые оболочки глаз, носа и горла. Вызывает тошноту, затрудненное дыхание. Обладает канцерогенными свойствами, увеличивает риск рака носоглотки.

Окружающая среда: реагирует с компонентами атмосферы, формируя вторичные загрязнители. Может способствовать увеличению концентрации приземного озона.

3. Марганец (Mn).

Здоровье: при ингаляции поражает нервную систему, вызывая тремор, нарушение координации движений, ухудшение памяти и концентрации внимания. Долгосрочное воздействие может спровоцировать развитие паркинсонизма.

Окружающая среда: загрязняет землю и воду, аккумулируется в растительности и организмах животных. Обладает токсическим действием на гидробионты [17].

4. Бенз(а)пирен.

Здоровье: мощный канцероген, повышает вероятность развития рака легких, желудка и кожи. Оказывает негативное влияние на репродуктивную функцию и развитие эмбриона.

Окружающая среда: загрязняет почву и водные объекты, концентрируется в пищевых цепочках [23].

5. Фтористый водород (HF).

Здоровье: вызывает сильное раздражение и ожоги слизистых и кожных покровов. Поражает органы дыхания, может привести к отеку легких. Длительное воздействие вызывает флюороз (поражение костной ткани и зубов).

Окружающая среда: наносит вред растениям, вызывая ожоги на листьях. Загрязняет грунт и воду [23].

6. Приземный озон (O_3).

Здоровье: раздражает дыхательные пути, вызывает кашель, боль в грудной клетке, затрудненное дыхание. Обостряет астму и другие хронические заболевания легких.

Окружающая среда: наносит ущерб растениям, снижает урожайность сельскохозяйственных культур. Ускоряет деградацию материалов (каучука, полимеров) [23].

7. Сероводород (H_2S).

Здоровье: ядовитый газ с характерным запахом гнилых яиц. Вызывает раздражение слизистой глаз и дыхательных путей. В высоких концентрациях может привести к потере сознания и летальному исходу.

Окружающая среда: загрязняет воздушную и водную среду. В значительных концентрациях токсичен для водных организмов [19].

8. Оксид углерода (CO).

Здоровье: вступает в связь с гемоглобином, блокируя транспортировку кислорода к органам и тканям. Вызывает головную боль, головокружение, слабость, при высоких концентрациях – потерю сознания и смерть.

Окружающая среда: участвует в атмосферных реакциях, способствуя формированию других загрязнителей [23].

Важно учитывать, что интенсивность воздействия этих веществ на здоровье и окружающую среду определяется их концентрацией, продолжительностью воздействия и индивидуальной восприимчивостью организма. Синергетический эффект от совместного воздействия нескольких загрязнителей может усиливать негативные последствия.

2.4 Неблагоприятные метеорологические условия (НМУ), как фактор влияющий на качество атмосферного воздуха г. Челябинск

Неблагоприятные метеорологические условия (НМУ) – это комплекс атмосферных явлений, когда метеорологические параметры складываются

таким образом, что способствуют концентрации загрязняющих веществ вблизи земной поверхности. Другими словами, это кратковременное сочетание таких факторов, как безветрие или слабый ветер, неблагоприятное направление воздушных потоков, туман и инверсия температуры, приводящее к накоплению вредных веществ в приземном слое воздуха. Возникновение НМУ может негативно сказываться на качестве воздуха в населенных пунктах.

Челябинск, будучи крупным промышленным, деловым, научным и культурным центром Южного Урала, входит в первую пятерку самых индустриально развитых городов России. Metallургия и машиностроение составляют основу его промышленного потенциала. Город является одним из ведущих производителей металла в стране, обеспечивая 43 % производства отечественных ферросплавов. Доля металлургических предприятий в общем объеме промышленного производства Челябинской области превышает 60 %.

Формированию НМУ способствуют безветрие, слабые ветры, воздушные потоки, направленные в неблагоприятную сторону, туман и наличие инверсии, которая представляет собой слой теплого воздуха, препятствующий рассеиванию загрязняющих веществ в вертикальном направлении. Для Челябинска наиболее опасны северное, северо-восточное, северо-западное и восточное направления ветра. Загрязнение обычно достигает пиковых значений при скорости ветра 0–1 м/с и 3–7 м/с (рис. 8). Первый пик связан с выбросами от низких источников (котельные, костры), а второй – с выбросами от высоких источников (заводские трубы).



Рисунок 8 – Роза ветров г. Челябинск [40]

Загрязнение воздуха усиливается в туманных условиях. Капли тумана активно захватывают загрязняющие вещества, удерживая их в нижних слоях атмосферы. Существенные перепады концентрации вокруг капель стимулируют поступление дополнительных примесей из окружающей среды непосредственно в туман, что приводит к увеличению их общего содержания. Особенно опасны дымовые шлейфы над туманом, так как они быстро распространяются в приземном слое под влиянием этого эффекта.

В Челябинске примерно треть года характеризуется полным отсутствием ветра. В дни с ветром уровень загрязнения воздуха обычно соответствует установленным стандартам. Однако, когда наступает штиль, промышленные выбросы концентрируются вблизи источников, в пределах города. Именно в такие периоды измерения показывают значительное превышение допустимых концентраций вредных веществ, таких как оксид азота, углерод, бензапирен и другие. В жаркую погоду над Челябинском часто наблюдается смог.

За 2012 г. в Челябинске было зафиксировано 43 предупреждения о неблагоприятных метеоусловиях (НМУ), общей длительностью 96 дней. Результативность мероприятий по уменьшению выбросов в периоды

действия НМУ в Челябинске достигла 86 %. Самые длительные периоды НМУ наблюдались в апреле, июне, июле и августе, а наименее продолжительные – в сентябре, ноябре и декабре [8].

В Челябинске в 2013 г. зафиксировали 55 неблагоприятных метеоусловий (НМУ) общей длительностью 151 день. Самые продолжительные периоды НМУ наблюдались в феврале, июне и сентябре, а наименее продолжительные – в январе и октябре. В среднем, результативность мер по снижению выбросов в периоды НМУ в Челябинске составила 91 % [9].

В Челябинске в 2014 г. наблюдалось улучшение результативности мер по уменьшению загрязнения воздуха в периоды неблагоприятных метеоусловий (НМУ). Этот показатель вырос с 91 % в 2013 г. до 93 %. Общее количество дней с НМУ составило 119. Согласно данным Челябинского ЦГМС, проводившего мониторинг состояния окружающей среды, в феврале и августе были отмечены эпизоды значительного загрязнения атмосферного воздуха [10].

В 2015 г. Челябинск получил 37 уведомлений о наступлении неблагоприятных метеоусловий (НМУ). Общая длительность периодов с НМУ достигла 83 дней. Согласно информации, полученной от ЦГМС, в марте и декабре были отмечены повышенные концентрации загрязняющих веществ в атмосфере. Частота возникновения дней с НМУ в Челябинске за указанный год составила 29 %. В среднем, результативность мероприятий по снижению степени загрязнения атмосферного воздуха во время действия НМУ достигала 91 % [11].

