

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

На правах рукописи



Зуев Дмитрий Владимирович

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА СЕРЫ
ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ
КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
профессор В.Б. Кашкин

Красноярск – 2018

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Современные методы контроля выбросов диоксида серы в атмосфере	11
1.1 Анализ методов и приборной базы по контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосфере	11
1.2 Анализ наземных систем контроля выбросов диоксида серы северных территорий Красноярского края	14
1.3 Влияние выбросов диоксида серы на окружающую среду и здоровье населения северных территорий Красноярского края	20
Выводы к главе	27
2 Разработка метода контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных.....	29
2.1 Анализ спутникового измерительного инструмента OMI.....	31
2.2 Анализ спутникового измерительного инструмента OMPS.....	36
2.3 Разработка критериев и алгоритмов использования базы данных спектрометров OMI и OMPS.....	38
2.4 Разработка информационного приложения по обработке баз данных OMI и OMPS	44
2.5 Сравнение результатов измерений OMI с данными других систем контроля	45
2.6 Разработка метода и результаты сравнительного анализа данных спектрометров OMI и OMPS, как основных элементов спутниковой системы контроля	49
2.7 Метод контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных для северных территорий	69
2.8 Метод оценки выбросов диоксида серы в атмосфере северных территорий	71
Выводы к главе	76
3 Результат исследования выбросов диоксида серы для северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг.....	77
3.1 Оценка выбросов диоксида серы по концентрации для северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг.....	77

3.2 Оценка массы выбросов диоксида серы и площади загрязнения северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг.....	102
3.3 Построение карт- схем состояния атмосферного воздуха северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг.....	110
Выводы к главе.....	116
4 Практические рекомендации по применению метода контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных для северных территорий..	118
4.1 Технология контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных для исследуемой территории	118
4.2 Технология обработки массива данных OMI и OMPS по выбросам диоксида серы.....	119
4.3 Технология оценки состояния атмосферного воздуха исследуемой территории	121
Выводы к главе	124
Основные научные результаты и выводы	125
Библиографический список	129
Приложение А	144
Приложение Б.....	145
Приложение В.....	146
Приложение Г	147

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. На сегодняшний день проблеме экологии и загрязнению атмосферного воздуха в Красноярском крае уделяется огромное внимание со стороны органов местного самоуправления и общественности. Прошедший 2017 год, в соответствии с Указом Президента Российской Федерации №7 от 05.01.2016 г. объявлен годом экологии. Основная цель этого документа – привлечь внимание граждан к проблемам, существующих в экологической сфере. Улучшить экологическую безопасность, как регионов, так и страны в целом [1].

В исполнение указа президента в Красноярском крае реализуется программа, разработанная министерством природных ресурсов и экологии Красноярского края «Снижение негативного воздействия на окружающую среду предприятиями Красноярского края на 2016–2020 годы» [2]. Одна из задач программы: «Снижение выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от стационарных источников предприятиями Норильской промышленной зоны (НПЗ)».

В соответствии с Государственным докладом «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году» Красноярский край, по объемам выброса диоксида серы занимает первое место, прежде всего за счет предприятий Норильской промышленной зоны [3]. Самые загрязненные осадки на территории Российской Федерации в 2016 году были выявлены в Норильске при этом влажные выпадения соединений серы превысили предельное значение нагрузки в 4 раза, достигнув, среди загрязненных городов России, максимального значения.

Присутствие в атмосферном воздухе высоких концентраций диоксида серы (SO_2) приводит к деградации и повреждению лесных площадей вокруг промышленных предприятий НПЗ. Высокое значение концентрации SO_2 отрицательно влияет на здоровье людей. Продолжительность жизни населения, проживающего на исследуемой территории меньше на 10 лет, чем в среднем по

стране [4,5]. Все это обуславливает необходимость мониторинга экологической обстановки в НПЗ, в частности, мониторинг выбросов SO_2 - основного загрязнителя данного региона.

Существует несколько методов контроля газового состава атмосферы: наземный, авиационный и спутниковый. В настоящее время контроль выбросов SO_2 северных территорий Красноярского края основан на наземном методе. В диссертационной работе предлагается использовать метод контроля на основе спутниковых данных. Преимуществом спутникового метода контроля является охват обширных территорий земной поверхности, возможность замерять концентрацию загрязняющих веществ на различных высотах, а также способность вести наблюдение за дальнейшим направлением распространения выбросов.

Степень научной проработанности темы. Вопросам разработки и совершенствования спутниковых методов мониторинга посвящены работы как российских, так и зарубежных специалистов, таких как Н. Кротков, К. Yang, S. Carn, A. Krueger, B. Anderson, R. Martin, Li. Carn, Ф. Трифонов и др. Большинство из них освещают техническую сторону метода контроля и его точность. В диссертационной работе данные спутниковых наблюдений используются для оценки экологической обстановки северных территорий Красноярского края.

Научная идея заключается в разработке метода спутникового контроля выбросов диоксида серы для северных территорий Красноярского края.

Цель диссертационной работы – повышение качества системы экологического мониторинга атмосферы северных территорий Красноярского края методом контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных.

Задачи исследования:

1. Разработать метод контроля и критерии использования базы данных спектрометра Ozone Monitoring Instrument (OMI, спутник AURA) и спектрометра

Ozone Mapping Profiler Suite (OMPS, спутник SUOMI NPP) для анализа выбросов диоксида серы в атмосфере.

2. Разработать информационное приложение, позволяющее в автоматическом режиме обрабатывать базы данных OMI, OMPS и метод оценки выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных.

3. Исследовать выбросы диоксида серы для северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг. на основе разработанного метода контроля и построить карты схемы состояния окружающей среды.

4. Разработать практические рекомендации по применению метода контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных для северных территорий.

Область исследования. Работа выполнена в соответствии с пунктами 1, 4, 6 паспорта специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» (технические науки).

Объект исследования – выбросы диоксида серы в атмосферу.

Предмет исследования – методы контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы использовались методы компьютерной обработки аэрокосмических изображений, линейной алгебры, методы статистического анализа. Исследование проводилось на основе спутниковой базы данных NASA (США) по выбросам диоксида серы [59].

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, полученных автором, подтверждается корректным использованием существующих, теоретически обоснованных и проверенных на практике методов предварительной и тематической обработки спутниковых данных. Научные положения аргументированы. Выводы подтверждены экспериментальными исследованиями, сопоставимыми с результатами других

авторов, и результатами математической обработки с использованием сертифицированных программ.

Научная новизна работы:

1. Впервые использован спутниковый метод контроля выбросов диоксида серы по северным территориям Красноярского края. Выполнен сравнительный анализ данных OMI и OMPS как основных элементов системы спутникового мониторинга.

2. Разработано информационное приложение для автоматизированной обработки спутниковых данных по выбросам диоксида серы.

3. Впервые по спутниковым данным оценены концентрация, масса и площадь распространения выбросов диоксида серы в атмосфере северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг.

4. Впервые построены экологические карты-схемы состояния атмосферного воздуха Норильской промышленной зоны за 2005-2017 гг.

Практическая значимость работы. Предлагаемый метод мониторинга важен как независимый и объективный источник получения информации.

На базе теоретических и экспериментальных исследований разработаны практические рекомендации, включающие:

- Технологию контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных для исследуемой территории;
- Технологию обработки массива данных NASA по выбросам диоксида серы в атмосферу;
- Технологию оценки экологического состояния окружающей среды исследуемой территории.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Метод контроля выбросов диоксида серы в атмосферу на основе спутниковых данных и разработанное информационное приложение, в автоматическом режиме обрабатывающее базы данных спектрометров OMI и

OMPS, которые позволили определить массу и площадь загрязнения для северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг.;

2. Результаты сравнительного анализа данных спектрометров ОМІ и OMPS, которые показали возможность использования OMPS для контроля содержания диоксида серы в атмосфере, после вывода ОМІ из эксплуатации;

3. Результаты мониторинга выбросов диоксида серы в атмосферу Норильской промышленной зоны на основе разработанного метода контроля, которые показали, что среднегодовое значение концентрации SO_2 за 2005-2017 гг. составляет $0,11 \text{ мг/м}^3$, что превышает предельную норму $0,05 \text{ мг/м}^3$ в 2,2 раза;

4. Результаты контроля выбросов диоксида серы на основе разработанного метода которые показали, что на территории Норильской промышленной зоны повышенный и неприемлемый уровень риска.

Личный вклад автора. Разработан спутниковый метод контроля выбросов диоксида серы для северных территорий Красноярского края. Проведены исследования и их математическая обработка. Опубликованы научные статьи по теме диссертации. Результаты исследований докладывались на научно-технических конференциях, внедрены в учебный процесс и производственную деятельность промышленных предприятий. Все алгоритмические решения, программная реализация, разработка методик анализа и оценки, обработка спутниковых данных выполнялись лично соискателем.

Основные результаты исследования были получены в работах по следующим проектам: «Методы и алгоритмы распознавания космических изображений земной поверхности низкого, среднего и высокого разрешения» (грант Красноярского краевого фонда науки № 01201157162, 2012 г.); «Создание методологии и разработка новых наукоемких информационных технологий мониторинга негативных последствий антропогенного воздействия и природно-климатических факторов на значимые социально-экономические системы Красноярского края» (грант Красноярского краевого фонда науки № 01201363986, 2013-2015 гг.).

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы представлялись на международных форумах, всероссийских семинарах и конференциях:

1. Конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2012 (Июль 2012 г., Иркутск).

2. XI Научно-техническая конференция «Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий» (Август 2012 г., Улан-Удэ).

3. III Научно-техническая конференция «Технологии разработки информационных систем» (Сентябрь 2012 г., Геленджик).

4. XVI Симпозиум с международным участием «Сложные системы в экстремальных условиях» (Май 2012 г., Красноярск).

5. «Моделирование неравновесных систем» (Август 2012 г., Красноярск).

6. Конференция «Безопасность и живучесть технических систем» (Октябрь 2012 г., Красноярск).

7. Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы профилактики, диагностики и лечения урологических заболеваний» (Март 2012 г., Красноярск).

8. XIV Всероссийская конференция «Распределенные информационные и вычислительные ресурсы» (Ноябрь 2013г., Новосибирск).

9. IV Научно-техническая конференция «Технологии разработки информационных систем» (Сентябрь 2013 г., Геленджик).

10. V Научно-техническая конференция «Технологии разработки информационных систем» (Сентябрь 2014 г., Геленджик).

11. 22nd International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (Сентябрь 2018 г., Белград, Сербия).

12. Международная конференция «Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education» (Сентябрь 2018 г. Усть-Каменогорск, Казахстан).

13. V Всероссийская конференция с международным участием «Полярная механика» (Октябрь 2018 г., Новосибирск).

Публикации. По теме диссертации имеется 19 публикаций (6 – в Российских журналах, рекомендованных по списку ВАК; 2 – в иностранных научных изданиях, реферируемых в БД Web of Science и Scopus; 1 – Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ №2018619947 «Информационное приложение по обработке спутниковых данных»; 10 – в сборниках научных трудов и тезисов докладов на российских и международных конференциях).

1 Современные методы контроля выбросов диоксида серы в атмосфере

1.1 Анализ методов и приборной базы по контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосфере

Большой объем выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, увеличение городов требуют внимания к охране атмосферного воздуха. Условием эффективной оценки деятельности по сокращению выбросов загрязняющих веществ является контроль состава атмосферного воздуха [6,7]. Основным источником выбросов загрязняющих веществ являются промышленные предприятия и автотранспорт. Большую долю в общем объеме выбросов загрязняющих веществ составляют диоксид серы и азота, пыль, оксид углерода. Наибольшие выбросы среди городов России от промышленных предприятий зафиксированы в г. Москва, г. Норильск, г. Омск, г. Новокузнецк и г. Красноярск [6,7]. Все это обуславливает необходимость усовершенствования методов контроля, внедрения систем постоянного мониторинга выбросов.

В настоящее время для обеспечения политики по охране атмосферного воздуха используются системы расчетно-инструментального мониторинга загрязнения атмосферы – системы управления качеством воздуха (УКВ) [6,7,8,10]. К наиболее современным системам контроля можно отнести:

- Система УКВ в городе Санкт-Петербург (разработка гидрометеорологического института Швеции, НТЦ «Атмон», ООО «Мониторинг» и ЗАО «ОПТЭК»). Ее основное назначение заключается в обеспечении оперативной информацией о состоянии атмосферы Администрации города. В состав системы входят автоматические станции контроля АМ-62, «МИЛИС» и СКАТ-300. Всего двенадцать станций мониторинга.

- Система УКВ в городе Москва (разработка: ЗАО «ОПТЭК», ООО «ЭТЭК», ООО «Мониторинг»). Основное назначение системы: отбор проб пыли и воздуха для контроля специфических загрязнителей; измерение

метеорологических параметров, определение концентрации основных загрязнителей; контроль атмосферного воздуха на крупных транспортных магистралях. В состав системы включены: автоматические газоанализаторы ET-901; инструмент K-100 для контроля оксида углерода; инструмент ГАММА-100 для контроля углеводородов; анализатор пыли ДАСТ. Общее число станций -32 [9].

- Система автоматизированного контроля г. Череповца (разработана ЗАО «Экодатчик» и НТЦ «АТМОН»). Ее основное назначение заключается в обеспечении оперативной информацией о состоянии атмосферы Администрации города [6,7]. В ее состав входят 3 станции для отбора проб воздуха (газоанализаторы «Сирена А» и «Палладий-3») и 4 станции контроля атмосферного воздуха.

- Система автоматизированного контроля г. Астрахань (разработана ООО «ДИЭМ»). Основные функции: контроль гидрометеорологической обстановки; измерение концентрации загрязняющих веществ; составление базы данных о динамике изменения состава атмосферного воздуха; определение аварийных ситуаций; прогнозирование экологической обстановки. Система состоит из 14 станций мониторинга, оснащенных газоанализаторами «Seres», а также газоанализаторами по контролю за выбросами оксида углерода, диоксида азота, диоксида серы и сероводорода.

Системы экологического мониторинга Западной Европы основываются на законы Европейского союза по качеству воздуха и методам его контроля. Основные директивы сводятся к тому, что для каждого загрязнителя устанавливаются границы уровней концентраций. Нижняя граница (UAT), соответствующая 50-70% от норматива качества атмосферного воздуха и верхняя граница (LAT) 40-60% [11].

В состав любой, современной системы контроля состояния атмосферы должны быть включены следующие основные компоненты:

1. Приложение, позволяющее осуществлять сбор информации от измерительных инструментов в режиме реального времени (гидрометеорологические параметры, концентрация);
2. Система первичной оценки, контроля и хранения информации о составе атмосферного воздуха и гидрометеорологических параметрах;
3. Система обработки информации по загрязнителям, необходимая для моделирования рассеяния примесей;
4. Система прогнозирования состава атмосферного воздуха.

В европейских странах системы управления качеством воздуха при моделировании используется два вида моделей. Первая - Гауссова модель, определяющая в режиме реального времени концентрацию загрязнителя (описывает рассеяние от автотранспортных и промышленных источников. Вторая – модель, рассчитывающая загрязнение воздуха от автотранспорта (статистическое прогнозирование на основе предшествующей информации).

Российские УКВ в основном решают задачи локального характера, по оценке уровня загрязнения воздуха нижнего слоя атмосферы. Но необходимы системы контроля на основе комплексного мониторинга состояния воздуха, осуществляющие сбор, обработку и анализ состояния атмосферных загрязнителей. Определяющие связь заболеваемости и наличия тех или иных загрязнителей в атмосфере. Учитывающие гидрометеорологические параметры изучаемой местности [12-16]. Основная задача систем контроля атмосферы локального назначения является сбор информации о качестве атмосферного воздуха в зоне источника выбросов.

Задачи контроля локального характера[17-19]:

1. Контроль загрязнения в границах определенного предприятия и зон его воздействия;
2. Анализ уровня загрязнения атмосферного воздуха и динамика его изменения под воздействием определенных источников выбросов;
3. Прогнозирование изменения состава атмосферы;
4. Оценка эффективности мероприятий природоохранного назначения;
5. Разработка системы управленческих решений.

Достоверность информации и оперативность ее получения от локальных систем контроля, позволяет сформировать общую систему по контролю за состоянием окружающей среды, что дает возможность предотвращать аварийные ситуации.

1.2 Анализ наземных систем контроля выбросов диоксида серы северных территорий Красноярского края

ПАО «ГМК «Норильский Никель» является одним из лидеров горно-металлургической промышленности как на территории НПЗ, так и на территории России. Предприятие является крупнейшим производителем никеля, палладия, платины и меди [33]. Оно состоит из двух основных подразделений: Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский Никель» и АО «Кольская ГМК». Заполярный филиал компании расположен в НПЗ (рисунок 1.1), полностью за полярным кругом, на 69 параллели. Транспортное сообщение филиала с другими регионами страны осуществляется по реке Енисей и Северному морскому пути, а также по воздуху. [33].



Рисунок 1.1 - Ключевые производственные предприятия Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский Никель»

Активы Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский Никель» включают в себя семь рудников, где добывается три вида руды: медистая руда, вкрапленная и богатая. Далее на двух обогатительных фабриках осуществляется обогащение руды, в результате получают пирротиновые концентраты, медные и никелевые. На металлургических заводах Никелевом, Медном и Надеждинском полученные концентраты перерабатывают. В 2016 г. суммарный объем добычи руды на горных предприятиях Заполярного филиала составил 17,2 млн. т, что на 83,4 тыс. т меньше, чем в 2015 г. (-0,5%) [33].

Металлургические мощности Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский Никель» включают в себя 4 завода [33]:

- Надеждинский металлургический завод (НМЗ);
- Никелевый завод (НЗ) — закрыт в августе 2016 г.;
- Медный завод (МЗ);
- Металлургический цех (входит в состав Медного завода).

Наземная система мониторинга за выбросами SO_2 ПАО «ГМК «Норильский Никель» строится с учетом производственной деятельности

предприятия, объемов выбросов, влияния их на состав атмосферного воздуха и включает в себя лабораторные исследования, основное назначение которых – соблюдение допустимых нормативов, определенных законодательством РФ [45].

Производственный контроль за выбросами в атмосферу включает:

- контроль соблюдения нормативов выбросов;
- контроль соответствия атмосферного воздуха гигиеническим нормативам;
- контроль за эффективностью системы газоочистки;
- контроль и регулирование состава атмосферы в период неблагоприятных метеоусловий.

Начиная с 2004 года мониторинг загрязнения атмосферы в НПЗ ведет Центр радиационно-экологического контроля Контрольно-аналитического управления Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский Никель», в соответствии с лицензией Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды № Р/2010/1750/100/Л. и аттестат аккредитации № РОСС RU.0001 на техническую компетентность [5, 37, 38, 39, 45]. Лицензия включает в себя:

- определение уровня загрязнения атмосферного воздуха, водных объектов;
- подготовку и предоставление потребителям аналитической и расчетной информации о загрязнении атмосферного воздуха, водных объектов.

Так же на предприятии работает передвижная экологическая лаборатория, способная определять содержание диоксида серы, оксида углерода, оксида азота, сероводорода [45]. Внедрение лабораторий позволило:

- увеличить список контролируемых веществ;
- автоматизация отбора проб в атмосфере;

-улучшить показатели в оперативности контроля.

В 2011 году ПАО «ГМК «Норильский Никель» купил две передвижные экологические лаборатории, разработанные с учетом работы в суровых климатических условиях. Они оснащены самыми современными газоанализаторами и позволяют определять в атмосфере загрязняющие вещества такие, как диоксид серы, сероводород, оксид углерода, оксид азота. Результат измерений используется для оперативного контроля ПДК загрязняющих веществ и регулирования их в период неблагоприятных метеоусловий [45].

Измерения осуществляются ежедневно, 4 раза в день на трех маршрутных постах (в 01 час, в 07 час, в 13 и 19 часов), расположенных по адресам (рисунок 1.2) [45]:

- пост № 3 – проезд Солнечный, 1;
- пост № 4 – проезд Котульского, 4;
- пост № 11 – Ленинский пр., 24а.

Для проведения приоритетных подфакельных наблюдений возможно смещение времени контроля на 1 час в обе стороны от установленных норм [45].

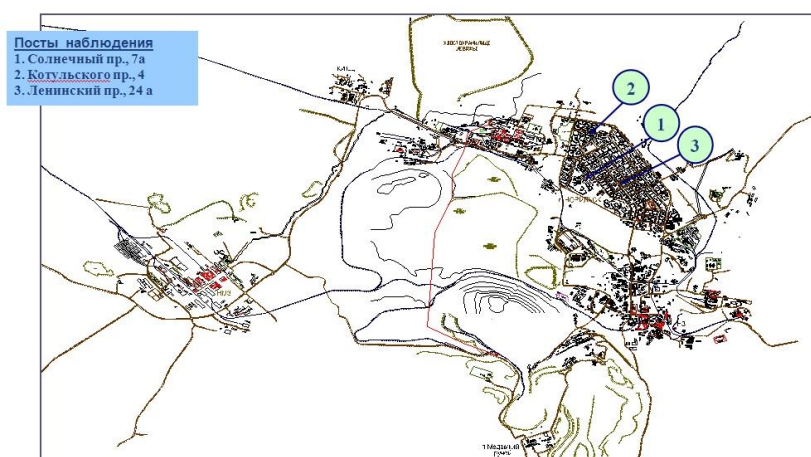


Рисунок 1.2 – Схема размещения постов мониторинга за качеством атмосферы НПЗ

В периоды, когда погодные условия способствуют накоплению загрязняющих веществ в нижних слоях атмосферы (неблагоприятные метеоусловия), концентрация SO_2 может резко увеличиться. Поэтому чтобы не допускать возникновения высоких концентраций SO_2 в атмосфере, ПАО «ГМК «Норильский Никель» проводит ряд мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Они заключаются в корректировке функционирования оборудования. За счет ввода трех режимов работы (I-го, II-го, III-го) предприятие добивается снижения концентрации SO_2 в приземном слое атмосферы. Поэтому одним из основных факторов, способствующих уменьшению концентраций SO_2 – своевременность введения мероприятий по уменьшению выбросов в период неблагоприятных метеоусловий (НМУ) [45].

Для получения достоверной и своевременной информации об уровне загрязнения выбросами SO_2 атмосферы селитебной зоны, расположенной в зоне воздействия промышленных предприятий проводят измерения основных загрязняющих веществ на подфакельных постах силами наземной системы контроля ПАО «ГМК «Норильский Никель» в период НМУ. Эти мероприятия проводятся в круглосуточном режиме, на постах, выбранных оперативным лаборантом, руководствуясь визуальным наблюдением (направлением факела) и направлением ветра [45].

Программой мониторинга предусмотрено 15 подфакельных постов на территории НПЗ. Для определения содержания загрязняющих веществ, таких как SO_2 , сероводород, оксид углерода, оксид азота в год делают 29 000 проб атмосферного воздуха. Из них для определения концентрации SO_2 – около 6000 проб. Общий алгоритм работы наземной системы мониторинга ПАО «ГМК «Норильский Никель» отображен в схеме на рисунке 1.3 [45].

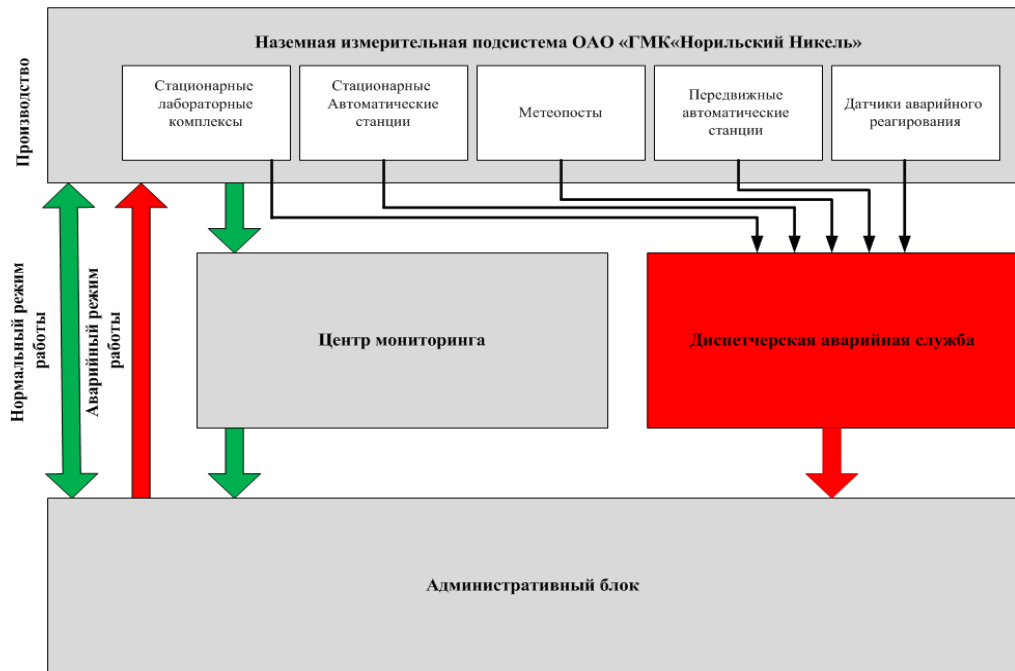


Рисунок 1.3 – Наземная система мониторинга за выбросами загрязняющих веществ ПАО «ГМК «Норильский Никель»

При обнаружении высоких концентраций SO_2 , лаборант в соответствии с регламентом передает информацию в адрес диспетчера аварийной службы. А далее администрация предприятия принимает решение о вводе того или иного режима работы по регулированию выбросов SO_2 в период НМУ [45].

Особое внимание уделяется контролю концентрации загрязняющих веществ на границе санитарно-защитных зон. Он производится с периодичностью один раз в неделю в двух точках: Вальковское шоссе, 1, Хлебозавод (Никелевый завод) и ул. Нансена, 69, Автовокзал (Медный завод). Также все данные передаются в диспетчерскую аварийную службу и Административный блок для анализа [45].

Наблюдение за выбросами SO_2 в северных территориях Красноярского края так же ведет Таймырский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Таймырский ЦГМС) - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Среднесибирское управление по

гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [46] (ФГБУ «Среднесибирское УГМС») и Центр радиационно-экологического мониторинга Контрольно-аналитического управления Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский Никель» [45].

Таймырский ЦГМС осуществляет контроль с помощью мобильной экологической лаборатории (МЭЛ) на трех маршрутных пунктах, расположение которых совпадает с местами пунктов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха наземной системы контроля ПАО «ГМК «Норильский Никель» (рисунок 1.2). Таймырская ЦГМС осуществляет, в частности, контроль за выбросами SO_2 .

1.3 Влияние выбросов диоксида серы на окружающую среду и здоровье населения северных территорий Красноярского края

В северных территориях Красноярского края экологическая обстановка формируется в результате деятельности металлургических предприятий ПАО «ГМК «Норильский Никель» [4,5]. В процессе работы заводов в атмосферу поступают различные вредные вещества (более 50 видов веществ). Восемь загрязняющих веществ первого класса опасности – 0,003 % от общего объема выбросов. Одиннадцать веществ второго класса опасности – 3,37 % от общего объема выбросов. На основании расчетов было определено, что превышены нормативы качества воздуха по шести веществам: пыль неорганическая, диоксид серы, медь, оксид никеля, свинец и его неорганические соединения, диоксид кремния. Основные загрязняющие вещества, образующиеся в процессе деятельности предприятий НПЗ, представлены на рисунке 1.4 [4,5].



Рисунок 1.4 – Основные виды выбросов веществ НПЗ

Основной объем выбросов приходится на диоксид серы, относящийся к 3 классу опасности – около 97% от общих выбросов предприятий НПЗ. Основными загрязнителями атмосферного воздуха являются металлургические заводы: Медный, Надежденский и Никелевый (Таблица 1.2) [4,5].

Таблица 1.2 – Основные источники выбросов SO₂ в атмосферный воздух НПЗ

Источники выбросов SO ₂ в НПЗ		
Завод	Подразделение	- Общее количество источников 45 шт;
Никелевый завод	Агломерационный цех	- Высота более 100 м: 3 шт.;
	Плавильный цех	- Высота 30-100 м: 37 шт.;
	Обжиговой цех	- Высота 30 м: 5 шт.
	Хлорно-кобальтовый цех	
Медный завод	Сушильный цех	- Общее количество источников 31 шт;
	Плавильный цех	- Высота более 100 м: 2 шт.;
		- Высота 30-100 м: 8 шт.;
		- Высота 30 м: 21 шт.
Надежденский завод	Плавильный цех № 1;	- Общее количество источников 47 шт;
	Плавильный цех № 2.	- Высота более 250 м: 1 шт.;
		- Высота 30-100 м: 44 шт.;
		- Высота 30 м: 2 шт.

Промышленные предприятия расположены на противоположных окраинах Норильска, поэтому он постоянно находится в шлейфе газов от этих предприятий, при любых направлениях ветра. При этом Норильск имеет наивысшие показатели содержания SO_2 , не только в Сибирском регионе, но и по стране в целом [3,5].

Выбросы SO_2 распространяются на большие расстояния от источника загрязнения (до тысячи километров). SO_2 является основным веществом, участвующем в формировании токсичных осадков и смога. При взаимодействии SO_2 с водой образуются кислотные осадки, оказывающие негативное воздействие как на биосферу, так и на почву с водоемами. Скорость разложения органических веществ значительно уменьшается, что сказывается на плодородии почвы, а, следовательно, приводит к торможению роста растительного покрова [3,5].

По исследованиям с 1990 годов, зона повреждения лесного покрова в НПЗ охватывает территории в 300 тыс.га. Повреждение травянистого и кустарникового покрова составляет 380 тыс. га, лишайники здесь покрывают не более 5% территории [5,7,35].

При этом тенденция ухудшения состояния экосистемы в НПЗ сохраняется до настоящего времени. Ситуация, по сравнению с другими территориями страны усугубляется тем, что не существует технологии восстановления лесного покрова в условиях вечной мерзлоты [5,35,36].

На территории НПЗ, ученые выделяют несколько зон загрязнения (рисунок 1.5). На расстоянии 70 км от промышленного центра (к югу, юго-востоку от г. Норильск) лесная растительность уничтожена полностью. В этой зоне превышение содержания диоксида серы от фоновых значений более чем в 4 раза [5,34,35,36].

На расстоянии более 70 км от г. Норильск, доля погибших стволов деревьев уменьшается и появляется можжевельник, особо чувствительный к

выбросам SO_2 . Следующая зона выделяется на расстоянии 80 км-100км, где мохово-травянистая растительность и подлесок не угнетены, а погибших стволов деревьев 50%.



Рисунок 1.5 – Зоны повреждения лесного покрова в НПЗ

На расстоянии 100-140 км от источника выбросов ученые выделяют зону слабого загрязнения, здесь превышение содержания SO_2 составляет 1,2 - 1,7 раза от фоновых показателей, меди – в 1,3, никеля – в 2,7. На удалении 200 км от Норильска деградация растительности отсутствует [5, 34, 35].

Влияние выбросов SO_2 на организм человека

Человек является замыкающим звеном в пищевой цепочке (рисунок 1.6), а его состояние здоровья является индикатором загрязненности экосистемы. В организме человека накапливаются вещества и токсины, выброшенные в результате производственной деятельности предприятий НПЗ. Поэтому ухудшение экологической обстановки в регионе приводит к росту заболеваемости [5, 37, 38, 39].

Высокое значение концентрации SO_2 в атмосфере негативно отражается на здоровье населения. Можно выделить следующие основные области воздействия на организм человека в НПЗ [5, 37, 38, 39]:

- высокая вероятность возникновения онкологических заболеваний;
- высокая вероятность заболевания дыхательных путей;
- повышенная детская заболеваемость;
- низкая продолжительность жизни;
- большая вероятность возникновения хронических заболеваний;
- повышенная профессиональная заболеваемость;
- отрицательное влияние на репродуктивную систему;
- ослабление иммунной системы организма.

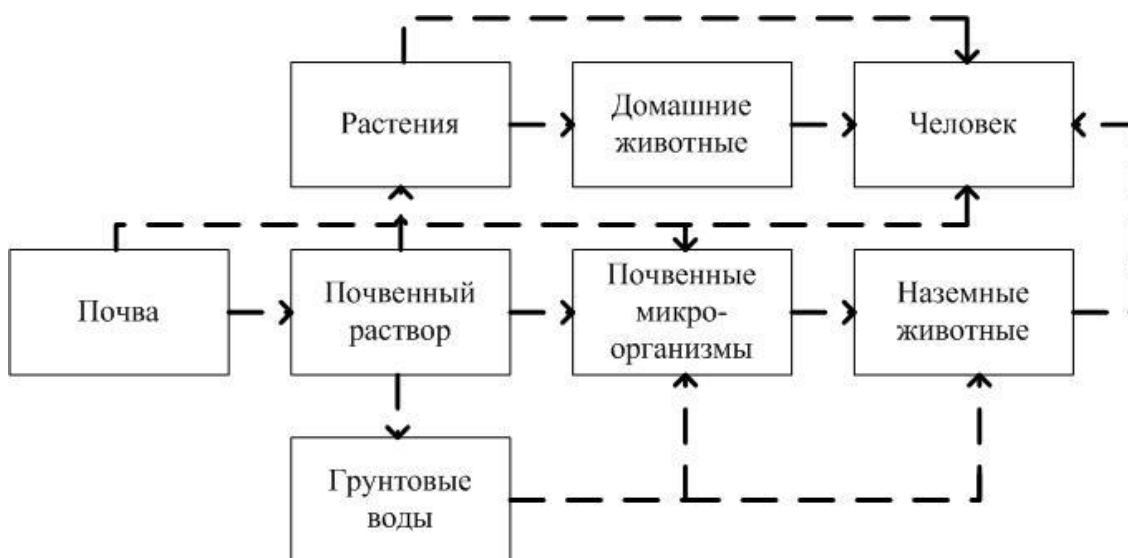


Рисунок 1.6 – Схема пищевой цепи

Онкологическая заболеваемость в НПЗ

На основании статистического анализа заболеваемости в НПЗ определено, что онкологические заболевания в городе Норильск возникают в 1,65 раза чаще, чем в целом по стране, а для сотрудников предприятий ПАО «ГМК «Норильский Никель» – в 2,7 раза [5, 37, 38, 39, 40, 41, 42].

Развитие онкологических новообразований у людей обусловлено высокими значениями концентрации SO_2 и выбросами особо токсичных металлов, таких как медь и никель. Выделяют несколько эффектов воздействия никеля и SO_2 : канцерогенный, мутагенный и аллергенный. Никель отнесен к высшей группе канцерогенных веществ по классификации Международного агентства по изучению рака. Никель попадая в клетки организма вызывает обменные и ферментные нарушения [5, 37, 38, 39,40,41,42].

На основании исследований, проведенных в НПЗ, выявлено, что заболеваемость мужского населения в регионе раком легких значительно выше аналогичного показателя по Красноярскому краю. А у сотрудников предприятия в 3 раза выше, чем в среднем по г. Норильск [5, 37, 38, 39,40,41,42].

Заболеваемость верхних дыхательных путей в НПЗ

Большие объемы выбросов SO_2 являются причиной высоких показателей частоты и процента заболеваемости верхних дыхательных путей у населения в НПЗ [5, 37, 38, 39,43].

Заболеваемость верхних дыхательных путей у населения в г. Норильск регистрируется на 43% чаще, чем в среднем на полуострове Таймыр и на 28% чаще, чем в г. Дудинка [5, 37, 38, 39,43].

Ослабление иммунной системы у населения НПЗ

Выбросы SO_2 приводят к деградации иммунной системы у людей в НПЗ. Постоянно отмечается рост обращений населения за медицинской помощью. По данным Госсанэпиднадзора г. Норильск на исследуемой территории фиксируется постоянный рост общей заболеваемости. Так по оценкам последних лет загрязнение атмосферы обуславливает 22% впервые выявленной заболеваемости у взрослого населения и 37% у детей [5, 37, 38, 39,43].

Высокие темпы роста общей заболеваемости (таблица 1.3) и увеличение числа случаев хронических патологий в НПЗ указывает на ослабленность иммунной системы у людей [5, 37, 38, 39,43].

Таблица 1.3 – Изменение общей заболеваемости детского и взрослого населения в НПЗ за 2002 г.

Общая заболеваемость	увеличение на 1,7% по сравнению с 2001 г.
Первичная заболеваемость	увеличение на 2,3% по сравнению с 2001 г.
Детская заболеваемость	увеличение на 5,1% по сравнению с 2001 г.
Общая заболеваемость	увеличение на 19,9% по сравнению с 1996 г.
Заболевания эндокринной системы	увеличение в 3 раза по сравнению с 1996 г.
Первичная заболеваемость	увеличение на 3,3% по сравнению с 1996 г.
Число врожденных аномалий	увеличение на 58,8% по сравнению с 1996 г.
Заболевания системы кровообращения	увеличение на 83% по сравнению с 1996 г.
Число новообразований	увеличение на 63,8% по сравнению с 1996 г.

Отрицательное влияние на репродуктивную систему людей.

В условиях антропогенного загрязнения экосистемы в НПЗ наиболее подвержена воздействию репродуктивная система организма человека. Наличие в большом количестве SO_2 в атмосферном воздухе является повышенным источником угрозы для беременных женщин. Статистические данные показали, что вероятность прерывания беременности в г. Норильск на порядок выше, чем в общем по стране. Также чаще возникают преждевременные роды и случаи токсикозов во второй половине беременности [5, 37, 38, 39,43].

Рост детских и профессиональных заболеваний в НПЗ.

Выбросы SO_2 оказывают отрицательное влияние на организм ребенка. Была проведена работа по сопоставлению показателей состояния здоровья детей г. Норильск с соответствующими показателями г. Дудинка и получены результаты, указывающие на то, что в г. Норильск дети чаще болеют

заболеваниями желудочно-кишечного тракта и хроническим тонзиллитом [5, 37, 38, 39,43,44].

Средний возраст людей, подверженных профессиональным заболеваниям составляет 45-55 лет, при этом их трудовой стаж составляет от 10 и более лет. Отмечен рост первичной профессиональной заболеваемости, которая указывает на остроту проблемы – нет возможности резко сократить профессиональную заболеваемость, так как она формировалась у сотрудников продолжительное время, в течение всего трудоустройства. И даже внедрение новых, более экологически чистых методов производства не изменит ситуацию, так как останутся те люди, которые долгое время трудились в период неблагоприятных трудовых условий [5, 37, 38, 39,43,44].

Сокращение продолжительности жизни населения в НПЗ.

Все рассмотренные выше проблемы в сфере здравоохранения напрямую влияют на сокращение продолжительности жизни. Продолжительность жизни населения в НПЗ на 10 лет ниже, чем в среднем по стране. Ситуация для населения региона еще более усугубляется, вследствие суровых климатических условий, приводящих к дефициту железа и нарушению обмена веществ [5, 37, 38, 39,43,44].

