

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук

подпись

« _____ » _____ 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.02 - Информационные системы и технологии

Оценка выбросов диоксида серы по спутниковым данным

Руководитель _____
подпись, дата

профессор, д.т.н. В.Б. Кашкин

Выпускник _____
подпись, дата

В.А. Авдеенко

Нормоконтролер _____
подпись, дата

Е.В. Федотова

Красноярск 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Описание исследуемых территорий.....	5
1.1 Территория Норильска.....	5
1.2 Территория Восточного Китая.....	7
1.3 Территория полуострова Камчатки.....	9
2 Описание диоксида серы и используемых данных ДЗ.....	10
2.1 Диоксид серы SO ₂	10
2.2 Данные ОМІ спутника Aura	12
3 Сбор и анализ спутниковых данных	14
3.1 Оценка выбросов SO ₂ на территории Норильска	14
3.2 Оценка выбросов SO ₂ на территории Восточного Китая.....	23
3.3 Оценка выбросов SO ₂ на территории Камчатки	29
4 Сравнение результатов мониторинга SO ₂ на исследуемых территориях.....	37
Заключение	40
Список используемых источников.....	41
Приложение А. Таблица суточной массы и площади выбросов диоксида серы на территории Норильска за март 2014 года.....	42
Приложение Б. Таблица массы выбросов диоксида серы в кг на исследуемых территориях за 2014 и 2015 год.....	44

ВВЕДЕНИЕ

В основе бакалаврской работы лежат актуальные научные задачи проведения анализа различных данных, полученных спутниковыми методами зондирования обширной территории исследования.

В России охрана атмосферного воздуха регулируется Федеральным законом РФ «Об охране атмосферного воздуха» (2013 г.), которым установлены правовые основы охраны атмосферного воздуха. Кроме этого, устанавливаются нормы качества воздуха в виде предельно допустимых концентраций (ПДК) на определенный период времени.

Следует отметить, что в разных странах ПДК выбросов диоксида серы различны. Например, в Финляндии содержание диоксида серы в воздухе не должно превышать $0,25 \text{ мг/м}^3$ в течение 24-х часов. Считается, что данный предел не может быть превышен более трех раз в течение года. Это соответствует нормам, установленным директивой Евросоюза 96/62/ЕС8 о качестве воздуха и последующей директивой ЕС 1999/30/ЕС9 о предельных допусках загрязняющих веществ в атмосфере, безопасных для здоровья человека. Кроме того, в странах ЕС для экосистемы определены безопасные границы содержания диоксида серы, которые должны быть не более $0,02 \text{ мг/м}^3$ в среднем за один календарный год и одну зиму (1 октября – 31 марта).

В Норвегии, которая не является членом Евросоюза, предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ определяются также в соответствии с европейскими директивами и национальным законодательством. Уровень среднесуточных выбросов в Норвегии установлен $0,09 \text{ мг/м}^3$. В Российской Федерации нормативы предельно допустимой концентрации выбросов разрабатываются и утверждаются органами санитарно-эпидемиологической службы и государственными органами в области охраны окружающей среды. Среднесуточное ПДК по диоксиду серы в РФ составляет $0,05 \text{ мг/м}^3$ [1].

Цель работы: провести сравнительный анализ выбросов диоксида серы на территориях Норильска, Восточного Китая и Камчатки по данным космической съемки.

Задачи:

- разработать методику оценки выбросов диоксида серы;
- оценить массы и площади выбросов диоксида серы на территории Норильской промышленной зоны, на территории Восточного Китая и на Камчатке;
- сравнить выбросы диоксида серы в Норильской промышленной зоне, на территории Восточного Китая, и на Камчатке.

1 Описание исследуемых территорий

1.1 Территория Норильска

Для оценки выбросов диоксида серы выбрана прямоугольная область с площадью 1125216 км² (рис.1). Координаты вершин прямоугольника:

- первая вершина — 75° 0'0.00" с.ш., 72°30'0.00" в.д.;
- вторая вершина — 75° 0'0.00" с.ш., 100° 0'0.00" в.д.;
- третья вершина — 65° 0'0.00" с.ш., 100° 0'0.00" в.д.;
- четвертая вершина — 65° 0'0.00" с.ш., 72°30'0.00" в.д.



Рисунок 1 – Выбранная область территории Норильской промышленной зоны

Норильск — город краевого подчинения Красноярского края. Административный центр городского округа город Норильск. Расположен на севере края к югу от Таймырского полуострова, примерно в 90 км к востоку от

Енисей. Норильск — самый северный в мире город с постоянным населением более 150 000 жителей и территорией 4509 кв. км.

Климат субарктический, резко континентальный. 2/3 года среднемесячные температуры воздуха отрицательные. Безморозны только июль и август. Особенность зимы - сочетание низких температур и сильного шквального ветра (мороз до -56С). В декабре-январе – полярная ночь, в мае-июне – полярный день. Весь период сумеречных, белых и солнечных ночей длится полгода.

Один из самых экологически загрязнённых городов в мире. Экологическая опасность для населения города и прилегающих к нему районов обуславливается тем, что город является «производной» одного из крупнейших в мире горнодобывающего и, одновременно, металлопроизводящего комбината (так называемый «градообразующий комплекс»). Аналогов Норильского промышленного района (включая город) нигде в мире больше не имеется.

В результате действий подразделений Заполярного филиала ОАО «ГМК «Норильский Никель» в атмосферный воздух поступает 57 загрязняющих веществ, из 8 – первого класса опасности (0,003% от суммарных валовых выбросов), 11 – второго класса опасности (3,37% от суммарных выбросов), остальные вредные вещества относятся к более низким классам опасности. По данным наземной системы мониторинга комбината отмечено превышение нормативного качества воздуха в жилых зонах по шести загрязняющим веществам:

- оксид меди;
- оксид никеля;
- свинец и его неорганические соединения;
- диоксид селена, диоксид серы;
- неорганическая пыль с содержанием диоксида кремния 70-20%.

Основным загрязняющим веществом третьего класса опасности является диоксид серы, который составляет примерно 96% от всех выбросов Заполярного филиала. Никелевый завод, медный завод и Надеждинский

металлургический завод вносят наибольший вклад в валовой выброс диоксида серы в атмосферный воздух.