В Челябинске в 2016 г. погодные условия заметно ухудшились: преобладание слабого ветра достигало 51 %, а среднегодовая скорость ветра составила всего 1,6 м/с. Частота возникновения неблагоприятных метеоусловий (НМУ) достигла 47 %. По сравнению с предыдущим 2015 г., в 2016-м количество дней, когда наблюдались НМУ, резко увеличилось – с 83 до 172. В связи с этим, городские службы Министерства экологии регулярно объявляли о продлении режима НМУ [13].

В 2017 г. в главном городе области было отмечено 99 дней с неблагоприятной погодой с начала года, что на 57,5 % ниже показателей 2016 г. На протяжении 24 % дней господствовал штиль и наблюдалась ночная инверсия, затруднявшая очищение воздуха от вредных веществ. Ощущался резкий химический запах, исходивший от металлургических заводов, котельных и теплоэлектростанций [40].

В 2018 г. зафиксировано 95 дней с НМУ. В 2019 г. – 92 дня. В 2020 г. – 117 дней [40].

В 2021 г. в течение 188 дней фиксировались неблагоприятные метеоусловия (НМУ). Наибольшая концентрация загрязняющих веществ в атмосфере наблюдалась в январе и декабре. Это связано с продолжительными периодами застоя холодного воздуха, обусловленными антициклонами, которые создают удерживающий слой, препятствующий рассеиванию вредных выбросов. Серьезное ухудшение качества воздуха отмечалось также в августе, когда город окутал белесый смог с едким запахом гари. Причиной послужил перенос мощного дымового облака, возникшего в результате масштабных лесных пожаров в близлежащих областях, ветром [40].

В 2022 г. зафиксировано 193 дня с начала года. Самые высокие показатели загрязнений были у летних месяцев из-за пожаров [40].

Нами были проанализированы данные по НМУ и ИЗА в Челябинске за период 2012–2022 гг. После 2020 г. наблюдается резкий рост показателя ИЗА, что связано с повышением активности работы предприятий города в эти года (рис. 9). Также результаты исследования представлены в таблице 5.

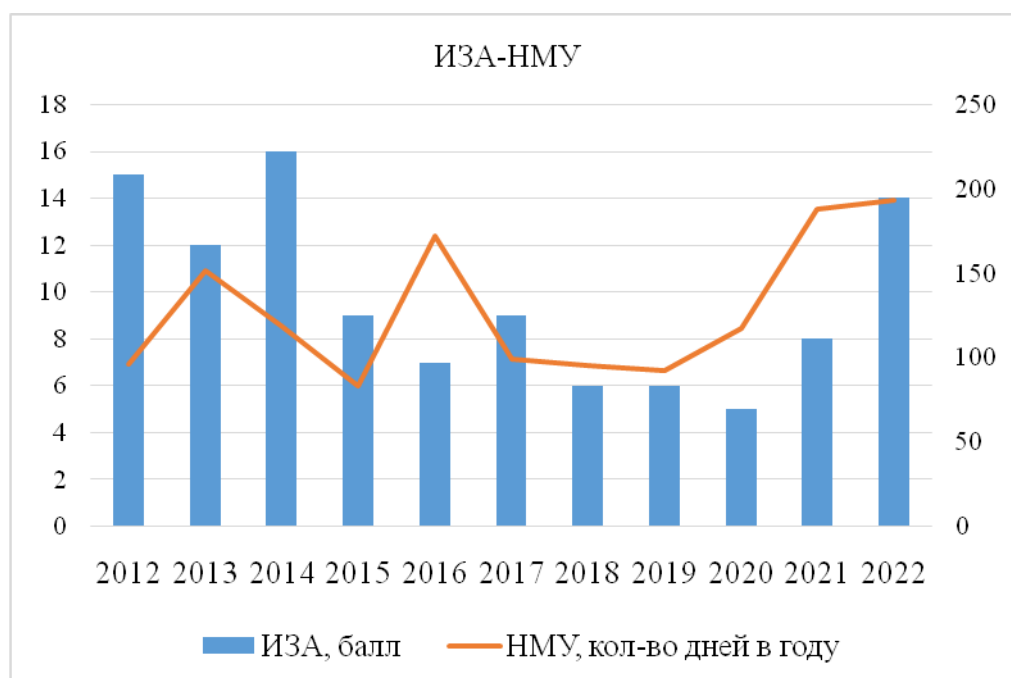


Рисунок 9 – НМУ и ИЗА г. Челябинск 2012– 2022 гг.

Таблица 5 – Сравнение НМУ, ИЗА, дней со штилем и дней с туманами по г. Челябинск за период 2012–2022 гг.

| Год | Количество дней с НМУ | Количество дней с штилем | Количество дней с туманом | ИЗА |
|------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| 2022 | 193 | 87–90 дней/год | 24 дня/год | Очень высокий |
| 2021 | 188 | | | Высокий |
| 2020 | 117 | | | Повышенный |
| 2019 | 92 | | | Повышенный |
| 2018 | 95 | | | Высокий |
| 2017 | 99 | | | Высокий |
| 2016 | 172 | | | Высокий |
| 2015 | 83 | | | Высокий |
| 2014 | 119 | | | Очень высокий |
| 2013 | 151 | | | Высокий |
| 2012 | 96 | | | Очень высокий |

За исследуемый период 2012–2022 гг. была выявлена зависимость между днями с НМУ, штилем, туманом и ИЗА. Зачастую, большее количество дней с неблагоприятными метеоусловиями соответствовало

более высокому уровню загрязнения атмосферы. Отсюда следует, что между количеством дней с НМУ за год и индексом загрязнения атмосферы наблюдается прямая пропорциональная зависимость.

Таким образом, наихудшие условия для распространения загрязняющих веществ в атмосфере складываются при одновременном наличии температурных инверсий, слабого ветра и высокой влажности, что порой приводит к образованию тумана. В такой обстановке наблюдается концентрация выбросов вблизи поверхности земли, источниками которых являются как промышленные объекты, так и автомобильный транспорт.

Выводы по второй главе

В рамках этой главы было выполнено всестороннее изучение состояния воздушной среды в Челябинске. Исследование охватывало анализ главных источников загрязнения, динамики изменений, состава загрязняющих веществ и влияния неблагоприятных метеорологических явлений на атмосферный воздух г. Челябинск. Полученные сведения дают возможность составить полное представление о проблеме загрязнения воздуха в городе.

В ходе исследования было выяснено, что загрязнение воздуха в Челябинске вызвано сочетанием деятельности стационарных и передвижных источников, но большая доля загрязнения неизменно приходится на стационарные источники: в 2012 г. их доля от общего объема выбросов составляла 69,4 %, в 2022 г. – 80,8 %.

Анализ динамики загрязнения воздуха в Челябинске демонстрирует тенденцию к уменьшению общего количества выбросов в период с 2012 по 2022 гг. За десятилетие объём загрязняющих веществ, попадающих в атмосферу, снизился почти вдвое: с 975,7 тыс. тонн в 2012 г. до 558,3 тыс. тонн в 2022 г.