Выводы к главе

Наземная система контроля выбросов диоксида серы имеет ряд недостатков. Она способна измерять концентрацию SO_2 только в определенных географических точках, на заданной высоте (в приземном слое), что не позволяет увидеть общую картину загрязнения атмосферы на исследуемой территории. Также невозможно определить дальнейшее распространение выбросов. Все это обуславливает необходимость использования спутникового метода контроля. Он имеет более широкий и сплошной охват наблюдаемой территории, позволяет определять содержание

SO₂ на различных высотах. Спутниковый метод контроля позволяет в ежедневном режиме вести мониторинг выбросов SO₂ в НПЗ и в случае возникновения неблагоприятных метеоусловий, аварийных выбросов оперативно реагировать на эти изменения в атмосфере.

2 Разработка метода контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных

Спутниковые методы контроля активно используются для изучения газового состава атмосферы, определения наличия в ней различных аэрозолей, примесей и мониторинга содержания озона. В настоящее время огромное количество различных атмосферных параметров получено по средствам спутниковых методов контроля [47 - 55].

Основные направления в использовании спутниковых методов контроля:

- изучение климата;
- мониторинг чрезвычайных ситуаций естественного и антропогенного происхождения;
- мониторинг газового состава атмосферы.
- научные исследования.

В последнее время развиваются различные методы контроля газового состава атмосферы. Однако большее количество данных получено с помощью пассивных спутниковых методов (таблица 2.1). Можно выделить четыре основных пассивных методов контроля [50, 55, 56, 57]:

- метод отраженного и рассеянного солнечного излучения (измерение уходящего излучения в спектре УФ, ВИД, БИК);
- метод прозрачности (изучение спектра поглощения солнечного излучения при восходах и заходах Солнца);
- метод теплового излучения (измерение спектральной и угловой зависимости собственного излучения атмосферы);
- метод рефракции (измерение искривления лучей света, проходящего в атмосфере).

Количество измерений в сутки для различных методов контроля варьируется и зависит от используемой аппаратуры и от орбит спутников. Для метода прозрачности число измерений в сутки - 26, количество измерений для метода теплового излучения, метода отраженного и

рассеянного солнечного излучения составляет до 10000 раз в сутки. Масштаб охвата земной поверхности зависит от орбиты, спутниковой аппаратуры и режимов ее работы, метода контроля, геометрии наблюдения [50, 55, 56, 57].

Таблица 2.1 – Спутниковые методы контроля состава атмосферы и примеры аппаратуры

Методы	Пассивные методы контроля			
	Отраженное и рассеянное солнечное излучение	Собственное излучение	Рефракция	Прозрачность атмосферы
Аппаратура	OMI, SUOMI, AVHRR, GOME, TOMS, MODIS, SBUV, SCIAMACHY, POLDER	MLS, LIMS, ISAMS, SSM/I, CLAES, TOVS, CIRRIS 1A, MAS	GOMOS, UVISI/MSX, ЭФО-1, ЭФО-2	POAM II, III, SAM II, ACE, Озон-Мир, ILAS I, II, HALOE, ATMOS, SAGE I, II, III,

Как показывает рассмотренный нами материал выше, различные спутниковые методы контроля имеют как преимущества, так и недостатки. Становится понятно, что наиболее эффективная система контроля за составом атмосферного воздуха должна состоять из оптимального сочетания различных спутниковых методов, причем не только друг с другом, но и с существующими наземными, аэростатными, самолетными системами мониторинга атмосферы.

В настоящее время, для решения задач мониторинга содержания диоксида серы в атмосферном воздухе используются измерительные инструменты OMPS (на борту спутника Suomi NPP) и OMI (на борту спутника AURA).

2.1 Анализ спутникового измерительного инструмента OMI

Спутник AURA - научно-исследовательский спутник, основное назначение которого изучение атмосферного воздуха Земли. Он запущен 15 июля 2004 года агентством NASA (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства, США) с космодрома Ванденберг с помощью ракеты-носителя Дельта 7920-10L по программе систематических наблюдений EOS (Earth Observing System). Основные задачи спутника [58]:

- контроль изменения климата на Земле;
- загрязнение атмосферного воздуха;
- контроль за состоянием защитного озонового слоя Земли.

Орбитальные и технические характеристики AURA приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические и орбитальные параметры AURA

Масса, кг	2970
Мощность, Вт	4600
Тип орбиты	Солнечно-синхронная, круговая
Эксцентриситет	0,0002062
Наклонение	98,1°
Период обращения, мин	98,82
Апоцентр, км	710
Перицентр, км	707

Спутник AURA входит в группировку A-Train, являющейся частью в Глобальной Системе Наблюдения GOS (Global Observing System) [58]. Он движется со скоростью 7 км/с по приполярной солнечно-синхронной орбите. Время в восходящем узле орбиты (в точке пересечения орбитальной и экваториальной плоскостей) составляет около 13:45 местного среднего солнечного времени (или 1:45 PM). В течение суток космический аппарат совершает около 14 оборотов вокруг Земного шара. Пространственный охват по широте составляет от -89.5° до + 89.5°. На данном спутнике установлен

комплекс приборов, предназначенных для анализа газового состава атмосферного воздуха Земли, и включает [58]:

- инфракрасный радиометр HIRDLS (High-Resolution Dynamics Limb Sounder). Основное назначение, которого контроль концентраций веществ O_3 , H_2O , CH_4 , N_2O , HNO_3 , NO_2 , N_2O_5 , CFC_{11} , CFC_{12} , NO_2 и аэрозолей в верхних слоях тропосферы, стратосферы и мезосфере;

- микроволновой радиометр MLS (Microwave Limb Sounder). Основное назначение, которого контроль концентраций веществ H_2O , O_3 , ClO , BrO , HCl , OH , HO_2 , HNO_3 в верхних слоях тропосферы и нижних слоях стратосферы, а также изучение радиационного воздействия на изменения климата Земли;

- тропосферный эмиссионный спектрометр TES (Tropospheric Emission Spectrometer). Основное назначение, которого контроль концентраций веществ NO_y , CO , O_3 и H_2O ;

- спектрометр OMI (Ozone Monitoring Instrument).

Спектрометр OMI построен и разработан нидерландским институтом развития воздушного и космического пространства NIVR (Netherlands Institute for Air and Space Development) совместно с финским метеорологическим институтом FMI (Finnish Meteorological Institute). Инструмент OMI является продолжением таких разработок как GOME, SCIAMACHY и GOMOS. Его основная задача мониторинг озонового слоя атмосферы, различных микроэлементов (продолжение серии измерений TOMS) и загрязняющих веществ по всему миру. Измерения инструмента OMI интегрированы с инструментами HIRDLS и MLS на платформе спутника AURA. Спектрометр обеспечивает следующие возможности [58]:

- измерение концентрации ключевых компонентов атмосферного воздуха NO_2 , SO_2 , BrO , $OCIO$;

- измерение содержания различных типов аэрозоля, таких как пыль, дым, сульфаты;

- измерение облачности и интенсивности солнечного излучения;
- измерение содержания различных загрязнителей в режиме реального времени от источников естественного и антропогенного происхождения.

Основные характеристики спутниковой измерительной системы ОМІ приведены в таблице 2.3 [58].

Таблица 2.3 – Основные характеристики спектрометра ОМІ

Масса	65 кг
Потребляемая мощность	66 Вт
Скорость передачи данных	0,8 Мб/сек (средняя)
Мгновенный угол обзора телескопа в полосном направлении	114° (2600 км на поверхности Земли)
Мгновенный угол обзора телескопа в направлении движения	1° (12 км на поверхности Земли)
Рабочая температура	265 К (для УФ и видимого спектра)
Дневной цикл обращения	60 мин по дневной стороне, 10-30 мин по обратной стороне

Инструмент включает 3 основных элемента: электронный, оптический, детекторный и блоки (рисунок 2.1). Оптический блок (I) состоит [58]:

1. Телескоп (поле зрения 114°), его оптическая ось направлена в нади́р (1). Это позволяет в полосе обзора перпендикулярно направлению полета спутника AURA измерять интенсивность уходящего солнечного излучения (2);
2. Дифракционную решетку (6);
3. Сферические, направляющие зеркала (7);
4. Термостабилизирующий блок (11), состоящий из детекторной системы и нагревательного прибора (12);
5. Блок с двумя ПЗС матрицами (14), для преобразования оптического излучения в электрический сигнал.

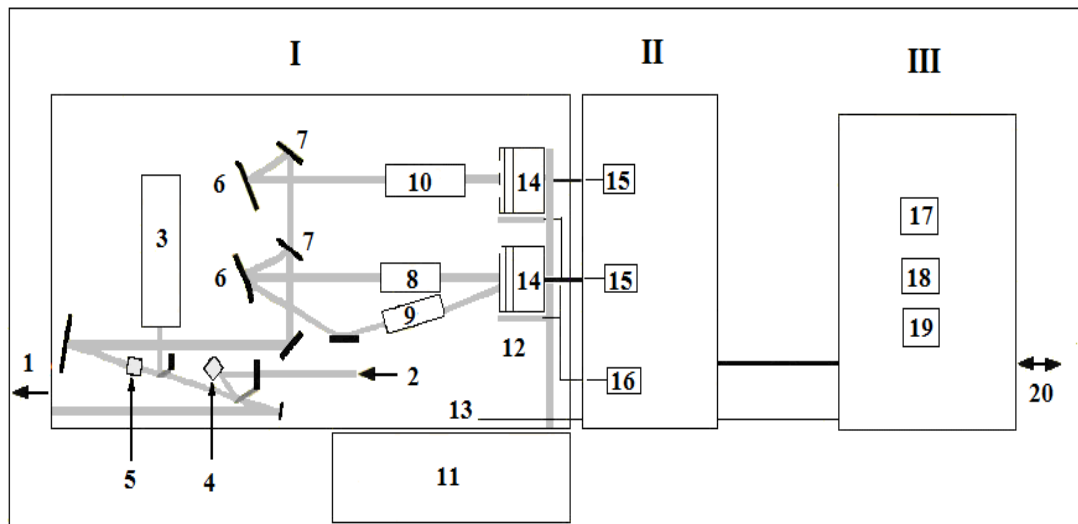


Рисунок 2.1 – Схема построения спектрометра ОМІ

Электронный блок состоит из устройства синхронизации (17), двух нагревательных приборов (18), контроллера с датчиком температуры, 12-ти битного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (19) и система передачи цифрового кода (20) [58]. Детекторный блок (II) состоит из двух АЦП (15), контроллеров температуры (16) и контроллера мощности для термостабилизации системы (рисунок 2.1). Основная функция электронного блока (III) - управление оптической частью инструмента ОМІ.

Инструмент ОМІ проводит регистрацию выбросов в глобальном масштабе. При угле обзора камеры 114° охват поверхности составляет 2600 км. Размер пикселя в обычном режиме работы инструмента при съемке в направлении надир составляет 13 км вдоль и 24 км поперек полосы соответственно. Возможно увеличить пространственное разрешение, если размер пикселя изменить до 13 км вдоль и 12 км поперек полосы [59,60,61].

Метод оценки концентрации SO_2 инструмента ОМІ основан на измерении спектральных характеристик солнечного света, рассеянного в атмосфере. Производится сравнение спектральной интенсивности исходного и рассеянного в атмосфере «назад» солнечного излучения в УФ диапазоне, что даёт информацию о концентрации выбросов SO_2 . Так как диоксид серы

поглощает часть приходящего солнечного излучения [59,60,61]. На рисунке 2.2 приведен спектр поглощения SO_2 в УФ-диапазоне.

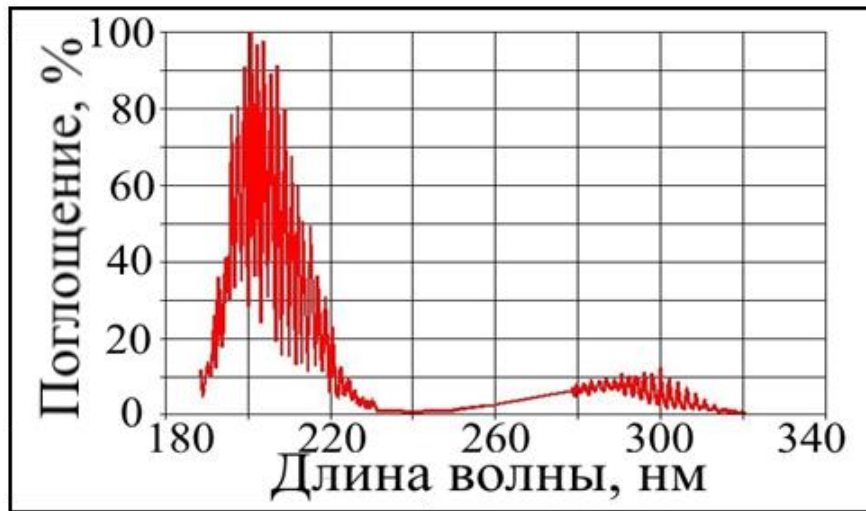


Рисунок 2.2 – Спектр поглощения SO_2 в УФ-диапазоне

Кроме SO_2 в ультрафиолетовом диапазоне, поглотителем электромагнитного излучения является озон. Для оценки общего содержания озона также используется несколько спектральных каналов. Алгоритм восстановления содержания SO_2 в атмосфере основан на использовании вертикальных модельных профилей озона и диоксида серы. Решается обратная задача. Путем варьирования модели минимизируется средний квадрат разности между измеренными и модельными параметрами. Обработка данных инструмента OMI позволяет определять концентрацию SO_2 на четырёх высотах над уровнем моря: 17 км, 7,5 км, 2,5 км, 0,9 км. Для измерения концентрации SO_2 используется единица Добсона (е.Д.). Одна е.Д. равна 0,01 мм толщины осажденного слоя SO_2 при атмосферном давлении 1013 Гпа и 0°C [59,60,61].

Интегральное (суммарное) распределение диоксида серы в атмосфере характеризуют такие параметры, как общее содержание диоксида серы $X(\text{SO}_2)$, концентрация диоксида серы $N(\text{SO}_2)$. $X(\text{SO}_2)$ – толщина слоя диоксида серы в вертикальном столбе атмосферы. Размерность $[X(\text{SO}_2)] =$

см. Концентрация диоксида серы $N(\text{SO}_2)$ – число молекул диоксида серы в столбе атмосферы с площадью основания 1 см^2 при тех же условиях, $[N(\text{SO}_2)] = \text{см}^{-3}$. При указанных условиях число молекул диоксида серы в 1 см^3 определяется числом Лошмидта $N_L = 2,6868 \cdot 10^{19}$. Таким образом,

$$N(\text{SO}_2) = N_L * X(\text{SO}_2), (1)$$

Из (1) следует, что 1 е.Д. соответствует $2,6868 \cdot 10^{16}$ молекулам в вертикальном столбе газа с основанием 1 см^2 при нормальных условиях. Среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК_{с.с.}) диоксида серы соответствует концентрации $0,05 \text{ мг/м}^3$. В перерасчете получаем ПДК_{с.с.} = 1,56 е.Д. или 1 е.Д. соответствует концентрации $0,032 \text{ мг/м}^3$ [7].

2.2 Анализ спутникового измерительного инструмента OMPS

Спутник Suomi NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership) – научно исследовательский метеорологический спутник, основное назначение которого климатические измерения. Он запущен 28 октября 2011 года компанией Ball Aerospace с космодрома авиа воздушной базы Ванденберг(США) на ракетоносителе Дельта -2. Основные технические и орбитальные характеристики Suomi NPP отображены в таблице 2.4 [62].

Таблица 2.4 –Основные технические и орбитальные характеристики Suomi NPP

Масса, кг	2200
Потребляемая мощность, Вт	2285
Габаритные размеры, м	1,3*1,3*4,2
Тип орбиты	Солнечно-синхронная
Наклонение	98,8°
Период обращения, мин.	101,4
Апоцентр, км	834,6
Перицентр, км	833,5
Витков за день	14

Основные задачи спутника «Suomi NPP» [62]:

- Автоматизированное обнаружение лесных пожаров;
- Получение профилей температуры атмосферного воздуха и его влажности;
- Изучение опасных атмосферных явлений, измерение содержания в атмосфере различных аэрозолей и водяного пара;
- Измерение температурного режима океана;
- Наблюдение в глобальном и региональном масштабах за природными и антропогенными катастрофами;
- Изучение процессов засоления, паводков, половодий, опустынивания и заболачивания. Контроль изменения ледников.

Спутник «Suomi NPP» продолжает наблюдения за климатом планеты по программе NASA EOS (Earth Observing System). Он движется по солнечно-синхронной орбите на высоте 824 км. В течение суток космический аппарат совершает около 14 оборотов вокруг Земного шара. На данном спутнике установлен комплекс приборов, предназначенных для анализа газового состава атмосферного воздуха Земли, и включает [62]:

- Микроволновый радиометр ATMS (Advanced Technology Microwave Sounders), основное назначение, которого наблюдение за температурой, влажностью и давлением в атмосфере Земли;
- Интерферометр CrIS (Cross-track Infrared Sounder), основное назначение, которого изучение влажности и давления атмосферного воздуха;
- Спектрометр OMPS (Ozone Mapping and Profiler Suite), основное назначение, которого получение изображений для наблюдения содержания озона, а также обеспечение глобального отображения других атмосферных компонентов, включая аэрозоли и SO₂. Масса прибора – 68 кг, средняя потребляемая мощность – 108 Вт;

- 22-х полосный радиометр VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), основное назначение, которого контроль за изменением территорий, движениями льда и крупными пожарами;

- Радиометр CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System), основное назначение, которого измерение тепловых потоков, испускаемых Землей и Солнцем, а также отраженных от атмосферы и планеты.

Радиометр VIIRS получает карты Земли в видимом и инфракрасном диапазонах. Он осуществляет радиометрию атмосферы, океанов и суши. Прибор VIIRS дает возможность изучать температуру поверхности Земли, изменение ледников, изменение климата, свойства облаков и аэрозолей. Радиометр строит многоканальные изображения для съемок высокого разрешения, он создает прикладные продукты, такие как карты ураганов в ИК и видимом диапазонах, детектирование дыма, пожаров и различных аэрозолей в атмосфере [62].

Инструмент OMPS - это набор из трех гиперспектральных приборов для картографирования распределения озона и других компонентов атмосферы, включая диоксид серы. Один из элементов системы осуществляет измерение в надире, в то время как второй прибор направлен под углом к поверхности Земли. Третий аппарат системы управляет работой двух других, осуществляя коррекцию их положения. А затем захватывает и направляет данные на Землю [62]. Метод оценки концентрации диоксида серы спектрометра OMPS основан на том же методе, что и у измерителя OMI.

2.3 Разработка критериев и алгоритмов использования базы данных спектрометров OMI и OMPS

В работе используется четыре базы данных космического мониторинга OMI и OMPS по выбросам SO_2 в атмосферу для северных территорий. Две базы данных OMI и OMPS имеет вид текстовой таблицы [63] с описанием (таблица 2.5). Она отображает дату, время измерения, коэффициент

облачности и место проведения замера – по географическим координатам. В четырех столбцах таблицы отображено содержание SO_2 для четырех высот над уровнем моря: 0,9 км, 2,5 км, 7,5 км и 17 км.

Таблица 2.5 – Фрагмент текстовой базы данных ОМІ

Дата	с. (UTC)	Долгота, град.	Широта, град.	$SO_2_{0,9км}$, е.Д.	$SO_2_{2,5км}$, е.Д.	$SO_2_{7,5км}$, е.Д.	$SO_2_{17км}$, е.Д.
01.10.2005	10468	88,93	68,98	4,2	0,3	3,8	0,0
01.10.2005	10470	88,61	69,01	5,	7,5	1,4	0,76
01.10.2005	10472	88,28	69,05	2,6	6,4	6,7	0,9
01.10.2007	10469	88,99	68,09	5	6,8	0,74	0,2
02.10.2007	10414	88,56	69,30	8	8,9	1,8	0,8
02.10.2007	10416	88,65	69,25	4,	6,4	5,37	0,5
02.10.2007	10468	88,89	68,36	5,3	4,4	8	0,9
02.10.2008	10432	88,14	69,13	3,16	7,74	11,9	0,997
02.10.2008	10432	88,25	69,23	5,15	4,725	3,34	6,648
02.10.2009	10432	88,67	68,43	7,13	7,755	0,56	3,258
02.10.2009	10432	88,99	69,73	9,11	9,778	8,89	6,963

$SO_2_{0,9 км}$ – концентрация SO_2 на высоте 0,9 км в е.Д., $SO_2_{2,5 км}$ – концентрация SO_2 на высоте 2,5 км в е.Д., $SO_2_{7,5 км}$ – концентрация SO_2 на высоте 7,5 км в е.Д., $SO_2_{17 км}$ – концентрация SO_2 на высоте 17 км в е.Д.

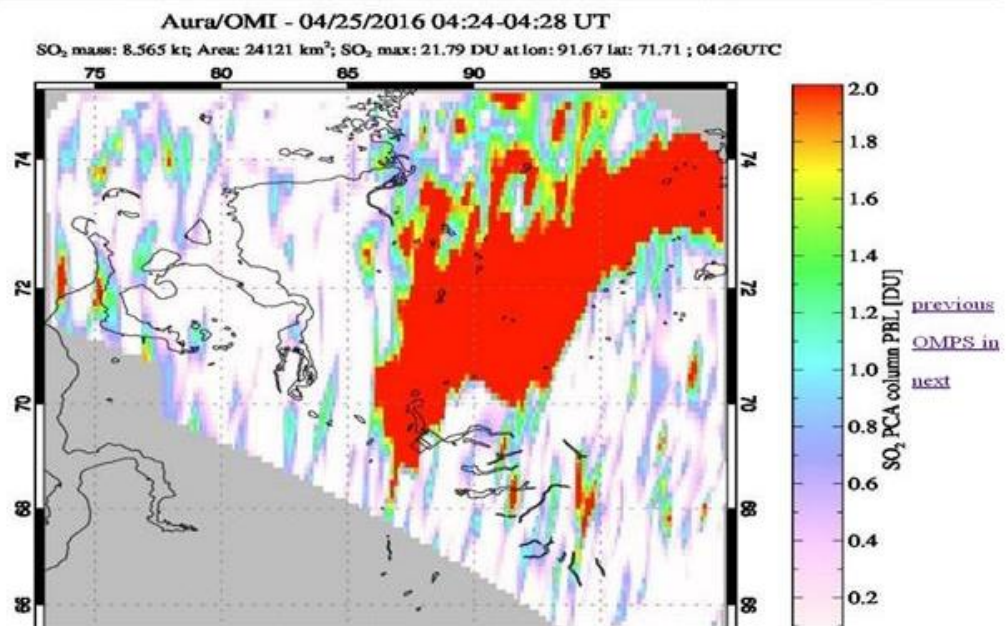
Для контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных осуществляется считывание общего массива данных по выбросам диоксида серы для исследуемой территории с двух источников информации ОМІ и OMPS (текстовая база данных). Затем осуществляется обработка этого массива данных в соответствии с алгоритмом, представленном на рисунке 2.3, так как он содержит частично ложные данные.



Рисунок 2.3 – Алгоритм обработки числовой базы данных OMI и OMPS

Особенностью данного алгоритма является то, что исключаются данные по концентрации диоксида серы для двух приборов OMI и OMPS, полученные в период повышенной облачности, когда коэффициент облачности превышает 30%. Также исключаются отрицательные значения концентрации выбросов диоксида серы, как не имеющие смысла.

На рисунке 2.4, 2.5 отображен пример графической базы данных OMI и OMPS соответственно по выбросам SO_2 для северных территорий. Графическая база данных OMI описывает период с 2004 г. по настоящее время. Информация хранится в виде изображений поверхности, ограниченной координатами по широте от 66° до 76° с.ш. и по долготе от 70° до 100° в.д. Каждая картинка соответствует определенному дню в году, на которой показано распределение выбросов SO_2 в е.Д. Так же содержатся данные о массе выбросов SO_2 в кт, площади распространения в км^2 , времени проведения измерения и максимальном значении концентрации диоксида серы (во время замера) в определенной точке, исследуемой территории [64].



Norilsk, Russian Federation (OMI)

*** BEWARE: data that look like lines (NNW to SSE or NNE to SSW) are probably artifacts ***
 *** Missing data are due to OMI row anomaly ***

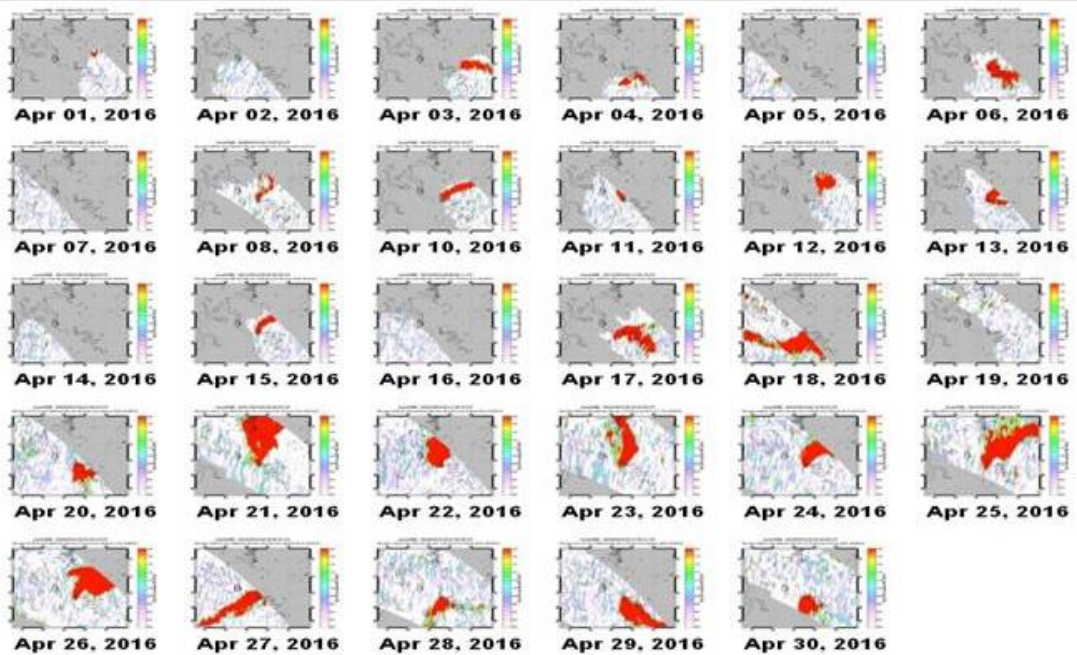
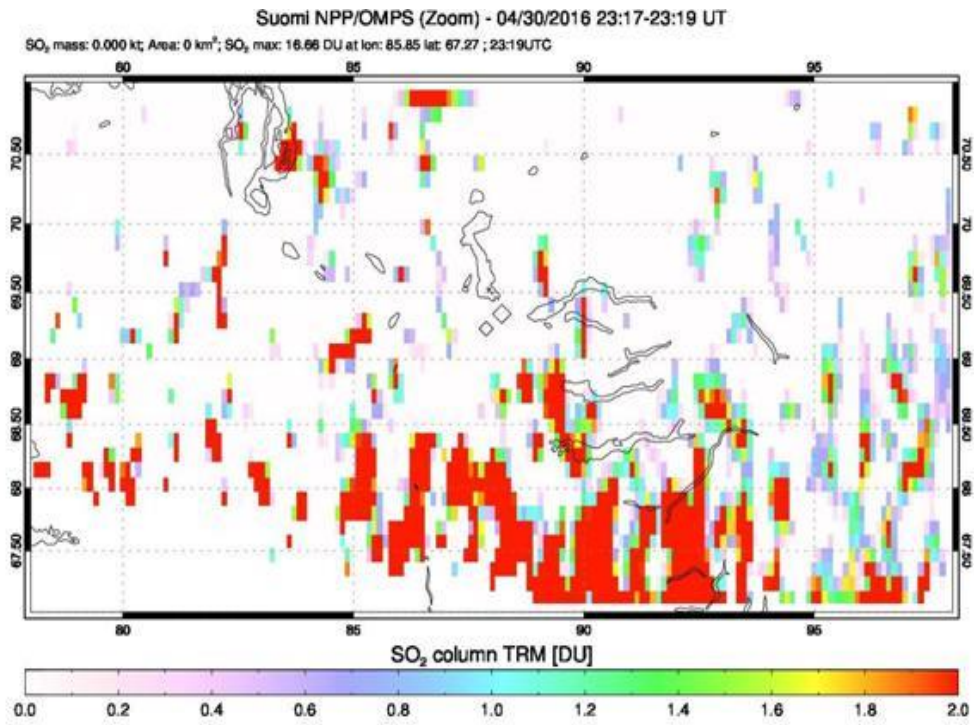


Рисунок 2.4 – Фрагмент графической базы данных ОМІ по выбросам SO₂ для северных территорий



Norilsk, Russian Federation (OMPS)

*** Data used for these OMPS images include non-standard products generated by NASA's Ozone PEATE ***

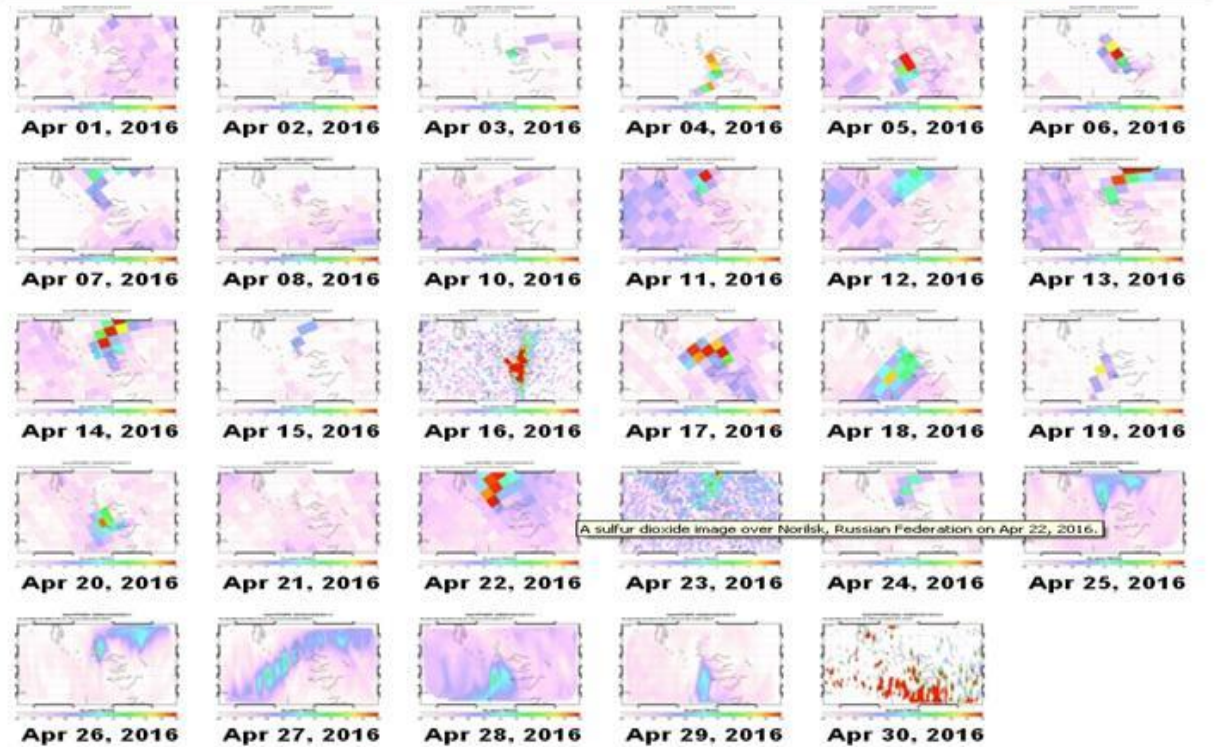


Рисунок 2.5 – Фрагмент графической базы данных OMPS по выбросам SO₂ для северных территорий.

Для оценки состояния окружающей среды по массе и площади распространения выбросов диоксида серы данные графической базы данных обрабатываются в соответствии с алгоритмом отображенным на рисунке 2.6.

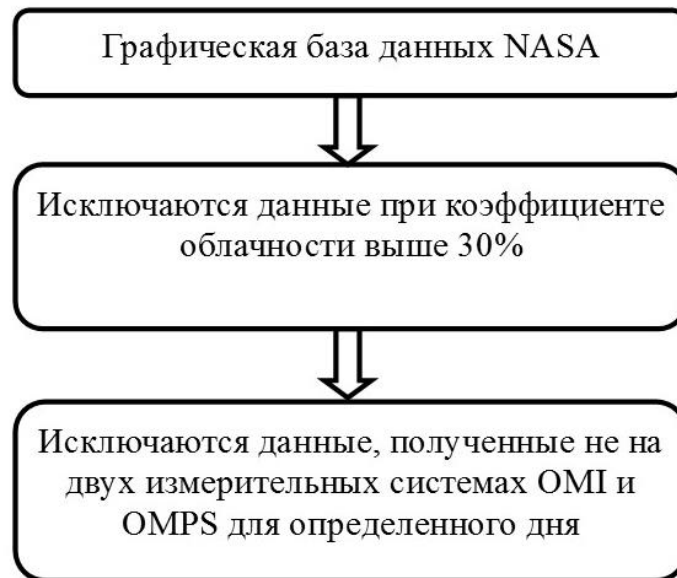


Рисунок 2.6 – Алгоритм обработки графической базы данных NASA по выбросам SO_2

Особенностью данного алгоритма является то, что исключаются данные по массе и площади распространения выбросов диоксида серы для двух приборов OMI и OMPS, полученные в период повышенной облачности, выше 30%. Так же не используются данные полученные не на двух измерительных системах OMI и OMPS одновременно для определенного дня. В соответствии с этими параметрами формируется база данных по массе площади распространения выбросов диоксида серы для исследуемой территории.

При этом базы данных NASA не обработаны и частично содержат ложные значения. Что не дает возможность применить их для оценки состояния атмосферного воздуха.

2.4 Разработка информационного приложения по обработке баз данных ОМІ и ОМPS

Анализ выбросов SO_2 производится на основе данных, полученных в результате обработки базы данных по выбросам SO_2 для НПЗ информационным приложением, разработанным в оболочке MATLAB. Интерфейс приложения отображен на рисунке 2.7.

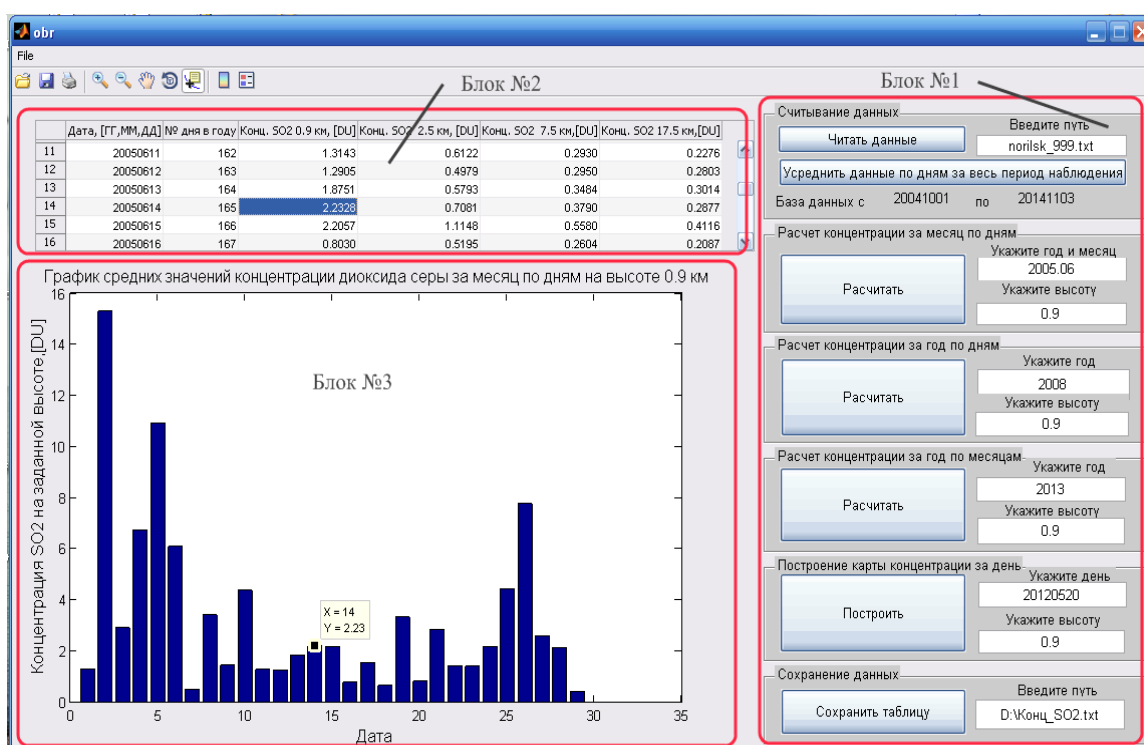


Рисунок 2.7 – Интерфейс информационного приложения по обработке текстовой базы данных по выбросам SO_2 для НПЗ

Данное информационное приложение состоит из трех основных блоков. Блок №1 содержит 6 панелей. Панель «Считывание данных» позволяет считать файл из базы данных NASA в таблицу блока №2, с учетом критериев, приведенных выше. Функция «усреднить данные по дням за весь период наблюдения» позволяет рассчитать среднесуточную концентрацию диоксида серы для определенного периода. С помощью панели «Расчет концентрации за месяц по дням» рассчитанные среднесуточные значения концентрации ограничиваются определенным месяцем или годом, при использовании

функции «Расчет концентрации за год по дням». Полученные данные выводятся в таблицу блока №2 и в виде диаграммы блока №3. Все результаты могут быть сохранены во внешнем файле для дальнейшего анализа состояния атмосферного воздуха. Функция «Расчет концентрации за год по месяцам» позволяет определить среднемесячные значения концентрации диоксида серы исследуемого года. Кроме этого, разработанное информационное приложение позволяет построить карту концентрации SO_2 для исследуемого дня по спутниковым данным OMI и OMPS.

На данное информационное приложение получено Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ №2018619947 «Информационное приложение по обработке спутниковых данных».

2.5 Сравнение результатов измерений OMI с данными других систем контроля

Для подтверждения возможности использования спектрометра OMI по контролю выбросов SO_2 северных территорий проведен анализ работ, посвященных сравнению результатов измерений OMI с результатами измерений других систем мониторинга SO_2 .

Е. Спинер, С. Кан, Н. Кротков, К. Янг провели сравнение данных инструмента OMI с данными наземного спектрометра MFDOAS (multifunction differential optical absorption spectroscopy) [65]. Опыт проводился с 18 по 20 июня 2008 г. на острове Умнак, Аляска в период извержения вулкана Окмок. Географические координаты вулкана $53,397^\circ$ с.ш. $168,166^\circ$ в.д., высота вулкана над уровнем моря 1073 м. Извержение вулкана началось 12 июня 2008 года в 11:43 по местному времени с двух взрывов с интервалом в 1 ч. Столб дыма и выбросов в обоих случаях достиг стратосферы. Во время первого взрыва высота пепла достигла 15 км, второй взрыв был с большим количеством водяного пара со столбом до 16 км. Извержение вулкана продолжалось пять недель, в вулканических облаках, выброшенных в атмосферу было высокое содержание SO_2 до 100 е.Д.

(рисунок 2.8). Это было зафиксировано несколькими спутниковыми системами, такими как GOME-2, SCIMACHY.