Из данной экологической ситуации жители города систематически жалуются на затруднения дыхания, вызываемые ядовитым запахом в воздухе. На время приезда делегаций заводы уменьшают выбросы с помощью включения сложных и дорогостоящих систем фильтраций. Среди населения города значительно повышены показатели по аллергии, бронхиальной астме, порокам развития сердечнососудистой системы, органов дыхания и пищеварения, болезни крови, расстройства психики, в том числе и среди детей. По независимым данным, онкологические заболевания развиваются у жителей Норильска в 2 раза чаще, чем в среднем по России [2].

1.2 Территория Восточного Китая

Для оценки выбросов диоксида серы выбрана прямоугольная область с площадью 9088232 км² (рис. 2). Координаты вершин прямоугольника:

- первая вершина — 45° 0'0.00" с.ш., 100° 0'0.00" в.д.;
- вторая вершина — 45°0'0.00" с.ш., 135° 0'0.00" в.д.;
- третья вершина — 20° 0'0.00" с.ш., 135° 0'0.00" в.д.;
- четвертая вершина — 20° 0'0.00" с.ш., 100° 0'0.00" в.д..

Восточный Китай — географическая область, которая охватывает восточную прибрежную зону Китая. Она определяется правительством КНР для включения провинций (в алфавитном порядке): Аньхой, Фуцзянь, Цзянсу, Цзянси, Шаньдун и Чжэцзян, а также муниципалитет в Шанхае.

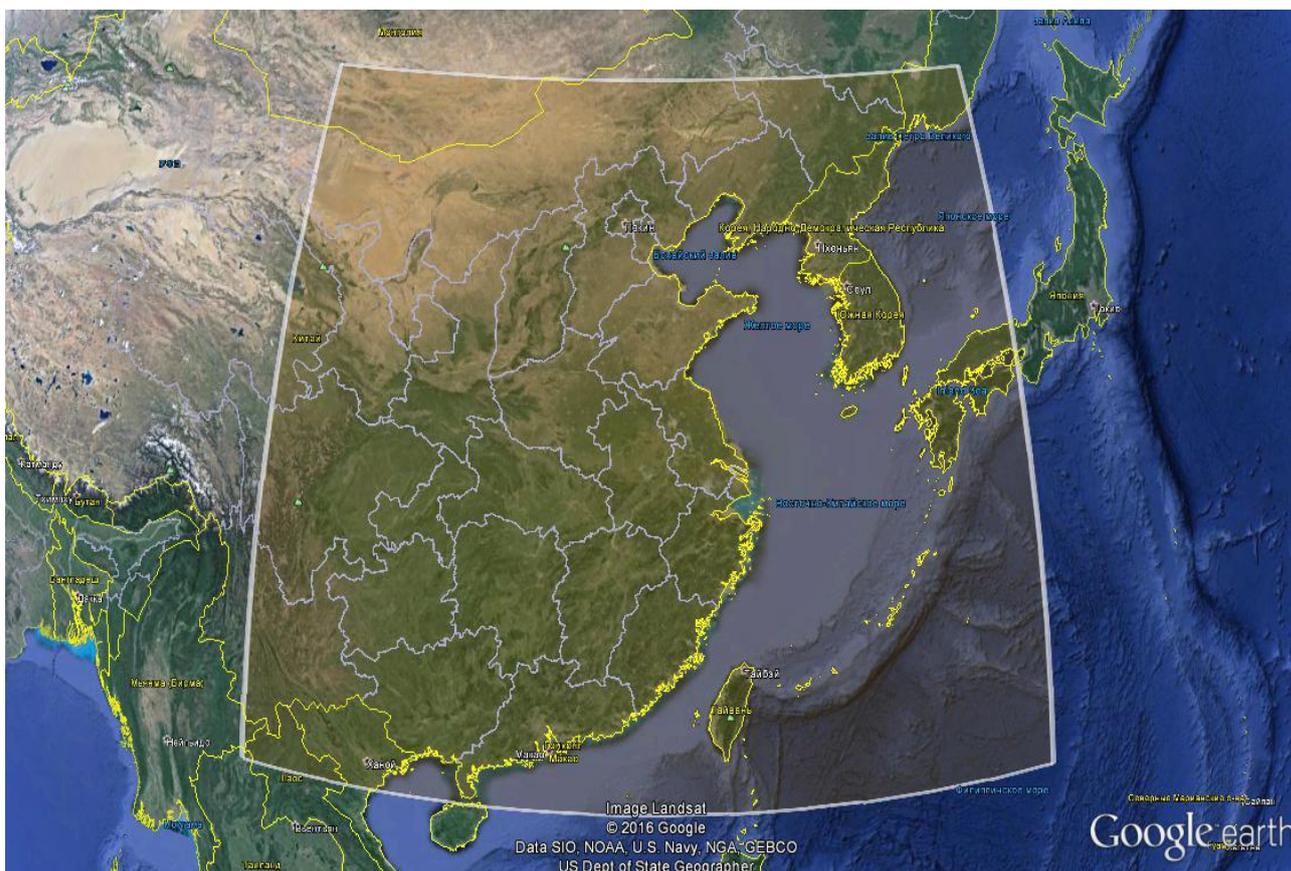


Рисунок 2 – Выбранная область территории Восточного Китая

Промышленность Китая — промышленный потенциал Китайской Народной Республики, приносит около 46,6 % ВВП страны. Китай в начале XXI века является первой мировой индустриальной сверхдержавой по объёмам промышленного производства, а также космической и ядерной державой.

Большая часть китайских фабрик и китайских заводов расположена в основных индустриальных центрах страны, и сосредоточена в основном в восточных и приморских провинциях: Ляонине, Шаньдуне, Гуандуне, Цзянси, Чжэцзяне, Фуцзяне, Аньхое, Цзянси и др., а также в Шанхае, Тяньцзине, Чунцине и Гонгконге [3].

Инструмент ОМІ фиксирует количество выбросов диоксида серы со стороны промышленных предприятий городов Хэфэй, Шанхай, Уси, Лин Ян, а так же уезда Саньхэ городского округа Ланфан.