Уменьшение выбросов от промышленных предприятий можно объяснить реализацией программы «Чистый воздух». В рамках этой инициативы в Челябинской области был принят комплекс мер по сокращению вредных выбросов (декабрь 2018 г.). Сокращение выбросов от автотранспорта обусловлено снижением выбросов оксида углерода. Вероятной причиной этого изменения является корректировка системы учёта выбросов оксида углерода от передвижных источников, а также рост числа автомобилей, использующих газовое топливо.

Наиболее загрязнены промышленные Металлургический и Тракторозаводский районы. Роза ветров влияет на перенос загрязнений: зимой (юго-восточный ветер) – в северо-западные районы, летом (западный) – в восточные. Зимой также возрастает роль ТЭЦ, летом – автотранспорта.

Среднее значение ИЗА в Челябинске за исследуемый период (2012–2022 гг.) равно 10, что соответствует оценке «высокий».

В Челябинске основными загрязнителями воздуха являются:

1. Твердые частицы (PM₁₀, PM_{2.5}): смесь сульфатов, нитратов, аммиака, хлоридов, органического углерода, сажи, почвенных частиц, минеральной пыли и тяжелых металлов (около 40 % загрязнения).
2. Газообразные неорганические соединения (SO₂, NO_x, CO, O₃): примерно 37 %.
3. Летучие органические соединения (ЛОС): около 3 %.
4. Тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, никель, хром, цинк, медь и др.): около 11 %.
5. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), включая бенз(а)пирен: около 9 %.

Также было подтверждено, что неблагоприятные метеорологические условия способствуют накоплению вредных веществ.

Анализ подтверждает экологическую проблему, требующую комплексного решения.

ГЛАВА 3. ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В Г. ЧЕЛЯБИНСК

3.1 Модернизация и оптимизация промышленных предприятий

Челябинск, как крупный индустриальный центр, поставлен перед задачей сбалансировать экономический рост и экологическую безопасность. Активная производственная деятельность оказывает значительное влияние на экологическую обстановку, особенно на чистоту воздуха. Для решения этой проблемы необходим комплексный подход, в основе которого лежит модернизация и оптимизация промышленных предприятий с применением передовых доступных технологий. Промышленность Челябинска представлена разнообразными отраслями, включая черную и цветную металлургию, машиностроение, химическую и нефтехимическую промышленность, энергетику, производство строительных материалов и другие. Исторически сложившаяся структура промышленности, ориентированная на ресурсоемкие и энергоемкие производства, создает значительную антропогенную нагрузку на окружающую среду. Одной из основных проблем такой нагрузки является загрязнение атмосферного воздуха в городе.

Для снижения негативного воздействия промышленности на окружающую среду и повышения эффективности производства необходим комплексный подход, основанный на применении НДТ (наилучших доступных технологий) [25].

Ключевые направления модернизации и оптимизации:

1. Внедрение современных технологий очистки газовых выбросов.

Загрязнение воздуха – серьезная экологическая проблема Челябинска. Основные источники вредных выбросов – промышленные предприятия, энергетика и транспорт, которые негативно влияют на здоровье людей и состояние окружающей среды. Ключевым фактором для

улучшения качества воздуха является внедрение современных технологий очистки промышленных выбросов.

Сегодня челябинские предприятия используют различные методы очистки газовых выбросов, эффективность которых зависит от конкретного производства и его особенностей. Наиболее распространены следующие технологии:

- механическая очистка: использование циклонов и различных фильтров (рукавных, электростатических) для удаления твердых частиц из газовых потоков. Этот метод хорошо справляется с крупными частицами, но менее эффективен для улавливания мелкой пыли (PM_{2.5}) [6];

- абсорбционная очистка: основана на поглощении газообразных загрязнителей специальной жидкостью (абсорбентом). Часто применяется для очистки выбросов от диоксида серы, оксидов азота, хлора и других газообразных веществ. Эффективность зависит от правильного выбора абсорбента и конструкции оборудования [1];

- адсорбционная очистка: использует твердые вещества (адсорбенты) для поглощения газообразных загрязнителей. Эффективна для удаления летучих органических соединений (ЛОС) и других газообразных примесей [2];

- каталитическая очистка: основана на химических реакциях, происходящих на поверхности катализатора, которые превращают вредные вещества в менее опасные. Широко используется для очистки выбросов от оксидов азота и оксида углерода [22].

Для повышения эффективности очистки и снижения загрязнения воздуха в Челябинске необходимо внедрять более современные технологии, например: комбинированные методы очистки, т.е. сочетание различных методов (например, механической и абсорбционной), что позволяет добиться более высокой степени очистки газовых выбросов от различных загрязнителей. Применение предложенной комбинированной

системы на ЧМК и ЧЭМК способно обеспечить значительное снижение объемов выбросов диоксида серы и оксидов азота.

Для очистки газовых выбросов применяются различные современные технологии, каждая из которых имеет свои преимущества и области применения:

–биологическая очистка: в основе этого метода лежит использование микроорганизмов, которые разлагают загрязняющие вещества. Это экологически чистый и эффективный способ удаления летучих органических соединений (ЛОС) и сероводорода [5];

– плазменная очистка: данная технология использует плазму для разрушения загрязняющих веществ, особенно эффективна для трудно разлагаемых органических соединений [31];

–мембранная очистка: этот метод основан на разделении газовых смесей с помощью специальных мембран, что позволяет удалять загрязнители [24].

Для ускорения внедрения современных технологий очистки газовых выбросов на предприятиях Челябинска необходима всесторонняя государственная поддержка, которая включает в себя:

–ужесточение экологического регулирования: введение более строгих требований к качеству выбрасываемых газов будет стимулировать предприятия к использованию более эффективных методов очистки;

–экономическое стимулирование: предоставление предприятиям, внедряющим современные технологии очистки, налоговых льгот, субсидий и других форм финансовой поддержки;

–техническая помощь: создание специализированных центров и консультационных служб для оказания технической поддержки предприятиям в выборе и внедрении наиболее подходящих технологий.

2. Модернизация технологических процессов.

В Челябинске обновление технологических процессов на промышленных предприятиях является важным фактором в улучшении экологической обстановки и повышении прибыльности производства.

Многие челябинские предприятия используют устаревшие технологии, отличающиеся высоким потреблением энергии, большим объемом отходов и выбросами загрязняющих веществ. Основные проблемы, связанные с текущим состоянием технологий, включают в себя:

- устаревшее оборудование приводит к неэффективному использованию воды, энергии и сырья;
- высокий уровень выбросов, отсутствие современных очистительных систем приводит к выбросам загрязняющих веществ в атмосферу;
- большое количество отходов;
- низкая конкурентоспособность, использование устаревших технологий снижает конкурентоспособность предприятий.

Модернизация должна быть направлена на повышение эффективности использования ресурсов, сокращение выбросов и отходов, а также повышение качества продукции. Ключевые направления модернизации включают в себя:

- внедрение замкнутых циклов водоснабжения, энергосберегающих технологий, малоотходных и безотходных технологий;
- автоматизация и цифровизация производства;
- применение передовых технологических решений, обеспечивающих наивысший уровень экологической безопасности и эффективности.