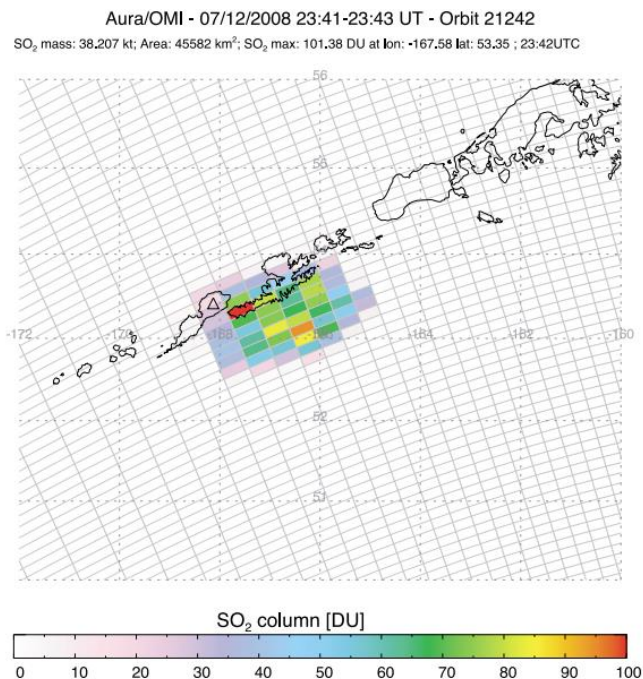


Рисунок 2.8 – Максимальное значение концентрация выбросов SO₂, зафиксированное прибором OMI при извержении вулкана Окмок

В общей сложности инструмент OMI отслеживал шлейф SO₂ от вулкана Окмок в течении 2 недель, часть результатов измерений отображена в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Изменение концентрации SO₂ в облаке выбросов вулкана Окмок по данным инструмента OMI

Дата: июль, 2008 г.	Орбита OMI	Площадь, 10 ⁶ км ²	Концентрация SO ₂ , е.Д.	Масса SO ₂ , Тг.
12	21242	0,05	>100	0,04
13	21256-21257	0,3-0,4	40-60	0,1
14	21258-21271	0,8	35-42	0,12
15	21272-21286	0,9	30-32	0,079-0,091
16	35°N-55°N; 120°W-160°W	0,9	26-32	0,075-0,083
17	35°N-60°N; 60°W-160°W	1	21-23	0,067-0,075
18	35°N-60°N; 60°W-160°W	1,1	22-28	0,054-0,063
19	35°N-65°N; 35°W-175°W	1,17	6-8	0,041-0,051

Шлейф пепла дрейфовал за пределы Северной Америки, за Северный Атлантический океан в Северную Европу (Рисунок 2.9).

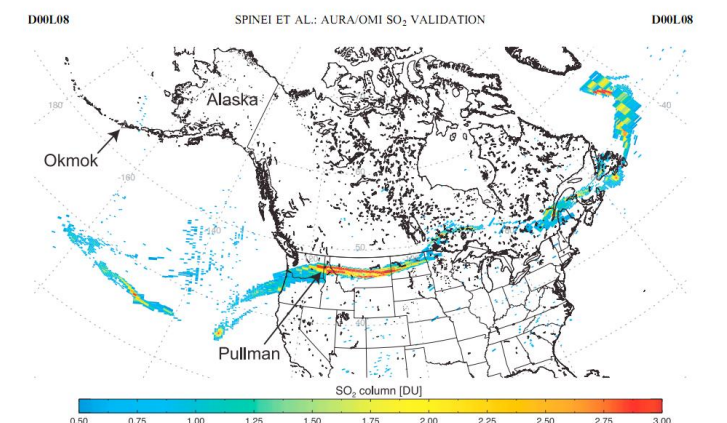


Рисунок 2.9 – Шлейф SO₂ от вулкана Окмок, отслеживаемый инструментом OMI

Прибор MFDOAS был разработан как исследовательский класс приборов для измерения спектрального УФ/прямого излучения и рассеяния в атмосфере, обнаруживающий примеси веществ, в том числе выбросы SO₂. Спектральное разрешение прибора 0,83 нм, длина волны 498 нм.

Результаты измерений инструментов OMI и MFDOAS сведены в таблицу 2.7. Данные максимально близки 19 июня в 20:29, отличие составило 0,07 е.Д. (2%). В 22:07 этого же дня данные также были сопоставимы, разница составила 0,4 е.Д. (23%). В 21:12 20 июня разница составила 0,18 е.Д. (15%).

Таблица 2.7 – Результаты измерений по выбросам SO₂ спектрометров OMI и MFDOAS в период извержения вулкана ОКМОК с 18 по 20 июня 2008 года

Дата	Время (UTC)	Данные OMI, е.Д.	Данные MFDOAS, е.Д.
18.07.08	19:47	0,16	0,18
18.07.08	21:24	-	0,18
19.07.08	20:29	3,04	3,11
19.07.08	22:07	1,35	1,75
20.07.08	21:12	1,04	1,22

Таким образом, проведенное сравнение результатов измерения инструментов OMI и MFDOAS выбросов SO_2 с 18-20 июля 2008 г. в вулканическом облаке Окмок показало хорошее совпадение для небольших значений концентраций при низкой облачности (<30 %). Это подтверждает способность инструмента OMI совершать контроль концентрации выбросов SO_2 в атмосфере.

Н. Кротков, С. Кан над промышленным районом в восточной части Китая провели сравнения данных инструмента OMI по выбросам SO_2 с данными газоанализатора, установленного на борту самолета [66]. Измерения с самолета производились в составе Восточноазиатского исследования тропосферных аэрозолей: международный Региональный эксперимент (EAST-AIRE). Было совершено восемь рейсов с 1 апреля 2005 года по 12 апреля 2005 года. При этом было выбрано только 4 дня, когда метеоусловия для измерения прибора OMI были оптимальными – нулевая облачность (1, 5, 7 и 10 апреля). Полет производился на китайском двухмоторном турбовинтовом самолете Y-12 на высоте от 300 м до 4000 м над уровнем моря к югу (Liaozhong) и северу (Xiaoming) от международного аэропорта (Liaoning). Траектории полета за эти 4 дня были схожими (рисунок 2.10).

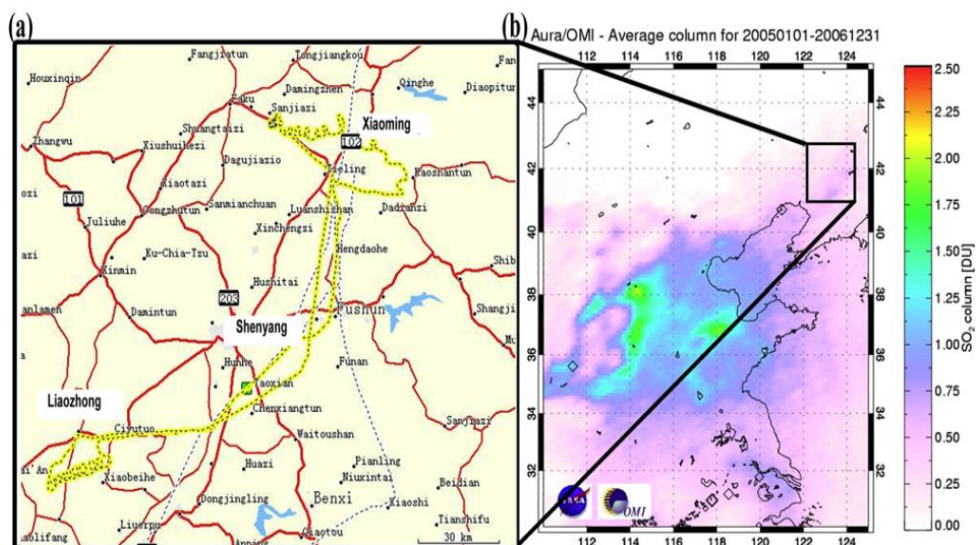


Рисунок 2.10 – Траектории полетов самолета Y-12 в восточном Китае

В таблице 2.8 представлены результаты измерений инструмента OMI и газоанализатора, установленного на борту самолета в восточной части Китая.

Таблица 2.8 – Результаты измерений выбросов SO₂ инструментом OMI и газоанализатором

Дата	Время	Данные OMI, е.Д.	Данные MFDOAS, е.Д.
01.04.05	0723	1,3	2,7
05.04.05	0429	1,3	2,6
05.04.05	0517	1,5	3,8
05.04.05	0312	2,3	2,7
07.04.05	0735	0	1,1
07.04.05	0920	0,22	1,6
07.04.05	0857	0	1,3
10.04.05	0257	0,07	0,7
10.04.05	0453	0,21	0,5
10.04.05	0428	0,04	0,5

Измерения инструмента OMI хорошо согласуются с измерениями газоанализатора. Так, 1 апреля 2005 года разница составила 0,1 е.Д. (7 %), 5 апреля разница составила 0,1-1,3 е.Д. (6%-10%), 7 апреля разница составила 0,8-1,5 е.Д. (46%), 10 апреля разница составила от 0,02-0,53 е.Д. (3% - 88%).

Эксперименты показали, что OMI способен производить измерения концентрации выбросов SO₂ для НПЗ. Наибольшая точность достигается, когда облачность (CLD <30%) минимальна.

2.6 Разработка метода и результаты сравнительного анализа данных спектрометров OMI и OMPS, как основных элементов спутниковой системы контроля

Впервые спутниковый сбор данных по SO₂ был продемонстрирован при извержении вулкана Эль-Чичон с использованием спектрометра для сплошного картирования озонового слоя (TOMS) [67-69]. С тех пор технология спутникового сбора информации по глобальному загрязнению SO₂ была значительно улучшена. Спутниковое дистанционное зондирование

в ультрафиолетовом спектре применялось для оценки общемирового объема выбросов SO_2 [70]. Измерения антропогенных выбросов SO_2 были осуществлены с использованием нескольких гиперспектральных УФ-спектрометров – это эксперимент по глобальному мониторингу озона (GOME) [71], GOME-2 [72], сканирующий абсорбционный спектрометр с формированием изображения для составления атмосферных карт - (SCIAMACHY) [74], прибор для мониторинга озона (OMI) [75], а также инструмент OMPS [76].

Относительно небольшие расхождения в показателях разных инструментов и калибровки могут привести к значительным погрешностям измерений. Пространственное разрешение спутниковых приборов является основным ограничивающим фактором в обнаружении выбросов SO_2 от точечных источников [73]. Это связано с тем, что низкая пространственная разрешающая способность инструментов будет приводить к занижению количества SO_2 от точечных источников по сравнению с приборами у которых высокое пространственной разрешение.

К данным SO_2 спектрометров OMI и OMPS применен алгоритм метода главных компонент (PCA) [77,78]. Такой подход значительно снижает уровень шума и погрешность по сравнению с предыдущими данными SO_2 , полученных при использовании метода разности диапазонов (BRD) [79] и позволяет обнаружить из космоса более мелкие источники загрязнений [73,74,75], а также позволяет получать информацию для большего количества регионов. Одна из сильных сторон метода PCA заключается в том, что он не требует специфической и явной корректировки спутниковых данных о спектральной яркости.

В этой главе мы оцениваем возможность применения данных спутниковой системы OMPS по выбросам SO_2 для северных территорий в сравнении с данными OMI. Для проведения исследования используются данные относительно безоблачного неба, когда коэффициент облачности

(CLD) меньше 30 %. Так же для данных OMI и OMPS исключаются отрицательные значения, как не имеющие смысла. Стандартные отклонения (погрешность) для OMI и OMPS составляют 0,5 е.Д. (0,016 мг/м³) и 0,3 е.Д. (0,0096 мг/м³) соответственно.

Для сопоставления данных OMI и OMPS по выбросам SO₂ вычисляется два типа корреляции. Во-первых, пространственная корреляция (R) — это корреляция между OMI и OMPS данными по среднегодовым значениям концентрации SO₂ в пределах определенного участка исследуемой территории. Во-вторых, временная корреляция (r) – корреляция между ежедневными массами SO₂ данных OMI и OMPS для исследуемой территории.

Оценка пространственной корреляции среднегодовых концентраций SO₂ данных OMI и OMPS.

Для расчета пространственной корреляции используется базы данных за 2013 – 2017 года. На рисунке 2.11 представлен график, где данные OMI по выбросам SO₂ наложены на данные OMPS за 2013 г. для НПЗ. Анализ концентрации SO₂ осуществлен на основе 168 дней (с 25 марта по 25 сентября).

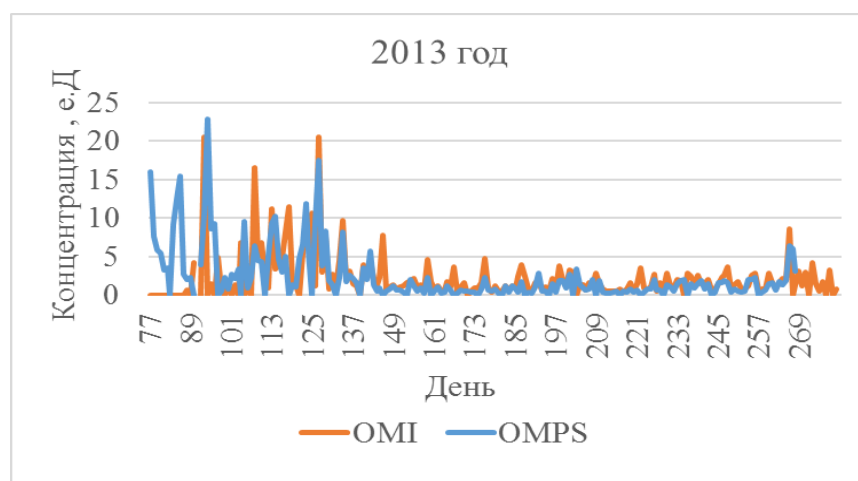


Рисунок 2.11 – Данные OMI и OMPS за 2013 г. по выбросам SO₂ для северных территорий

Вычисление значения среднегодовой концентрации осуществляются для каждого участка исследуемой территории. Территория, ограниченная координатами 68,85°-69,8° с.ш. и 86,95°- 89,5° в.д., делится на 16 участков в соответствии с рисунком 2.12.

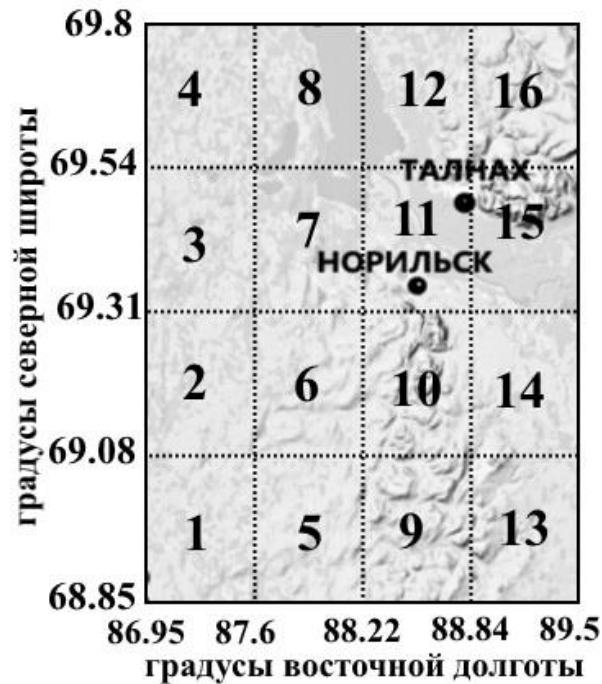


Рисунок 2.12 – Деление исследуемой территории на участки для расчета коэффициента пространственной корреляции

Результаты расчетов среднегодовых концентраций SO_2 по данным OMI, OMPS и коэффициент пространственной корреляции за 2013 г. сведены в таблицу 2.9. Относительная разница среднегодовых значений концентрации лежит в интервале 17-58%. Наилучшее совпадение характерны для 4,8,9,10,11 участков, наихудшее для 1,2 участков. Коэффициент пространственной корреляции за 2013 г. составляет $R= 0,83$ при размере выборки 168. Это значение R с вероятностью 95% попадает в доверительный интервал от 0,78 до 0,87.

Таблица 2.9- Значение среднегодовой концентрации SO₂ участков исследуемой территории за 2013 г.

Номер исследуемого участка НПЗ															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Среднегодовое значение концентрации SO ₂ по данным OMI, в е.Д.															
1,16	2,2	2,9	2,	2,1	2,9	2,9	2,5	1,9	2,2	2,9	1,3	2	1,5	1,2	1,2
Среднегодовое значение концентрации SO ₂ по данным OMPS, в е.Д.															
2,8	4,3	4,7	2,6	3,6	3,7	3,9	2,9	2,5	2,9	4,1	2	3,7	2,7	2,2	1,9

На рисунке 2.13 отображено распределение выбросов SO₂ по концентрации в соответствии с данными OMI и OMPS за 2013 г. Основное пятно загрязнения по данным OMI и OMPS распределено по зонам 2,3,4,6,7,8,11. При этом значения концентрации SO₂ по OMPS выше, чем по OMI и лежат в интервалах 4,11-4,36 е.Д., 2,21 – 2,96 е.Д. соответственно. Среднегодовое значение концентрации SO₂ в НПЗ по OMI – 2,1 е.Д., OMPS - 3,2 е.Д.

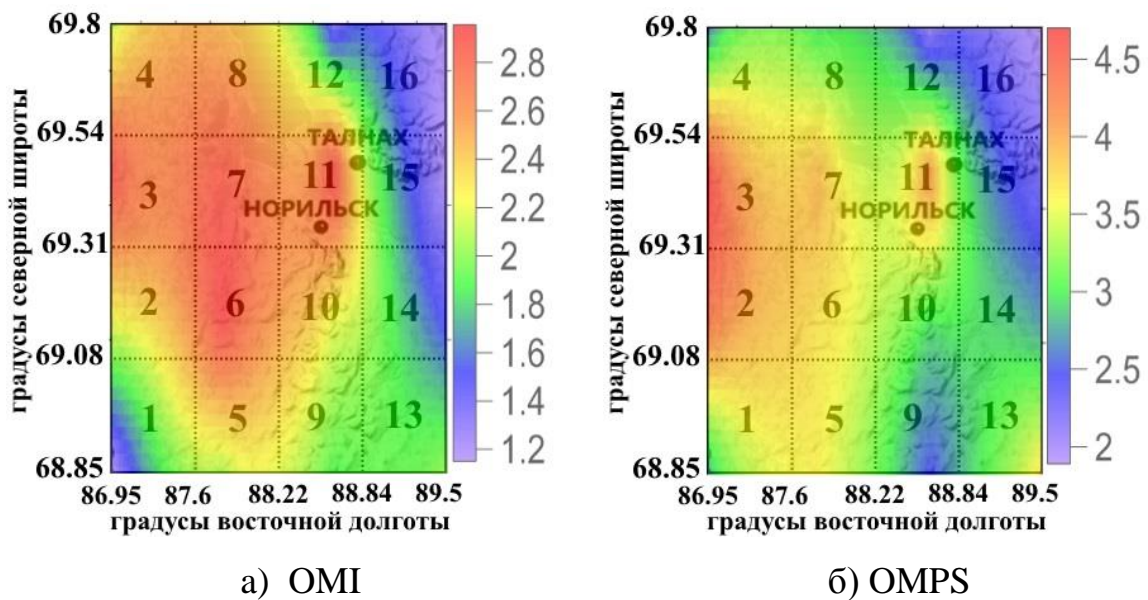


Рисунок 2.13 – Пространственное распределение выбросов SO₂ по данным OMI и OMPS за 2013 год

На рисунке 2.14 представлены графики, где данные OMI по выбросам SO₂ наложены на данные OMPS за 2014 г. по выбросам SO₂ для НПЗ. Анализ

концентрации SO_2 осуществлен на основе 167 дней (с 17 марта по 29 сентября).

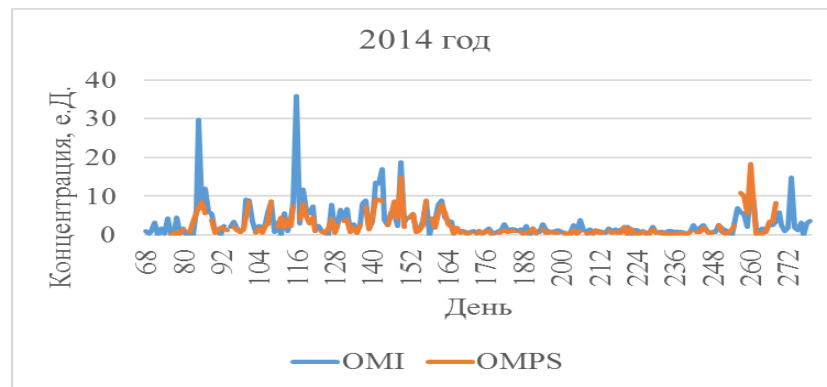


Рисунок 2.14 – Данные OMI и OMPS за 2014 г. по выбросам SO_2 для НПЗ

Результаты расчетов среднегодовых концентраций SO_2 по данными OMI, OMPS и коэффициент пространственной корреляции за 2014 г. сведены в таблицу 2.10. Относительная разница среднегодовых значений концентрации лежит в интервале 5-44%. Наилучшие совпадение характерны для 1,3,7,9,10,13,15 участков, наихудшее для 2,4,5 участков. Коэффициент пространственной корреляции за 2014 г. составляет $R = 0,87$ при размере выборки 167. Это значение R с вероятностью 95% попадает в доверительный интервал от 0,83 до 0,9.

Таблица 2.10 – Значение среднегодовой концентрации SO_2 участков НПЗ за 2014 г.

Номер исследуемого участка НПЗ															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Среднегодовое значение концентрации SO_2 по данным OMI, в е.Д.															
1,7	2,4	3,4	2,3	1,2	3,7	5,5	3,1	3,1	3,6	3,8	3,7	2,7	3,3	3	2,45
Среднегодовое значение концентрации SO_2 по данным OMPS, в е.Д.															
1,9	4,2	3,9	3,9	2,2	5,6	5,8	4,4	3,8	4	5,4	4,9	3,3	4,2	3,6	3,4

На рисунке 2.15 отображено распределение выбросов SO_2 по концентрации в соответствии с данными OMI и OMPS за 2014 г. Основное пятно загрязнения по данным OMI и OMPS распределено по зонам

6,7,8,11,12. При этом значения концентрации SO_2 по OMPS выше, чем по OMI и лежат в интервалах 4,38-5,82 е.Д., 3,08 – 5,52 е.Д. соответственно. Среднегодовое значение концентрации SO_2 в НПЗ по OMI – 3,1 е.Д., OMPS - 4 е.Д.

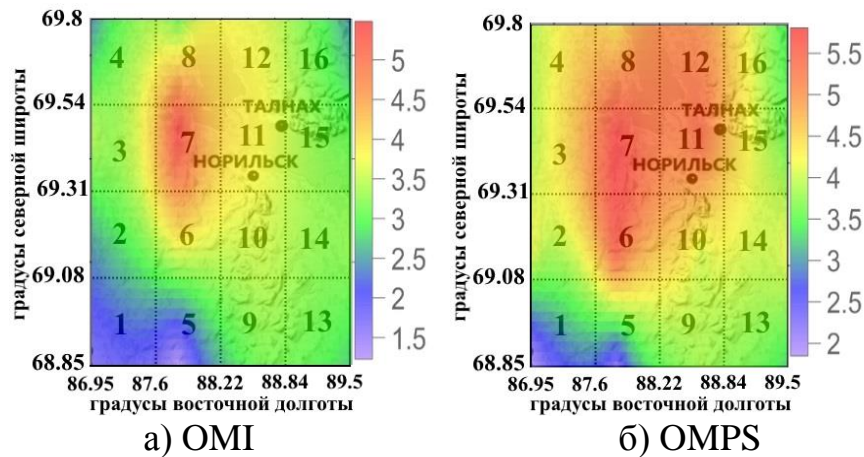


Рисунок 2.15 - Пространственное распределение выбросов SO_2 по данным OMI и OMPS за 2014 год

На рисунке 2.16 представлены графики, где данные OMI по выбросам SO_2 наложены на данные OMPS за 2015 г. по выбросам SO_2 для НПЗ. Анализ концентрации SO_2 осуществлен на основе 167 дней (с 19 марта по 25 сентября).

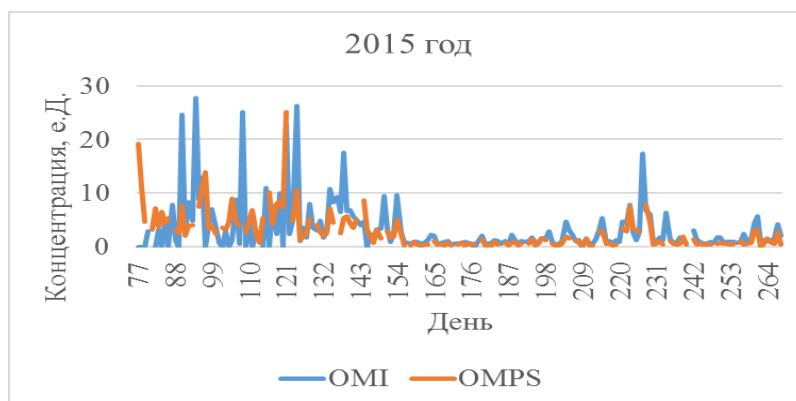


Рисунок 2.16 – Данные OMI и OMPS за 2015 г. по выбросам SO_2 для НПЗ

Результаты расчетов среднегодовых концентраций SO_2 по данными ОМІ, ОМPS и коэффициент пространственной корреляции за 2015 г. сведены в таблицу 2.11. Относительная разница среднегодовых значений концентрации лежит в интервале 5-65%. Наилучшее совпадение характерны для 1,2,3,6,7,10 участков, наихудшее для 5,9,16 участков. Коэффициент пространственной корреляции за 2015 г. составляет $R= 0,78$ при размере выборки 167. Это значение R с вероятностью 95% попадает в доверительный интервал от 0,71 до 0,83.

Таблица 2.11- Значение среднегодовой концентрации SO_2 участков НПЗ за 2015 г.

Номер исследуемого участка НПЗ															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Среднегодовое значение концентрации SO_2 по данным ОМІ, в е.Д.															
2,3	4,3	3	1,9	1,9	3,4	3,9	3,2	2,8	3,9	2,9	2,1	2,5	2,5	1,9	1,2
Среднегодовое значение концентрации SO_2 по данным ОМPS, в е.Д.															
2,5	4,7	3,2	3,2	3,1	4	5,2	4,3	4,3	4,1	3,9	2,8	3,2	3,6	3,2	3,3

На рисунке 2.17 отображено распределение выбросов SO_2 по концентрации в соответствии с данными ОМІ и ОМPS за 2015 г. Основное пятно загрязнения по данным ОМІ и ОМPS распределено по зонам 2,6,7,8,10. При этом значения концентрации SO_2 по ОМPS выше, чем по ОМІ и лежат в интервалах 4,1-5,15 е.Д., 3,42 – 3,9 е.Д. соответственно. Среднегодовое значение концентрации SO_2 в НПЗ по ОМІ – 2,74 е.Д., ОМPS -3.67 е.Д.

для 2,4,5,6,7,8,9,10,11 участков, наихудшее для 15, 16 участков. Коэффициент пространственной корреляции за 2016 г. составляет $R = 0,81$ при размере выборки 179. Это значение R с вероятностью 95% попадает в доверительный интервал от 0,75 до 0,86.

Таблица 2.12 – Значение среднегодовой концентрации SO_2 участков НПЗ за 2016 г.

Номер исследуемого участка НПЗ															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Среднегодовое значение концентрации SO_2 по данным OMI, в е.Д.															
2,9	2,4	2,1	1,7	3,1	3,9	3	2,5	4,2	5	2,9	2	3,4	2,5	1,9	0,8
Среднегодовое значение концентрации SO_2 по данным OMPS, в е.Д.															
2,2	1,7	2,9	1,7	3,4	4,2	3,5	2,5	4,4	5,3	2,7	1,7	4,5	3,2	3,4	2,1

На рисунке 2.19 отображено распределение выбросов SO_2 по концентрации в соответствии с данными OMI и OMPS за 2016 г. Основное пятно загрязнения по данным OMI и OMPS распределено по зонам 6,8,10. При этом значения концентрации SO_2 по OMPS выше, чем по OMI и лежат в интервалах 3,12-5 е.Д., 2,49 – 5,3 е.Д. соответственно. Среднегодовое значение концентрации SO_2 в НПЗ по OMI – 2,79 е.Д., OMPS -3,08 е.Д.

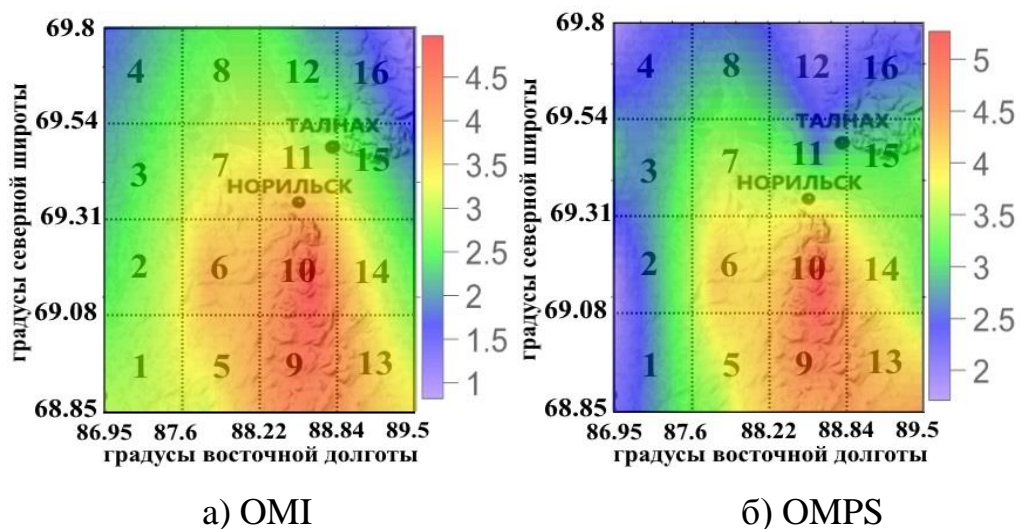


Рисунок 2.19 – Пространственное распределение выбросов SO_2 по данным OMI и OMPS за 2016 год

На рисунке 2.20 представлены графики, где данные OMI по выбросам SO₂ наложены на данные OMPS за 2017 г. по выбросам SO₂ для НПЗ. Анализ концентрации SO₂ осуществлен на основе 195 дней (с 17 марта по 26 сентября).

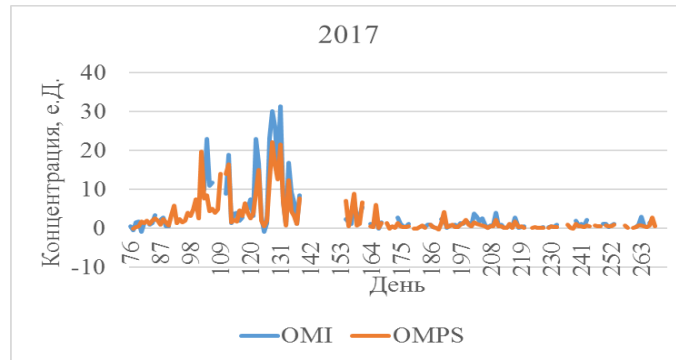


Рисунок 2.20 – Данные OMI и OMPS за 2017 г. по выбросам SO₂ для НПЗ

Результаты расчетов среднегодовых концентраций SO₂ по данным OMI, OMPS и коэффициент пространственной корреляции за 2017 г. сведены в таблицу 2.13. Относительная разница среднегодовых значений концентрации лежит в интервале 4-51%. Наилучшие совпадение характерны для 1,2,4,5,7,11,12,15 участков, наихудшее для 3,8 участков. Коэффициент пространственной корреляции за 2017 г. составляет R= 0,88 при размере выборки 195. Это значение R с вероятностью 95% попадает в доверительный интервал от 0,84 до 0,91.

Таблица 2.13 – Значение среднегодовой концентрации SO₂ участков НПЗ за 2017 г.

Номер исследуемого участка НПЗ															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Среднегодовое значение концентрации SO ₂ по данным OMI, в е.Д.															
4,6	3,2	1,8	2,5	2,6	3,8	3,8	1,8	3,7	4,3	2,5	2,2	3,9	2,2	2,2	2,1
Среднегодовое значение концентрации SO ₂ по данным OMPS, в е.Д.															
5,5	3,5	2,8	2,7	3,1	5,3	4,1	3,7	3,9	5,4	3,1	2,5	5,1	3,1	2,4	2,7

На рисунке 2.21 отображено распределение выбросов SO_2 по концентрации в соответствии с данными OMI и OMPS за 2017 г. Основное пятно загрязнения по данным OMI и OMPS распределено по зонам 6,9,10,13. При этом значения концентрации SO_2 по OMPS выше, чем по OMI и лежат в интервалах 3,7-4,3 е.Д., 3,7– 5,5 е.Д. соответственно. Среднегодовое значение концентрации SO_2 в НПЗ по OMI – 2,95 е.Д., OMPS -3,67 е.Д.

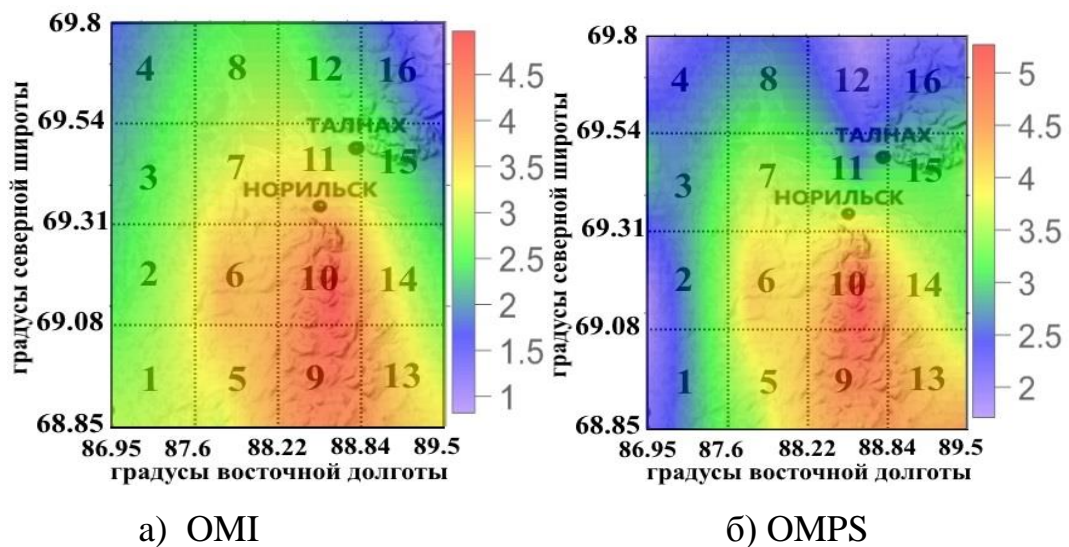


Рисунок 2.21 - Пространственное распределение выбросов SO_2 по данным OMI и OMPS за 2017 год

На рисунке 2.22 отображены значения среднегодовых концентраций SO_2 для НПЗ за 2013-2017 г. по данным OMI и OMPS.

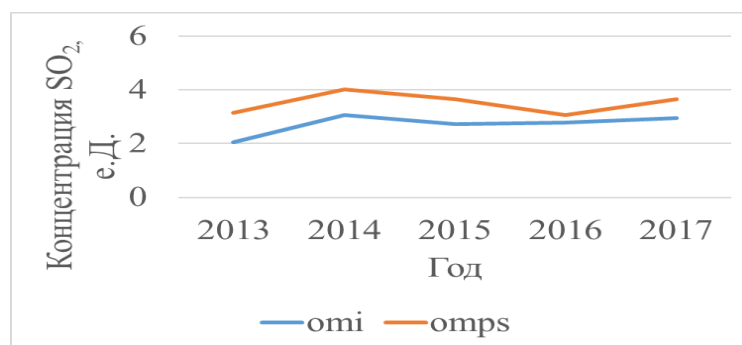


Таблица 2.22 – Среднегодовые концентрации SO_2 для OMI и OMPS за 2013-2017 гг.

Относительная разница среднегодовых концентраций SO₂ лежит в интервале от 9% до 34%. Наиболее близки данные были в 2016 году, когда разница составила 0,29 е.Д., а максимальной отличие было зафиксировано в 2013 году и составило 1,1 е.Д.

Анализ пространственной корреляции выбросов SO₂ для НПЗ показал, что значения концентрации по данным OMPS выше, чем по данным OMI - на ~ 0,79 е.Д., что сопоставимо с суммарной погрешностью измерений двух приборов - 0,8 е.Д. Причина этому, предположительно, разные значения пространственных разрешений приборов. Разница по времени наблюдений между OMI и OMPS также может вызвать относительно большие различия между результатами измерений двух приборов, так как столб выбросов SO₂ быстро переносится в атмосфере.

Оценка временной корреляции ежедневных данных массы выбросов SO₂ по OMI и OMPS.

Для анализа временной корреляции OMI –OMPS сравниваются ежедневные массы выбросов SO₂, основываясь на данные двух спектрометров за 2013-2017 года. Ежедневные массы выбросов SO₂ берем из графической базы данных. При этом, в учет идут только те дни, которые имеют данные массы выбросов SO₂, полученные на двух приборах. Временная корреляция (r) между OMI и OMPS рассчитывается для года с разбивкой помесячно на основе ежедневного количества выбросов SO₂ от двух приборов, которые соответствуют вышеуказанным критериям.

На рисунке 2.23 представлены данные массы выбросов SO₂ для НПЗ в соответствии с графическими базами данных OMI, OMPS за 2013 г. Для сравнения используется данные за 141 сутки. В таблицу 2.14 сведены значения временного коэффициента корреляции за 2013 год по месяцам.

Таблица 2.14 – Помесячные значения временной корреляции данных ОМІ – OMPS за 2015 год

Месяц	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
r	0,64	0,84	0,74	0,84	0,8	0,64	0,62	0,85

Коэффициент временной корреляции для 2013 не опускается ниже значения 0,62. Максимальное значение временной корреляции наблюдается в мае, июле, ноябре и находится в пределах 0,84-0,85. В остальные месяцы также сохраняются высокие значения временной корреляции: от 0,62 до 0,8.