1.3 Территория Камчатки

Для оценки выбросов диоксида серы выбрана прямоугольная область с площадью 3444526 км² (рис.3). Координаты вершин прямоугольника:

- первая вершина — 60° 0'0.00" с.ш., 145° 0'0.00" в.д.;
- вторая вершина — 60° 0'0.00" с.ш., 170° 0'0.00" в.д.;
- третья вершина — 42° 0'0.00" с.ш., 170° 0'0.00" в.д.;
- четвертая вершина — 42° 0'0.00" с.ш., 145° 0'0.00" в.д..

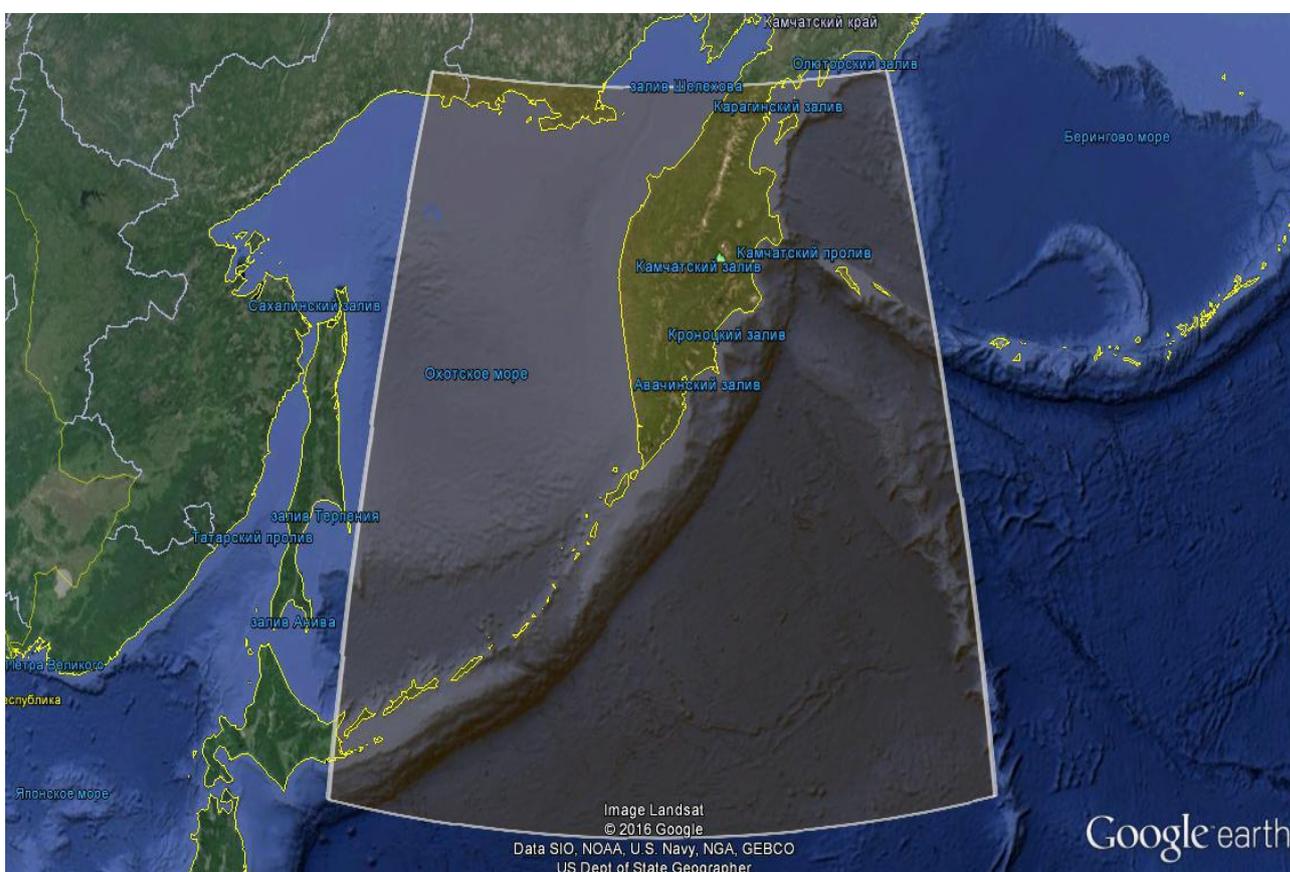


Рисунок 3 – Выбранная область территории Камчатки

Камчатский край расположен на северо-востоке России. Занимает территорию полуострова Камчатка, прилегающую к северу от полуострова часть материка, а также остров Карагинский и Командорские острова (Беринга и Медный). Омывается с запада водами Охотского моря, с востока — водами Тихого океана и его Берингова моря. Площадь территории Камчатского края —

472,3 тысячи квадратных километров. Протяженность Камчатского края с юга на север составляет 1200 километров [4].

Активность вулканов является одной из причин мелких подземных толчков, происходящих в непосредственной близости от вулкана или на нём самом. Во время извержения вулканов в атмосферу выбрасываются вулканический пепел, вулканический шлак и вулканические бомбы — сгустки расплавленных горных пород, а также большое количество разнообразных газов и водяной пар [5].

Всего на Камчатке насчитывается больше 300 вулканов. К активным и потенциально активным вулканам относят от 28 до 36, количество зависит от применяемых классификационных признаков, и от числа активизировавшихся вулканов, которые ранее считались потухшими. Крупнейшие действующие вулканы на полуострове — Шивелуч, Ключевская, Ичинская, Корякская, Авачинская, Карымская и Кроноцкая сопки [6].

2 Описание диоксида серы и используемых данных ДЗ

2.1 Диоксид серы SO₂

В нормальных условиях диоксид серы – бесцветный газ с характерным резким запахом (запах загорающейся спички). Растворимость газа в воде – достаточно велика. Диоксид серы – реакционно-способен, из-за химических превращений время его жизни в атмосфере – невелико (порядка нескольких часов). В связи с этим возможности загрязнения и опасность воздействия непосредственно диоксида серы носят локальный, а в отдельных случаях – региональный характер.