Для успешной модернизации необходима комплексная система мер поддержки, включающая в себя государственные программы поддержки, доступ к финансированию, развитие инфраструктуры и научно-техническое сотрудничество. Такая модернизация внедрена на ЧМК,

открывая возможности для значительного повышения конкурентоспособности предприятия. Она достигается за счет улучшения качества выпускаемой продукции, оптимизации затрат и наращивания объемов производства.

3. Повышение энергоэффективности.

Увеличение энергоэффективности промышленных предприятий является критически важным для смягчения негативного воздействия на экологию, особенно в контексте качества атмосферного воздуха Челябинска. Сокращение потребления энергии непосредственно влияет на снижение выбросов парниковых газов и иных загрязняющих веществ, образующихся при сжигании топлива для получения энергии. В данном разделе анализируется текущая ситуация в Челябинске, рассматриваются доступные технологии и методы повышения энергоэффективности, приводятся примеры успешных проектов, обсуждаются меры государственной поддержки и будущие перспективы в этой сфере. Промышленность Челябинска характеризуется значительным энергопотреблением, обусловленным устаревшим оборудованием, неэффективными технологическими процессами и недостаточным вниманием к энергосбережению. Это ведет к существенным выбросам вредных веществ в атмосферу, ухудшая экологическую обстановку и здоровье населения.

Существует широкий спектр технологий и подходов для повышения энергоэффективности предприятий. Среди перспективных: модернизация оборудования, оптимизация производственных процессов, использование возобновляемых источников энергии, системы рекуперации тепла, улучшение теплоизоляции зданий и внедрение систем энергоменеджмента. Государство играет ключевую роль в стимулировании энергоэффективности. Основные меры поддержки включают: разработку программ энергосбережения, налоговые льготы и субсидии, техническое регулирование, информационную и консультационную помощь.

Перспективы развития связаны с цифровыми технологиями, "умными" энергосистемами и совершенствованием энергоменеджмента [25].

Утилизация и переработка отходов.

Накопление отходов в Челябинске представляет собой серьезную экологическую проблему, оказывающую неблагоприятное воздействие на чистоту атмосферного воздуха. Неэффективные методы обращения с отходами приводят к их концентрации на полигонах, где происходит анаэробное разложение органических компонентов с образованием метана и других вредных выбросов, а также к возгораниям, которые загрязняют атмосферу продуктами горения.

В Челябинске проблема утилизации отходов стоит особенно остро, о чем свидетельствуют статистические данные. Существующая система не справляется с объемом мусора, что приводит к перегрузке полигонов и появлению несанкционированных свалок. Для решения этой проблемы необходимо внедрение современных технологий, таких как отдельный сбор отходов, компостирование органики, переработка пластика, бумаги, стекла и металла, а также сжигание отходов с рекуперацией энергии и применение пиролиза и газификации.

Государственная поддержка в виде разработки программ управления отходами, экономических стимулов и нормативно-правового регулирования играет важную роль в развитии системы утилизации и переработки отходов. Успешная реализация этих мер позволит улучшить экологическую ситуацию в Челябинске, снизить негативное воздействие на окружающую среду и способствовать переходу к экономике замкнутого цикла [28].

4. Экологический мониторинг.

В Челябинске управление качеством атмосферного воздуха во многом зависит от экологического мониторинга. Он предоставляет важные сведения для анализа текущей обстановки, определения источников

вредных выбросов, создания и применения действенных мер по сокращению этих выбросов, а также для оценки их эффективности.

В Челябинске работает сеть стационарных пунктов наблюдения за состоянием атмосферного воздуха. Эти пункты замеряют концентрацию основных загрязняющих веществ, таких как взвешенные частицы (PM10, PM2.5), диоксид серы (SO₂), оксиды азота (NO_x), оксид углерода (CO), озон (O₃) и другие. Однако существующая сеть мониторинга не всегда способна предоставить полную картину загрязнения воздуха, особенно в районах, прилегающих к промышленным зонам или с оживленным движением транспорта.

Для повышения эффективности экологического мониторинга и получения более точной информации о загрязнении воздуха необходимо внедрять новые технологии и методы. Развитие и совершенствование системы экологического мониторинга в Челябинске является важнейшим условием для улучшения качества атмосферного воздуха.

5. Развитие «зеленой» химии.

«Зеленая» химия – это инновационный подход к созданию и применению химических продуктов и технологий, направленный на минимизацию или полное исключение опасных веществ. Внедрение «зеленой» химии в Челябинске может внести значительный вклад в улучшение состояния воздуха, уменьшение вредного воздействия промышленности на экологию и повышение безопасности производственных процессов. «Зеленая» химия основывается на 12 принципах, охватывающих различные аспекты химического производства, начиная с разработки продукции и заканчивая переработкой отходов. Основные принципы, влияющие на чистоту воздуха:

– сокращение отходов: важнее предотвратить образование отходов, чем заниматься их утилизацией после;

– рациональное использование атомов: синтез должен максимально включать все используемые вещества в конечный продукт, уменьшая побочные продукты;

– создание безопасных синтезов: использовать вещества с минимальной токсичностью для человека и природы;

– разработка безопасных продуктов: продукты должны выполнять свою функцию, сохраняя низкую токсичность;

– безопасные растворители: вспомогательные вещества должны быть исключены или безвредны;

– энергоэффективность: энергозатраты процессов должны быть минимизированы.

Внедрение «зеленой» химии в Челябинске возможно в:

– химической промышленности: разработка технологий, снижающих выбросы в атмосферу (замена растворителей на воду);

– черной и цветной металлургии: снижение выбросов вредных веществ (кислородное дутье);

– строительной промышленности: новые материалы с низким содержанием ЛОС;

– энергетике: возобновляемые источники энергии.

Внедрение электрохимического травления металла на ЧМК вместо традиционных кислотных методов позволит предприятию значительно улучшить экологические показатели. Эта технология позволит сократить образование токсичных отходов и снизить расход воды. Для перехода на новую технологию потребуется модернизация линии травления с установкой необходимого оборудования, включая электрохимические ванны и систему очистки электролита.

3.2. Развитие устойчивой транспортной системы

В Челябинске транспортный сектор вносит существенный вклад в загрязнение атмосферы. Автомобильные выбросы содержат множество

опасных веществ, включая твердые частицы (PM10 и PM2.5), оксиды азота (NO_x), монооксид углерода (CO), летучие органические соединения (ЛОС) и другие. Для улучшения качества воздуха и обеспечения экологической безопасности необходимо развивать устойчивую транспортную систему, которая снизит зависимость от личного транспорта и повысит эффективность общественного. Текущее состояние транспортной системы Челябинска характеризуется преобладанием личных автомобилей, что приводит к заторам, шумовому загрязнению и, прежде всего, к загрязнению воздуха. Основные магистрали города, такие как пр. Ленина и ул. Цвиллинга, в час пик испытывают перегрузки, что увеличивает концентрацию загрязняющих веществ.