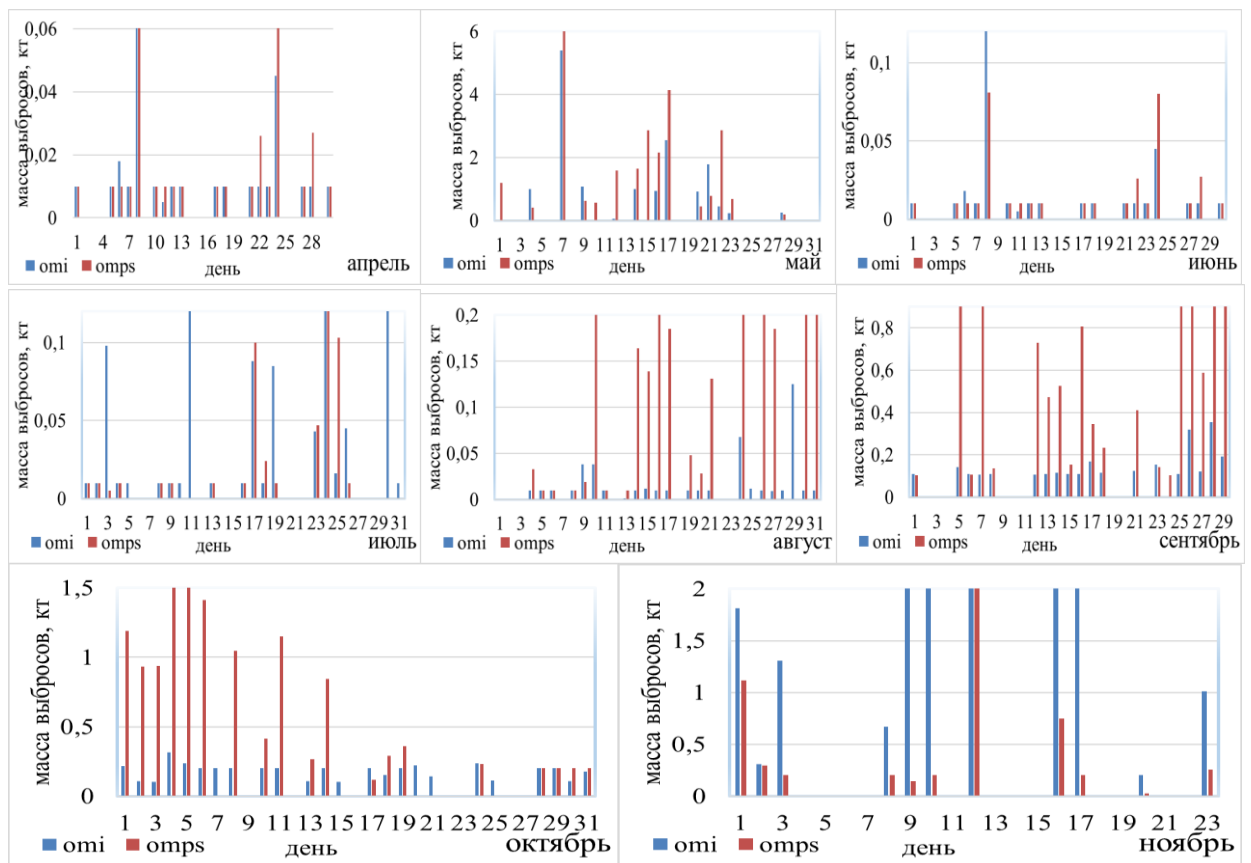


Рисунок 2.23 – Масса выбросов SO₂ для НПЗ по ОМІ и OMPS за 2013

год

На рисунке 2.24 представлено сравнение ежедневных масс выбросов диоксида серы по данным ОМІ и OMPS на всю исследуемую территорию за

2013 г. На рисунке также построены линии регрессии, приведены уравнения регрессии и значения коэффициента корреляции r .

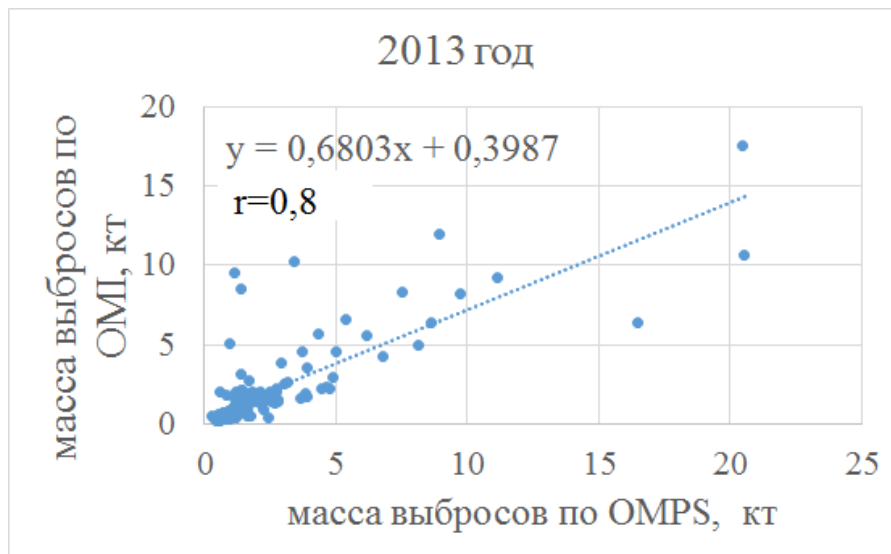


Рисунок 2.24 – Диаграмма рассеяния данных OMI и OMPS

На рисунке 2.25 представлены данные массы выбросов SO_2 для НПЗ в соответствии с графическими базами данных OMI, OMPS за 2014 г. Для сравнения используется 175 дней. В таблицу 2.15 сведены значения временного коэффициента корреляции за 2014 год по месяцам.

Таблица 2.15 – Помесячные значения временной корреляции данных OMI – OMPS за 2014 г.

Месяц	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Август	Сент.	Окт.
r , е.Д.	0,69	0,6	0,7	0,83	0,63	0,54	0,84	0,56

Коэффициент временной корреляции для 2014 не опускается ниже значения 0,54. Максимальное значение временной корреляции наблюдается в мае, июне, сентябре и находится в пределах 0,7-0,84. В остальные месяцы также сохраняются высокие значения временной корреляции: от 0,54 до 0,7.

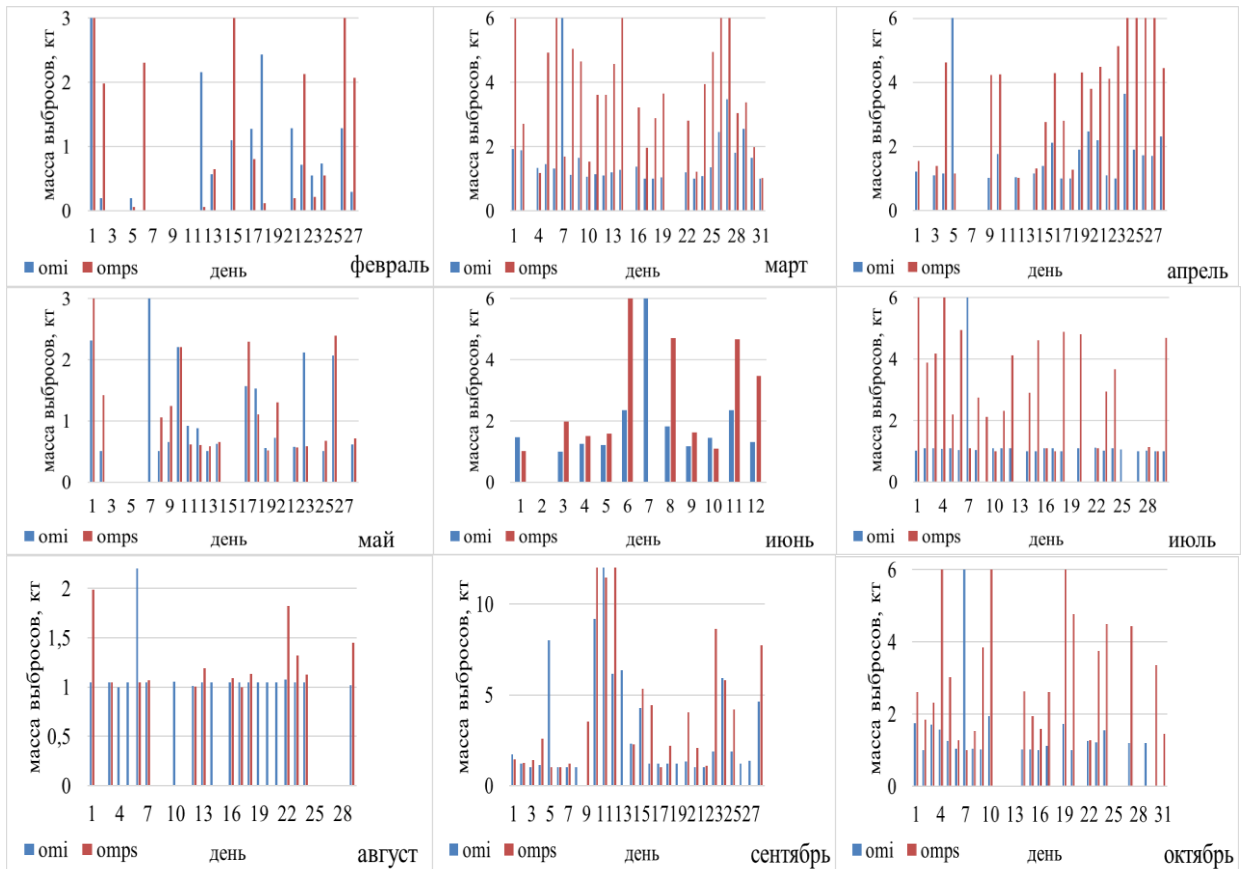


Рисунок 2.25 – Масса выбросов SO_2 для НПЗ по OMI и OMPS за 2014
ГОД

На рисунке 2.26 представлено сравнение ежедневных масс выбросов диоксида серы по данным OMI и OMPS на всю исследуемую территорию за 2014 г. На рисунке также построены линии регрессии, приведены уравнения регрессии и значения коэффициента корреляции r .

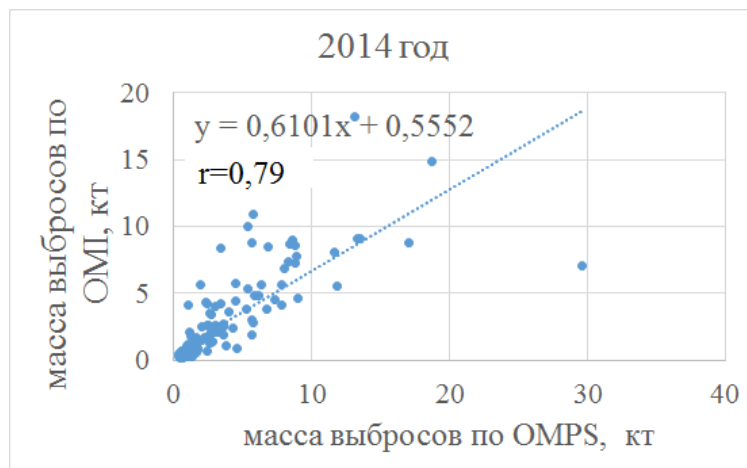


Рисунок 2.26 – Диаграмма рассеяния данных OMI и OMPS

На рисунке 2.27 представлены данные массы выбросов SO₂ для НПЗ в соответствии с графическими базами данных OMI, OMPS за 2015 г. Для сравнения используется 157 дней. В таблицу 2.16 сведены значения временного коэффициента корреляции за 2015 год по месяцам.

Таблица 2.16 – Помесячные значения временной корреляции данных OMI – OMPS за 2015 г.

Месяц	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Август	Сент.
r, е.Д.	0,61	0,54	0,62	0,59	0,58	0,79	0,54

Коэффициент временной корреляции для 2015 не опускается ниже значения 0,54. Максимальное значение временной корреляции наблюдается в мае, августе и находится в пределах 0,62-0,79. В остальные месяцы также сохраняются высокие значения временной корреляции: от 0,54 до 0,61.

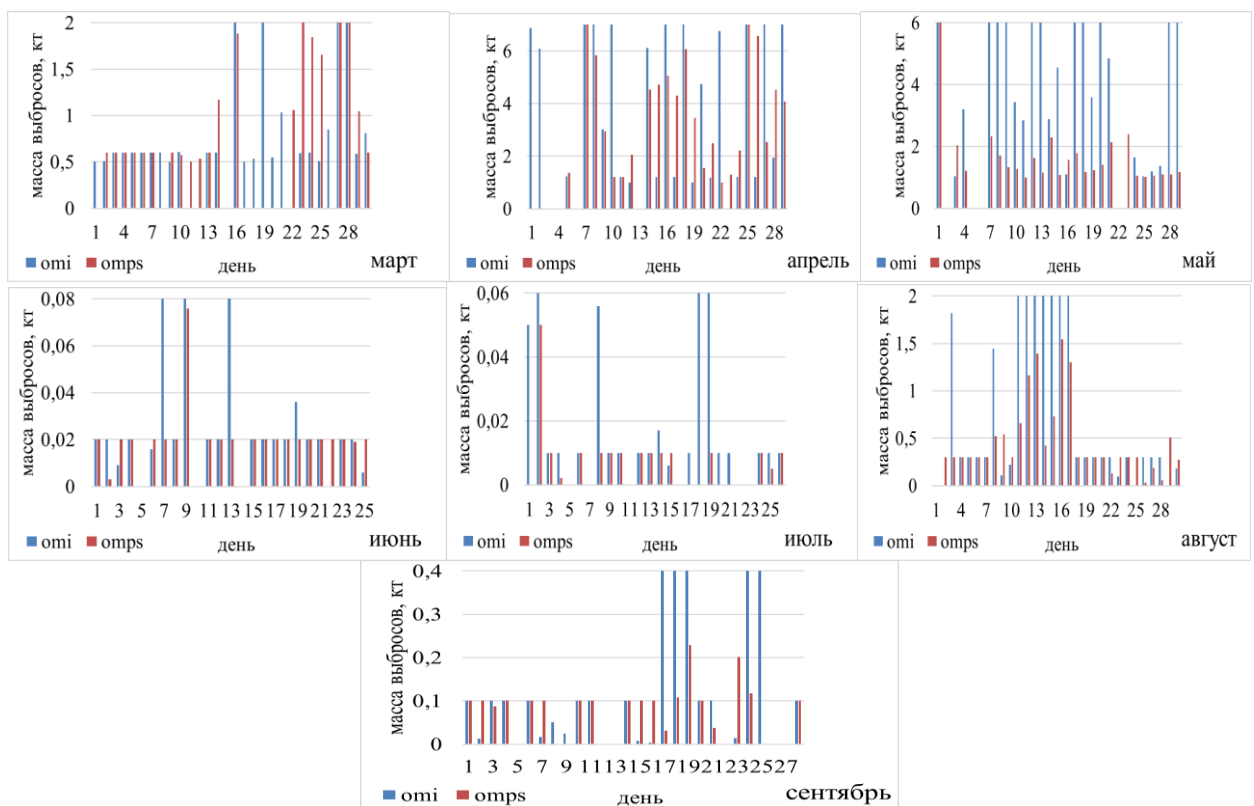


Рисунок 2.27 – Масса выбросов SO₂ для НПЗ по OMI и OMPS за 2015

На рисунке 2.28 представлено сравнение ежедневных масс выбросов диоксида серы по данным OMI и OMPS на всю исследуемую территорию за 2015 г. На рисунке также построены линии регрессии, приведены уравнения регрессии и значения коэффициента корреляции r .

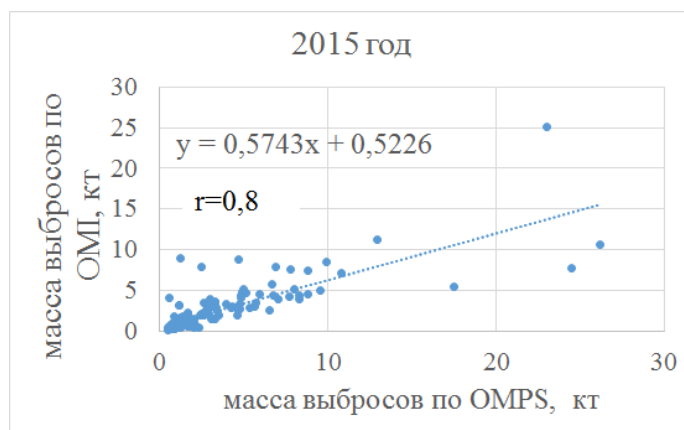


Рисунок 2.28 – Диаграмма рассеяния данных OMI и OMPS

На рисунке 2.29 представлены данные массы выбросов SO_2 для НПЗ в соответствии с графическими базами данных OMI, OMPS за 2016 г. Для сравнения используется 168 дней. В таблицу 2.17 сведены значения временного коэффициента корреляции за 2016 год по месяцам.

Таблица 2.17 – Помесячные значения временной корреляции данных OMI – OMPS за 2016 год

Месяц	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Август
r , е.Д.	0,82	0,59	0,79	0,87	0,53	0,77

Коэффициент временной корреляции для 2016 не опускается ниже значения 0,53. Максимальное значение временной корреляции наблюдается в марте, июне и находится в пределах 0,82-0,87. В остальные месяцы также сохраняются высокие значения временной корреляции: от 0,53 до 0,77.

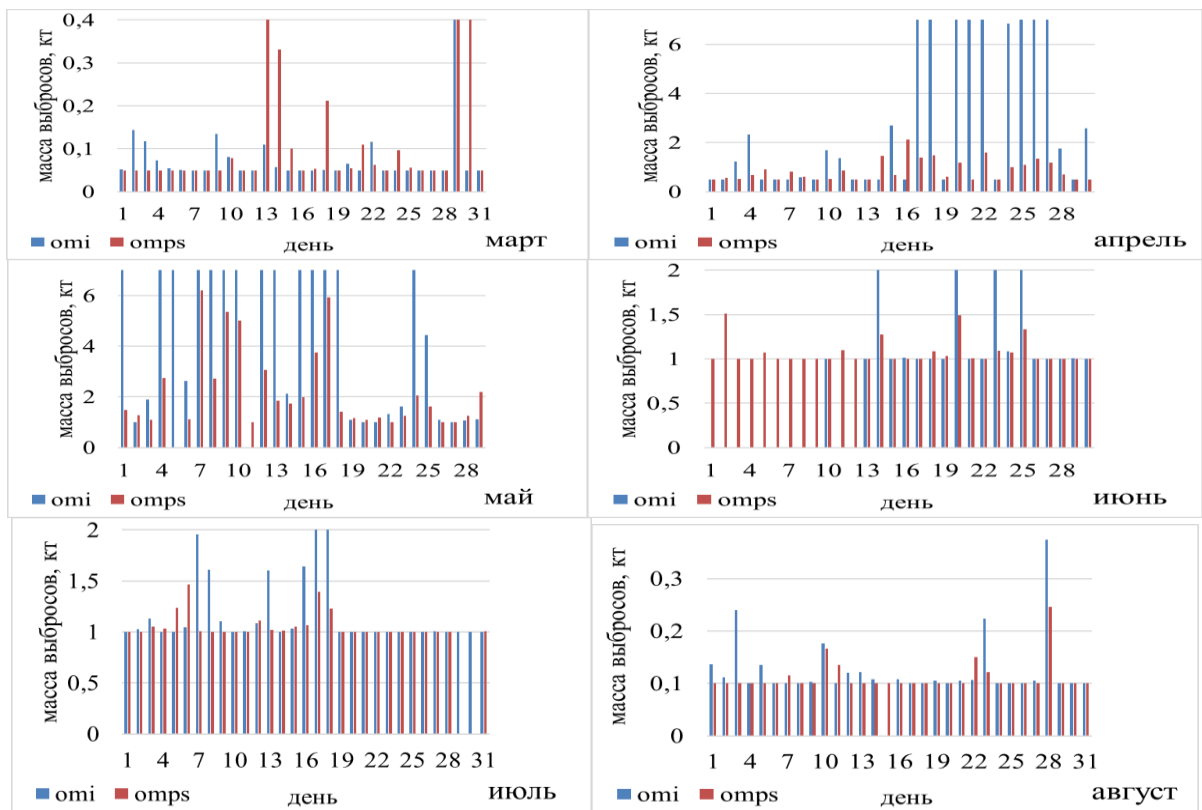


Рисунок 2.29 – Масса выбросов SO_2 для НПЗ по OMI и OMPS за 2016

год

На рисунке 2.30 представлено сравнение ежедневных масс выбросов диоксида серы по данным OMI и OMPS на всю исследуемую территорию за 2016 г. На рисунке также построены линии регрессии, приведены уравнения регрессии и значения коэффициента корреляции r .

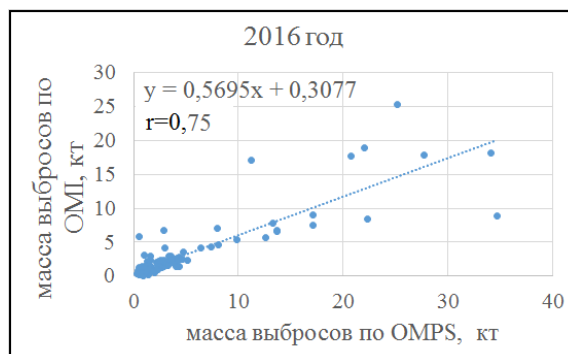


Рисунок 2.30 – Диаграмма рассеяния данных OMI и OMPS

На рисунке 2.31 представлены данные массы выбросов SO_2 для НПЗ в соответствии с графическими базами данных OMI, OMPS за 2017 г. Для

сравнения используется 146 дней. В таблицу 2.18 сведены значения временного коэффициента корреляции за 2017 год по месяцам.

Таблица 2.18 – Помесячные значения временной корреляции данных ОМІ – OMPS за 2017 год.

Месяц	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Август	Сент.
r, е.Д.	0,83	0,58	0,83	0,75	0,62	0,58	0,54

Коэффициент временной корреляции для 2017 не опускается ниже значения 0,54. Максимальное значение временной корреляции наблюдается в марте, мае и находится в пределах 0,83. В остальные месяцы также сохраняются высокие значения временной корреляции: от 0,54 до 0,75.

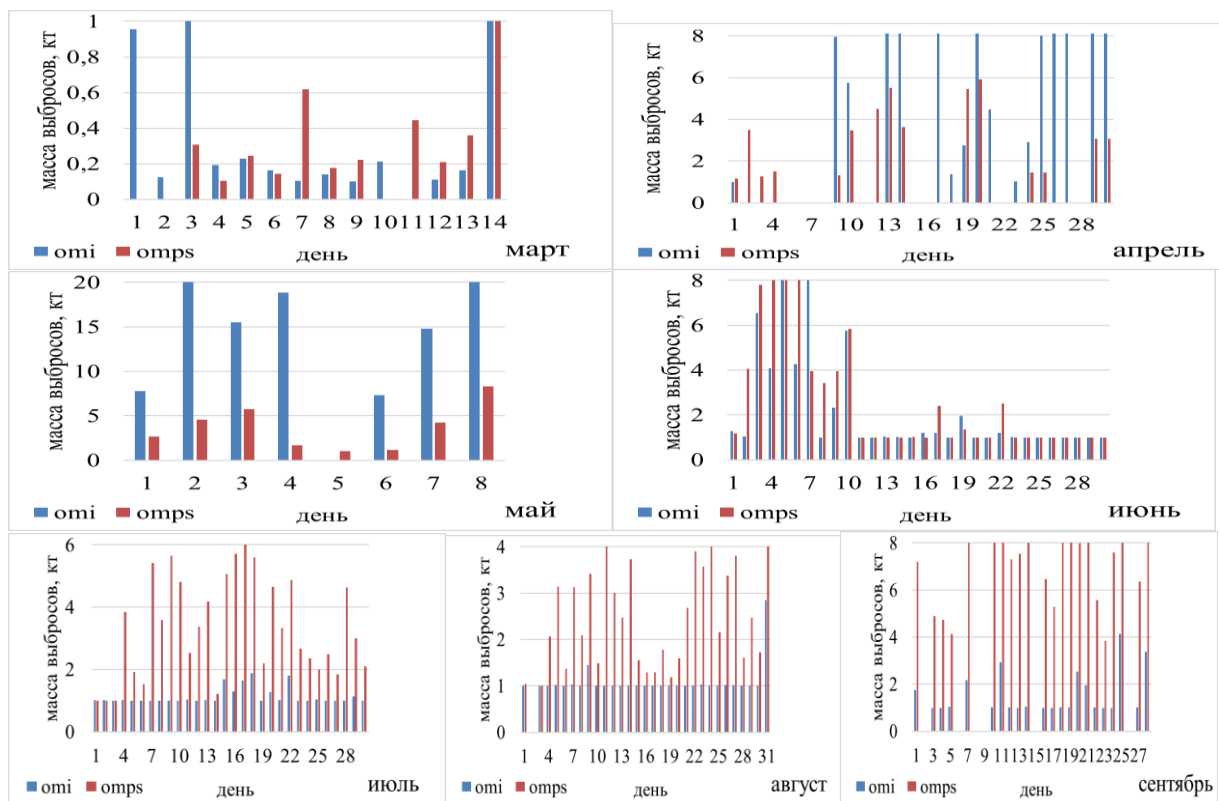


Рисунок 2.31 – Масса выбросов SO₂ для НПЗ по ОМІ и OMPS за 2017

год

На рисунке 2.32 представлено сравнение ежедневных масс выбросов диоксида серы по данным ОМІ и OMPS на всю исследуемую территорию за

2017 г. На рисунке также построены линии регрессии, приведены уравнения регрессии и значения коэффициента корреляции r .

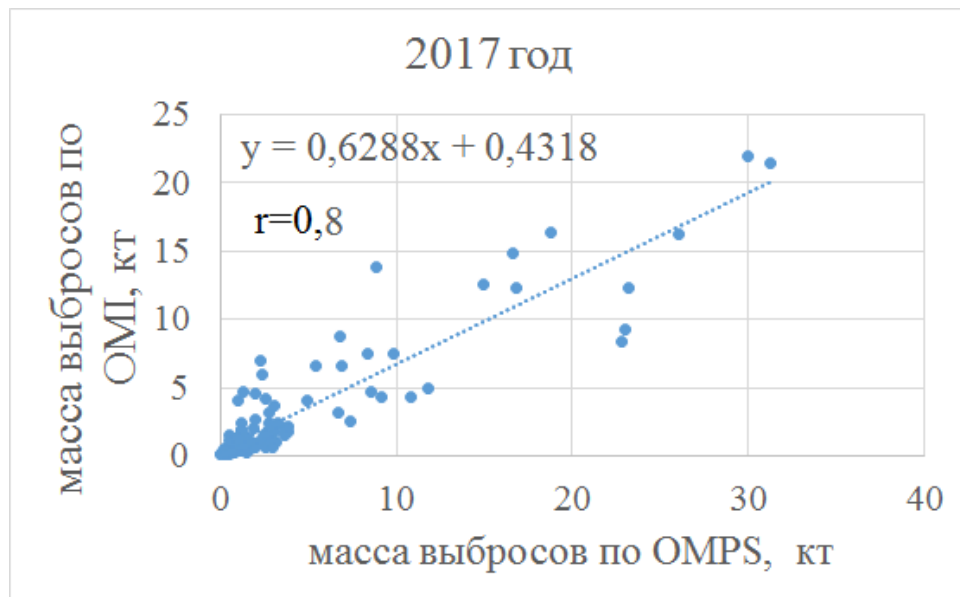


Рисунок 2.32 – Диаграмма рассеяния данных OMI и OMPS.

Относительная разница среднесуточных значений массы выбросов SO_2 для НПЗ лежит в интервале от 19,5% до 51,8%. Коэффициент временной корреляции среднесуточных значений массы выбросов SO_2 за 2013-2017 гг. составляет 0,79. Анализ временной корреляции выбросов SO_2 для НПЗ показал, что среднесуточные значения массы выбросов по данным OMI выше, чем по данным OMPS. Расхождения между двух приборов, вероятно, являются результатом различных пространственных разрешений.

2.7 Метод контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных для северных территорий

Для получение независимых, объективных оценок загрязнения атмосферного воздуха диоксидом серы используется спутниковый метод контроля. Этот метод основан на обработке данных спектрометров OMI и OMPS. Базы данных инструментов OMI и OMPS являются независимыми и

открытыми источниками информации, доступ к которым возможен на официальном сайте NASA.

Схема метода контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных для северных территорий представлена на рисунке 2.33.

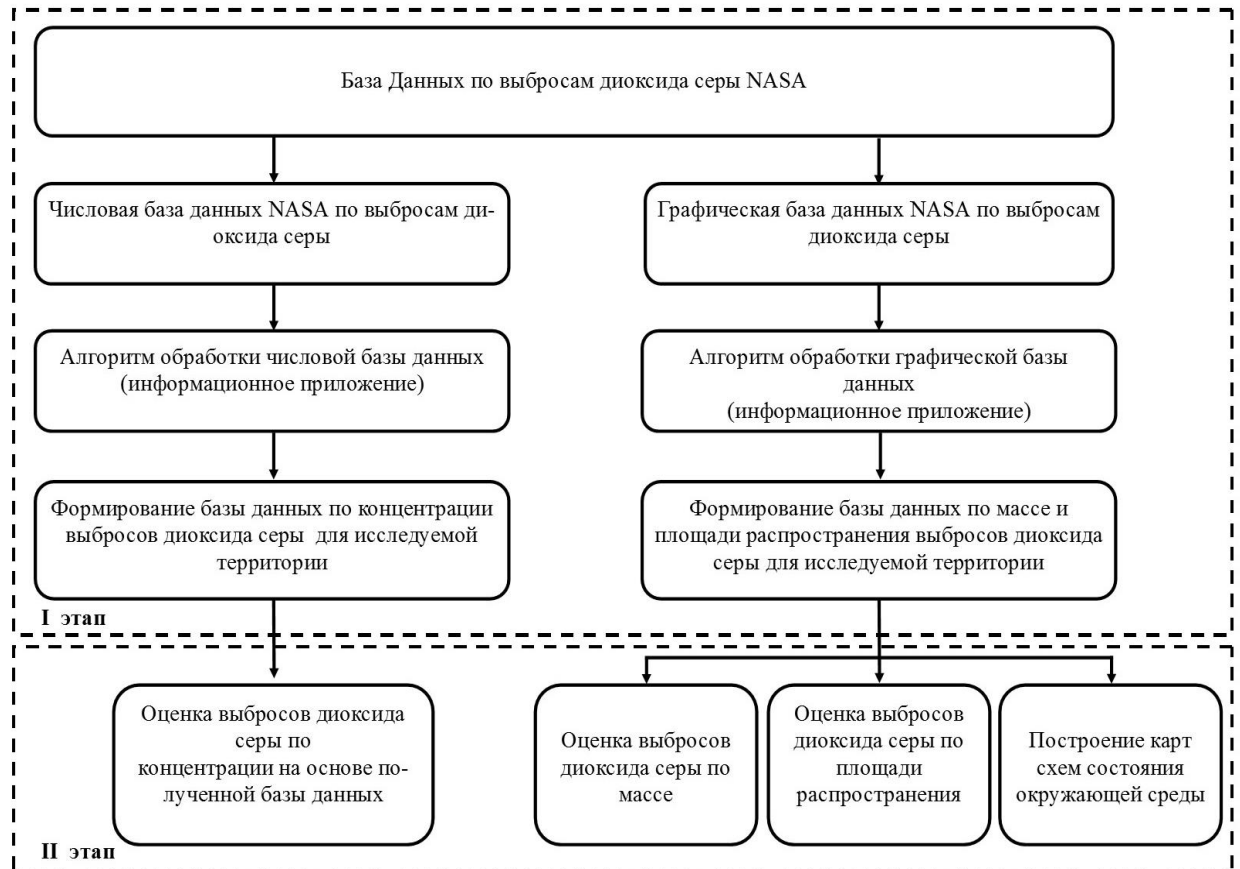


Рисунок 2.33 – Схема метода контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных северных территорий

Метод контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных включает два этапа. На первом этапе производится обработка массива данных NASA и формирование баз данных по концентрации, по массе и площади распространения выбросов диоксида серы для исследуемой территории (метод обработки спутниковых данных представлен в пункте 2.3,2.4).

2.8 Метод оценки выбросов диоксида серы в атмосфере северных территорий

На втором этапе метода контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных проводится оценка состояния окружающей среды по трем параметрам: по концентрации, по массе и площади распространения (рисунок 2.34). Далее осуществляется построение карт-схем рисков загрязнения атмосферного воздуха исследуемой территории.

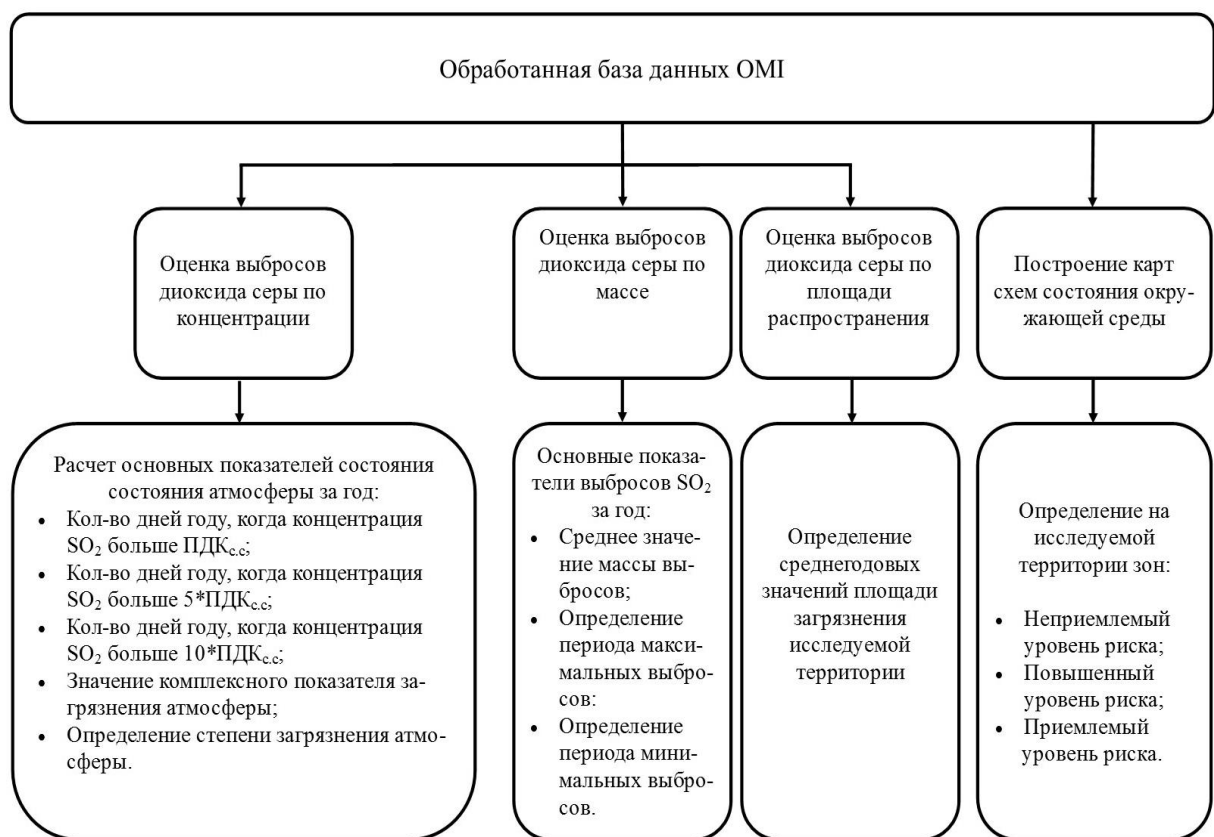


Рисунок 2.34 – Схема метода оценки выбросов диоксида серы в атмосфере северных территорий

Для оценки выбросов диоксида серы по концентрации осуществляется анализ сформированной базы данных спектрометра ОМІ по годам. Используется разработанное информационное приложение, позволяющее рассчитать количество дней, когда концентрация диоксида серы превышала

ПДК_{с.с.}, 5*ПДК_{с.с.}, 10*ПДК_{с.с.}. Далее для гигиенической оценки степени опасности загрязнения атмосферного воздуха применяется комплексный показатель загрязнения (Р) в соответствии с руководством по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89.

Показатель Р учитывает кратность превышения ПДК, класс опасности вещества. По значению суммарного показателя Р устанавливается степень опасности загрязнения атмосферы (таблица 2.19) [11-13].

Расчет комплексного показателя Р производится по формуле:

$$P = \sqrt{\frac{k \cdot C}{\text{ПДК}_{с.с.}}}, \quad (2)$$

где Р – показатель, который учитывает кратность превышения ПДК;

к – коэффициент изоэффективности, зависящий от класса опасности вещества: для SO₂ k=1,0; С – фактическая среднесуточная концентрация, мг/м³; ПДК_{с.с.}(SO₂)=0,05мг/м³.

Таблица 2.19 - Гигиеническая оценка степени загрязнения атмосферного воздуха.

Степень загрязнения атмосферного воздуха	Величина комплексного показателя Р
I	до 1
II	1,1-2,0
III	2,1-4,0
IV	4,1-8,0
V	8,1 и выше

Загрязнение атмосферного воздуха населенных мест оценивается в зависимости от величины показателя Р по пяти степеням: I – допустимая, II – слабая, III – умеренная, IV – сильная, V – опасная. Загрязнение I степени является безопасным для здоровья населения, при загрязнении II–V степени ожидаемые негативные эффекты возрастают с увеличением степени загрязнения атмосферы.

Для оценки выбросов диоксида серы по массе осуществляется анализ сформированной базы данных спектрометра OMI по годам. Для каждого года формируется таблица среднемесячных значений массы выбросов диоксида серы. В те дни, когда погодные условия (коэффициент облачности > 30 %) не позволяли произвести оценку массы SO₂, были приняты значения, равные среднеарифметической массе выбросов в течение дня для текущего месяца. Производится анализ каждого года по определению периода максимального, минимального объема выбросов SO₂ и среднего значения площади распространения загрязнителя. Затем оцениваются указанные периоды для всего срока наблюдения, что позволяет определить возможные причины данного явления.

Построение карт-схем состояния окружающей среды исследуемой территории осуществляется с целью получения информации о здоровье населения и состоянии атмосферного воздуха. Присутствие в атмосфере SO₂ создает определенный экологический риск. Экологический риск – качественная и количественная оценка экологической опасности неблагоприятных воздействий на природную среду [111,112]. Рассматривается три степени экологического риска: приемлемый, повышенный уровень, неприемлемый. В соответствии со степенью риска выделяются на исследуемой территории зоны приемлемого, повышенного и неприемлемого рисков.

Степень загрязнения атмосферного воздуха в долях ПДК, соответствующая зоне с неприемлемым уровнем риска, определяется согласно данным и методических рекомендаций [113]. Среднегодовое значение концентрации загрязнителей в атмосфере определяется на основе ГОСТ 17.2.3.01-86 «Правила контроля качества воздуха населенных мест Охрана природы. Атмосфера». Уровень загрязнения атмосферного воздуха рассчитывается в соответствии с количеством превышения ПДК загрязнителя, класса опасности, массы и допустимой повторяемости

концентраций определённого уровня. Среднегодовые значения $\text{ПДК}_{\text{с/г}}$ рассчитываются в соответствии с формулой (3):

$$\text{ПДК}_{\text{с/г}} = a \text{ ПДК}_{\text{с/с}} \quad (3)$$

где a – коэффициент, значение которого в зависимости от класса опасности вещества лежит в интервале 0,1-1,0. Для диоксида серы коэффициент $a=1$.