Сернистый газ – это неустойчивое соединение, сера в этом соединении находится в четырехвалентной форме и сохраняется в таком состоянии в атмосфере от нескольких часов до нескольких суток. Соединения четырехвалентной серы губительны для зеленой растительности, особенно для хвойных пород.

Соединения серы по отрицательному воздействию на окружающую среду занимают одно из первых мест среди загрязняющих веществ. Около 96% серы поступает в атмосферу в виде SO_2 , остальное количество приходится на долю сульфатов, H_2S , CS_2 , COS и других соединений.

Наличие в атмосфере высоких концентраций SO_2 уже через несколько часов может вызвать серьезное повреждение листьев, локализованные разрушения ткани (некрозы), а у чувствительных растений хронические повреждения могут возникнуть уже при минимальной концентрации [7].

К природным (естественным) источникам диоксида серы относят вулканы, лесные пожары, морская пена и микробиологические превращения серосодержащих соединений. Выделяющийся в атмосферу диоксид серы может связываться известью, в результате чего в воздухе поддерживается его постоянная концентрация около 1 млн-1. Диоксид серы антропогенного происхождения образуется при сгорании угля и нефти, в металлургических производствах, при переработке содержащих серу руд (сульфиды), при различных химических технологических процессах. Большая часть антропогенных выбросов диоксида серы (около 87%) связана с энергетикой и металлургической промышленностью. Общее количество антропогенного диоксида серы, выбрасываемое за год, превышает его естественное образование в 20-30 раз. Ежегодное поступление сернистого газа в атмосферу только вследствие промышленных выбросов оценивается почти в 150 млн. т.

Время пребывания диоксида серы в атмосфере в среднем исчисляется двумя неделями. Этого времени мало для того, чтобы газ мог распространиться в глобальном масштабе. Поэтому, в соседних географических районах, где осуществляются как большие, так и умеренные выбросы диоксида серы, в атмосфере может наблюдаться большое различие концентраций диоксида серы. Легкорастворимый в воде, образующий кислоту газ, может разноситься мощными потоками воздуха на сотни километров (до 1500 км). При этом в облаках идет реакция образования кислот и возможно выпадение кислотных дождей. Атмосфера очищается, главным образом, при вымывании кислых газов

водой и снегом, а также при их «сухом» осаждении, т.е. в виде самого газа или адсорбированного на мельчайших частицах пыли. Кроме того, диоксид серы растворяется в мельчайших капельках тумана, которые после осаждения также относят к сухой части загрязнений.

Сухая часть загрязнений обычно выпадает либо в непосредственной близости от источника выбросов, либо на незначительном удалении от него. При длительном переносе воздухом в основном выпадает связанная водой часть выбросов.

Мониторинг содержания SO₂ в атмосфере позволяет судить об энергии вулканического извержения в целом и отдельных его этапов. Мощные эмиссии SO₂ могут приводить к возникновению кислотных дождей и климатическим изменениям. Так, например, в результате извержения вулкана Пинатубо на Филиппинах в 1991 г. в атмосферу было выброшено диоксида серы массой 20 млн. тонн, что оказало мощное влияние на состояние озонового слоя.

2.2 Данные ОМІ спутника Aura

Aura — американский научно-исследовательский спутник, предназначенный для изучения атмосферы Земли. Запущен 15 июля 2004 года с космодрома Ванденберг с помощью ракеты-носителя Дельта 7920-10L. Основной задачей спутника является контроль над изменением климата на Земле, загрязнением воздуха, состоянием озонового слоя Земли. Запуск спутника входит в программу НАСА EOS (Earth Observing System (Система наблюдения Земли)) [8].

Характеристики спутника Aura:

- тип орбиты – солнечно-синхронная, круговая;
- эксцентриситет – 0,0002062;
- наклонение – 98,1°;
- период обращения – 98,82 мин;
- апоцентр – 710 км;

- перицентр – 707 км.

Инструменты:

- HIRDLS (High Resolution Dynamic Limb Sounder) – инфракрасный радиометр высокого разрешения, предназначен для измерения температуры и концентрации газовых примесей в различных слоях атмосферы;

- MLS (Microwave Limb Sounder) – микроволновый радиометр, предназначен для измерения концентрации химических соединений, ответственных за разрушения озона в различных слоях атмосферы;

- OMI (Ozone Monitoring Instrument) – спектрометр, предназначен для измерения размеров отражённого и рассеянного в атмосфере солнечного излучения;

- TES (Tropospheric Emission Spectrometer) – тропосферный эмиссионный спектрометр, предназначен для измерения теплового излучения поверхности Земли.

Глобальный мониторинг концентраций SO₂ осуществляется на основе измерений в ультрафиолетовом диапазоне (UV) приборами, установленными на искусственных спутниках Земли. Наиболее предпочтительными являются данные получаемые инструментом OMI (Ozone Monitoring Instrument), который является совместной разработкой Голландского аэрокосмического агентства, Финского метеорологического института и NASA. Этот прибор в 2004 году сменил своего предшественника – TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer).

ОМІ представляет собой направленный в надир спектрофотометр, предназначенный для регистрации солнечного излучения, отраженного и рассеянного атмосферой и поверхностью Земли в диапазоне от 264 до 504 нм длины волны и спектральным разрешением 0,5 нм и с пространственным разрешением 13x24 км/1 пиксель. Частота съёмки – 1 раз в сутки. Ширина съёмки полосы поверхности при угле обзора камеры 114° составляет около 2600 км. Прибор измеряет поток рассеянного «назад» УФ солнечного излучения. Метод основан на измерении спектральных характеристик солнечного света рассеянного в атмосфере и отражённого от поверхности

Земли. Сравнение первоначального и отражённого спектра даёт информацию о распределении и концентрации микропримесей озона и диоксид серы, так как эти газы поглощают и рассеивают часть проходящего солнечного света.

Обработка данных даёт информацию о повышенных концентрациях SO₂ на четырех высотах над уровнем моря: 0,9 км и 2,5 км (антропогенный SO₂), 7,5 км (пассивная вулканическая дегазация) и 17 км (крупные эксплозивные извержения).