Развитие устойчивой транспортной системы в Челябинске требует комплексного подхода: совершенствование маршрутов общественного транспорта, увеличение количества транспорта, повышение комфорта, создание велосипедных дорожек и пешеходных зон. Ограничение использования личного транспорта в центре города (платные парковки, ограничения движения) и стимулирование использования экологически чистого транспорта (льготы для электромобилей, развитие зарядной инфраструктуры) также важны. Необходимо оптимизировать дорожное движение с помощью интеллектуальных транспортных систем и повышать экологические требования к автомобилям.

Для снижения загруженности улиц следует рассмотреть:

1. Развитие альтернативных маршрутов: Строительство новых дорог и развязок, позволяющих объезжать наиболее загруженные участки. Например, строительство новой дороги в Центральном районе от ул. Академика Королёва до ул. Северной. Планируется построить четырёхполосную дорогу из асфальтобетона протяжённостью 450 м с шириной тротуара 2,25 м.

2. Внедрение выделенных полос для общественного транспорта: Выделенные полосы позволяют общественному транспорту двигаться

быстрее и более предсказуемо, что делает его более привлекательным для пассажиров. (рис. 10)

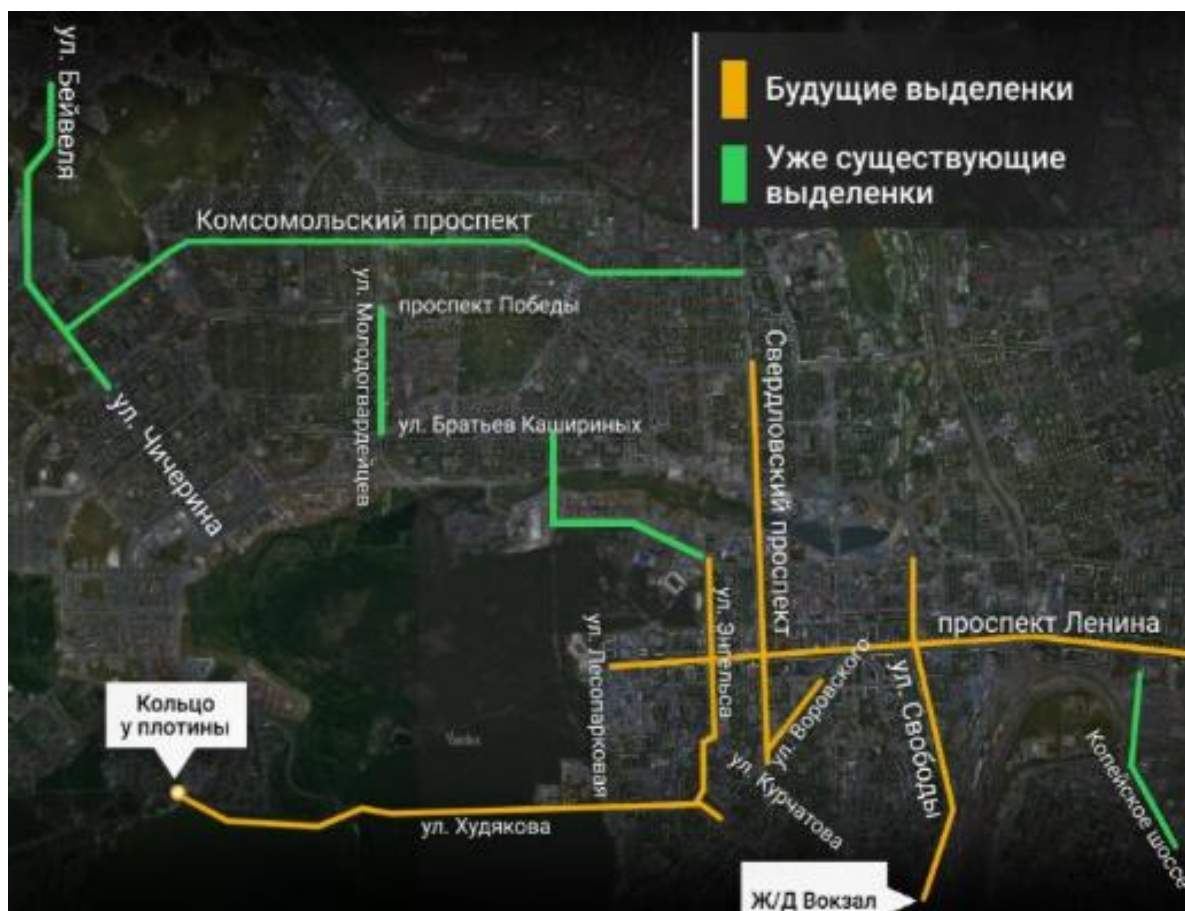


Рисунок 10 – Выделение полос для общественного транспорта в Челябинске

Один из успешных примеров развития сети альтернативного транспорта в опыте Российской Федерации – Нижний Новгород. Успех Нижнего Новгорода в развитии велоструктуры базируется на активном инвестировании в протяженные веломаршруты, особенно вдоль рек, что соответствует линейной застройке города. Ключевые факторы: масштабная реконструкция набережных с созданием качественных велодорожек, интеграция велодорожек в городские пространства, использование географического расположения для создания логичных веломагистралей, и развитие велопроката. Эти меры объединили разрозненные участки в привлекательную велосеть (приложение 1).

3. Создание перехватывающих парковок: Создание парковок на въездах в город, где водители могут оставить свои автомобили и пересесть на общественный транспорт. Это позволяет снизить количество автомобилей в центре города (рис. 11).



Рисунок 11 – Перехватывающие парковки в Москве около станций метро

Примеры типов проектов, которые могут быть осуществлены или находятся в стадии планирования в Челябинске (это общие случаи, а не конкретные начинания):

1. Обновление имеющихся дорог: увеличение количества полос, восстановление асфальтового покрытия, возведение современных транспортных пересечений.
2. Прокладка новых дорожных полотен и автомагистралей: формирование свежих транспортных каналов для облегчения нагрузки на текущую дорожную сеть.
3. Возведение мостовых сооружений и эстакад в целях повышения транспортной связанности между разными частями города.

4. Усовершенствование дорожно-уличной сети в новых жилых комплексах: предоставление транспортной структуры для новообразованных жилых зон.

3.3. Повышение экологической осведомленности населения

Одним из ключевых элементов в стремлении к улучшению состояния атмосферного воздуха в Челябинске выступает повышение уровня экологической грамотности населения. Граждане, обладающие необходимыми знаниями и чувством ответственности, способны делать обдуманный выбор, направленный на уменьшение загрязнения, и активно включаться в решение экологических задач, стоящих перед городом.

В 2018 г. проводился опрос «Не говори ГОК, пока не пройдешь этот тест», который проводился в завершение Года экологии, для проверки знаний челябинцев в области выбросов, смога, канцерогенов и радиации. Проверить свои знания решили 13 600 пользователей, из них лишь 7 300 человек прошли тест от начала до конца [15]. Результаты теста представлены на рисунке 12.