Зоне неприемлемого риска соответствует участок территории, где значение комплексного показателя среднегодового загрязнения атмосферы P соответствует уровню ЧС [112] и выбирается равным 8. Переходя (согласно (3)) к среднесуточным значениям $\text{ПДК}_{\text{с/с}}$ для выбросов диоксида серы, получим соотношение:

$$8\text{ПДК}_{\text{с/г}} = 8*(1* \text{ПДК}_{\text{с/с}}) = 8 \text{ ПДК}_{\text{с/с}},$$

Таким образом границей зоны неприемлемого риска можно принять уровень загрязнения атмосферы, равный $8*\text{ПДК}_{\text{с/с}}$ для диоксида серы.

Для построения карт-схем экологических рисков используются следующие значения коэффициентов чувствительности: хвойный лес – 0,5, мелколиственный лес – 0,75, травянистая растительность – 1, которые определялись на основе рекомендаций сотрудников Научно-исследовательского института охраны атмосферного воздуха [113,114].

Для каждой группы растительных сообществ и человека в соответствии с коэффициентом чувствительности выбираются зоны с определенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха, соответствующие разным зонам экологического риска, для каждой группы растительных сообществ и человека (таблица 2.20).

Для построения карт-схем осуществляется анализ сформированной базы данных среднегодовых значений концентрации диоксида серы спектрометра ОМІ по годам. Вычисление значения среднегодовой концентрации осуществляются для каждого участка исследуемого региона. Территория,

ограниченная координатами 68,85°-69,8° с.ш. и 86,95°- 89,5° в.д., поделена на 16 участков в соответствии с рисунком 2.35.

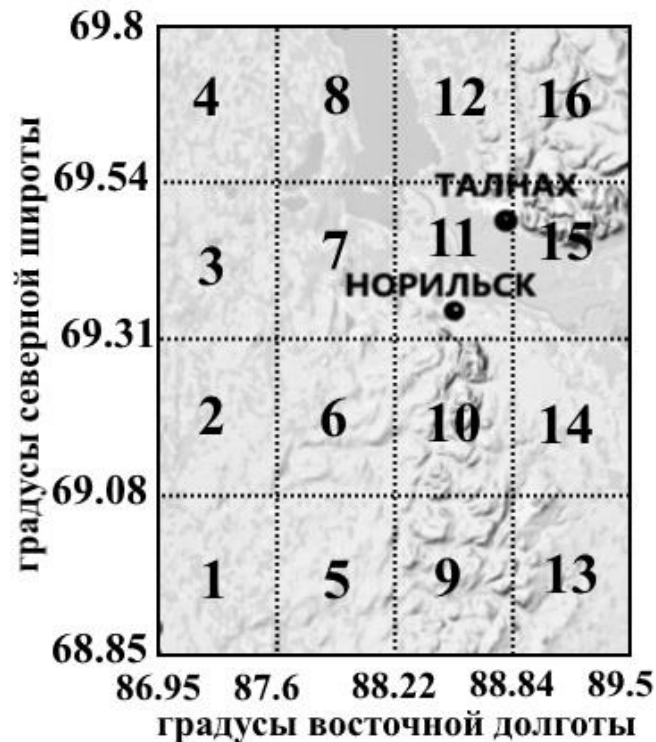


Рисунок 2.35 – Схема деление исследуемой территории на участки для расчета среднегодовых значений концентрации диоксида серы

Построение карт осуществляется в соответствии с таблицей 2.20, в соответствии с которой каждому участку исследуемой территории присваивается определенная степень экологического риска. Так для всего периода наблюдения.

Таблица 2.20 – Определение границ уровней экологического риска

Уровень экологического риска	Уровень загрязнения атмосферы, е.Д.		
	Хвойный лес	Мелколиственный лес	Человек
Неприемлемый	$>0,5*ПДК_{ч/с}$	$>0,75*ПДК_{ч/с}$	$>ПДК_{ч/с}$
Повышенный	$0,5*ПДК_{ч/с} \div 0,5*ПДК_{ч/с}$	$0,75*ПДК_{ч/с} \div 0,75*ПДК_{ч/с}$	$ПДК_{ч/с} \div ПДК_{ч/с}$
Приемлемый	$< 0,5*ПДК_{ч/с}$	$< 0,75*ПДК_{ч/с}$	$< ПДК_{ч/с}$

$\text{ПДК}_{\text{с/с}}$ - максимальное значение концентрации загрязняющего веществ в атмосфере в течении суток; $\text{ПДК}_{\text{ч/с}}$ – концентрация в период чрезвычайной экологической ситуации: $\text{ПДК}_{\text{ч/с}} = 8 * \text{ПДК}_{\text{с/с}}$

На основании построенных карт-схем состояния атмосферного воздуха оценивается территориальное распределение выбросов диоксида серы, возможные источники выбросов и уровень воздействия загрязнителя на разные группы растительности и человека.

Выводы к главе

1. Разработан метод экологического контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных;
2. Разработано информационное приложение по обработке спутниковых данных по выбросам диоксида серы;
3. Сравнение данных по выбросам SO_2 спектрометров OMI и OMPS свидетельствует о том, что данные высоко коррелированы. Прибор OMPS, установленный на борту спутника SNPP может использоваться для продолжения долгосрочной регистрации выбросов SO_2 исследуемой территории.

3 Результат исследования выбросов диоксида серы для северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг.

В первой главе было определено, что высокие концентрации SO_2 в атмосферном воздухе являются причиной многих видов заболеваемости у населения северных территорий Красноярского края. Описана существующая система наземного контроля в НПЗ и указаны ее недостатки. Во второй главе был предложен метод контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных. Подтверждена способность инструмента OMI вести контроль за выбросами SO_2 в НПЗ на основе научных работ зарубежных специалистов (п. 2.5). При этом спутниковая система OMI в ближайшие годы завершит работу. Поэтому было проведено сравнение данных спектрометров OMI и OMPS. Определено, что обе системы дают схожий результат измерений выбросов диоксида серы для северных территорий Красноярского края (п.2.7). Спутниковая система OMPS, способна заменить инструмент OMI и продолжить контроль выбросов SO_2 на исследуемой территории. В третьей главе приведен результат оценки выбросов SO_2 на основе спутниковой данных для северных территорий Красноярского края.

Для оценки состояния атмосферного воздуха в НПЗ, автором предложен метод оценки выбросов диоксида серы (пункт 2.8). Оценка выбросов SO_2 осуществляется по трем основным параметрам: по массе, по концентрации и площади распространения. Для этого используются числовая и графическая базы данных спектрометра OMI с 2005 по 2017 гг.

3.1 Оценка выбросов диоксида серы по концентрации для северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг.

Проведен анализ концентрации выбросов SO_2 за 2005 -2017 гг. по дням в приземном слое атмосферы (на высоте 0,9 км). На рисунки 3.2-3.26 отображены данные о концентрации SO_2 для НПЗ, полученные путем усреднения данных из базы OMI для определенного дня и месяца в году.

Данные взяты для территории, ограниченного координатами $68,9^{\circ}$ - $69,7^{\circ}$ северной широты и 87° - $89,5^{\circ}$ восточной долготы.

Анализ концентрации выбросов SO_2 в НПЗ за 2005 г. производился на основе 197 дней с 28 марта по 11 октября (рисунок 3.2).

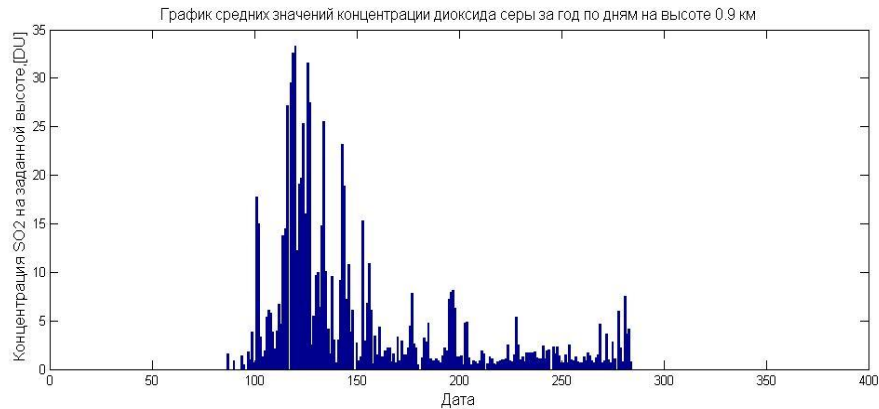


Рисунок 3.2 – Среднесуточная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2005 г.

В 2005 году данные о концентрации выбросов диоксида серы отсутствуют для месяцев январь – февраль, ноябрь-декабрь, что обусловлено неблагоприятными погодными условиями и явлением полярной ночи. Наибольшие значения концентрации выбросов SO_2 приходятся на интервал с 10 апреля по 10 июня (100-160 дни). Максимальное значение концентрации выбросов SO_2 в 2005 году было зарегистрировано 30 апреля, в этот день она достигла значения 33,3 е.Д. Так же пики выбросов фиксировались 29 апреля - 23,6 е.Д., 2 мая – 19,8 е.Д., 7 мая - 27,4 е.Д., 14 мая – 25,5 е.Д., 23 мая – 23,2 е.Д. С 16 апреля по 28 мая концентрация SO_2 не опускалась ниже 6 е.Д., за исключением нескольких дней. С 16 апреля концентрация выбросов SO_2 значительно уменьшается до уровня не выше 1,3 е.Д. и сохраняется до 1 октября, за исключением некоторых дней: с 14 по 17 июня – 7 е.Д., 16 августа – 5,3 е.Д., 26 сентября – 4,6 е.Д. В октябре концентрация выбросов SO_2 возрастает до значений от 3 е.Д. до 6 е.Д. В течение 53 дней в году

концентрация выбросов SO_2 не превышает значения в 1 е.Д, в остальные дни наблюдения она имеет повышенный уровень.

На рисунке 3.3 представлен график среднемесячных концентраций SO_2 . Наибольшее значение концентрации SO_2 фиксировалось в апреле – 9,5 е.Д. и мае – 11,3 е.Д. В июне концентрация SO_2 уменьшается до уровня 3,27 е.Д., в июле до 2,42 е.Д., а август – сентябре до 1,4 е.Д. В октябре возрастает 3 е.Д.

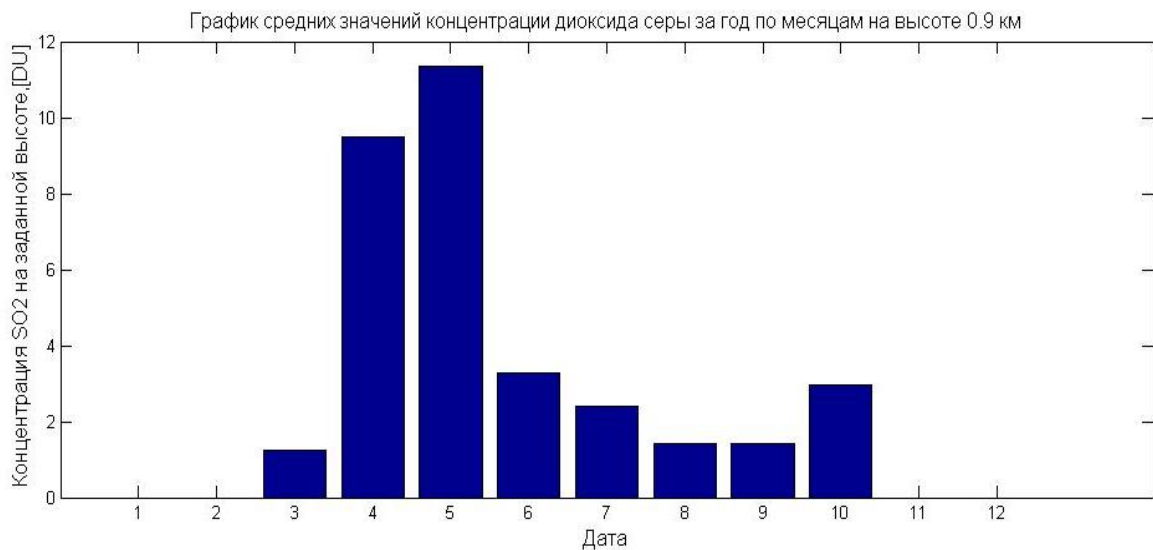


Рисунок 3.3 – Среднемесячная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2005 г.

В таблице 3.2 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2005 г.

Таблица 3.2 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2005 г.

Среднегодовое значение концентрации SO_2 , е.Д.	4,4
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше ПДК _{с.с}	176
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше 5*ПДК _{с.с}	64
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше 10*ПДК _{с.с}	35
Комплексный показатель загрязнения	5,2

Среднегодовое значение концентрации SO_2 НПЗ за 2005 г. превышает ПДК_{с.г.} в 6,9 раз. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р (по пятибалльной шкале) соответствует пред максимальной IV - сильной степени загрязнения.

В 2006 году измерения выбросов SO_2 инструментом OMI производились с 27 марта по 11 октября (86 - 284 дни). Максимальное значение концентрации выбросов SO_2 зарегистрировано 24 апреля - 36 е.Д (рисунок 3.4). Пики выбросов приходятся так же на 1 апреля – 27 е.Д., 3 апреля – 22 е.Д., 12 апреля – 22,2 е.Д., 30 апреля – 22,3 е.Д., 13 мая – 23 е.Д.

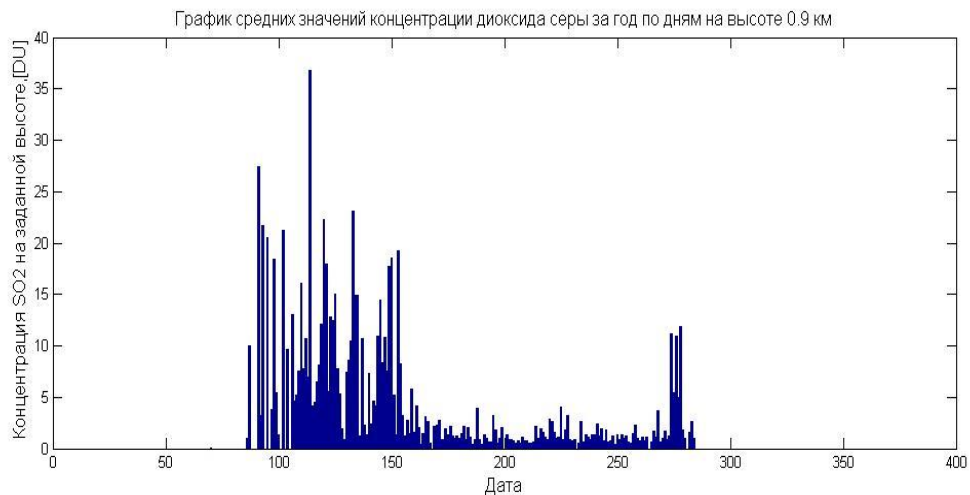


Рисунок 3.4 – Среднесуточная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2006 г.

С 12 апреля по 2 июня концентрация SO_2 не опускалась ниже значения в 4 е.Д. В июне – октябре концентрация SO_2 держится в пределах фонового значения, лишь изредка повышаясь до уровня в 3-4 е.Д. (14 июля – 2,19 е.Д., 16 августа – 2,83 е.Д., 29 августа 2,35 е.Д.). В октябре концентрация выбросов SO_2 значительно возрастает до значений от 5 до 11 е.Д. Только 20 февраля концентрация SO_2 не превышает 1 е.Д., в остальные дни она выше.

В 2006 г. как и в предыдущем году максимум концентрации диоксида серы приходится на апрель, май - 12 е.Д., 9,25 е.Д. соответственно (рисунок 3.5). В июне концентрация SO_2 снижается до 2,74 е.Д., а с июля по сентябрь не превышает 1,5 е.Д. В марте концентрация диоксида серы соответствует 3,68 е.Д.

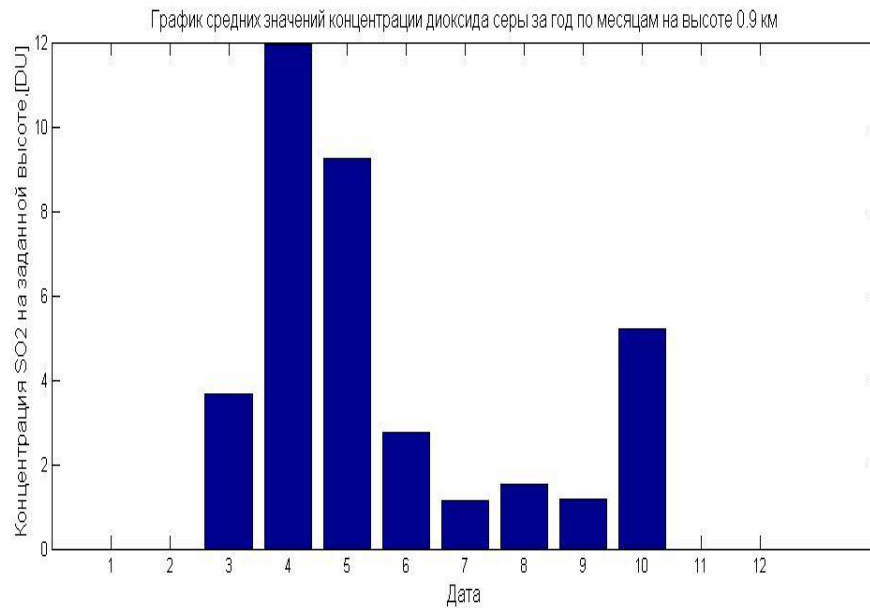


Рисунок 3.5 – Среднемесячная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2006 г.

В таблице 3.3 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2006 г.

Таблица 3.3 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2006 г.

Среднегодовое значение концентрации SO_2 , е.Д.	4,6
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше ПДК _{с.с}	173
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше 5*ПДК _{с.с}	64
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше 10*ПДК _{с.с}	43
Комплексный показатель загрязнения	5,4

Среднегодовое значение концентрации SO_2 НПЗ за 2006 г. превышает ПДК_{с.г.} в 7,2 раз. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р соответствует IV - сильной степени загрязнения.

В 2007 году наблюдения инструментом ОМІ (рисунок 3.6) велись с 25 марта по 30 октября (84 – 286 дни). Максимальное значение концентрации выбросов SO_2 было зарегистрировано 18 мая - 30,23 е.Д., так же высокие значения концентрации фиксировались 9 мая – 29,6 е.Д., 30 марта – 19,1 е.Д., 21 мая – 25,7 е.Д., 29 марта – 16,67 е.Д.

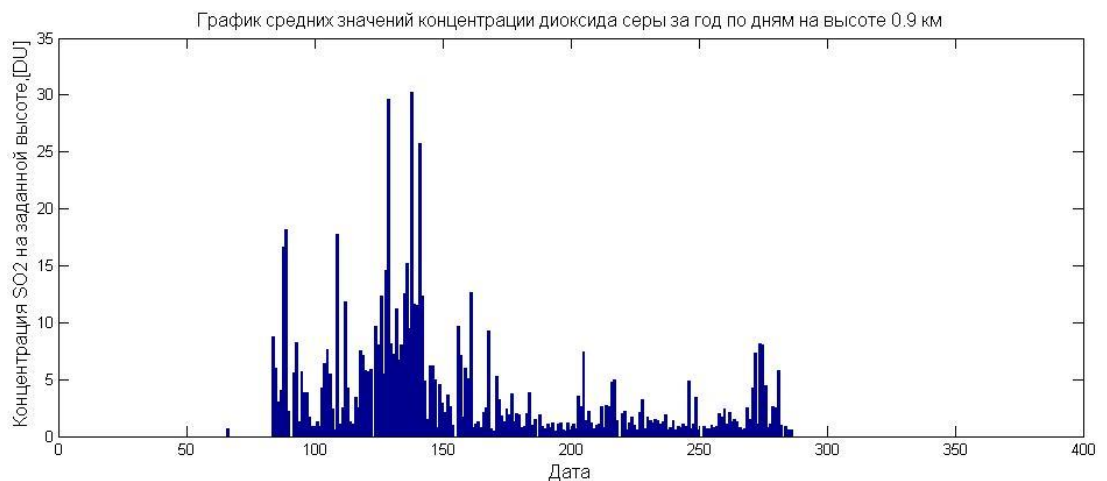


Рисунок 3.6 – Среднесуточная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2007 г.

В 2007 году высокий уровень концентрации SO_2 приходится на период с 29 апреля по 26 мая и составляет не ниже 4 е.Д. С 31 мая по 13 октября концентрация SO_2 падает до нормальных значений, не превышая в среднем 1,5 е.Д., за исключением нескольких дней: 24 июля – 7,4 е.Д., 5 августа – 5 е.Д., 3 сентября – 4,9 е.Д., 6 сентября – 3,47 е.Д., 29 сентября – 7,4 е.Д., 1 октября – 8,09 е.Д., 2 октября – 8,07 е.Д. В отличие от 2005 и 2006 года относительно не высокие значения концентрации SO_2 характерны и для начала периода наблюдения с 25 марта по 30 апреля, они не превышают 4

е.Д., с пиками концентрации до 18 е.Д. В 2007 году 58 дней концентрация SO_2 не превышает $\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$.

В 2007 году высокое значение концентрации SO_2 для НПЗ сохраняется в течении трех месяцев: март – 7,44 е.Д., апреле – 4,38 е.Д., мае – 9,84 е.Д. (рисунок 3.7). С июня концентрация SO_2 снижается до 3,24 е.Д., а в июле-сентябре до 1,7 е.Д. В ноябре концентрация выбросов соответствует 3,3 е.Д.

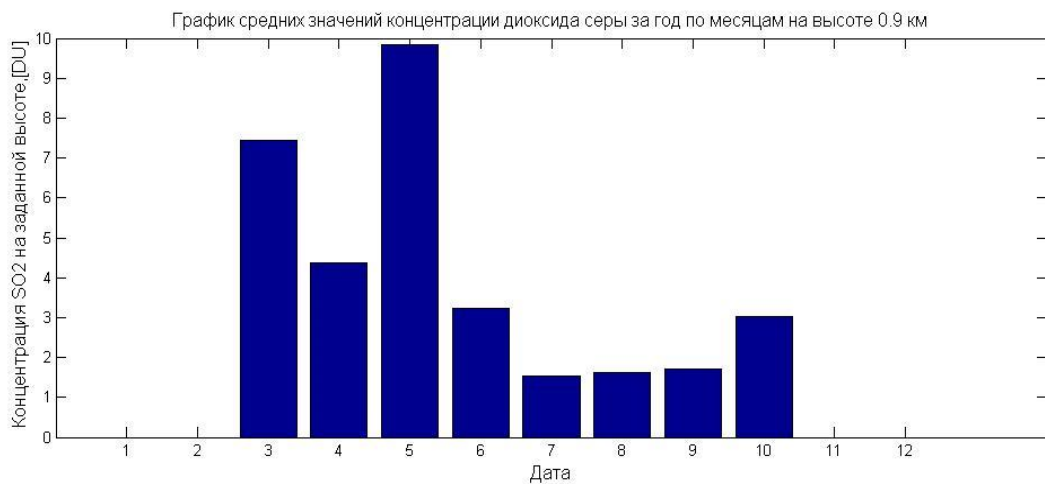


Рисунок 3.7 – Среднемесячная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2007 г.

В таблице 3.4 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2007 г.

Таблица 3.4 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2007 г.

Среднегодовое значение концентрации SO_2 , е.Д.	3,9
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше $\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$	180
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше $5 \cdot \text{ПДК}_{\text{с.с.}}$	71
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше $10 \cdot \text{ПДК}_{\text{с.с.}}$	36
Комплексный показатель загрязнения	4,9

Среднегодовое значение концентрации SO_2 НПЗ за 2007 г. превышает ПДК_{с.г.} в 6 раз. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р соответствует пред максимальной IV - сильной степени загрязнения.

База данных для 2008 года сформирована с 22 марта по 16 октября (с 82 по 290 дни в году). В 2008 году концентрация SO_2 в основном не превышает 2-3 е.Д (рисунок 3.8). Однако можно выделить 3 периода, когда концентрация имеет повышенные значения: с 27 апреля по 7 мая – до 10-13 е.Д.; с 17 мая по 13 июня до 3-4 е.Д.; с 21 августа по 28 августа до 3-4 е.Д. Максимальное значение выбросов SO_2 зарегистрировано 13 апреля 29,9 е.Д. Пики выбросов так же фиксировались 7 апреля – 28,8 е.Д., 8 апреля - 22,3 е.Д., 4 мая – 19,7 е.Д., 23 мая – 26,8 е.Д., 19 августа – 20,8 е.Д., 20 августа – 24 е.Д. В 2008 году концентрация выбросов SO_2 59 дней не превышала ПДК_{с.с.}

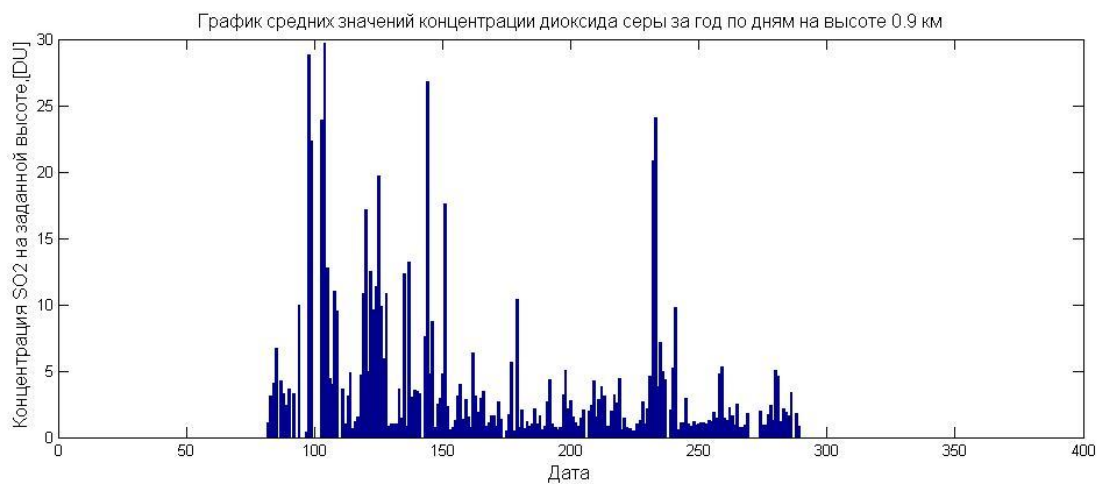


Рисунок 3.8 – Среднесуточная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2008 г.

В 2008 году (рисунок 3.9) высокое значение концентрации диоксида серы наблюдается в апреле – 9,29 е.Д., мае – 6,9 е.Д., в июне концентрация

SO₂ падает до уровня в 2,29 е.Д., в июле до 1,98 е.Д., в августе концентрация возрастает до 3,87 е.Д., а в сентябре –октябре снова уменьшается до 2,2 е.Д.

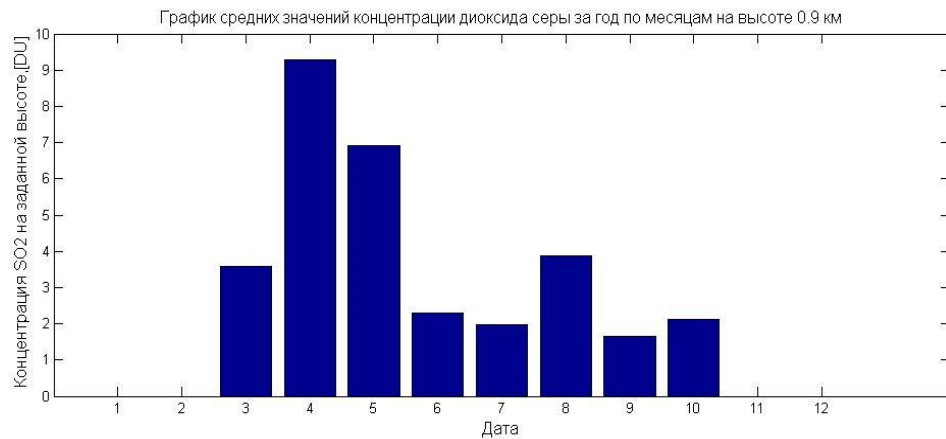


Рисунок 3.9 – Среднемесячная концентрация выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2008 г.

В таблице 3.5 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2008 г.

Таблица 3.5 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2008 г.

Среднегодовое значение концентрации SO ₂ , е.Д.	4,1
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше ПДК _{с.с}	179
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше 5*ПДК _{с.с}	66
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше 10*ПДК _{с.с}	28
Комплексный показатель загрязнения	5,1

Среднегодовое значение концентрации SO₂ НПЗ за 2008 г. превышает ПДК_{с.г.} в 6,4 раз. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р соответствует пред максимальной IV - сильной степени загрязнения.

В 2009 году (рисунок 3.10) измерения инструментом OMI велись с 23 марта по 20 октября (82-281 дни). Можно выделить период с повышенным значением концентрации диоксида серы с 24 апреля по 26 мая от 8 до 15 е.Д.,

с пиками выбросов 1 мая -18,9 е.Д., 5 мая -18,9 е.Д., 10 мая – 29,8 е.Д., 15 мая – 26,3 е.Д., 17 мая - 32 е.Д., 23 мая – 28,6 е.Д. Для остальных дней периода наблюдения концентрация SO_2 не превышает 3-4 е.Д. с пиками концентрации до 10-11 е.Д. В 2009 году допустимое значение концентрации SO_2 зафиксировано для 81 дня.



Рисунок 3.10 – Среднесуточная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2009 г.

В 2009 году концентрация SO_2 скачкообразно увеличивается с марта – 2,09 е.Д. по май -13,2 е.Д. В июле концентрация SO_2 уменьшается до 3,59 е.Д., а с июля по октябрь не превышает 1,7 е.Д. (рисунок 3.11).

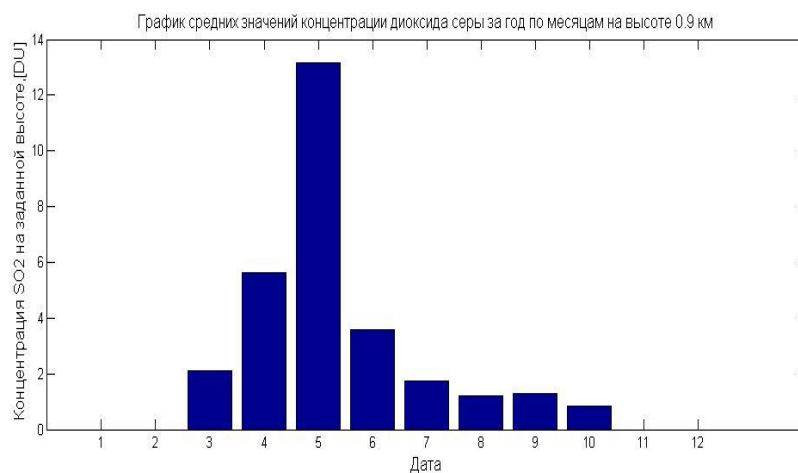


Рисунок 3.11 – Среднемесячная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2009 г.

В таблице 3.6 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO₂ для НПЗ за 2009.

Таблица 3.6 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO₂ для НПЗ за 2009 г.

Среднегодовое значение концентрации SO ₂ , е.Д.	4,5
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше ПДК _{с.с}	170
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше 5*ПДК _{с.с}	53
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше 10*ПДК _{с.с}	33
Комплексный показатель загрязнения	5,3

Среднегодовое значение концентрации SO₂ НПЗ за 2009 г. превышает ПДК_{с.г.} в 7 раз. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р соответствует пред максимальной IV - сильной степени загрязнения.

Анализ концентрации выбросов SO₂ НПЗ за 2010 г. (рисунок 3.12) показал, что измерения выбросов SO₂ инструментом ОМІ велись с 9 апреля по 10 сентября (99 – 282 дни). В 2010 году было зафиксировано максимальное значение концентрации SO₂ за весь период наблюдения ОМІ - 52,3 е.Д. При это 2010 год можно охарактеризовать как период начала улучшения экологической обстановки в НПЗ. Концентрация выбросов диоксида серы в основном колеблется в границах 1-3 е.Д. с пиками выбросов до 6-8 е.Д.: 20 июня – 6,18 е.Д., 23 июня – 5,9 е.Д., 29 июня – 3,6 е.Д., 1 августа – 3,6 е.Д., 8 августа – 4,8 е.Д., 7 сентября – 5,8 е.Д. Однако, для этого года также можно выделить период с относительно высоким значением концентрации SO₂ с 1 мая по 5 июня от 3 до 8 е.Д. В течении 86 дней концентрация не превышает 1 е.Д., в остальные дни наблюдения она выше приемлемых значений.

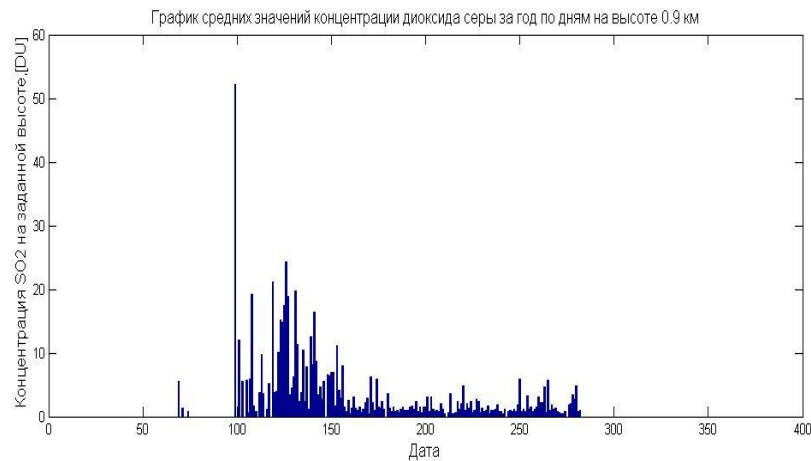


Рисунок 3.12 – Среднесуточная концентрация выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2010 г.

В 2010 году (рисунок 3.13) повышенное значение концентрации SO₂ наблюдается в апреле – 9,52 е.Д., мае- 8,87 е.Д. С июня концентрация SO₂ снижается до уровня 2,59 е.Д. За период июль-октябрь концентрация нарастает с 1,22 е.Д. до 2,15 е.Д.

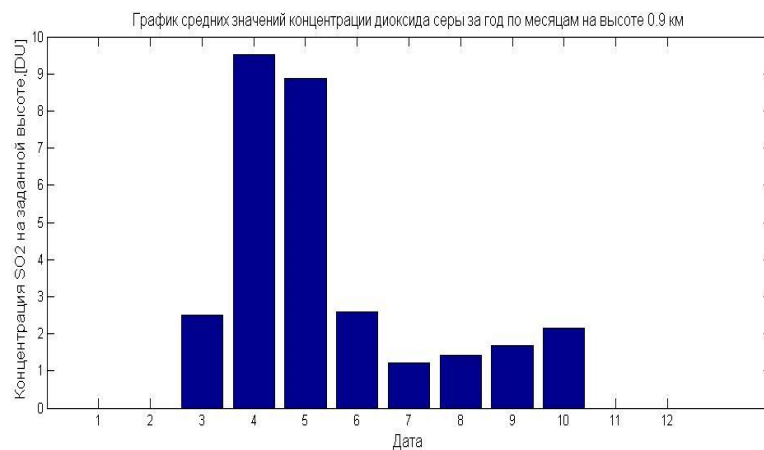


Рисунок 3.13 – Среднемесячная концентрация выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2010 г.

В таблице 3.7 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO₂ для НПЗ за 2010 г.

Таблица 3.7 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2010 г.

Среднегодовое значение концентрации SO ₂ , е.Д.	3,5
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше ПДК _{с.с}	161
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше 5*ПДК _{с.с}	52
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше 10*ПДК _{с.с}	25
Комплексный показатель загрязнения	4,7

Среднегодовое значение концентрации SO₂ НПЗ за 2010 г. превышает ПДК_{с.г.} в 5,4 раз. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р соответствует пред максимальной IV - сильной степени загрязнения.

В 2011 году (рисунок 3.14) измерения выбросов SO₂ инструментом ОМІ велись с 17 марта по 16 октября (76 - 289 дни). Пики выбросов приходятся на 20 марта – 17,2 е.Д., 19 марта – 12,9 е.Д., 2 мая – 15,2 е.Д., 15 мая – 13,39 е.Д., 18 мая – 13,88 е.Д. С июня до конца периода наблюдения концентрация SO₂ колеблется в пределах от 0,5 е.Д. до 1,2 е.Д. с максимумами до 6 е.Д. :17 июня – 4,5 е.Д., 11 июля – 6,1 е.Д., 27 июля – 5,99 е.Д., 21 августа – 5,8 е.Д., 14 октября 5,36 е.Д. В 2011 году в течении 87 дней концентрация SO₂ не превышала уровня в 1 е.Д.



Рисунок 3.14 – Среднесуточная концентрация выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2011 г.

В 2011 году (рисунок 3.15) максимальное значение концентрации выбросов SO_2 приходится на март-май (март – 3,87 е.Д., апрель – 3,33 е.Д., май – 4,05 е.Д.). Наиболее благоприятный период наблюдается с июня по октябрь, значение концентрации SO_2 не превышает 1,69 е.Д., с минимальным значением в сентябре 1,09 е.Д.

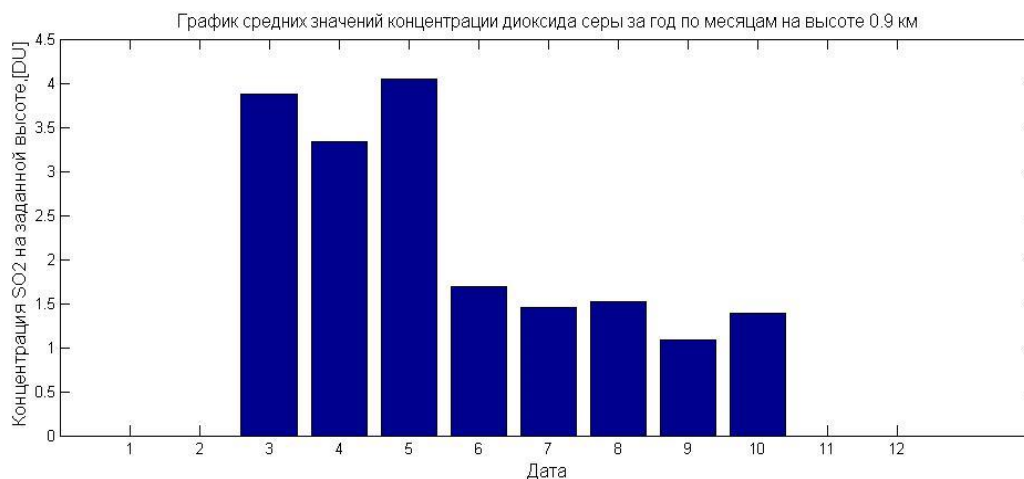


Рисунок 3.15 – Среднемесячная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2011 г.

В таблице 3.8 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для НПЗ за 2011.

Таблица 3.8 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2011 г.

Среднегодовое значение концентрации SO_2 , е.Д.	2,3
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше ПДК _{с.с}	181
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше 5*ПДК _{с.с}	39
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше 10*ПДК _{с.с}	9
Комплексный показатель загрязнения	3,8

Среднегодовое значение концентрации SO_2 НПЗ за 2011 г. превышает ПДК_{с.г.} в 3,6 раз. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных

мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р соответствует III - умеренной степени загрязнения.