В качестве единиц измерения концентрации SO₂ используются единицы Добсона (е.Д. или DU). Одна единица Добсона равна 0.01 мм толщины осажденного слоя диоксида серы при 0 градусов Цельсия и атмосферном давлении 1013 ГПа, что составляет или 2.69×10^{20} молекул диоксида серы на 1 м². Типичное фоновое значение концентрации SO₂ в атмосфере составляет менее 1 е.Д. Погрешность оценки содержания диоксида серы в атмосфере прибором OMI равна примерно одной единице Добсона [9].

3 Сбор и анализ спутниковых данных

3.1 Оценка выбросов SO₂ на территории Норильска

В ходе исследований был произведен анализ выбросов диоксида серы предприятиями ОАО «ГМК «Норильский Никель» в период с 1 марта по 31 октября 2014 и 2015 гг. Для оценки выбросов были использованы данные программы наблюдения OMI, взятые с официального сайта НАСА <http://so2.gsfc.nasa.gov/>. Данные выбросов за январь, февраль, ноябрь, декабрь оказались недоступны.

В таблице приложения А сведены данные по зафиксированной раз в сутки массе выбросов SO₂ с 1 марта по 31 марта 2014 года.

Подобные таблицы были созданы для каждого выбранного месяца 2014 и 2015 годов.

В таблицах была зафиксирована собранная информация о массе выбросов в килотоннах за каждый день измерений и их площадь. Так же были

зафиксированы координаты максимальных и минимальных концентраций диоксида серы в атмосферном воздухе в единицах Добсона за каждый день измерений.

В ходе исследований были подсчитаны:

- сумма масс выбросов за каждый день и месяц 2014 и 2015 гг.;
- максимальная и минимальная месячная масса выбросов;
- сумма площадей выбросов за каждый месяц 2014 и 2015 гг.;
- максимальная и минимальная площадь выбросов за каждый месяц;
- среднемесячная масса выбросов за 2014 и 2015 гг.;
- среднемесячная площадь выбросов за 2014 и 2015 гг.;

Максимальные объемы выбросов SO₂ за 2014-15 гг. были зафиксированы в сентябре и в периоде с марта по июнь (рисунок 4).

В 2014 году масса выбросов составила 1495,592 кт общей площадью 4245312 км². Среднемесячная масса была равна 186,949 кт. Среднемесячная площадь равна 530664 км².

В 2015 году масса выбросов составила 721,691 кт общей площадью 2114470 км², что практически в два раза меньше чем в предыдущем году. Скорее всего, это было связано с уменьшением объема производства. Среднемесячная масса так же уменьшилась и стала равна 90,211 кт. Среднемесячная площадь равна 264309 км².

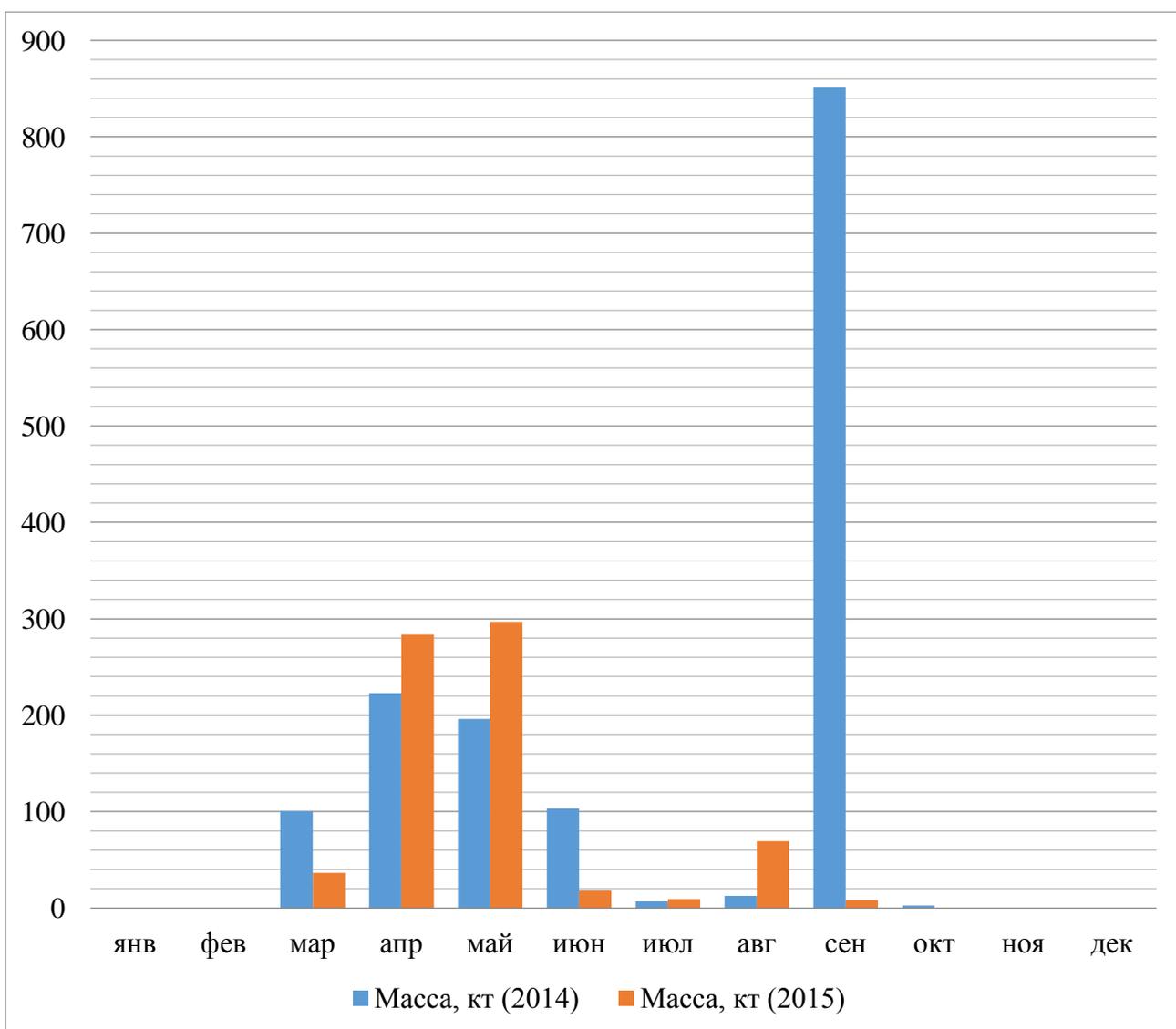


Рисунок 4 – Массы выбросов диоксида серы за каждый месяц 2014-го и 2015-го годов на территории Норильска

В процентном соотношении наиболее «грязным» месяцем в 2014 году являлся сентябрь – 57% от общей годовой массы выбросов и с массой 851,099 кт (рис. 5). На втором месте шел апрель (15% и 223,043 кт) и на третьем – май (13% и 196,13).