Рисунок 12 – Результаты теста в честь завершения Года Экологии [15]

Несмотря на широкое обсуждение проблемы загрязнения атмосферы в Челябинске и её очевидную актуальность, экологическая осведомленность горожан по-прежнему оставляет желать лучшего. Значительная часть жителей не имеет полного представления о факторах, обуславливающих загрязнение воздуха, о его влиянии на здоровье и экологическую обстановку, а также о доступных им способах минимизации негативного воздействия.

Для улучшения понимания экологических проблем среди населения следует применять различные подходы и каналы передачи информации:

1. Необходимо интегрировать экологическое образование в учебные заведения всех уровней, организовывать лекции и тренинги для различных групп населения, а также разрабатывать интерактивные онлайн-материалы.
2. Важно проводить информационные кампании в СМИ и социальных сетях, используя видеоролики, инфографику и статьи, чтобы привлечь внимание к проблемам загрязнения воздуха и путям их решения.
3. Поддержка экологических общественных организаций, их деятельности по просвещению и защите природы также является важным аспектом. Совместная организация акций и проектов позволит привлечь больше внимания к проблемам экологии.
4. Развитие экологического туризма через организацию экскурсий по природным местам подчеркнет важность сохранения окружающей среды.
5. Проведение экологических акций, субботников и конкурсов будет способствовать формированию ответственного отношения к природе.
6. Использование цифровых технологий, таких как мобильные приложения и онлайн-платформы, предоставит доступ к информации о качестве воздуха и экологических мероприятиях.

7. Внедрение экологической маркировки товаров поможет потребителям делать осознанный выбор в пользу экологически безопасной продукции.

Образовательные учреждения формируют экологическую культуру у молодежи, общественные организации информируют население, а государство разрабатывает программы и поддерживает экологически ответственный бизнес.

Выводы по третьей главе

Реализация новейших методик фильтрации промышленных газов играет определяющую роль в оздоровлении воздушного бассейна Челябинска. Системный подход, сочетающий применение передовых разработок, содействие со стороны государства и усиление внимания компаний к экологическим аспектам, позволит сократить уровень загрязнения атмосферы и обеспечить комфортные условия для горожан.

Усовершенствование производственных процессов – обязательное требование для стабильного развития промышленности Челябинска, позволяющее минимизировать вред для экологии, увеличить продуктивность и укрепить конкурентоспособность предприятий.

Формирование экологически чистой транспортной системы в Челябинске – сложная задача, требующая комплексного подхода и значительных финансовых ресурсов. Однако реализация запланированных мероприятий позволит существенно снизить загрязнение атмосферы, улучшить качество жизни горожан и обеспечить устойчивое развитие города в долгосрочной перспективе.

Развитие и модернизация системы наблюдения за состоянием окружающей среды в Челябинске – ключевое условие для улучшения качества воздуха. Использование современных технологий и методик мониторинга, а также интеграция информации в систему управления качеством воздуха, позволят эффективно отслеживать выбросы от

промышленных источников и транспорта, оперативно реагировать на изменения экологической обстановки и предпринимать необходимые меры для охраны здоровья населения и природы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная выпускная квалификационная работа фокусируется на всестороннем анализе вопросов, касающихся качества воздушной среды в Челябинске. Значимость выбранной темы определяется существенным воздействием атмосферных условий на здоровье жителей и экологическую ситуацию Челябинской области. В рамках исследования рассмотрены основные элементы, включающие в себя особенности атмосферного воздуха, факторы его загрязнения, способы оценивания и регулирования качества, а также пути улучшения сложившейся обстановки в Челябинске.

В первой главе работы исследуются ключевые характеристики, касающиеся качества воздушной среды. Уточнены определения базовых параметров воздуха, включая содержание вредных компонентов, температурный режим, уровень влажности и давление. Тщательно рассмотрены главные факторы, вызывающие загрязнение атмосферы, в их числе промышленные комплексы, автомобильный транспорт и естественные процессы.

Акцент сделан на особенностях источников загрязнения, свойственных г. Челябинск, учитывая его индустриальную направленность. Рассмотрены вопросы стандартизации качества атмосферного воздуха. Изучены нормативы качества воздуха, а также предельно допустимые уровни содержания загрязняющих веществ. Рассмотрена роль государственных органов в сфере защиты атмосферного воздуха и инструменты контроля над соблюдением установленных стандартов. Представлен анализ методик оценки качества атмосферного воздуха. Подробно описаны способы взятия проб воздуха, лабораторные аналитические методы, а также инструменты контроля качества воздуха.

Во второй главе работы представлен углубленный разбор главных факторов, оказывающих негативное воздействие на чистоту воздушного бассейна Челябинска. Идентифицированы ведущие индустриальные

объекты, наиболее значительно влияющие на загрязнение атмосферы. Произведена оценка доли загрязняющих веществ от различных источников. Проведен анализ изменений уровня загрязнения атмосферного воздуха в Челябинске. Выявлена структура основных категорий загрязнителей атмосферного воздуха. Установлены главные загрязняющие элементы, типичные для города. Выявлены районы города, наиболее подверженные негативному воздействию загрязненного воздуха. Осуществлен анализ влияния неблагоприятных метеоусловий на состояние атмосферного воздуха Челябинска. Рассмотрены принципы возникновения и развития таких условий. Оценено их воздействие на концентрацию загрязняющих веществ в воздухе.

В последней части работы изучены возможные пути обновления и усовершенствования производственных комплексов для уменьшения выбросов вредных соединений. Изучены актуальные методы фильтрации выбросов, энергоэффективные решения, а также подходы к повторному использованию и переработке отходов. Исследованы варианты развития экологически безопасной транспортной сети для минимизации загрязнения атмосферы в Челябинске. Обсуждены такие действия, как совершенствование системы общественного транспорта, формирование инфраструктуры для велосипедистов, рационализация транспортных потоков. Изучена значимость повышения экологической грамотности населения в контексте решения проблемы загрязнения воздуха. Рассмотрены инструменты и платформы для информирования граждан об экологических проблемах, а также способы формирования экологически сознательного образа жизни.

В заключение, необходимо акцентировать внимание на том, что проблема улучшения качества воздуха в Челябинске является сложной и требует комплексного подхода. Реализация комплекса мер, включающих модернизацию промышленных объектов, развитие экологически устойчивой транспортной сети, повышение экологической осведомленности

жителей, а также совершенствование системы мониторинга и контроля загрязнения атмосферы, крайне важна. Только при совместной работе органов власти, промышленных предприятий, общественных организаций и жителей возможно достижение ощутимых результатов в оздоровлении воздушного бассейна Челябинска и формировании комфортной среды для проживания и благополучия людей.