База данных измерений ОМІ по выбросам SO_2 для 2012 г. (рисунок 3.16) сформирована с 4 апреля по 8 октября (95 - 282 дни). Период 13 апреля – 31 мая характеризуется повышенным значением концентрации до 5 е.Д. Пики выбросов фиксировались 16 апреля -32,2 е.Д., 6 мая – 15,98 е.Д., 9 мая – 16,85 е.Д., 16 мая – 18,95 е.Д., 24 мая – 17,1 е.Д., 27 мая – 14,04 е.Д. С июня и до конца периода наблюдения концентрация SO_2 колеблется в пределах от 0,5 до 1,8 е.Д. с максимумами выбросов: 21 июня – 5,29 е.Д., 8 июля – 6,23 е.Д., 18 июля – 4,61 е.Д., 29 июля – 4,31, 28 августа – 3,99 е.Д. В 2012 году 72 дня концентрация SO_2 не превышает ПДК_{с.с.}.

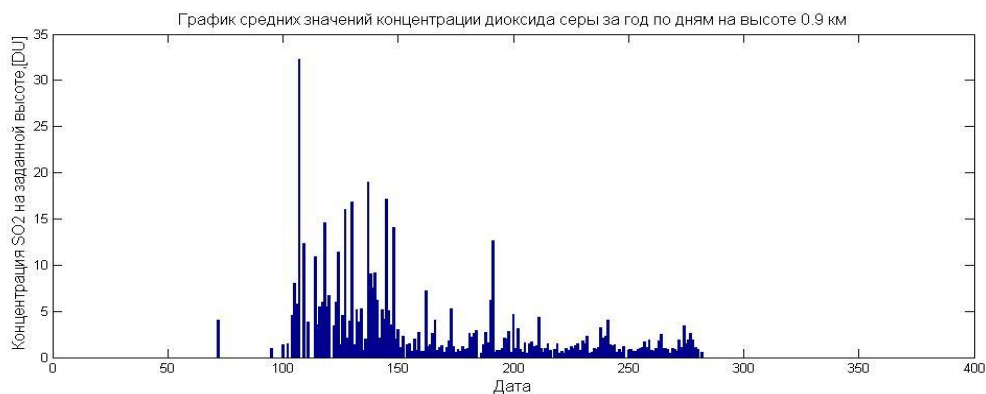


Рисунок 3.16 – Среднесуточная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2012 г.

По сравнению с 2011 годом концентрация выбросов SO_2 в 2012 году возрастает (рисунок 3.17), но при этом значительно ниже, чем с 2005-2010г. Пиковые значения концентрации традиционно с марта по май (март – 4,05 е.Д., апрель – 7,71 е.Д., май – 6,28 е.Д.). С июня по июль концентрация SO_2 колеблется в пределах от 1,12 е.Д. до 2,16. Минимальное значение концентрации наблюдается в сентябре – 1,12 е.Д., максимальное – 2,16 е.Д.

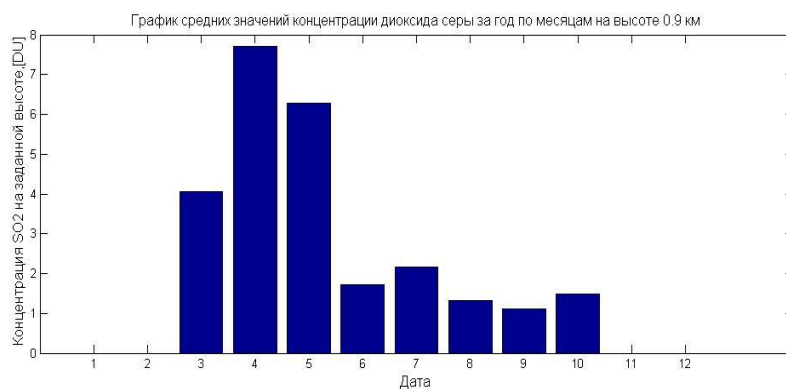


Рисунок 3.17 – Среднемесячная концентрация выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2012 г.

В таблице 3.9 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2012.

Таблица 3.9 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2012 г.

Среднегодовое значение концентрации SO ₂ , е.Д.	2,52
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше ПДК _{с.с}	157
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше 5*ПДК _{с.с}	44
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше 10*ПДК _{с.с}	17
Комплексный показатель загрязнения	3,9

Среднегодовое значение концентрации SO₂ НПЗ за 2012 г. превышает ПДК_{с.г.} в 3,9 раз. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р соответствует III - умеренной степени загрязнения.

В 2013 г. (рисунок 3.18) измерения выбросов SO₂ инструментом OMI велись с 29 марта по 5 октября (88-278 дни). Максимальное значение SO₂ зафиксировано 1 апреля 29, 4 е.Д. С 19 апреля по 25 мая концентрация SO₂ не превышала 4 е.Д. С пиками выбросов 23 апреля -11,15 е.Д., 27 апреля – 8,12 е.Д., 28 апреля – 11,4 е.Д., 5 мая – 10,6 е.Д., 7 мая – 20,44 е.Д. С июня концентрация SO₂ в основном колеблется в пределах от 0,5 е.Д. до 1,5 е.Д., в

пиках достигая значений 3-5 е.Д. В 2013 г. концентрация SO_2 не превышает ПДК_{с.с.} в течении 72 дней.

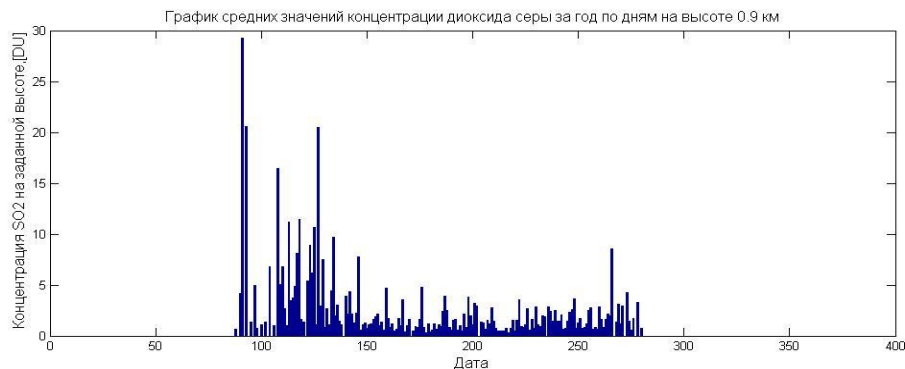


Рисунок 3.18 – Среднесуточная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2013 г.

Экологическая обстановка 2013 года (рисунок 3.19) схожа с 2012 годом. Максимальные концентрации SO_2 также сохраняются в марте - мае (март- 2,41 е.Д., апрель – 6,58 е.Д., май – 4,07 е.Д.). В июне концентрация SO_2 снижается до уровня 1,4 е.Д. и практически не изменяется до октября - 1,54 е.Д. Минимальное значение концентрации диоксида серы зафиксировано в августе - 1,4 е.Д.

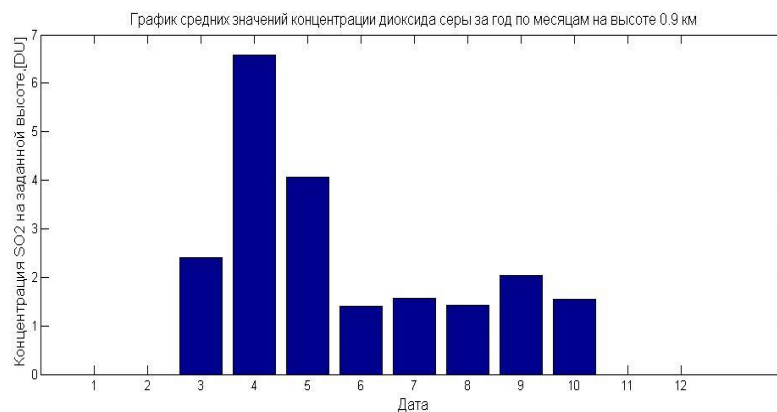


Рисунок 3.19 – Среднемесячная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2013 г.

В таблице 3.10 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2013 г.

Таблица 3.10 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2013 г.

Среднегодовое значение концентрации SO_2 , е.Д.	2,67
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше ПДК _{с.с}	135
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше 5*ПДК _{с.с}	35
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше 10*ПДК _{с.с}	15
Комплексный показатель загрязнения	4,1

Среднегодовое значение концентрации SO_2 НПЗ за 2013 г. превышает ПДК_{с.г.} в 4,2 раз. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р соответствует пред максимальной IV - сильной степени загрязнения.

База данных измерений ОМІ по выбросам SO_2 для 2014 года сформирована с 9 марта по 6 октября (68 - 279 дни). С 25 марта по 12 июня (рисунок 3.20) уровень концентрации SO_2 колеблется от 2 до 6 е.Д. Для этого периода характерны максимумы концентрации SO_2 : 26 марта – 29,67 е.Д.; 28 марта – 11,9 е.Д.; 26 апреля – 35,8 е.Д.; 21 мая – 13,57 е.Д.; 29 мая – 18,76 е.Д. Период с 17 июня по 10 сентября характеризуется низкими значениями концентрации SO_2 от 0,2 е.Д. - до 1,5 е.Д. С 13 сентября концентрация SO_2 возрастает до значений от 1,5 до 3 е.Д и сохраняется до конца периода наблюдения. В 2014 году концентрация SO_2 в течении 96 дней не превышала ПДК_{с.с}.

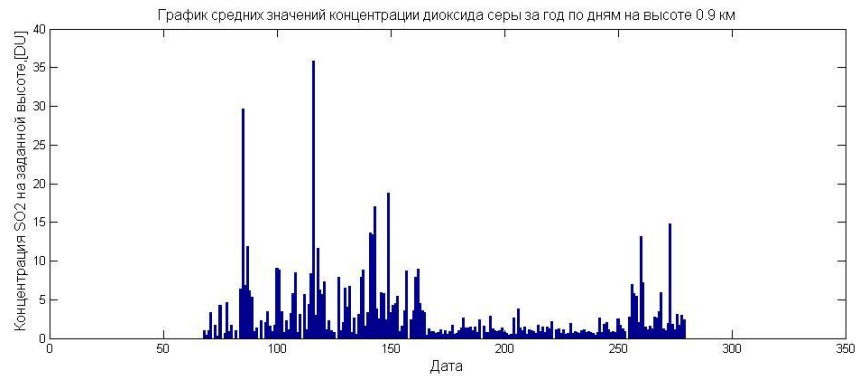


Рисунок 3.20 – Среднесуточная концентрация выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2014 г.

В 2014 году (рисунок 3.21) высокое значение концентрации SO₂ фиксируется в марте – 4,63 е.Д., апреле – 5,26 е.Д., мае – 5,33 е.Д. С июня концентрация снижается до 2,52 е.Д., сохраняя тенденцию в июле и августе, снижается до 1,04 е.Д. В сентябре концентрация SO₂ скачкообразно возрастает до 3,32 е.Д., а в октябре снова уменьшается до 2,21 е.Д.

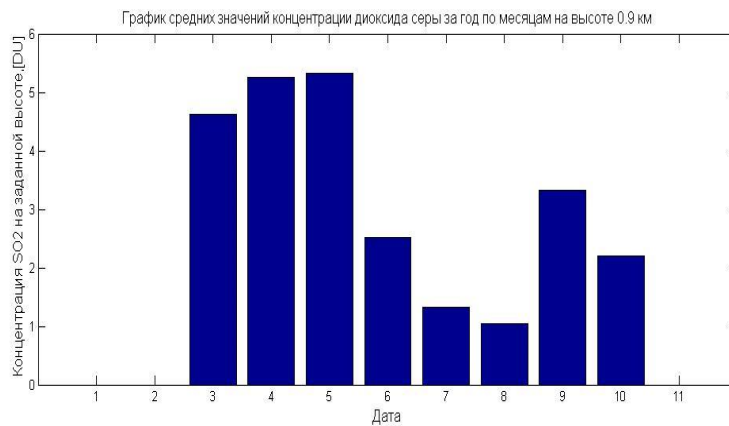


Рисунок 3.21 – Среднемесячная концентрация выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2014 г.

В таблице 3.11 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2014.

Таблица 3.11 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2014 г.

Среднегодовое значение концентрации SO ₂ , е.Д.	3,3
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше ПДК _{с.с}	182
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше 5*ПДК _{с.с}	61
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше 10*ПДК _{с.с}	27
Комплексный показатель загрязнения	4,5

Среднегодовое значение концентрации SO₂ НПЗ за 2014 г. превышает ПДК_{с.г.} в 4,1 раза. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р соответствует пред максимальной IV - сильной степени загрязнения.

В 2015 г. (рисунок 3.22) измерения выбросов SO₂ инструментом OMI велись с 16 марта по 4 октября (75- 277 дни). Максимальное значение SO₂ зафиксировано 4 апреля - 27, 7 е.Д. С марта по май концентрация SO₂ лежит в интервале 2,5 - 5 е.Д. С июня по июль концентрация SO₂ снижается до 0,5-1,1 е.Д., в пиках достигая значений 3-5 е.Д. В 2015 г. концентрация SO₂ не превышает ПДК_{с.с.} в течении 65 дней.

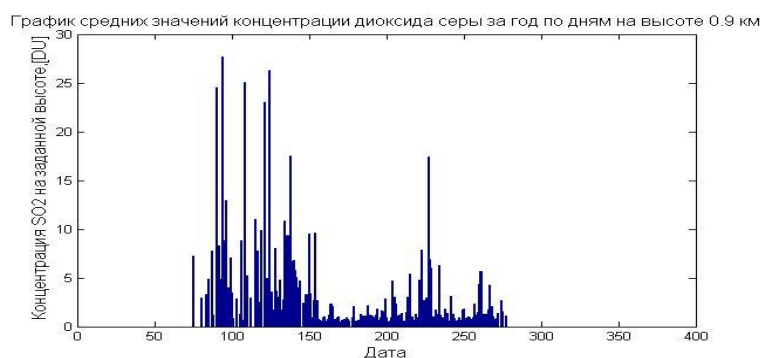


Рисунок 3.22 – Среднесуточная концентрация выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2015 г.

В 2015 году (рисунок 3.23) высокое значение концентрации SO₂ фиксируется в марте – 7,39 е.Д., апреле – 7,54 е.Д., мае – 6,5 е.Д. С июня концентрация снижается до 1,34 е.Д., сохраняя тенденцию в июле, снижается

до 1,31 е.Д. В августе концентрация SO_2 возрастает до 3,1 е.Д., затем снова снижается в сентябре и октябре - ~ 1,8 е.Д.

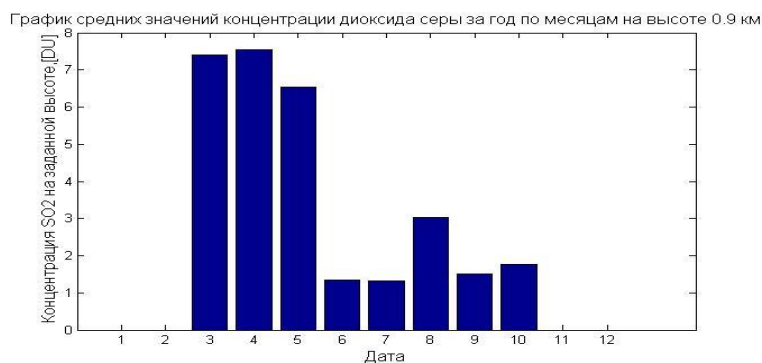


Рисунок 3.23 – Среднемесячная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2015 г.

В таблице 3.12 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2015.

Таблица 3.12 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2015 г.

Среднегодовое значение концентрации SO_2 , е.Д.	3,5
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше ПДК _{с.с}	161
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше 5*ПДК _{с.с}	55
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше 10*ПДК _{с.с}	28
Комплексный показатель загрязнения	4,7

Среднегодовое значение концентрации SO_2 НПЗ за 2015 г. превышает ПДК_{с.г.} в 5,5 раз. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р соответствует пред максимальной IV - сильной степени загрязнения.

В 2016 г. (рисунок 3.24) измерения выбросов SO_2 инструментом ОМІ велись с 16 марта по 6 октября (77- 280 дни). Максимальное значение SO_2 зафиксировано 18 апреля - 34,7 е.Д. С апреля по май концентрация SO_2 не превышала 3 е.Д. С пиками концентрации 10 мая - 28 е.Д. и 17 мая – 34 е.Д.

С июня концентрация SO_2 в основном колеблется в пределах от 0,5 е.Д. до 1,1 е.Д., в пиках достигая значений 5-7 е.Д. В 2016 г. концентрация SO_2 не превышает ПДК_{с.с.} в течении 92 дней.

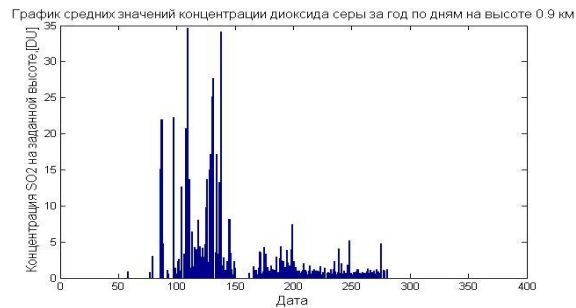


Рисунок 3.24 – Среднесуточная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2016 г.

В 2016 году (рисунок 3.25) высокое значение концентрации SO_2 фиксируется в марте – 9,1 е.Д., апреле – 6,7 е.Д., мае – 8,29 е.Д. С июня концентрация SO_2 снижается до 1,64 е.Д., сохраняя тенденцию и в июле. В августе, сентябре концентрация SO_2 еще снижается до 1,01 е.Д. А в сентябре и октябре возрастает до 1,98 е.Д.

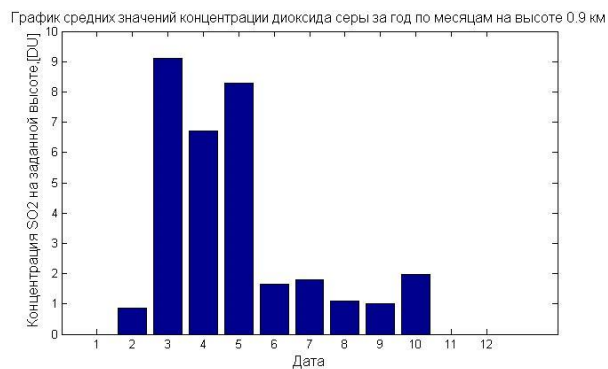


Рисунок 3.25 – Среднемесячная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2016 г.

В таблице 3.13 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2016.

Таблица 3.13 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2016 г.

Среднегодовое значение концентрации SO ₂ , е.Д.	3,1
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше ПДК _{с.с}	148
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше 5*ПДК _{с.с}	41
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше 10*ПДК _{с.с}	21
Комплексный показатель загрязнения	4,4

Среднегодовое значение концентрации SO₂ НПЗ за 2016 г. превышает ПДК_{с.г.} в 4,9 раза. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р соответствует пред максимальной IV - сильной степени загрязнения.

В 2017 г. (рисунок 3.26) измерения выбросов SO₂ инструментом OMI велись с 17 марта по 7 октября (76- 280 дни). Максимальное значение SO₂ зафиксировано 20 апреля - 41,2 е.Д. С апреля по май концентрация SO₂ не превышала 6 е.Д. С пиками концентрации 2 мая- 26 е.Д., 8 мая – 30,1 е.Д. и 11 мая – 30,2 е.Д. С июня концентрация SO₂ в основном колеблется в пределах от 0,5 е.Д. до 2 е.Д., в пиках достигая значений 3-8 е.Д. В 2016 г. концентрация SO₂ не превышает ПДК_{с.с.} в течении 78 дней.

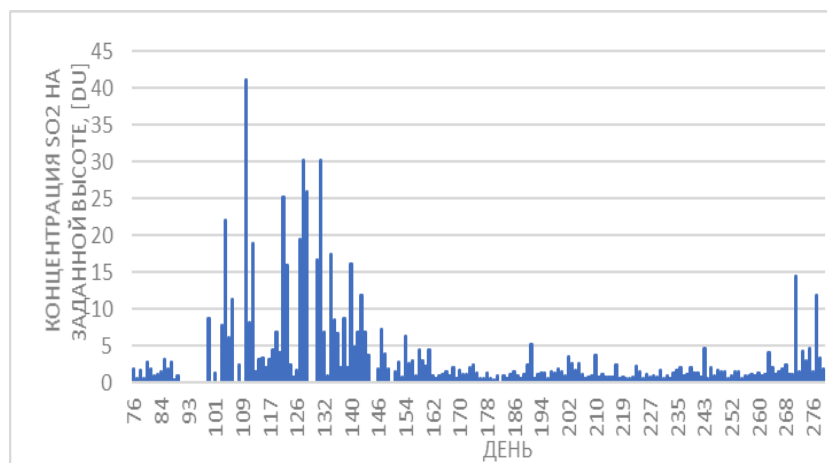


Рисунок 3.26 – Среднесуточная концентрация выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2017 г.

В 2017 году (рисунок 3.27) высокое значение концентрации SO_2 фиксируется в апреле – 8,9 е.Д., мае – 9,7 е.Д. С июня концентрация SO_2 снижается до 1,7 е.Д. и сохраняется до сентября. В октябре скачкообразно возрастает до 4,3 е.Д.

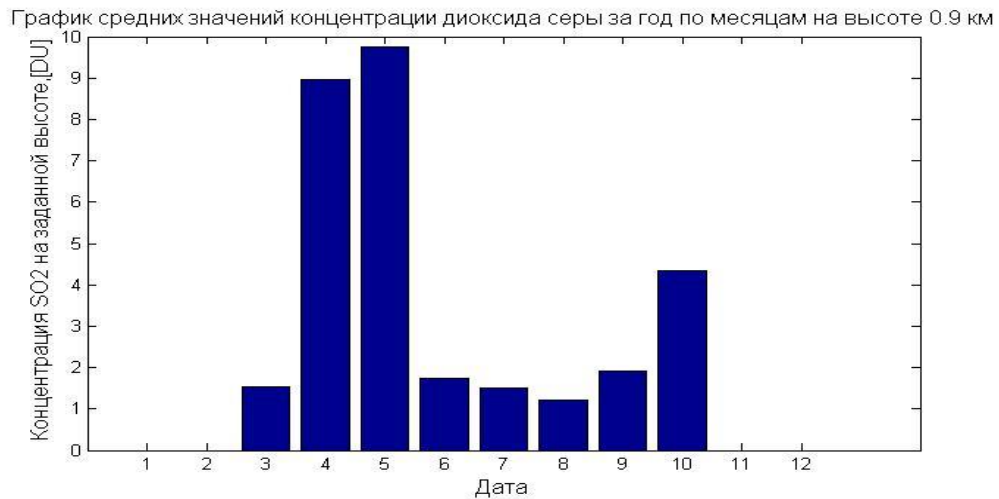


Рисунок 3.27 – Среднемесячная концентрация выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2017г.

В таблице 3.14 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2017 г.

Таблица 3.14 – Основные показатели анализа концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края за 2017 г.

Среднегодовое значение концентрации SO_2 , е.Д.	3,5
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше ПДК _{с.с}	164
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше 5*ПДК _{с.с}	46
Количество дней в году, когда концентрация SO_2 выше 10*ПДК _{с.с}	27
Комплексный показатель загрязнения	4,7

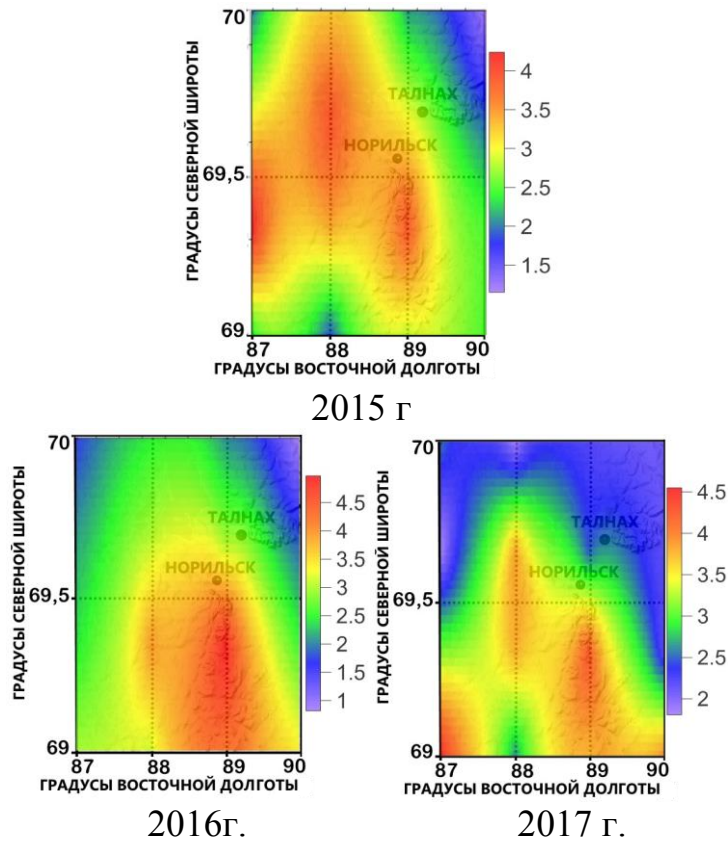
Среднегодовое значение концентрации SO_2 НПЗ за 2017 г. превышает ПДК_{с.г.} в 5,4 раз. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для НПЗ, в соответствии с величиной показателя Р соответствует пред максимальной IV - сильной степени загрязнения.

В таблице 3.15 представлены основные показатели анализа концентрации выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг.

Таблица 3.15 – Основные показатели оценки концентрации SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг.

Год	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
	Среднегодовое значение концентрации SO ₂ , е.Д.												
	4,4	4,6	3,9	4,1	4,5	3,48	2,29	2,52	2,67	3,28	3,51	3,13	3,46
Количество дней в году, когда концентрация SO ₂ выше ПДК _{с.с.} , 5* ПДК _{с.с.} , 10* ПДК _{с.с.}													
>ПДК _{с.с.}	176	173	180	179	170	161	181	157	154	182	161	148	164
> 5*ПДК _{с.с.}	64	64	71	66	53	52	39	44	35	61	55	41	46
>10* ПДК _{с.с.}	35	43	36	28	33	25	9	17	15	27	28	21	27
P	5,2	5,4	4,9	5,1	5,3	4,7	3,8	3,9	4,1	4,5	4,7	4,4	4,7
Степень загрязнения атмосферы	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III	III	IV	IV	IV	IV	IV

Среднегодовая концентрация SO₂ превышает ПДК_{с.г.}, и это характерно для всего периода наблюдения. Превышение лежит в интервале от 4-х кратного в 2012 году до 7-ми кратного в 2009 году. Количество дней, когда концентрация SO₂ превышает ПДК_{с.с.} ежегодно лежит в интервале от 148 до 182. Пятикратное превышение ПДК_{с.с.} – от 35 до 71 дней в году. Десятикратное превышение ПДК_{с.с.} – от 9 до 43 дней в году. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха населенных мест для северных территорий Красноярского края, в соответствии с величиной показателя P соответствует пред максимальной IV (сильной степени загрязнения), кроме 2011 и 2012 годов – III (умеренное загрязнение) степень. Четвертая степень загрязнения атмосферного воздуха характеризуется как максимально повышенное негативное воздействие на здоровье населения. На рисунке 3.28 представлено картографирование концентрации SO₂ для 2015 – 2017 гг., которая показывает территориальное распространение выбросов SO₂. Видно, что практически по всей исследуемой территории, особенно вблизи г. Норильск повышенное значение концентрации SO₂, и только в северной части концентрация снижается.



цветом обозначен уровень концентрации SO_2 , е.Д.

Рисунок 3.28 – Картографирование концентрации выбросов SO_2 для северных территорий Красноярского края по годам.

3.2 Оценка массы выбросов диоксида серы и площади загрязнения северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг.

Произведен анализ массы выбросов диоксида серы предприятиями Норильской промышленной зоны [35]. В таблице 3.16 отображены данные о массе выбросов диоксида серы с середины января по ноябрь за 2005-2017 гг. по данным инструмента OMI. В дни, когда метеорологические условия (облачность выше 30 %) не дали возможность произвести оценку массы диоксида серы, были приняты значения, соответствующие среднеарифметической массе выбросов в течение дня для текущего месяца [116,121-129]. Зафиксированная цифра была умножена на 4, ввиду того, что OMI выполняет измерения один раз в сутки, а наземная система контроля 4 раза в сутки. На рисунке 3.29 отображены данные таблицы 3.16.

Таблица 3.16 – Зафиксированная масса выбросов SO₂ для северных территорий Красноярского края по данным инструмента ОМІ за 2005-2017 гг., в кт.

Год	январь	фев.	март	апрель	май	июнь	июль	август	сент.	октябрь	ноябрь	ИТОГО
2005	220,0	148,9	28,5	148,4	136,1	19,9	11,6	0,7	5,8	14,2	102,3	836,5
2006	83,6	79,4	23,8	153,3	116,4	17,4	1,1	3,8	2,3	29,2	301,2	811,4
2007	323,3	247,8	66,2	34,4	180,9	27,2	7,1	3,3	7,4	24,9	357,0	1279,4
2008	259,8	179,3	38,9	91,3	85,0	10,8	8,4	252,1	5,1	29,4	322,8	1282,9
2009	143,4	70,1	15,7	56,8	203,7	26,7	4,3	1,5	1,7	10,3	109,2	643,6
2010	195,9	187,1	56,8	181,6	137,0	55,2	7,8	1,8	17,2	20,5	204,3	1065,3
2011	324,4	338,0	15,4	38,4	33,6	10,7	2,2	0,9	5,3	7,6	167,9	944,3
2012	181,8	282,3	71,7	63,3	125,4	8,7	10,2	4,4	5,9	86,2	223,8	1063,8
2013	125,1	207,4	38,2	114,5	104,0	2,8	6,2	1,5	5,1	7,7	385,9	998,4
2014	216,0	308,8	55,0	57,9	64,5	37,1	2,2	0,8	195,1	24,8	241,6	1203,7
2015	204,0	188,0	223,3	1112,0	1255,5	75,2	38,8	259,0	34,1	66,9	241,6	3698,3
2016	224,0	196,0	6,3	299,0	739,6	52,4	32,8	3,2	16,2	19,5	241,6	1830,6
2017	208,0	212,0	33,3	861,9	176,5	137,8	15,9	9,9	59,9	41,0	241,6	1997,9

В 2005 г. максимальные объемы выбросов диоксида серы зафиксированы с января по май и в ноябре (таблица 3.16). Среднемесячное значение массы выбросов диоксида серы за этот период составляет ~ 136,4 кт. На январь приходится пик выбросов SO₂ и достигает 220 кт/месяц.

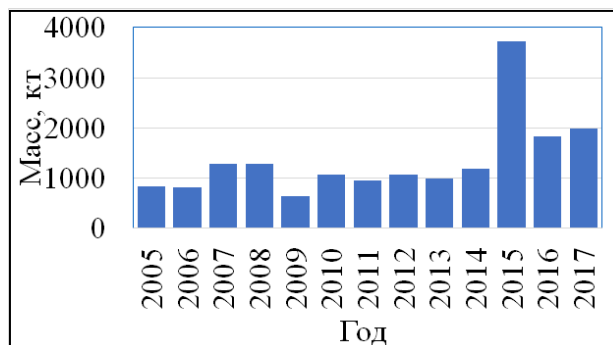


Рисунок 3.29 – Масса выбросов диоксида серы за 2005-2017 г. по данным инструмента ОМІ для северных территорий Красноярского края

Наименьший объем выбросов зафиксирован в июнь-октябрь, когда масса выбросов диоксида серы не превышала 20 кт/месяц. Общий объем выбросов диоксида серы в 2005 году равен 836,5 кт/год. Наибольший объем выбросов SO₂ за 2006 г. в 301,2 кт/месяц приходится на ноябрь, а

наименьший 1,1 кт/месяц – на июль. Большое количество выбросов диоксида серы зафиксировано также в период с января по май. За 2006 год эмиссия SO₂ определена в количестве 811,4 кт/год, при этом среднее значение площади загрязнения за год 16 827 км² (таблица 3.17).

Таблица 3.17 – Площадь загрязнения выбросами SO₂ для северных территорий Красноярского края за 2005-2017г по данным ОМІ, км²

Год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	СРЕДНЕЕ
2005	-	13381	19955	64053	48532	8626	6428	2646	6059	12804	-	20276
2006	-	-	8998	49578	44677	11216	2530	5341	3986	8292	-	16827,3
2007	-	-	39479	36902	58077	16638	8316	4846	4883	10188	-	22416,1
2008	-	48124	20754	39750	49996	11828	7779	263392	9357	18673	1861	47151,4
2009	-	26746	35673	17937	42044	8877	3440	3338	3006	10504	7260	15882,5
2010	-	-	14651	35353	31710	14811	889	512	2638	6021	-	13323,1
2011	-	4288	15801	18514	11634	4905	1595	3052	5601	8916	5265	7957,1
2012	-	57957	29884	10183	27526	4227	3057	2275	4783	8744	6284	15492
2013	21951	16352	6254	18555	13616	588	1662	483	1694	1955	22967	8412,6
2014	19640	30761	17423	19847	10557	6205	596	237	46147	13049	-	16091,3
2015	-	-	15093	25105	21827	2383	1195	6385	2696	3111	-	9724,4
2016	-	15321	11598	15549	23030	2130	1126	302	3518	8160	-	8970,4
2017	-	2478	13119	29816	3462	652	427	1666	6373	-	-	7249,1

В 2007 г., по сравнению с 2006 г., масса выбросов SO₂ скачкообразно увеличилась на 468,1 кт и достигла 1279,4 кт/год, что связано, по-видимому, с увеличением объема производства [33] (таблица 3.18, рисунок 3.30), среднее значение площади загрязнения – 22416 км². Максимум выбросов был зафиксирован с января по май, с пиком в ноябре, когда масса SO₂ в атмосфере достигла 357 кт/месяц, что сопровождается большой площадью загрязнения - ~45000 км². Минимальные значения выбросов SO₂ были определены в летний период и в начале осени, так, в августе масса выбросов составила 3,3 кт/месяц.

Таблица 3.18 – Объемы производства меди и никеля, кт.

Производство металлов	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Медь	124	124	124	122	119	122	123	127
Никель	304	309	324	339	338	351	361	353
Итого	428	433	448	461	457	473	484	480

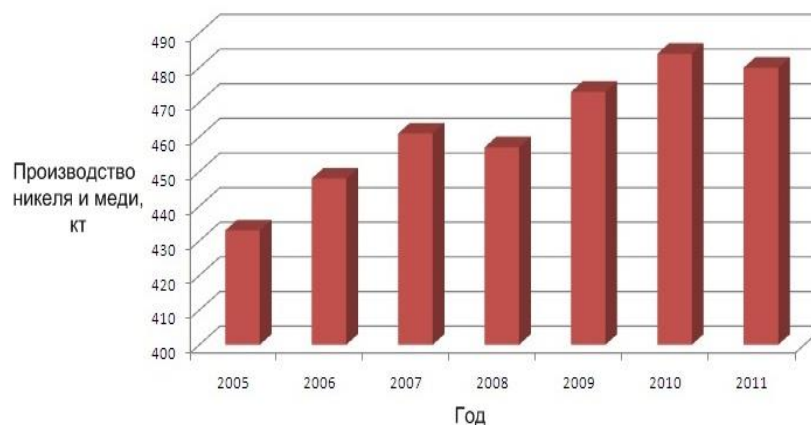


Рисунок 3.30 – Производство меди и никеля предприятиями северных территорий Красноярского края

В 2008 году общая масса выбросов диоксида серы составила 1282,9 кт/год, среднее значение площади загрязнения – 47151 км². Максимальный объем выбросов диоксида серы характерен для периода с январь по май. Пик выбросов диоксида серы приходится на ноябре в 322,8 кт/месяц, при этом площадь загрязнения так же велика около 40000 км². В 2008 г. большое количество массы выбросов SO₂ зафиксировано и в августе – 252,1 кт/месяц, в этом месяце так же определено максимальное значение площади загрязнения выбросами SO₂ за весь период наблюдения ОМІ – 263392 км². Минимальное значение массы выбросов диоксида серы в сентябре 5,1 кт/месяц, площадь загрязнения составляет 9357 км². Наименьший объем выбросов зафиксирован в июне, июле, сентябре, октябре (масса выбросов SO₂ не более 30 кт/месяц), площадь загрязнения при этом не более 18673 км².

В 2009 г. зафиксирована наименьшая масса выбросов SO₂ – 643,6 кт/год, площадь загрязнения составляет 15882 км². Пик объема выбросов диоксида

серы приходится на май и составляет около 203,7 кт/месяц, в этом месяце и на площадь загрязнения приходится пик – 42044 км². Минимальные выбросы SO₂ в июне-октябре – не более 27 кт/месяц, площадь загрязнения при этом 10504 км². В 2010 году резкое увеличение объемов производства никеля и меди до 484 кт приводит к скачкообразному увеличению выбросов диоксида серы до 1065,3 кт/год, средняя площадь загрязнения за этот год составляет 13323 км². Наибольший вклад в общий объем выбросов приходится период с апреля по май и ноябрь. За этот временной интервал выбросы SO₂ в атмосферу составили ~85 % от годового объема выбросов. Максимум выбросов диоксида серы наблюдается в ноябре – 204,3 кт/месяц. Минимум выбросов SO₂ определен в августе и составляет 1,8 кт/месяц, площадь загрязнения 512 км².

В 2011 году выбросы диоксида серы уменьшились на 120,9 кт/год и составили 944,3 кт/год, площади загрязнения 7957 км² [34], что связано предположительно с уменьшением производства меди и никеля на 4 кт/год. С января по февраль и ноябрь в атмосферу выброшено около 830,3 кт. В марте - октябре уровень выбросов диоксида серы в атмосферу не превышает 40 кт/месяц. Минимальное значение выбросов SO₂ выявлено в августе ~ 0,9 кт/месяц, площадь загрязнения 3052 км². В 2012 году общая масса SO₂ составляет 1063,8 кт/год, средняя площадь загрязнения 15492 км². Максимальный объем выбросов SO₂ зафиксирован с января по май и с октября по ноябрь, с пиком выбросов в феврале 282,3 кт/месяц, площадь загрязнения 57957 км². Наименьший объем выбросов с июня по сентябрь - не выше 10,2 кт/месяц, площадь загрязнения не более 4783 км².

За 2013 году общая масса выбросов диоксида серы составила около 998,4 кт/год, среднее значение площади загрязнения за год 8412 км². Наибольший объем выбросов SO₂ приходится на январь -125,1 кт/месяц, февраль – 207,4 кт/месяц и ноябрь – 385,9 кт/месяц. Минимальный объем выбросов зафиксирован в марте-августе. В эти месяцы пик выбросов SO₂

определен в апреле 114,5 кт/месяц, а минимум в августе и составляет 1,5 кт/месяц.