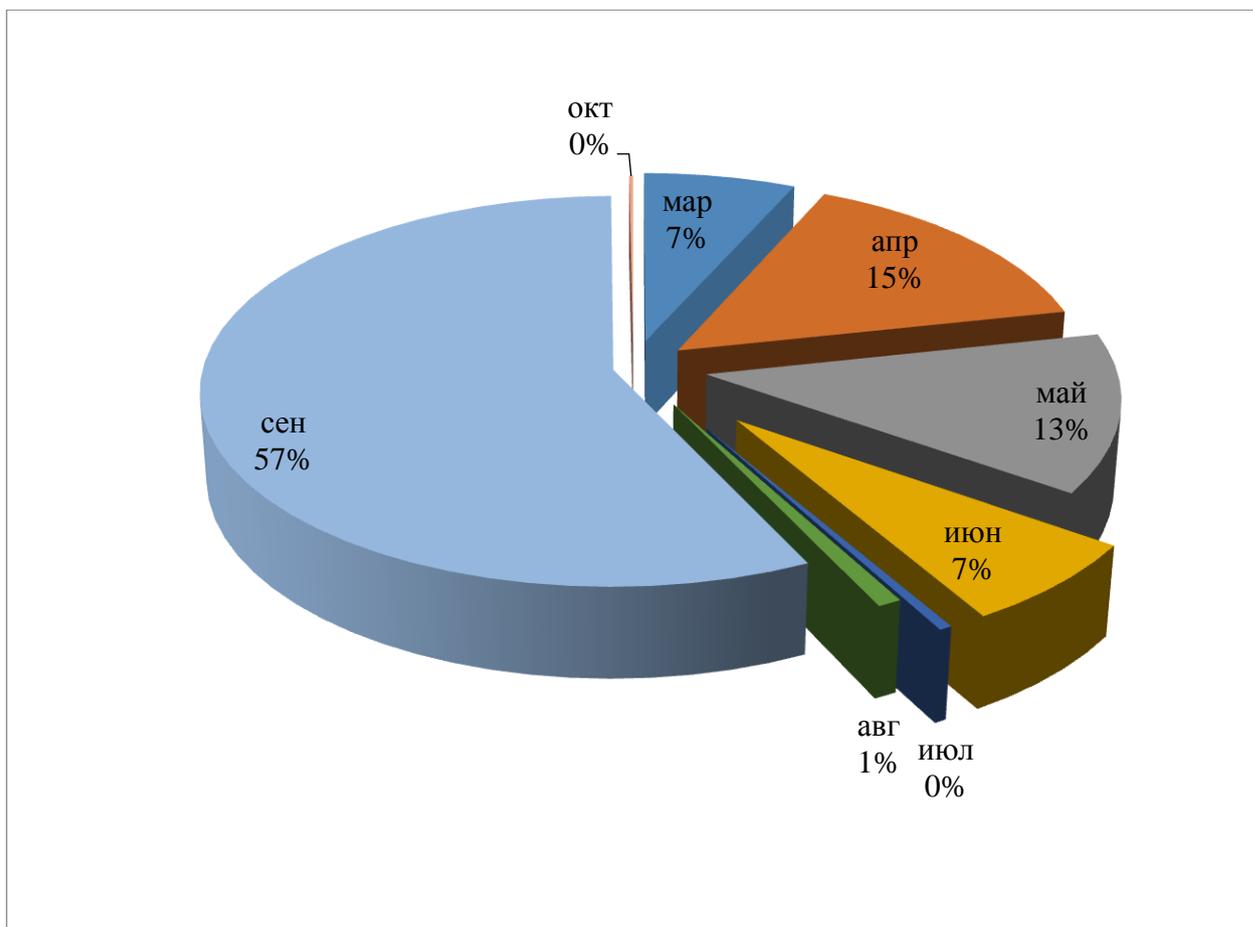


Рисунок 5 – Процентное отношение массы выбросов диоксида за 2014 год на территории Норильска

Как видно из диаграммы выше, существенный вклад в общую массу выбросов за 2014 год внес сентябрь. Это случилось из-за того, что 12 сентября 2014 года в 05:10 UTC был зафиксирован мощнейший выброс площадью 516903 км² и массой 201,31 кт. Максимальная концентрация диоксида серы за данный период времени была равна 40,22 единицам Добсона в координатах 74°25'12" северной широты и 79°3'36" восточной долготы. Фрагмент базы данных ОМІ, в котором был зафиксирован данный выброс, представлен на рисунке 6.