Рекомендации, представленные в выпускной квалификационной работе, могут служить основой для разработки и реализации эффективной экологической политики в городе. Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на углубленное изучение влияния загрязненного воздуха на здоровье населения, разработку новаторских технологий снижения выбросов, а также оптимизацию системы управления экологическим состоянием. Важно уделить особое внимание изучению воздействия изменений климата на качество воздуха и разработке адаптационных мер. Применение предложенных в работе мероприятий позволит существенно улучшить экологическую ситуацию в Челябинске, способствуя устойчивому развитию города и повышению уровня жизни его населения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абсорбционная очистка газов производственных котельных для снижения антропогенной нагрузки на атмосферу // Ползуновский вестник : электронный журнал. – URL: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest/article/view/152> (дата обращения: 05.04.2025).
2. Адсорбционная очистка воздуха от диоксида серы при низких концентрациях // Cyberleninka.ru : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adsorbtsionnaya-ochistka-vozduha-ot-diozida-sery-pri-nizkih-kontsentratsiyah> (дата обращения: 05.04.2025).
3. Антропогенные факторы // Geocenter.net : [сайт]. – URL: <https://geocenter.info/article/pochemu-menjaetsja-klimat-antropogennye-factory> (дата обращения: 16.04.2025).
4. Безуглая Э. Ю. Состояние и перспективы сети мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в городах / Э. Ю. Безуглая, С. С. Чичерин, О. П. Шарикова // Мониторинг загрязнения атмосферы в городах (труды Главной геофизической обсерватории имени А. И. Воейкова). – Санкт-Петербург : Гидрометиздат, 1998. – С. 3–10.
5. Биологическая фильтрация воздуха: принцип очистки, обзор фильтров, требования // Факел : [сайт]. – URL: <https://fakel-f.ru/blog/biologicheskii-filtr> (дата обращения: 05.04.2025).
6. Галкин А. М. Методы очистки атмосферного воздуха / А. М. Галкин, Д. А. Клыков, М. М. Замальдинов // Материалы VI Международной студенческой научной конференции «В мире научных открытий». – Ульяновск, 2022. – С. 18.
7. Главные источники экологических проблем в Челябинской области // Курс дела : [сайт]. – URL: <https://kursdela.biz/news/2024-03-17/glavnye-istochniki-ekologicheskikh-problem-v-chelyabinskoy-oblasti-5025302> (дата обращения: 04.04.2025).

8. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в городе Челябинске в 2012 году // 74.rospotrebnadzor.ru: [сайт]. – URL: <http://74.rospotrebnadzor.ru/268> (дата обращения: 05.04.2025).

9. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в городе Челябинске в 2013 году // 74.rospotrebnadzor.ru: [сайт]. – URL: <http://74.rospotrebnadzor.ru/268> (дата обращения: 05.04.2025).

10. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в городе Челябинске в 2014 году // 74.rospotrebnadzor.ru: [сайт]. – URL: <http://74.rospotrebnadzor.ru/268> (дата обращения: 05.04.2025).

11. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в городе Челябинске в 2015 году // 74.rospotrebnadzor.ru: [сайт]. – URL: <http://74.rospotrebnadzor.ru/268> (дата обращения: 05.04.2025).

12. Доклад об экологической ситуации в 2022 году // Министерство экологии Челябинской области [сайт]. – URL: [https://mineco.gov74.ru/files/upload/mineco/Доклад%20ЭС%202022%20\(1\).pdf](https://mineco.gov74.ru/files/upload/mineco/Доклад%20ЭС%202022%20(1).pdf) (дата обращения: 04.04.2025).

13. Доклад об экологической ситуации в Челябинской области в 2016 году // Pandia.ru : [сайт]. – URL: <https://pandia.ru/text/82/089/71339-4.php> (дата обращения: 05.04.2025).

14. Дорогова В. Б. Формальдегид в окружающей среде и его влияние на организм / В. Б. Дорогова, Н. А. Тараненко, О. А. Рычагова // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2010. – № 1 (71). – С. 32–35.

15. Жертвы экофобии или эксперты: итоги экологического теста // 74.ru : [сайт]. – URL: <https://74.ru/text/gorod/2018/01/19/53391551/> (дата обращения: 05.04.2025).

16. Загрязнение воздуха: влияние на здоровье человека // Бризекс : [сайт]. – URL: <https://бризекс.пф/blog/zagryaznenie-vozduha-vliyanie-na-zdorove-cheloveka> (дата обращения: 02.04.2025).

17.Загрязняющие вещества 2 класса опасности // Челябинский гидрометеоцентр : [сайт]. – URL: <http://www.chelpogoda.ru/pages/608.p> (дата обращения: 05.04.2025).

18.Загрязняющие предприятия Челябинской области // Экология сегодня : [сайт]. – URL: <https://ecologynow.ru/knowledge/tekhnologii-i-ekologiya-goroda/zagryaznyayuschie-predpriyatiya-chelyabinskoy-oblasti> (дата обращения: 04.04.2025).

19.Запах сероводорода на улице: что делать // Бризекс : [сайт]. – URL: <https://бризекс.рф/blog/zapah-serovodoroda-na-ulice-chto-delat> (дата обращения: 05.04.2025).

20.Зелёная химия // Большая российская энциклопедия : [сайт]. – URL: <https://bigenc.ru/c/zelionaia-khimiia-91655e> (дата обращения: 05.04.2025).

21.Индекс загрязнения воздуха // Rcycle.net : [сайт]. – URL: <https://rcycle.net/ekologiya/atmosfera/indeks-zagryazneniya-vozduha-chto-eto-takoe-kak-vychislit-znacheniya-v-raznyh-gorodah> (дата обращения: 20.04.2025).

22.Каталитическая очистка газов: методы и фильтры // Факел : [сайт]. – URL: <https://fakel-f.ru/blog/kataliticheskaya-ochistka-gazov> (дата обращения: 05.04.2025).

23.Макоско А. А. Загрязнение атмосферы и качество жизни населения в XXI веке: угрозы и перспективы / А. А. Макоско, А. В. Матешева. – Москва : Российская академия наук, 2020. – 258 с.

24.Мембранная фильтрация воздуха // Справочник химика : [сайт]. – URL: <https://chem21.info/info/1565024/> (дата обращения: 05.04.2025).

25.Модернизация производства в контексте обеспечения экологической безопасности, инвестиционной привлекательности и развития инфраструктуры регионов // Cyberleninka.ru : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-proizvodstva-v-kontekste>

obespecheniya-ekologicheskoy-bezopasnosti-investitsionnoy-privlekatelnosti-i-razvitiya (дата обращения: 05.04.2025).

26.Никитин Д. П. Окружающая среда и человек / Д. П. Никитин, Ю. В. Новиков. – Москва : Высшая школа, 1986. – 415 с.

27.Об охране атмосферного воздуха : Федеральный закон от 04.05.1999 № 96–ФЗ // Консультант-плюс : [сайт]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/ (дата обращения: 18.03.2025).

28.Очистка выбросов и переработка отходов: как борется за экологию челябинский «Завод ТЕХНО» // ПЧЕЛА: Новости Челябинска : [сайт]. – URL: <https://pchela.news/news/detail/16993> (дата обращения: 05.04.2025).