За 2014 год по сравнению с 2013 годом общая масса выбросов SO_2 увеличилась на 205,3 кт/год и составила 1203,7 кт/год, среднее значение площади загрязнения – 16091 км². Как и в 2013 году максимальный объем выбросов SO_2 приходится на январь-февраль, ноябрь – в среднем 255,5 кт/месяц, при этом существенно возросли выбросы в сентябре – 195,1 кт/месяц (средняя площадь загрязнения 25200 км²). С марта по август масса выбросов SO_2 значительно уменьшается, не превышая 65 кт/месяц.

В 2015 г. зафиксирован наибольший объем выбросов SO_2 за весь период наблюдения ОМІ – 3698,3 кт/год, площадь загрязнения 9724 км². Как и в предыдущие периоды в январе-марте, ноябре высокие массы выбросов SO_2 – около 214 кт/месяц. Но и в апреле-мае 2015 г. зафиксировано нетипичное высокое значение массы выбросов SO_2 , сопоставимое с годовыми – 1112 кт/месяц (площадь загрязнения 25105 км²) и 1255,5 кт/месяц (площадь загрязнения 21827 км²) соответственно. Также возросла масса выбросов SO_2 в летний период: июнь – 75,2 кт/месяц, июль – 38,8 кт/месяц и август – 259 кт/месяц.

В 2016 году общая масса выбросов SO_2 составляет 1830,6 кт/год, среднее значение площади загрязнения – 8970 км². Наибольший объем выбросов SO_2 зафиксирован в мае - 739,6 кт/месяц (40% от годового выброса SO_2), при этом площадь загрязнения 23030 км². В апреле масса выбросов SO_2 составила 299 кт/месяц. С июня по октябрь масса выбросов SO_2 не превышает 53 кт/месяц (площадь загрязнения не более 8160 км²). С января по октябрь, ноябрь – масса выбросов SO_2 составляет ~166,4 кт/месяц. Минимальный объем выбросов SO_2 зафиксирован в августе – 3,2 кт/месяц.

К 2017 г. годовые значения массы выбросов SO_2 образуют восходящий тренд (рисунок 3.29). В 2017 г. общий объем выбросов SO_2 в $\sim 2,4$ раза больше, чем в 2005 г. и составил 1997,9 кт/год, среднее значение площади загрязнения – 7249 км^2 . В апреле объем выбросов SO_2 имеет высокие значения, характерные для 2015-2016 г., и составляет – 861,9 кт/месяц (площадь загрязнения - 29816 км^2). В мае – июне зафиксированы нетипичные, повышенные значения массы выбросов SO_2 – около 157,2 кт/месяц. С июля по октябрь масса SO_2 не более 60 кт/месяц (площадь загрязнения не более 6373 км^2). Минимальный объем выбросов SO_2 определен в августе – 9,9 кт/месяц.

Доли вклада в годовой объем выбросов SO_2 за 2005-2017 г. варьируются от 1% в июне до 20% в мае (рисунок 3.31). Наибольший вклад в общегодовую массу выбросов диоксида серы за 2005-2017 г. зафиксирован в январе – мае и ноябре (совокупная доля составляет 89% от общей массы выбросов). Среднее значение площади загрязнения выбросами SO_2 в эти месяцы также максимально и составляет 18000 км^2 (рисунок 3.32).

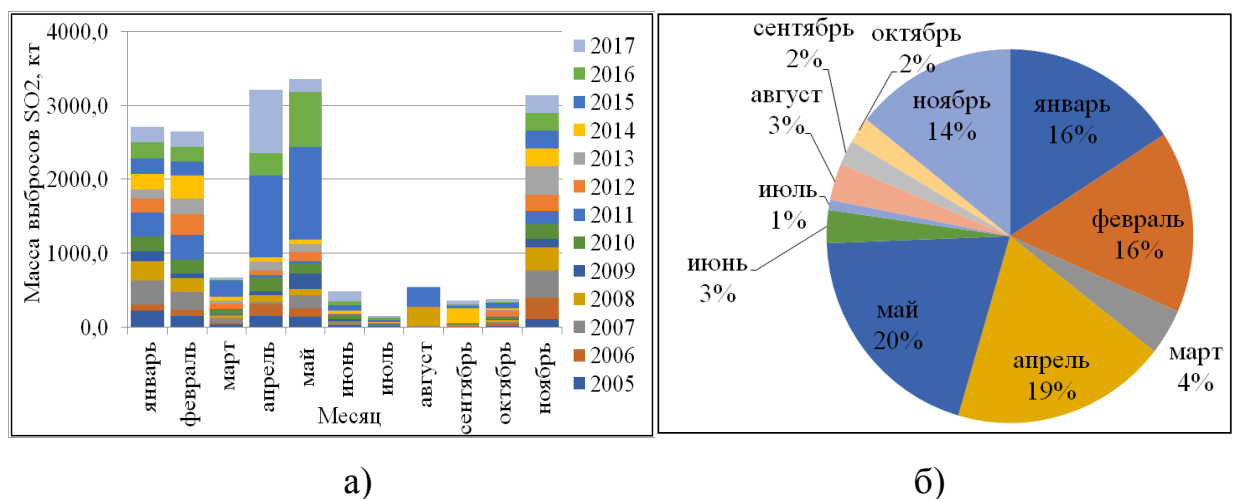


Рисунок 3.31 – Масса зафиксированных выбросов SO_2 (а) и вклад в суммарный объем выбросов (б) ежемесячно за 2005-2017 г. для северных территорий Красноярского края

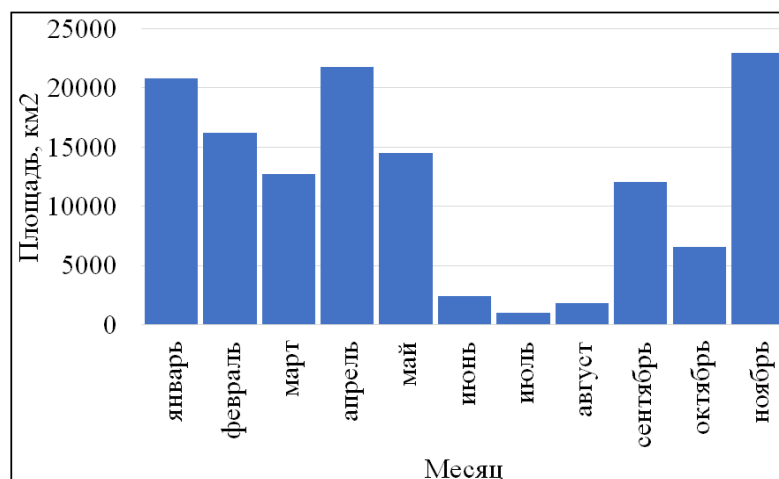


Рисунок 3.32 – Среднее значение площади загрязнения выбросами SO_2 ежемесячно за 2005-2017 г. для северных территорий Красноярского края

С июня по октябрь наблюдается заметное снижение массы выбросов SO_2 в атмосфере (совокупная доля составляет 11% от общей массы выбросов). Среднее значение площади загрязнения выбросами SO_2 в эти месяцы составляет 5000 км^2 , что в 3,6 раза меньше, чем с января по май, ноябрь. Это связано, по-видимому, с погодными условиями. Максимальное количество дней с метелями выпадает на январь – май, ноябрь. Диоксид серы связывается замороженными кристаллами воды (снегом) и долго находится в приземном слое атмосферы. Продолжительность метелей колеблется от нескольких часов до 2–4 суток, а иногда и больше, этим приводя к катастрофическим масштабам распространения загрязнения. Зимний период ветрового режима начинается с момента установления снежного и ледового покровов и продолжается с ноября по май. В эти месяцы циркуляция воздушных масс контролируется мощным сибирским антициклоном [107-110].

Проведено сопоставление данных о массе выбросов диоксида серы, полученных с использованием спутникового контроля и открытых данных наземной системы контроля ПАО «ГМК «Норильский Никель». В таблицу 3.19 сведены доступные результаты измерения массы выбросов диоксида серы наземной системы контроля ПАО «ГМК «Норильский Никель» и

результаты измерения на основе разработанного спутникового метода контроля [33].

Таблица 3.19 – Масса выбросов диоксида серы за 2008-2017 гг., кт

Год	Спутниковый метод контроля	Наземная система контроля ПАО «ГМК «Норильский Никель»
	Масса выбросов, кт	
2008	1282,9	1917,6
2014	1203,7	1791,5
2016	1830,6	1751,3
2017	1997,9	1860,4
Среднее значение	1578,8	1830,2

Установлено, что за эти годы среднегодовая масса по спутниковым методам составляет 1578,8 кт/год. По данным ПАО «ГМК «Норильский Никель» она равна 1830,2 кт/год. При сравнении этих чисел нужно учитывать, что в период полярной ночи спутниковые измерения не проводятся. Наиболее близки показания наземной и спутниковой систем мониторинга в 2016 года, разница составила 79,3 кт/год.

3.3 Построение карт-схем состояния атмосферного воздуха северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг.

В данном пункте представлен результат построения карт-схем экологического риска загрязнения атмосферного воздуха выбросами диоксида серы для северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг. По представленной методике п. 2.8 в соответствии с коэффициентом чувствительности для каждой группы растительных сообществ и человека

рассчитываем границы зон, соответствующие определенному уровню загрязнения атмосферы (таблица 3.20).

Таблица 3.20 – Границы уровней загрязнения атмосферы диоксидом серы северных территорий Красноярского края

Уровень экологического риска	Уровень загрязнения атмосферы, е.Д.		
	Хвойный лес	Мелколиственный лес	Травянистая растительность (человек)
Неприемлемый	>6,24	>9,36	>12,48
Повышенный	0,78÷6,24	1,17÷9,36	1,56÷12,48
Приемлемый	<0,78	<1,17	<1,56

На рисунках 3.33-3.35 представлен результат картографирования экологических рисков для растительности северных территорий Красноярского края по данным ОМІ за 2005 – 2017 гг.

Анализ карт экологического риска по выбросам SO₂ для НПЗ показал, что с 2005 по 2017 год большая часть территории НПЗ соответствует повышенному уровню экологического риска. Ни на одной из карт не была определена зона приемлемого уровня риска. На рисунке 3.33 видно, что в 2005 г. вокруг г. Норильск образуется зона максимального, неприемлемого уровня риска (в виде двух овалов). Подобная ситуация в 2007 г., вокруг Норильска два кольца зоны неприемлемого уровня риска. В 2006 и 2008 г. пятна зоны неприемлемого уровня риска смещены относительно г. Норильск южнее и западнее соответственно.

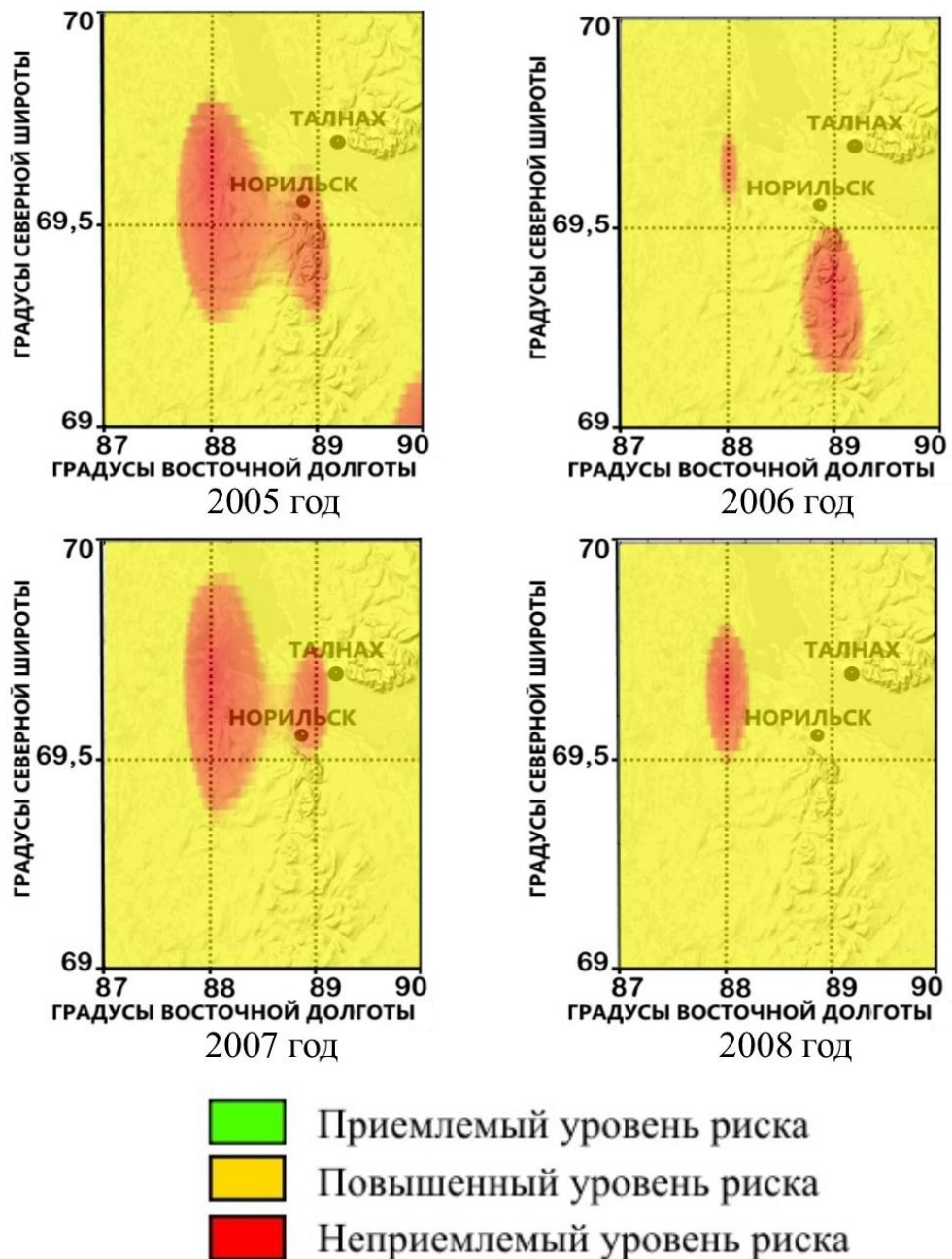


Рисунок 3.33 – Картографирование зон экологического риска для растительности северных территорий Красноярского края за 2005-2008 гг.

С 2009 по 2012 г. город Норильск попадает в зоны неприемлемого уровня риска (рисунок 3.34). Максимальный размер пятна в 2012 г., когда в зону неприемлемого риска попадает и город Талнах. Подобная ситуация в 2009 и 2011 г., но размер зоны меньше, чем в 2012 г. В 2010 г. город Норильск также попадает в зону неприемлемого уровня риска, но в этом году шлейф выбросов протянулся к югу.

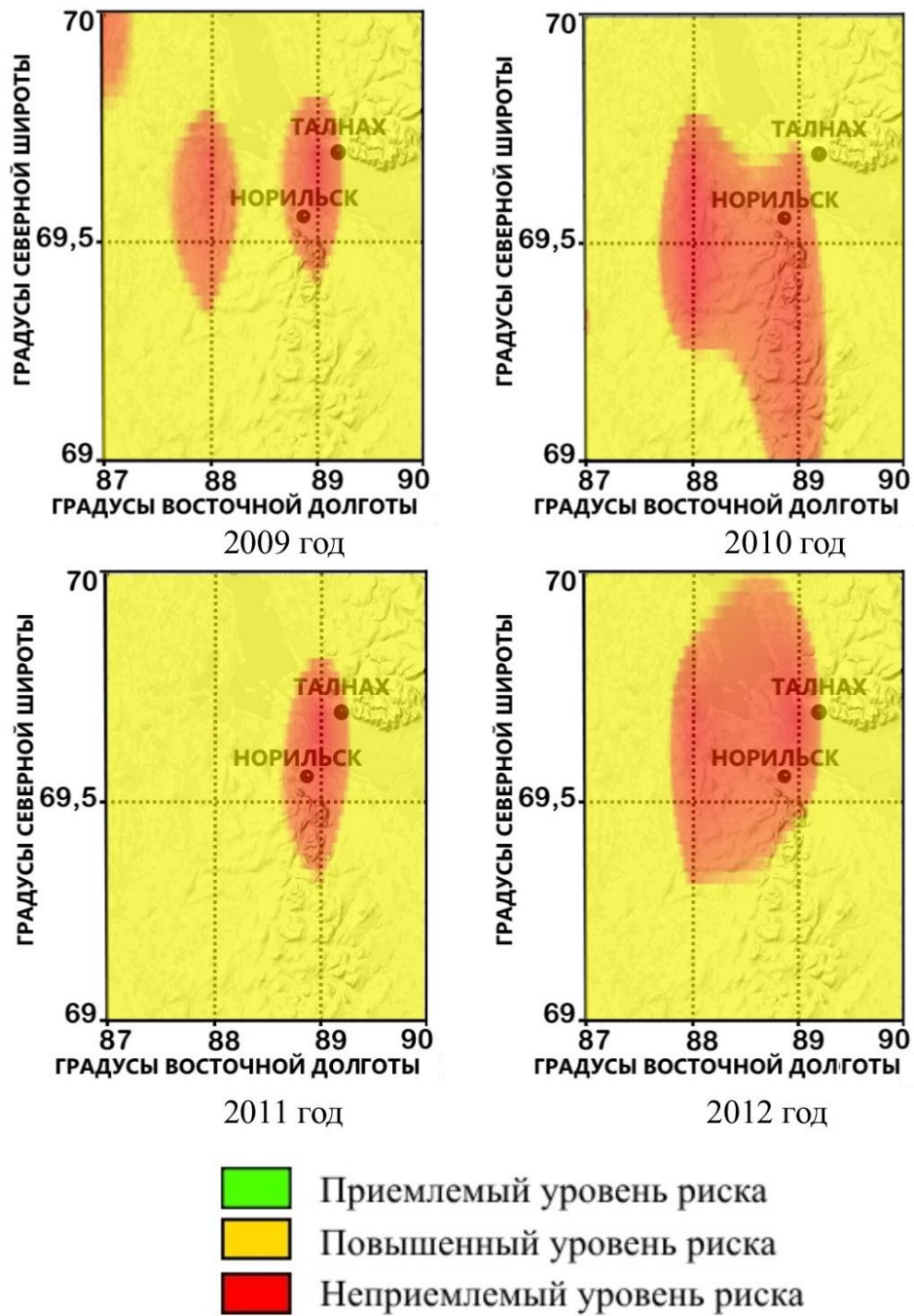


Рисунок 3.34 – Картографирование зон экологического риска для растительности северных территорий Красноярского края за 2009-2012 гг.

В 2013 году город Норильск окружен зоной неприемлемого уровня риска (рисунок 3.35), шлейф выбросов тянется с запада на восток. С 2014 по 2017 г. город Норильск не попадает в зону неприемлемого уровня риска, но вблизи города такие зоны присутствуют. Максимальный размер зоны неприемлемого уровня риска в 2016 г., пятно зоны, как и в 2010 г. тянется к

югу Минимальный размер зоны неприемлемого риска выявлен в 2017 г., южнее города Норильск.

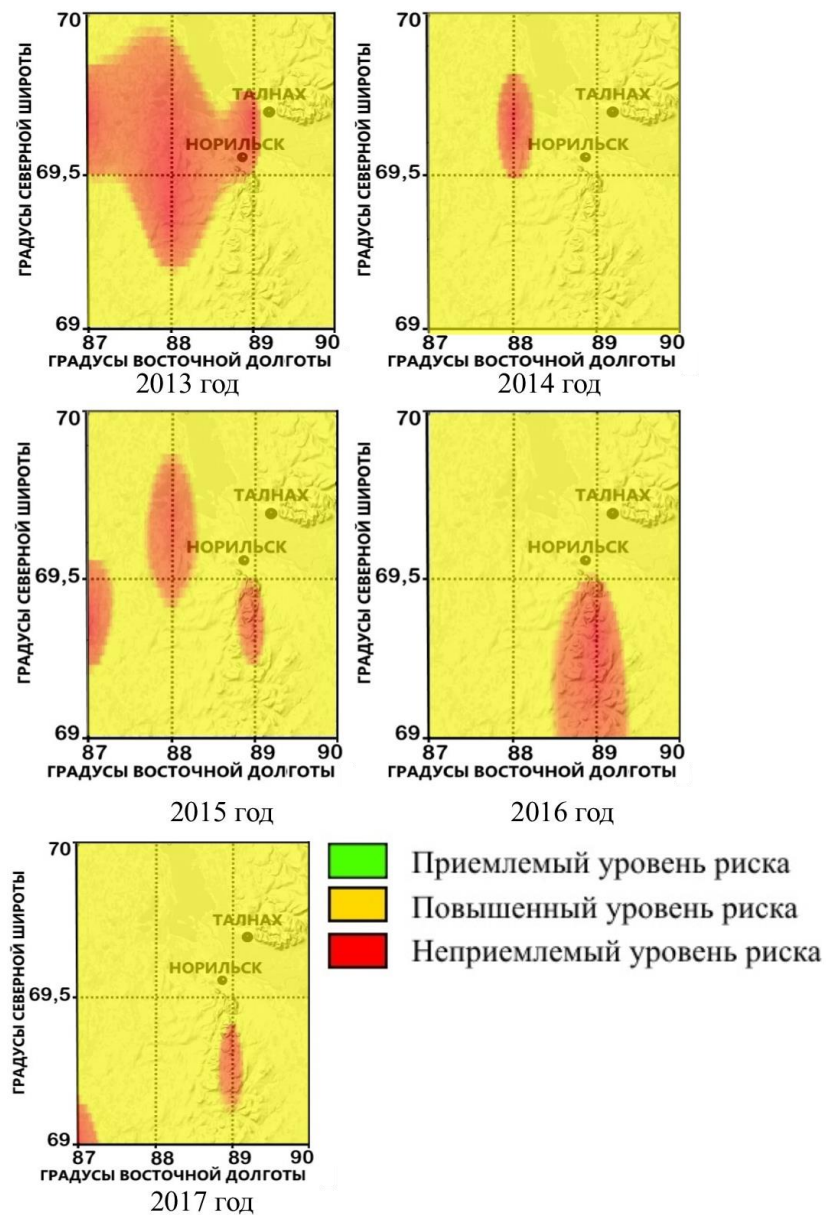


Рисунок 3.35 – Картографирование зон экологического риска для растительности северных территорий Красноярского края за 2013-2017 гг.

На рисунке 3.36 представлен пример картографирования зон экологического риска НПЗ для человека за март 2017 г (по дням). На картах большую часть территории образуют зоны неприемлемого уровня риска. Город Норильск и г. Талнах попадают в зоны повышенного и неприемлемого

уровня риска. Только 17.03, 24.03, 31.03 в НПЗ около 50% территории занимает зона приемлемого уровня риска.

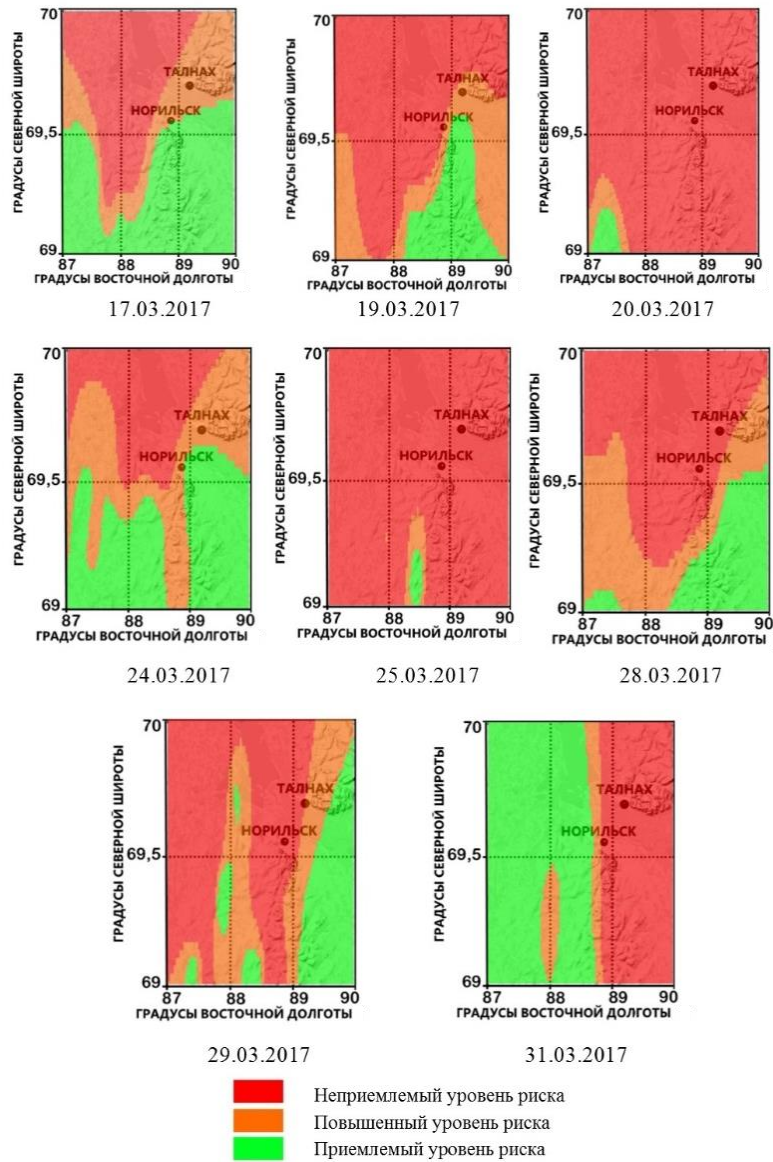


Рисунок 3.36 – Пример картографирование зон экологического риска для человека северных территорий Красноярского края по дням

Загрязнение атмосферного воздуха выбросами SO_2 для исследуемой территории, создающие повышенный риски воздействия как на организм человека, так и на растительный мир. Данный результат картографирования рисков может служить сигналом для предприятий НПЗ об уменьшении производственных мощностей для нормализации экологической обстановки.

Выводы к главе.

На основе разработанного метода контроля выбросов диоксида серы по спутниковым данным проведен анализ состояния атмосферного воздуха в Норильской промышленной зоне и получены следующие результаты. Среднегодовое значение концентрации диоксида серы в атмосфере Норильской промышленной зоны за 2005-2017 гг. на площади 19384 км² составляет около 0,11 мг/м³, что превышает предельную норму в 2,2 раза. Количество дней в году, когда концентрация диоксида серы превышает ПДК_{с.с.} в атмосфере Норильской промышленной зоны, ежегодно лежит в интервале от 148 до 182 дней за 2005-2017 гг. Количество дней в году, когда концентрация диоксида серы в 5 раз превышает ПДК_{с.с.} в атмосфере Норильской промышленной зоны ежегодно лежит в интервале от 35 до 71 дней за 2005-2017 гг. Количество дней в году, когда концентрация диоксида серы в 10 раз превышает ПДК_{с.с.} в атмосфере Норильской промышленной зоны ежегодно лежит в интервале от 9 до 43 дней за 2005-2017 гг. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха Норильской промышленной зоны, в соответствии с величиной показателя Р (руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89) характеризуется пред максимальной IV сильной степенью загрязнения, кроме 2011 и 2012 годов – III умеренная степень загрязнения. Наибольший вклад в общегодовой объем выбросов диоксида серы Норильской промышленной зоны за 2005-2017 гг. зафиксирован в январе – мае, ноябре (совокупная доля составляет 89% от общего объема выбросов). С июня по октябрь наблюдается заметное снижение массы выбросов диоксида серы в атмосферу (совокупная доля составляет 11% от общего объема выбросов). Проведено сопоставление данных о массе выбросов диоксида серы, полученных с использованием спутникового мониторинга и наземной системы контроля ПАО «ГМК «Норильский Никель». Установлено, что за 2005-2017 гг. среднегодовая масса по спутниковым методам составляет 1578,8 кт/год. По данным ПАО «ГМК «Норильский Никель» она равна 1830,2 кт/год. При сравнении этих чисел нужно учитывать, что в период полярной ночи

спутниковые измерения не проводятся. Построенные карты-схемы состояния атмосферного воздуха по выбросам диоксида серы Норильской промышленной зоны показали, что большая часть территории имеет повышенный уровень риска загрязнения, а вблизи и в г. Норильск зафиксирован неприемлемый уровень риска.

4 Практические рекомендации по применению метода контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных для северных территорий

4.1 Технология контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных для исследуемой территории

Для получения независимых, объективных оценок загрязнения атмосферного воздуха диоксидом серы используется спутниковый метод мониторинга. Этот метод основан на обработке данных спектрометров OMI и OMPS. Базы данных инструментов OMI и OMPS являются независимыми и открытыми источниками информации, доступ к которым возможен на официальном сайте NASA.

Схема метода контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных для исследуемой территории представлена на рисунке 4.1.

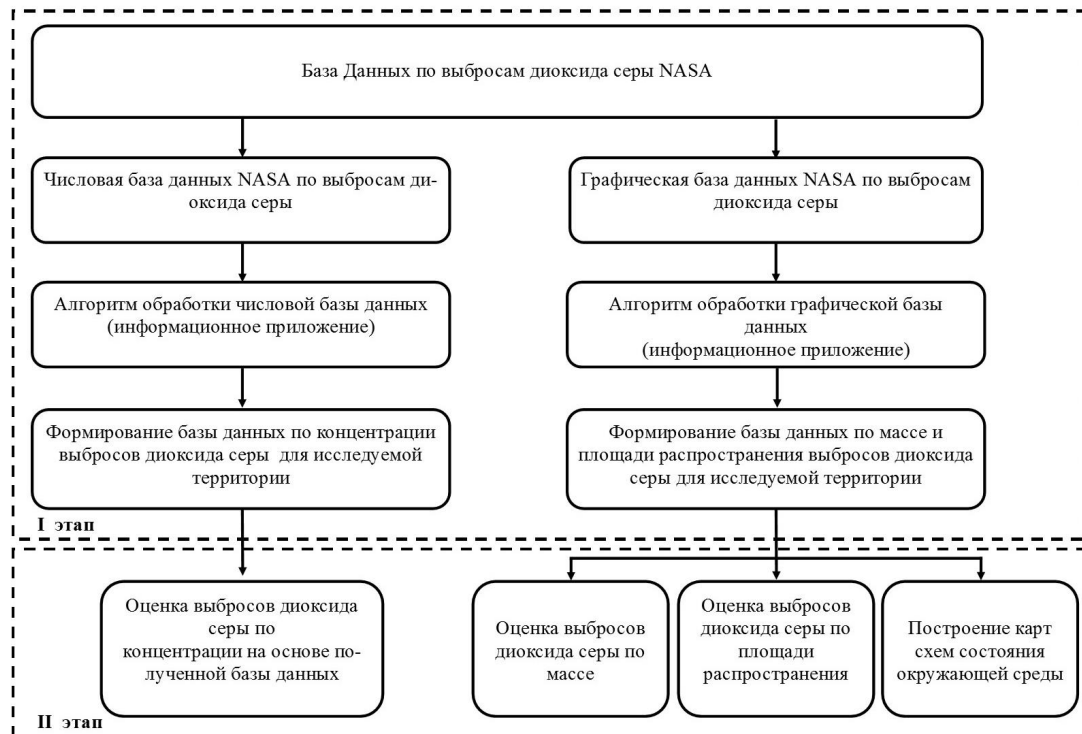


Рисунок 4.1 – Схема метода контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных для исследуемой территории

Технология контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных состоит из двух этапов. На первом этапе производится обработка массива данных NASA и формирование баз данных по концентрации, по массе и площади распространения выбросов диоксида серы для исследуемой территории. На втором этапе проводится оценка состояния окружающей среды исследуемой территории по трем критериям: по концентрации, по массе и площади распространения выбросов диоксида серы. Осуществляется построение карт-схем состояния атмосферного воздуха на основании оценки рисков загрязнения выбросами диоксида серы.

4.2 Технология обработки массива данных OMI и OMPS по выбросам диоксида серы

На первом этапе метода контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых данных осуществляется считывание общего массива данных по выбросам диоксида серы для исследуемой территории с двух источников информации OMI и OMPS (текстовая база данных). Затем осуществляется обработка этого массива данных с помощью разработанного информационного приложения в соответствии с алгоритмом отображенным на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 – Алгоритм обработки числовой базы данных NASA

Особенностью данного алгоритма является то, что исключаются данные по концентрации диоксида серы для двух приборов OMI и OMPS, полученные в период повышенной облачности – коэффициент облачности превышает 30%. Также исключаются резко отклоняющиеся значения концентрации выбросов диоксида серы для исследуемой территории. Далее формируется база данных по выбросам SO₂, в соответствии с которой производится оценка состояния атмосферы по концентрации.

Для оценки состояния атмосферного воздуха по массе и площади распространения выбросов диоксида серы на первом этапе осуществляется считывание общего массива данных из графической базы OMI и OMPS. Далее эти данные проходят обработку в соответствии с алгоритмом отображенном на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 – Алгоритм обработки графической базы данных NASA

Особенностью данного алгоритма является то, что исключаются данные по массе и площади распространения выбросов диоксида серы для двух приборов OMI и OMPS, полученные в период повышенной облачности, выше 30%. Так же не используются данные полученные не на двух измерительных приборах OMI и OMPS одновременно для определенно дня. В соответствии с этими параметрами формируется база данных по массе и

площади распространения выбросов диоксида серы для исследуемой территории.

4.3 Технология оценки состояния атмосферного воздуха исследуемой территории

На втором этапе метода контроля выбросов диоксида серы на основе обработанных спутниковых данных проводится оценка состояния атмосферы по трем параметрам: по концентрации, по массе, площади распространения выбросов диоксида серы (рисунок 4.4) и осуществляется построение карт-схем рисков загрязнения выбросами диоксида серы исследуемой территории.

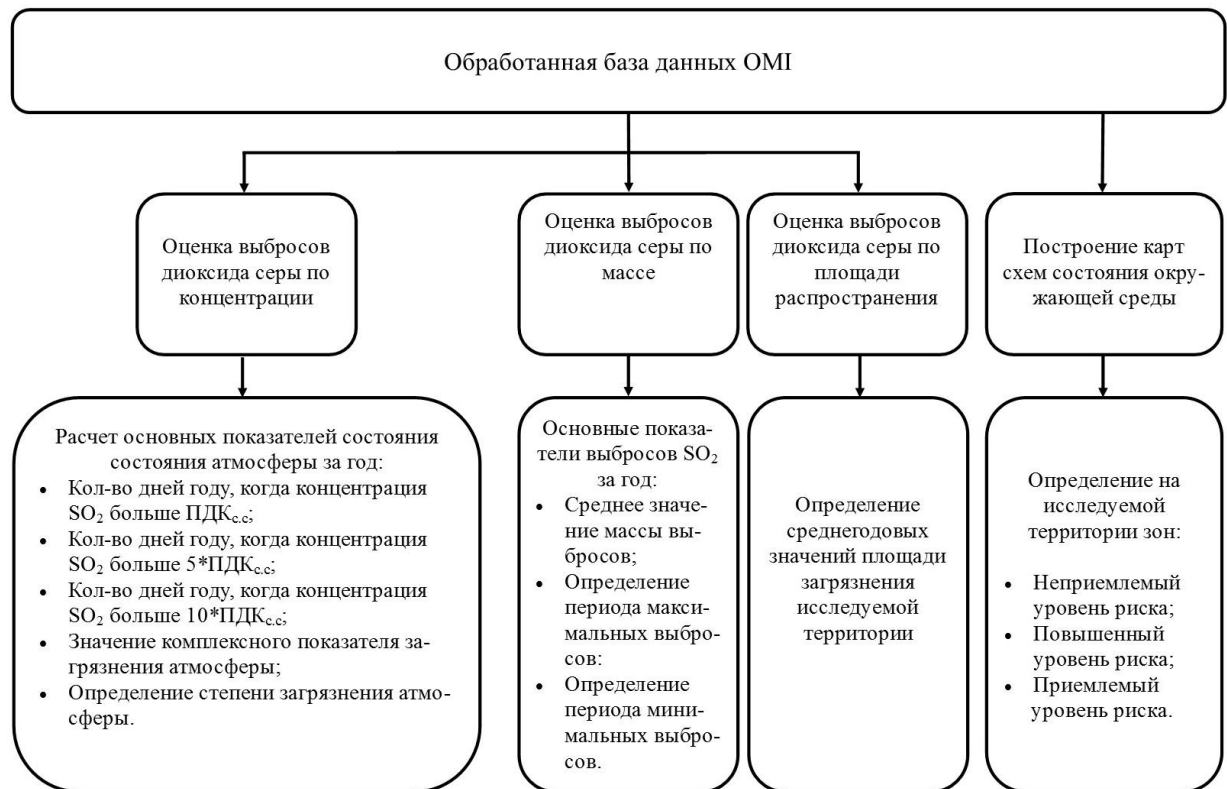


Рисунок 4.4 – Алгоритм анализа выбросов диоксида серы для исследуемой территории

Для оценки выбросов диоксида серы по концентрации осуществляется анализ сформированной базы данных спектрометра ОМІ по годам. Используется разработанное информационное приложение, позволяющее

рассчитать количество дней, когда концентрация SO_2 больше ПДК_{с.с.}, $5 \cdot \text{ПДК}_{\text{с.с.}}$ и $10 \cdot \text{ПДК}_{\text{с.с.}}$. Далее рассчитывается комплексный показатель загрязнения для гигиенической оценки степени опасности загрязнения атмосферы.

Для оценки выбросов диоксида серы по массе осуществляется анализ сформированной базы данных спектрометра ОМІ по годам. Для каждого года формируется таблица среднемесячных значений массы выбросов диоксида серы. Производится анализ каждого года по определению периода максимального, минимального объема выбросов SO_2 и среднего значения площади распространения загрязнителя. Затем оцениваются указанные периоды для всего срока наблюдения, что позволяет определить возможные причины данного явления.

Построение карт-схем состояния атмосферного воздуха исследуемой территории осуществляется с целью получения информации о здоровье населения и состоянии окружающей среды. Присутствие в атмосферном воздухе SO_2 создает определенный экологический риск. Рассматривается три степени экологического риска: приемлемый, повышенный и неприемлемый. В соответствии со степенью риска выделяются на исследуемой территории зоны приемлемого, повышенного и неприемлемого рисков.

Для построения карт-схем осуществляется анализ сформированной базы данных среднегодовых значений концентрации диоксида серы спектрометра ОМІ по годам. Вычисление значения среднегодовой концентрации осуществляются для каждого участка исследуемого региона. Регион, ограниченный координатами $68,85^\circ$ - $69,8^\circ$ с.ш. и $86,95^\circ$ - $89,5^\circ$ в.д., поделен на 16 участков в соответствии с рисунком 4.5.