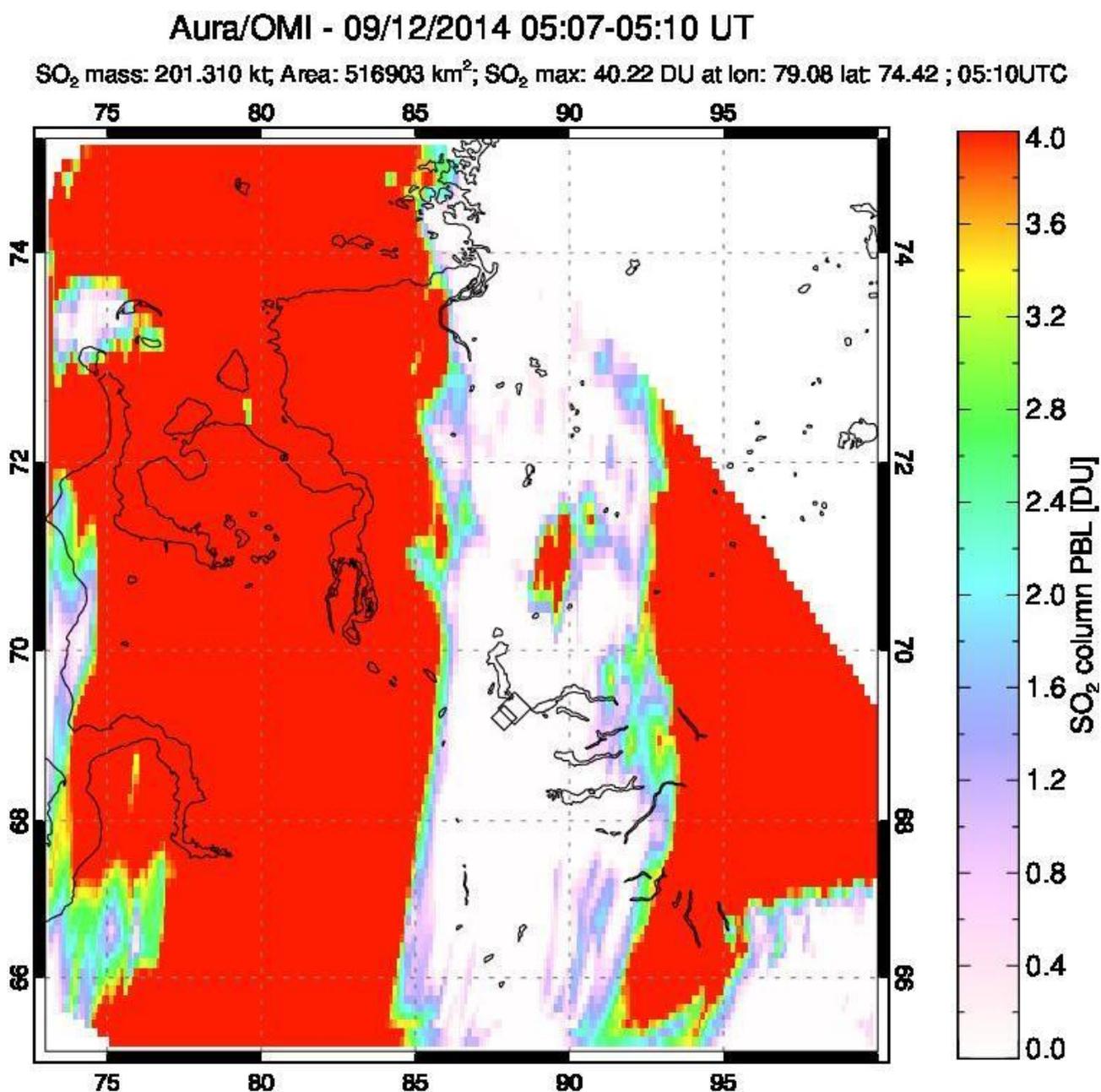


Рисунок 6 – Фрагмент базы данных ОМІ территории Норильска за 12 сентября 2014 года

Хотя апрель и стоит на втором месте по количеству выбросов в 2014 году, именно в этом месяце был зафиксирован выброс с наименьшей концентрацией диоксида серы в атмосферном воздухе. Это случилось 19 апреля в 05:21 UTC, масса выброса составила 0,001 кт площадью 69 квадратных километров. Концентрация диоксида серы была равна 7,31 DU в координатах 69°58'48" северной широты и 86°33'36" восточной долготы (рисунок 7).

Aura/OMI - 04/19/2014 05:19-05:23 UT

SO₂ mass: 0.001 kt; Area: 69 km²; SO₂ max: 7.31 DU at lon: 88.83 lat: 70.99 ; 05:21UTC