29.Парниковые газы – глобальный экологический ресурс : справочное пособие /А. О. Кокорин – Москва : WWF России, 2004. – 136 с.

30.Переведенцев Ю. П. Основы экологии атмосферы / Ю. П. Переведенцев, Ю. Л. Матвеев, В. Д. Тудрий. – Казань : Издательство Казанского университета, 2001. – 160 с.

31.Плазменная очистка // Ятаган : [сайт]. – URL: <https://ятаган.рф/ru-copy/tehnologii-ochistki/plazmennaya-ochistka/> (дата обращения: 05.04.2025).

32.Положение о Федеральной службе по надзору в сфере природопользования : Постановление Правительства Российской Федерации от 30.07.2004 № 400 // Система ГАРАНТ : [сайт]. – URL: <https://base.garant.ru/187266/> (дата обращения: 18.03.2025).

33.Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе // Бризекс : [сайт]. – URL: <https://бризекс.рф/blog/predelno-dopustimye-koncentracii-pdk-vrednyh-veshchestv-v-vozdruhe> (дата обращения: 05.04.2025).

34.Природные и антропогенные факторы, влияющие на состояние окружающей среды в Челябинской области // Studopedia.ru : [сайт]. –

URL: https://studopedia.ru/28_78952_prirodnie-i-antropogennie-faktori-(дата обращения: 05.04.2025).

35.Промышленность Челябинской области – крупные предприятия и производства на карте // Заводы.рф : [сайт]. – URL: <https://заводы.рф/factories/chelyabinskaya-oblast> (дата обращения: 04.04.2025).

36.Состояние атмосферного воздуха в городе Челябинск // Министерство экологии Челябинской области : [сайт]. – URL:<https://mineco.gov74.ru/mineco/activities/oxranaokruzhayushhejsredychel/oxranaatmosfernogovozyduxa/nablyudeniyazakachestvomatmosf/sostoyanieatmosfernogovozydukhav.htm> (дата обращения: 05.04.2025).

37.Стационарные и передвижные источники воздействия на окружающую среду // Студопедия : [сайт]. –URL: https://studopedia.ru/11_63497_statsionarnie-i-peredvizhnie-istochniki-vozdeystviya-na-okruzhayushchuyu-sredu.html(дата обращения: 05.04.2025).

38.Усманова Л. М. Источники поступления формальдегида и его воздействие на живой организм / Л. М. Усманова, В. И. Сафарова // XXXIII Студенческая международная научная конференция : материалы конференции. – Уфа, 2015.– С.5–10.

39.Об охране окружающей среды : Федеральный закон от 10.01.2002 № 7–ФЗ // Консультант-плюс : [сайт]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 18.03.2025).

40.Челябинский Гидрометцентр : электронный ресурс. – URL: <http://www.chelpogoda.ru/news/topics/1561.php> (дата обращения: 05.04.2025).

41.Экологическая обстановка в городе Челябинске // Pravosoznanie.org : [сайт]. – URL: <http://www.pravosoznanie.org/2327/>(дата обращения: 10.04.2025).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Пример введения системы велосипедных маршрутов

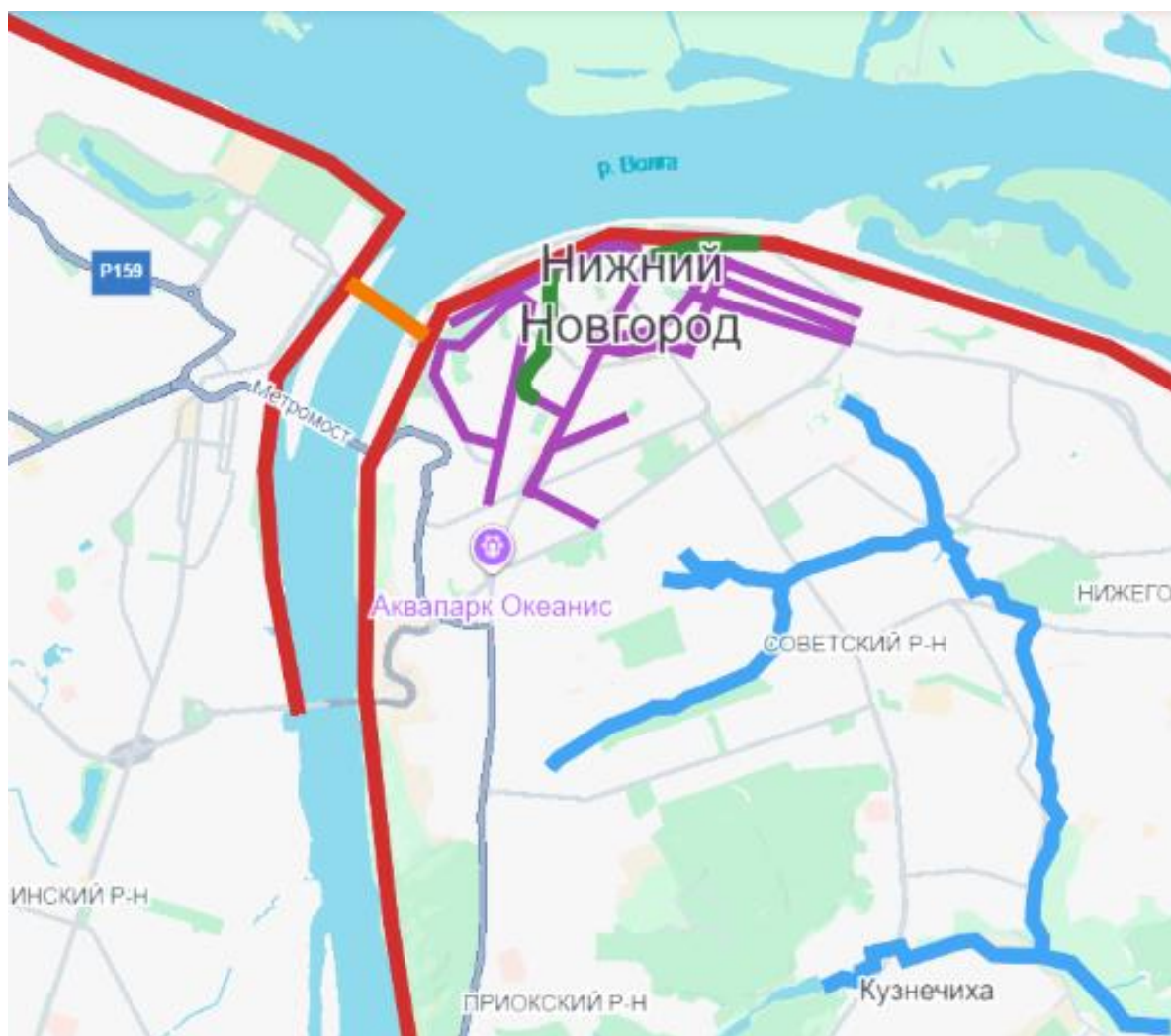


Рисунок 1 – Карта-схема велосипедных маршрутов в г. Нижний Новгород, как один из успешных примеров развития экологически безопасной транспортной системы