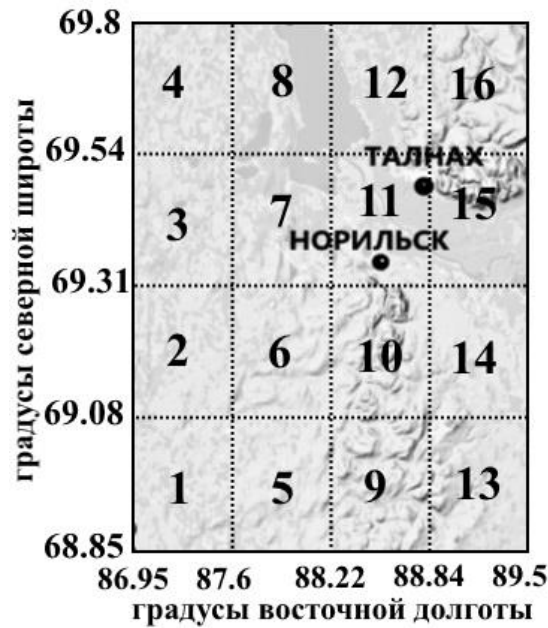


Рисунок 4.5 – Схема деление исследуемой территории на участки для расчета среднегодовых значений концентрации диоксида серы.

Построение карт-схем осуществляется в соответствии с таблицей 4.1, в соответствии с которой каждому участку исследуемой территории присваивается определенная степень экологического риска. Так для всего периода наблюдения.

Таблица 4.1 – Определение границ уровней экологического риска исследуемой территории

Уровень экологического риска	Уровень загрязнения атмосферы, е.Д.		
	Хвойный лес	Мелколиственный лес	Человек
Неприемлемый	$>0,5 \cdot \text{ПДК}_{\text{ч/с}}$	$>0,75 \cdot \text{ПДК}_{\text{ч/с}}$	$>\text{ПДК}_{\text{ч/с}}$
Повышенный	$0,5 \cdot \text{ПДК}_{\text{с/с}} \div 0,5 \cdot \text{ПДК}_{\text{ч/с}}$	$0,75 \cdot \text{ПДК}_{\text{с/с}} \div 0,75 \cdot \text{ПДК}_{\text{ч/с}}$	$\text{ПДК}_{\text{с/с}} \div \text{ПДК}_{\text{ч/с}}$
Приемлемый	$< 0,5 \cdot \text{ПДК}_{\text{с/с}}$	$< 0,75 \cdot \text{ПДК}_{\text{с/с}}$	$< \text{ПДК}_{\text{с/с}}$

$\text{ПДК}_{\text{с/с}}$ - максимальное значение концентрации загрязняющего веществ в атмосфере в течении суток; $\text{ПДК}_{\text{ч/с}}$ – концентрация в период чрезвычайной экологической ситуации: $\text{ПДК}_{\text{ч/с}} = 8 \cdot \text{ПДК}_{\text{с/с}}$.

На основании построенных карт-схем состояния атмосферного воздуха возможно оценить территориально распределение выбросов диоксида серы,

возможные источники выбросов и уровень воздействия загрязнителя на разные группы растительности и человека.

Выводы к главе

Представлены практические рекомендации по обработке массива данных NASA по выбросам диоксида серы и практические рекомендации оценки состояния атмосферы исследуемой территории. Предложена методика построения карт-схем экологических рисков уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами диоксида серы для северных территорий Красноярского края.

Основные научные результаты и выводы

В результате проведенных исследований разработан и применен спутниковый метод контроля выбросов диоксида серы для техногенных объектов северных территорий Красноярского края. Произведена экологическая оценка состояния атмосферного воздуха Норильской промышленной зоны. Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему.

1. Разработан метод контроля выбросов диоксида серы на основе спутниковых ежедневных данных NASA спектрометров OMI (космический аппарат AURA) и OMPS (космический аппарат SUOMI NPP) за 2005-2017 гг. Метод содержит два этапа. На первом: из общего массива исключаются отрицательные значения, данные, полученные при облачности более 30% и данные, полученные не на двух измерительных системах OMI и OMPS одновременно. Происходит формирование рабочей базы данных. На втором этапе проводится оценка состояния окружающей среды исследуемой территории по трем критериям: по концентрации, по массе и площади распространения выбросов диоксида серы. Осуществляется построение карт-схем состояния атмосферного воздуха.

На основе метода было разработано информационное приложение для обработки спутниковых данных (свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ №2018619947)

2. Проведено сопоставление данных о массе выбросов диоксида серы, полученных с использованием спутникового мониторинга и наземной системы контроля ПАО «ГМК «Норильский Никель». Установлено, что за 2005-2017 гг. среднегодовая масса по спутниковым методам составляет 1578,8 кт/год. По данным ПАО «ГМК «Норильский Никель» она равна 1830,2 кт/год. При сравнении этих чисел нужно учитывать, что в период полярной ночи спутниковые измерения не проводятся.

Сравнение данных по выбросам диоксида серы спектрометров OMI и OMPS показало, что данные высоко коррелированы (за 2013-2017 гг.

пространственная корреляция составляет $R=0,83$, временная корреляция $r = 0,79$). Прибор OMPS может использоваться для продолжения долгосрочной регистрации выбросов диоксида серы исследуемой территории, после остановки программы OMI.

3. На основе разработанного спутникового метода контроля впервые оценены концентрация, масса и площадь распространения выбросов диоксида серы в атмосфере северных территорий Красноярского края за 2005-2017 гг. Установлено, что среднегодовое значение концентрации диоксида серы Норильской промышленной зоны за 2005-2017 гг. на площади 19384 км² составляет около 0,11 мг/м³, что превышает предельную норму в 2,2 раза. Фактическое загрязнение атмосферного воздуха Норильской промышленной зоны, в соответствии с величиной показателя Р (руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89) характеризуется пред максимальной IV сильной степенью загрязнения, кроме 2011 и 2012 годов – III умеренная степень загрязнения. Наибольший вклад в общегодовой объем выбросов диоксида серы Норильской промышленной зоны за 2005-2017 гг. зафиксирован в январе – мае, ноябре (совокупная доля составляет 89% от общего объема выбросов). С июня по октябрь наблюдается заметное снижение массы выбросов диоксида серы в атмосферу (совокупная доля составляет 11% от общего объема выбросов). Количество дней в году, когда концентрация диоксида серы превышает ПДК_{с.с.} в пределах Норильской промышленной зоны ежегодно лежит в интервале от 148 до 182 дней за 2005-2017 гг. Построенные карты-схемы состояния атмосферного воздуха по выбросам диоксида серы Норильской промышленной зоны показали, что большая часть территории имеет повышенный уровень риска загрязнения (14564 км²), а вблизи и в г. Норильск зафиксирован неприемлемый уровень риска (3329 км²).

4. Разработаны практические рекомендации по применению спутникового метода контроля выбросов диоксида серы на примере Норильской промышленной зоны, включающие: технологию контроля выбросов диоксида

серы на основе спутниковых данных для исследуемой территории; технологию обработки массива данных NASA по выбросам диоксида серы; технологию оценки состояния окружающей среды исследуемой территории.

Список сокращений

- АЦП – аналого-цифрового преобразователь
- БИК – спектр инфракрасной ближней области
- МЭЛ – мобильная экологическая лаборатория
- НПЗ – Норильская промышленная зона
- ПДК – предельно допустимая концентрация
- УФ – ультрафиолетовый спектр
- ЦГМС – центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
- ATMS – Advanced Technology Microwave Sounders
- BR – Band Residual Difference algorithm
- CERES – Clouds and the Earth's Radiant Energy System
- CLD – Radiative Cloud Fraction
- Crls – Cross-track Infrared Sounder
- EOS – Earth Observing System
- HIRDLS - High-Resolution Dynamics Limb Sounder
- HIRDLS – High Resolution Dynamic Limb Sounder
- MFDOAS – Multifunction differential optical absorption spectroscopy
- MLS – Microwave Limb Sounder
- NASA – National Aeronautics and Space Administration
- OMI – Ozone Monitoring Instrument
- OMPS – Ozone Mapping Profiler Suite
- PCA – principal component analysis
- SNPP – Suomi National Polar-orbiting Partnership
- TES – Tropospheric Emission Spectrometer
- TOMS – Total Ozone Mapping Spectrometer
- VIIRS - Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации от 05.01.2016 г. № 7 «О проведении в Российской Федерации Года экологии» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kremlin.ru/acts/bank/40400>.

2. Распоряжение Губернатора Красноярского края "О внесении изменения в распоряжение Губернатора Красноярского края от 25.11.2013 № 556-рг "Об утверждении программы "Снижение негативного воздействия на окружающую среду предприятиями Красноярского края на 2014–2020 годы" / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon.krskstate.ru/doc/26264>.

3. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в 2016 году / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/online/detail.php?ID=343440>.

4. Действующая система мониторинга антропогенного воздействия на окружающую среду Заполярного филиала Открытого акционерного общества «Горно-металлургическая компания «Норильский никель» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rpn.gov.ru/sites/all/files/documents/obshestv_sovet/analit.doc.

5. Доклад компании Bellona: ОАО «ГМК«Норильский никель» (влияние на окружающую среду и здоровье людей) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://bellona.org/assets/sites/4/fil_nikel-report-bellona-2010-ru.pdf.

6. Корчакин, Д.В. Особенности мониторинга атмосферы крупного промышленного предприятия: дис. ... канд. геогр. наук: 04.06.18 / Корчагин Денис Владимирович. – Воронеж. – 2004. – 166с.

7. Белов, П.Н. Метеорологические аспекты охраны природной среды / Б.А. Семенченко, П.Н. Белов // Издательство Московского университета, 1984. – С. 95

8. Израэль, Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. / Ю.А. Израэль. – Л: Гидрометеиздат, 1979. – 376 с.

9. Никитич, Е.В. Состояние автоматизированной системы контроля загрязнения воздуха Москвы / Е.В. Никитич, И.М. Раткин // Сборник докладов V Международной научно-практической конференции "Проблемы управления качеством окружающей среды в России". – Москва, 2001. – С.36-38.

10. Ярыгин, Г.А. Организация производственного экологического мониторинга объектов газовой промышленности / Г.А. Ярыгин, В.М. Темкин, В.И. Равикович // Сборник докладов V Международной научно-практической конференции «Проблемы управления качеством окружающей среды в России». – Москва, 2001 – С.56–59.

11. Van den Hout, K.D. Air Quality Assessment Requirements under the New EU Air Quality Directives / K.D. Van den Hout // EURASAP SATURN-EURASAP Urban Air Quality Management Systems Proceedings of a SATURN-EURASAP Workshop Rhodes. – 2002. – P. 1–10.

12. Берлянд, М.Е. О моделировании загрязнения атмосферы в городах / М.Е. Берлянд // Труды ГТО. – Москва, 1979. – С. 3–16.

13. Берлянд, М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.

14. Буренин, Н.С. К изучению загрязнения городов промышленными выбросами / Н.С. Буренин, Б.Б. Горошко // Труды ГТО. – 1975. – С. 136–144.

15. Горошко, Б.Б. Основные принципы организации обследования загрязнения атмосферы в городах / Б.Б. Горошко, Т.А. Огнева // Труды ГТО. – 1976. – С. 123-135.

16. Янковский, И.А. К обобщению опыта работы постов наблюдений за химическим составом атмосферного воздуха городов / И.А. Янковский // Труды ГТО. – 1978. – С. 116-124.

17. Израэль, Ю.А. Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка изменения состояния окружающей природной среды. Основы мониторинга / Ю.А. Израэль // Метеорология и гидрология. – 1974. – №7. – С. 3–8.

18. Израэль, Ю.А. Осуществление системы мониторинга загрязнения природной среды / Ю.А. Израэль, Н.К. Гасилина, Ф.Я. Ровинский, Л.М. Филиппова. –Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 117 с.

19. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. / Ю.А. Израэль. – Л: Гидрометеиздат. – 1979. –376 с.

20. Корчагин, Д.В. Моделирование загрязнения атмосферы с учетом эффектов вымывания и самоочищения / Д.В. Корчагин // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. – 2003. –№2 – С.10-35.

21. Корчагин, Д.В. Оценка выбросов при экологическом моделировании / Д.В. Корчагин // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. – 2002. – №2. – С.35-45.

22. Корчагин, Д.В. Пути совершенствования математических моделей экологического мониторинга / Д.В. Корчагин // Современные проблемы информатизации в непромышленной сфере и экономике: Сборник трудов. Вып. 8. – Воронеж, 2003. – С.65-78.

23. Корчагин, Д.В. Система непрерывного контроля и учета выбросов / Д.В. Корчагин // Наша общая окружающая среда: Сборник тезисов докладов III научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Липецк, 2002. –С.98 –115.

24. Дубровский, С.А. Совершенствование математических моделей и реализация систем мониторинга атмосферного воздуха / С.А. Дубровский, Д.В. Корчагин // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. — Липецк, 2004. – №1. – С.65-98.

25. Косинова, И.И. Влияние метеорологических условий на накопление, перенос и рассеивание вредных веществ в компонентах геоэкологической системы Липецкого промрайона / И.И. Косинова, В.П. Закусилов, Д.В. Корчагин // Вестник ВГУ, Серия Геология. – Воронеж, 2003. – №2.

26. Косинова, И.И. Математическое моделирование пространственного распределения вредных веществ в атмосфере / И.И. Косинова, Д.В. Корчагин,

И.В. Петров // Совершенствование наземного обеспечения авиации. Экологическая безопасность и мониторинг. Материалы Всероссийской научно-практической конференции – Воронеж, 2003.

27. Косинова, И.И. Информационные системы как инструмент мониторинга компонентов природной среды / И.И. Косинова, Д.В. Корчагин, И.В. Петров // Совершенствование наземного обеспечения авиации. Экологическая безопасность и мониторинг. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж, 2003.

28. Кочуров, Б.И. География экологических ситуаций / Б.И. Кочуров // Изд. Уральского университета, 1977, – 132 с.

29. Кошкарев, А.В. Геоинформатика / А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов, А.М. Трофимов. – М.: «Картгеоцентр» – «Геодезиздат», 1993.

30. Кузнецов, Л.А. Система учета и прогноза выбросов в атмосферу в ходе технологического процесса / Л.А. Кузнецов, А.М. Корнеев, Д.В. Корчагин // Современные сложные системы управления СССу/HTCS'2002: Сборник трудов международной научно-технической конференции / Под ред. проф. Ю.И. Еременко. – Старый Оскол, 2002.

31. Куролап, Н.С. Медико-экологические аспекты оценки комфортности городской среды / Н.С. Куролап, Н.Т. Барвигенко // Геоэкологические проблемы устойчивого развития городской среды. — Воронеж, 1996.

32. Лайхтман, Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы / Д.Л. Лайхтман. – Л.: Гидрометеиздат, 1970.

33. ПАО «ГМК «Норильский никель» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nornickel.ru/company/profile>.

34. Яковлев, А. С., Плеханова И. О., Кудряшов С. В., Аймалетдинов Р. А. Оценка и нормирование экологического состояния почв в зоне деятельности предприятий металлургической компании «Норильский никель» // Факультет почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова.

35. Зиганшин, Р. А., Состояние лесных экосистем в зоне воздействия воздушных эмиссий Норильского горно-металлургического комбината / Р. А. Зиганшин, В. И. Воронин, Ю. М. Карбаинов // Сибирский лесной журнал. 2017. № 3. С. 47–59 Особенности биологической рекультивации в Норильском промышленном районе // Сибирский лесной журнал. – 2016. – № 2. – С. 92–101.

36. Куролап, Н.С. Медико-экологические аспекты оценки комфортности городской среды / Н.С. Куролап, Н.Т. Барвитенко // Геоэкологические проблемы устойчивого развития городской среды. — Воронеж, 1996.

37. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Красноярском крае в 2014 году» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://24.rospotrebnadzor.ru/documents/regional/GosDoklad>.

38. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Красноярском крае в 2015 году» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://24.rospotrebnadzor.ru/documents/regional/GosDoklad>.

39. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Красноярском крае в 2016 году» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://24.rospotrebnadzor.ru/documents/regional/GosDoklad>.

40. Ревич Б.А. Загрязнение окружающей среды химическими веществами и экологически обусловленные изменения состояния здоровья населения в городах России / [Электронный ресурс]. – URL: http://erh.ru/n_pub/n_pub01.php.

41. Писарева Л. Ф., Пешкова Е. А., Горячев С. М., Детцель А. Е. Особенности онкологической заболеваемости в Заполярье // Эпидемиология, профилактика и ранняя диагностика злокачественных новообразований. – Томск, 1987.

42. Писарева Л. Ф., Пешкова Е. А., Горячев С. М., Детцель А. Е. Особенности онкологической заболеваемости в Заполярье // Эпидемиология,

профилактика и ранняя диагностика злокачественных новообразований. – Томск, 1987.

43. Ревич Б. А. «Горячие точки» химического загрязнения окружающей среды и здоровье населения России / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://erh.ru/biblio/pdf/ns_book.pdf.

44. Янковская, Г. Ф. Репродуктивное здоровье женщин различных возрастных групп, проживающих в условиях Кольского Заполярья: дисс. ... канд. мед. наук: 14.00.01 / Янковская Галина Францевна. – Москва. – 2009. -169 с.

45. Действующая система мониторинга антропогенного воздействия на окружающую среду Заполярного филиала Открытого акционерного общества «Горно-металлургическая компания «Норильский никель» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rpn.gov.ru/sites/all/files/documents/obshestv_sovet/analit.doc.

46. Таймырский ЦГМС - филиал ФГБУ «Среднесибирское УГМС» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteo.krasnoyarsk.ru/pages/np/kray/norilsk/norilsk.htm>.

47. Тимофеев, Ю.М. Спутниковые методы исследования газового состава атмосферы / Ю.М. Тимофеев // Известия АН СССР Физика атмосферы и океана. – 1989 – Т. 25, № 5. – С. 451–472.

48. Reber, C. A. The Upper Atmosphere Research Satellite (UARS) / Reber C.A. // GRL. – 1993. – V. 20. – № 8. – P. 1215–1218.

49. Кондратьев, К.Я. Научный план системы EOS / К.Я. Кондратьев // Исслед. Земли из космоса. – 2000. – №3. – С. 82–91.

50. Кондратьев, К.Я. Метеорологическое зондирование атмосферы из космоса / Кондратьев К.Я., Тимофеев Ю.М. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 280 с.

51. Кондратьев, К.Я. Термическое зондирование атмосферы со спутников / Кондратьев К.Я., Тимофеев Ю.М. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 410 с.

52. Малкевич, М.С. Оптические исследования атмосферы со спутников / М.С. Малкевич. – М.: Наука, 1973. – 303 с.

53. Обзор: Известия АН СССР Физика атмосферы и океана. – 1989. – Т. 25. – № 5. – С. 451–472.

54. Кароль, И.Л. Газовые примеси в атмосфере / И.Л. Кароль, В.В. Розанов, Ю.М. Тимофеев. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 192 с.

55. Тимофеев, Ю.М. Малые газовые составляющие и их мониторинг. Возможности исследования природных ресурсов дистанционными методами. / Ю.М. Тимофеев. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. – С. 21–35.

56. Krueger, A. J. Satellite ozone measurements / A. J. Krueger, B. Guenther, A. J. Fleig // Phil. Trans. Roy. Soc. London. – 1980. – V. A296. – № 1. – P. 191–204.

57. Кароль, И.Л. Газовые примеси в атмосфере / И.Л. Кароль, В.В. Розанов, Ю.М. Тимофеев. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 192 с.

58. Описание спутника AURA. Официальный сайт NASA / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/a/aura#sensors>.

59. Официальный сайт NASA по глобальному мониторингу диоксида серы / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://SO2.umbc.edu/omi>.

60. Официальный сайт Королевского Метеорологического Института Нидерландов / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.knmi.nl>.

61. В.Б. Кашкин, Т.В. Рублева, Р.Г. Хлебопрос. «Стратосферный озон: вид с космической орбиты» – Красноярск: СФУ, 2015. – С.19-20.

62. Описание спутника SUOMI NPP / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/suomi-npp>.

63. База данных инструмента OMI для Норильской промышленной зоны / [Электронный ресурс]. – URL: https://avdc.gsfc.nasa.gov/pub/data/satellite/Aura/OMI/V03/L2OVP/OMSO2/aura_omi_l2ovp_omso2_v1.3.0_norilsk_999.txt.

64. Графическая база данных инструментов OMI и OMPS / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://so2.gsfc.nasa.gov/pix/daily/0413/norilsk_0413z.html.

65. Spinei, E. Validation of ozone monitoring instrument SO₂ measurements in the Okmok volcanic plume over Pullman, WA in July 2008 / E. Spinei, S.A. Carn, N.A. Krotkov, G.H. Mount, K. Yang, A.J. Krueger // *Geophys. Res.*, Okmok-Kasatochi Special Issue, 2008.

66. Krotkov, N. A. Validation of SO₂ retrievals from the Ozone Monitoring Instrument (OMI) over NE China / N. A. Krotkov, B. McClure, R. R. Dickerson, S. A. Carn, C. Li, P. K. Bhartia, K. Yang, A. J. Krueger, Z. Li, P. F. Levelt, H. Chen, P. Wang, D. Lu // *Geophys. Res.*, 2008.

67. Krotkov, N. A. Sulfur dioxide emissions from Peruvian copper smelters detected by the Ozone Monitoring Instrument / N. A. Krotkov, B. McClure, R. R. Dickerson // *Geophys. Res.*, 2007.

68. Krotkov, N. A. Hit from both sides: tracking industrial and volcanic plumes in Mexico City with surface measurements and OMI SO₂ retrievals during the MILAGRO field campaign / N. A. Krotkov, N. Bei, S. C. Herndon, L. G. Huey, A.P. Martinez, L. G. Ruiz-Suñez, E. C. Wood, M. Zavala, L. T Molina // *Atmos. Chem. Phys.*, 2009.

69. Dittman, M. G. Nadir ultraviolet imaging spectrometer for the NPOESS Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) / M. G. Dittman, E. Ramberg, M. Chrisp, J. V. Rodriguez, A. L. Sparks, N. H. Zaun, P. Hendershot, T. Dixon, R. H. Philbrick, D. Wasinger // *Earth Observing Systems*. – 2002. – P.111–119.

70. Duncan, B. N. Aspace-based, high-resolution view of notable changes in urban NO_x pollution around the world (2005–2014) / B. N. Duncan, L. N. Lamsal, A. M. Thompson, Y. Yoshida, Z. Lu, D. G. Streets, M. M. Hurwitz, K. E. Pickering // *J. Geophys. Res.* – 2016. – P.976–996.

71. Eisinger, M. Tropospheric sulfur dioxide observed by the ERS-2 GOME instrument / M. Eisinger, J. P. Burrows // *Geophys. Res. Lett.* – 1998. – P.4177–4180.

72. Faloon, I. Sulfur dioxide in the tropical marine boundary layer: dry deposition and heterogeneous oxidation observed during the Pacific Atmospheric Sulfur Experiment / I. Faloon, S. A. Conley, B. Blomquist, A. D. Clarke, V.

Kapustin, S. Howell, D. H. Lenschow, and A. R. Bandy // *J. Atmos. Chem.* – 2010. – P.13–32.

73. Fioletov, V. E. Application of OMI, SCIAMACHY, and GOME-2 satellite SO₂ retrievals for detection of large emission sources / V. E. Fioletov, C. McLinden, N. Krotkov, K. Yang, D. G. Loyola, P. Valks, N. Theys, M. Van Roozendael, C. R. Nowlan, K. Chance, X. Liu, C. Lee, R. V. Martin // *J. Geophys.*, 2013.

74. Fioletov, V. E. Lifetimes and emissions of SO₂ from point sources estimated from OMI / V. E. Fioletov, C. A. McLinden, N. Krotkov, C. Li // *Geophys. Res. Lett.* – 2015. – P.1969–1976.

75. A global catalogue of large SO₂ sources and emissions derived from the Ozone Monitoring Instrument / V. E. Fioletov, C. A. McLinden, N. Krotkov, C. Li, J. Joiner, N. Theys, S. Carn, M. D. Moran // *Atmos. Chem. Phys.* – 2016. – P.497–519.

76. Flynn, L. Performance of the Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) products / L. Flynn, C. Long, X. Wu, Evans, C. T. Beck, I. Petropavlovskikh, McConville, W. Yu, Z. Zhang, J. Niu, E. Beach // *Geophys. Res.*, 2014.

77. Krotkov, N. A. New-generation NASA Aura Ozone Monitoring Instrument (OMI) volcanic SO₂ dataset: algorithm description, initial results, and continuation with the Suomi-NPP Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) / C. Li, N. Krotkov, S. Carn, Y. Zhang, R. J. Spurr, J. Joiner // *Atmos. Meas. Tech.* – 2017. – P.445–458.

78. Li, C. A fast and sensitive new satellite SO₂ retrieval algorithm based on principal component analysis: Application to the ozone monitoring instrument / C. Li, J. Joiner, N. A. Krotkov, P. K. Bhartia // *Geophys. Res.*, 2013.

79. Krotkov, N. A. Band residual difference algorithm for retrieval of SO₂ from the Aura Ozone Monitoring Instrument (OMI) / N. A. Krotkov, S. A. Carn, A. J. Krueger, P. K. Bhartia, K. Yang // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* – 2006. – P.1259–1266.

80. Krotkov, N. A. Validation of SO₂ retrievals from the Ozone Monitoring Instrument (OMI) over NE China / N. A. Krotkov, B. R. McClure, S. A. Dickerson, C. Carn, // *J. Geophys. Res.*, 2007.

81. Sawyer, G.M. Investigation into magma degassing at Nyiragongo volcano / S.A. Carn, C. Oppenheimer, V.I. Tsanez, M. Burton // *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 2008.

82. Dickerson, R.R. Aircraft observations of dust and pollutants over NE China: Insight into meteorological mechanisms of long-range transport / R.R. Dickerson, C. Li, Z. Li, L.T. Marufu, J.W. Stehr, B. McClure, N. Krotkov, H. Chen, P. Wang, X. Xia, X. Ban, F. Gong, J. Yuan, J. Yang // *J. Geophys. Res.*, 2008.

83. Prata, A.J. Long range transport and fate of a stratospheric volcanic cloud from Soufriere Hills volcano / A. J. Prata, S.A. Carn, A. Stohl, J. Kerkmann, // *Atmos. Chem. Phys.*, 2008.

84. Extended observations of volcanic SO₂ and sulfate aerosol in the stratosphere / S.A. Carn, N.A. Krotkov, K. Yang, R.M. Hoff, A.J. Prata, A.J. Krueger, S.C. Loughlin, P.F. Levelt // *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 2007.

85. Yang, K. Retrieval of large volcanic SO₂ columns from the Aura Ozone Monitoring Instrument: Comparison and limitations / K. Yang, N. A. Krotkov, A. J. Krueger, S. A. Carn, P. K. Bhartia, and P. F. Levelt, // *J. Geophys. Res.*, 2007.

86. Sulfur dioxide emissions from Peruvian copper smelters detected by the Ozone Monitoring Instrument / S. A. Carn, A. J. Krueger, N. A. Krotkov, K. Yang // *J. Geophys. Res. Lett.*, 2007.

87. Krotkov, N. A. Band residual difference algorithm for retrieval of SO₂ from the Aura Ozone Monitoring Instrument (OMI) / N. A. Krotkov, S. A. Carn, A. J. Krueger, P. K. Bhartia, K. Yang // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, AURA Special Issue.* – 2006. – P.1259–1266.

88. Bluth, G.J. Stratospheric loading of sulfur from explosive volcanic eruptions / G.J. Bluth, W.I. Rose, I.E. Sprod, A.J. Krueger // *Journal of Geology*, 1997.

89. Schnetzler, C.C. A proposed volcanic sulfur dioxide index (VSI) / C.C. Schnetzler, G.J.S. Bluth, A.J. Krueger, L.S. Walter // *J. of Geophysical Research*, 2009.

90. Krueger, A.J. The December 1981 eruption of Nyamuragira Volcano (Zaire) / A.J. Krueger, C.C. Schnetzler, L.S. Walter // *Journal of Geophysical Research*. –1996. – P.191 – 196.

91. Shannon, J.M. 3-D reconstruction of the Mt. Spurr volcanic clouds using AVHRR, TOMS, and wind trajectory data / J.M. Shannon, M.S. Thesis // Michigan Technological University, 1996.

92. Shocker, H.L. Evolution of volcanic clouds from the 1993 Lascar, Chile eruption / H.L. Shocker, M.S. Thesis // Michigan Technological University. –1996. – 67 pp.

93. Pyle, D.M. Sulphur emissions to the stratosphere from explosive volcanic eruptions / D.M. Pyle, P. D. Beattie, G.J.S. Bluth // *Bulletin of Volcanology*. – 1996. – P.663-671.

94. Bluth, G.J.S. Explosive SO₂ emissions from the 1992 eruptions of Mount Spurr, Alaska / G.J.S. Bluth, C.J. Scott, I.E. Sprod, C.C. Schnetzler, A.J. Krueger, and L.S. Walter // *US Geological Survey Bulletin*. –1995. – P.37–45.

95. Krueger, A.J. Volcanic sulfur dioxide measurements from the Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Instruments / A.J. Krueger, L.S. Walter, P.K. Bhartia, C.C. Schnetzler, N.A. Krotkov, I. Sprod, and G.J.S. Bluth // *Journal of Geophysical Research*. – 1996. – P.57 – 76.

96. Rose, W.I. Ice in the 1994 Rabaul eruption cloud: implications for volcano hazard and atmospheric effects / W.I. Rose, D.J. Delene, D.J. Schneider, G.J.S. Bluth, A.J. Krueger, I. Sprod, C. McKee, H.L. Davies, G.G.J. Ernst // *Nature*. –1996. – P.477 – 479.

97. Schnetzler, C.C. Comment on the paper "The Atmospheric SO₂ Budget for Pinatubo Derived from NOAA-11 SBUV/2 Spectral Data" by R.D.McPeters / C.C. Schnetzler, A.J. Krueger, G.S. Bluth, I.E. Sprod, L.S.Walter // *Geophysical Research Letters*. – 1996. – P.315-316.

98. Krueger, A.J. Volcanic hazard detection with TOMS / A.J. Krueger, L.S. Walter, C.C. Schnetzler, S.D. Doiron, G. Bluth // First International Symposium on Volcanic Ash and Aviation Safety. – 1991. – P.367–372.

99. Symonds, R.B. Volcanic-gas studies: Methods, results, and applications / R.B. Symonds, W.I. Rose, T.M. Gerlach // Reviews in Mineralogy. –1996. – P.1–60.

100. Bluth, G.J.S. Evaluation of sulfur dioxide emissions from explosive volcanism: the 1982-1983 eruptions of Galunggung / G.J.S. Bluth, T.J. Casadevall, C.C. Schnetzler, S.D. Doiron, L.S. Walter, A.J. Krueger, and M. Badruddin // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 1994. – P.243 – 256.

101. Schnetzler, C.C. Satellite measurements of sulfur dioxide from the Redoubt eruptions of 1989-1990 / C.C. Schnetzler, S.D. Doiron, L.S. Walter, A.J. Krueger // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 1994. – P.353 – 357.

102. Bluth, G.J.S. The contribution of explosive volcanism to global atmospheric sulphur dioxide concentrations / G.J.S. Bluth, C.C. Schnetzler, A.J. Krueger, L.S. Walter // Nature. – 1994. – P. 327 – 329.

103. Schoeberl, M.R. A simulation of the Cerro Hudson SO₂ cloud / M.R. Schoeberl, S.D. Doiron, L.R. Lait, P.A. Newman, A.J. Krueger // Journal of Geophysical Research. –1994. – P.2949 – 2955.

104. Bluth, G.J.S. Global tracking of the SO₂ clouds from the June 1991 Mount Pinatubo eruptions / G.J.S. Bluth, S.D. Doiron, A.J. Krueger, L.S. Walter, C.C. Schnetzler // Geophysical Research Letters. –1994. – P.151 – 154.

105. Krueger, A.J. TOMS measurement of the sulfur dioxide emitted during the 1985 Nevado del Ruiz eruptions / A.J. Krueger, L.S. Walter, C.C. Schnetzler, S.D. Doiron // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 1994. – P. 7 – 15.

106. Krueger, A.J. Sighting of El Chichon sulfur dioxide clouds with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer / A.J. Krueger // Science. –1993. – P. 1377 – 1378.

107. Воробьев, Ю. Л. Катастрофы и человек / Ю. Л. Воробьев. – М.: АСТ-ЛТД, 1997. – 256 с.
108. Измалков, В. И. Техногенная и экологическая безопасность и управление риском / А. В. Измалков, В. И. Измалков. – С.-Петербург: НИЦЭБ РАН, 1998.
109. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности. Красноярский край. – М.: МГФ «Знание», 2001. С. 520– 576.
110. Кашкин, В.Б., Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – М.Логос. 2001. – 73с.
111. Полищук, Ю.М. Методические вопросы картографирования зон экологического риска воздействия нефтедобычи на растительный покров / Ю.М. Полищук, О.С. Токарева // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – №1. – С. 166 – 169.
112. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Методика Министерства природных ресурсов РФ от 30 ноября 1992 г. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lawrussia.ru/bigtexts/law_4008/index.htm.
113. Коплан-Дикс, М.В. К вопросу разработки экологических нормативов качества атмосферного воздуха [Электронный ресурс] / М.В. Коплан-Дикс, В.А. Алехова. – 2009. – Режим доступа: <https://distant.msu.ru/mod/resource/view.php?id=14264>.
114. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Методика Министерства природных ресурсов РФ от 30 ноября 1992 г. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lawrussia.ru/bigtexts/law_4008/index.htm.

115. **Зуев, Д.В.** Анализ данных космического мониторинга атмосферы на кластерной вычислительной установке / В.Б. Кашкин, К.В. Симонов, **Д.В. Зуев** // Инженерная экология, 2012. – № 3. – С. 46–56.
116. **Зуев, Д.В.** Оценка состояния экосистемы на основе данных дистанционного зондирования / В.Б. Кашкин, К.В. Симонов, **Д.В. Зуев** // Вестник СибГАУ, 2012. – № 6. – С. 73–77.
117. **Зуев, Д.В.** Анализ выбросов диоксида серы по данным инструмента OMI (спутник AURA) для Норильской промышленной зоны / В.Б. Кашкин, **Д.В. Зуев** // Оптика атмосферы и океана, 2013. – №9. – С. 793–797.
118. **Зуев, Д.В.** Использование спутниковых методов мониторинга для оценки экологического состояния северных территорий Красноярского края / **Д.В. Зуев**, В.Б. Кашкин, К.В. Симонов // Успехи современного естествознания, 2018. – № 2 – С. 86–92.
119. **Зуев, Д.В.** Спутниковые методы мониторинга экологической обстановки крупных промышленных / Ф.П. Капсаргин, В.Б. Кашкин, К.В. Симонов, **Д.В. Зуев**. // Материалы I конгресса урологов Сибири «Актуальные вопросы диагностики, лечения и реабилитации урологических больных». – Кемерово, 2012. – С. 29–33.
120. **Зуев, Д.В.** Обработка данных по выбросам диоксида серы в атмосферу / В.Б. Кашкин, К.В. Симонов, **Д.В. Зуев**. // Материалы Международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2012. – Иркутск, 2012. – С. 63–65.
121. **Зуев, Д.В.** Обработка данных атмосферы на кластерной вычислительной установке / В.Б. Кашкин, К.В. Симонов, **Д.В. Зуев**. // Материалы XI Всероссийская научно-техническая конференция «Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий». – Улан-Удэ: ФГБОУ ВПО «Восточно – Сибирский государственный университет технологий и управления», 2012. – С. 51–55.

122. **Зуев, Д.В.** Информационная поддержка оценки состояния экосистемы на основе данных дистанционного зондирования / В.Б. Кашкин, К.В. Симонов, **Д.В. Зуев.** // Материалы III международной научно-технической конференции «Технологии разработки информационных систем». – Таганрог: Южный федеральный университет, 2012. – С.15–18.

123. **Зуев, Д.В.** Современные средства экологического мониторинга атмосферы урбанизированной территории / В.Б. Кашкин, К.В. Симонов, **Д.В. Зуев.** // Материалы XVI Всероссийского симпозиума с международным участием сложные системы в экстремальных условиях. – Красноярск: ФГБУН «КНЦ», ФГАОУ ВПО «СФУ», 2012. – С.41–43.

124. **Зуев, Д.В.** Контроль выбросов в атмосферу диоксида серы на основе спутниковых методов мониторинга / В.Б. Кашкин, К.В. Симонов, **Д.В. Зуев.** // Материалы 15-го Всероссийского семинара «Моделирование неравновесных систем». – Красноярск: ИВМ СО РАН, СФУ, 2012. – С.22–23.

125. **Зуев, Д.В.** Оценка риска загрязнения окружающей среды по данным космического мониторинга атмосферы / В.Б. Кашкин, К.В. Симонов, **Д.В. Зуев.** // Материалы IV Всероссийской конференции «Безопасность и живучесть технических систем». – Красноярск: КНЦ СО РАН, 2012. – С.45–47.

126. **Зуев, Д.В.** Анализ риска загрязнения окружающей среды по данным космического мониторинга атмосферы / В.Б. Кашкин, К.В. Симонов, **Д.В. Зуев.** // Материалы научно-практического семинара «Мониторинг прогнозирование и моделирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций». – Железногорск: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2012. – С. 80–88.

127. **Зуев, Д.В.** Информационная поддержка оценки состояния экосистемы на основе данных инструмента ОМІ / В.Б. Кашкин, **Д.В. Зуев.** // Материалы IV Международной научно-технической конференции «Технологии разработки информационных систем». – Таганрог: Южный федеральный университет, 2013. – С. 29–32.

Приложение А

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2018619947

Информационное приложение по обработке спутниковых данных

Правообладатель: *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (ФГАОУ ВО СФУ) (RU)*

Автор: *Зуев Дмитрий Владимирович (RU)*

Заявка № **2018617646**
Дата поступления **18 июля 2018 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **15 августа 2018 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

Приложение Б

Акт внедрения результатов диссертации в производственный процесс



Юридический адрес: 662520 Красноярский край,
Березовский район, п.г.т. Березовка,
ул. Дружбы, д. 41, пом. 7.
телефон/факс (391) 2-533-633
www.ecoresurs24.ru, e-mail: info@ecoresurs24.ru
ОКПО 18002784, ОГРН 1022402667979
ИНН/КПП 2466097760/240401001

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящий акт составлен о том, что результаты научной работы Зуева Дмитрия Владимировича, представленные в диссертации «Спутниковый мониторинг выбросов диоксида серы техногенных объектов северных территорий Красноярского края» внедрены в производственный процесс ООО «Экоресурс». Благодаря использованию предложенных Зуевым Д.В. оригинальных алгоритмов и методов была усовершенствована система контроля за выбросами загрязняющих веществ в атмосферу.

Генеральный директор

А.С. Лейком



Приложение Г**Акт внедрения результатов диссертации в научно-исследовательскую работу**

УТВЕРЖДАЮ



Директор
Института вычислительного
моделирования СО РАН
В.М. Садовский
_____ 2018 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящий акт подтверждает, что результаты работы Зуева Дмитрия Владимировича, представленные в диссертации «Спутниковый мониторинг выбросов диоксида серы техногенных объектов северных территорий Красноярского края», использовались при научно-исследовательской работе Института вычислительного моделирования СО РАН на основе базы данных по выбросам диоксида серы, сформированной автором, а также разработанного им алгоритмического и информационного обеспечения.

Ведущий научный сотрудник
Института вычислительного моделирования СО РАН
доктор техн. наук

К.В. Симонов

15 октября 2018 г.