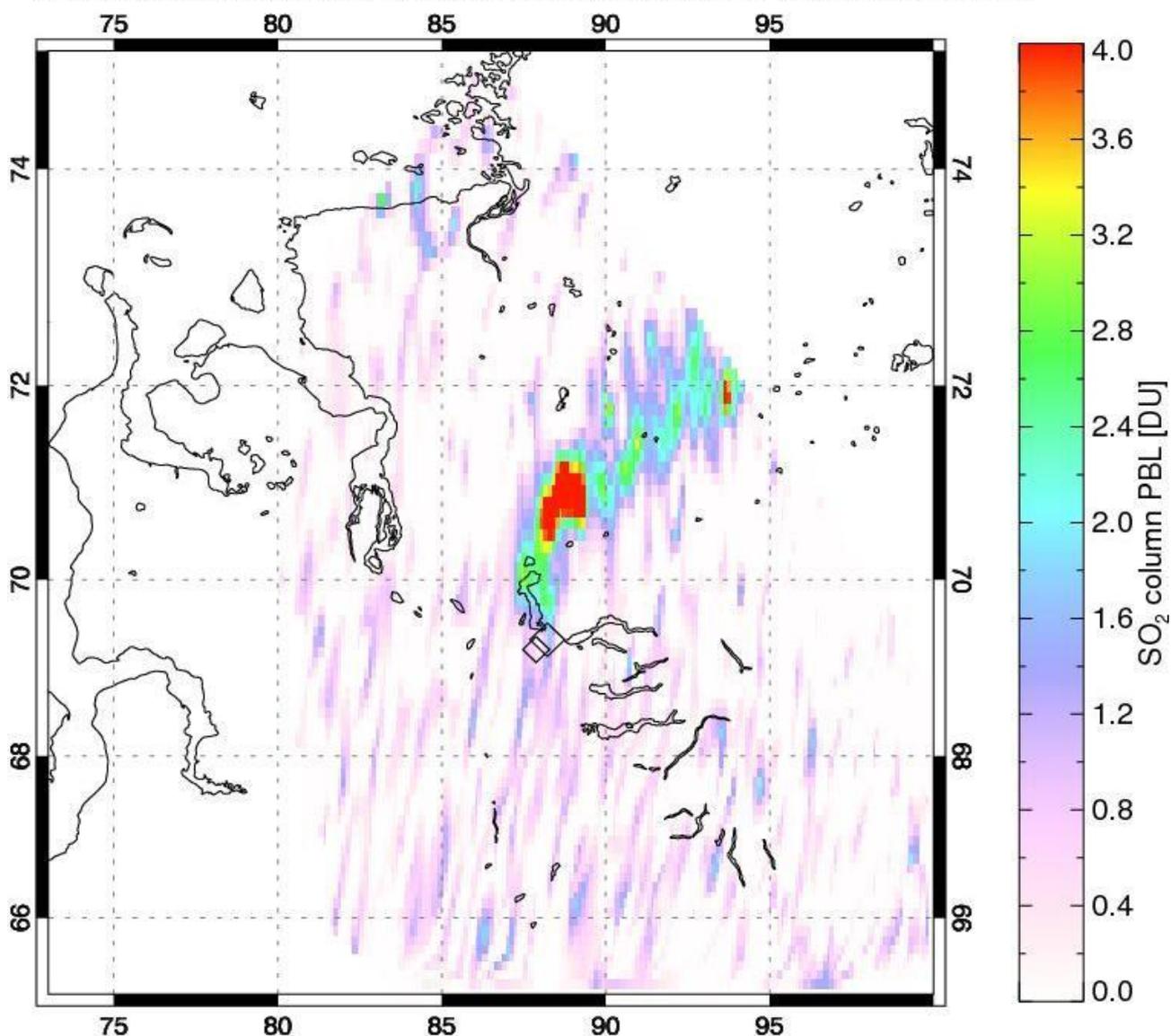


Рисунок 7 – Фрагмент базы данных ОМІ территории Норильска за 19 апреля 2014 года

По сравнению с 2014 годом, в 2015 году сентябрь был одним из самых экологически чистых месяцев (всего лишь 8,153 кт), наравне с июлем (9,104 кт) и октябрём (0,041 кт). Самыми «грязными» месяцами были апрель и май с массами выбросов 283,73 кт 296,904 кт соответственно (рисунок 8).

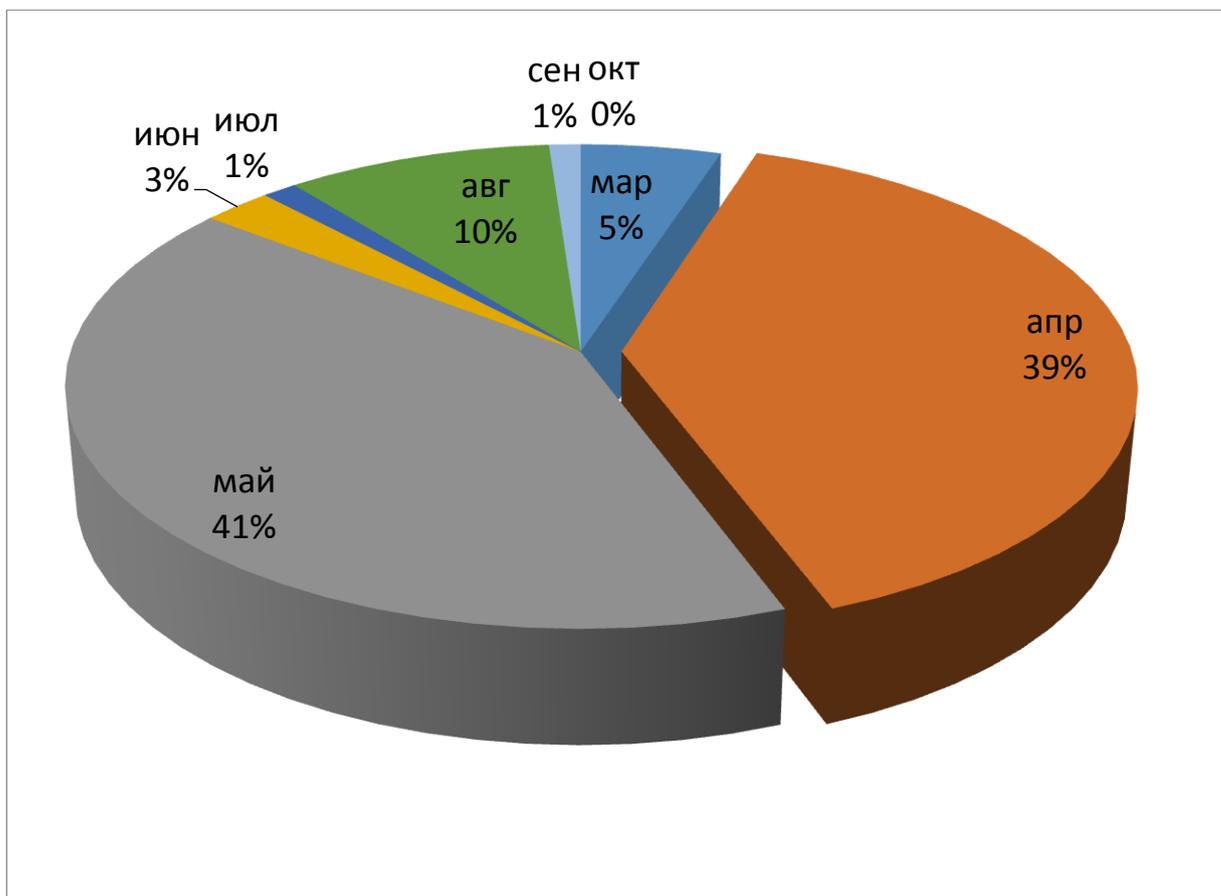


Рисунок 8 – Процентное отношение массы выбросов диоксида за 2015 год на территории Норильска

Самым экологически небезопасным днем для жителей и природы Норильска в 2015 году стал первое мая. В 05:15 UTC произошел мощный выброс с массой 84,939 кт и площадью 151893 км². Максимальная концентрация SO₂ в атмосфере достигла 61,09 единиц Добсона в координатах 68°24' северной широты и 88°50'24" восточной долготы. Фрагмент базы данных спектрографа OMI спутника Aura представлен на рисунке 9.

Aura/OMI - 05/01/2015 05:14-05:17 UT

SO₂ mass: 84.939 kt; Area: 151893 km²; SO₂ max: 61.09 DU at lon: 88.84 lat: 68.40 ; 05:15UTC

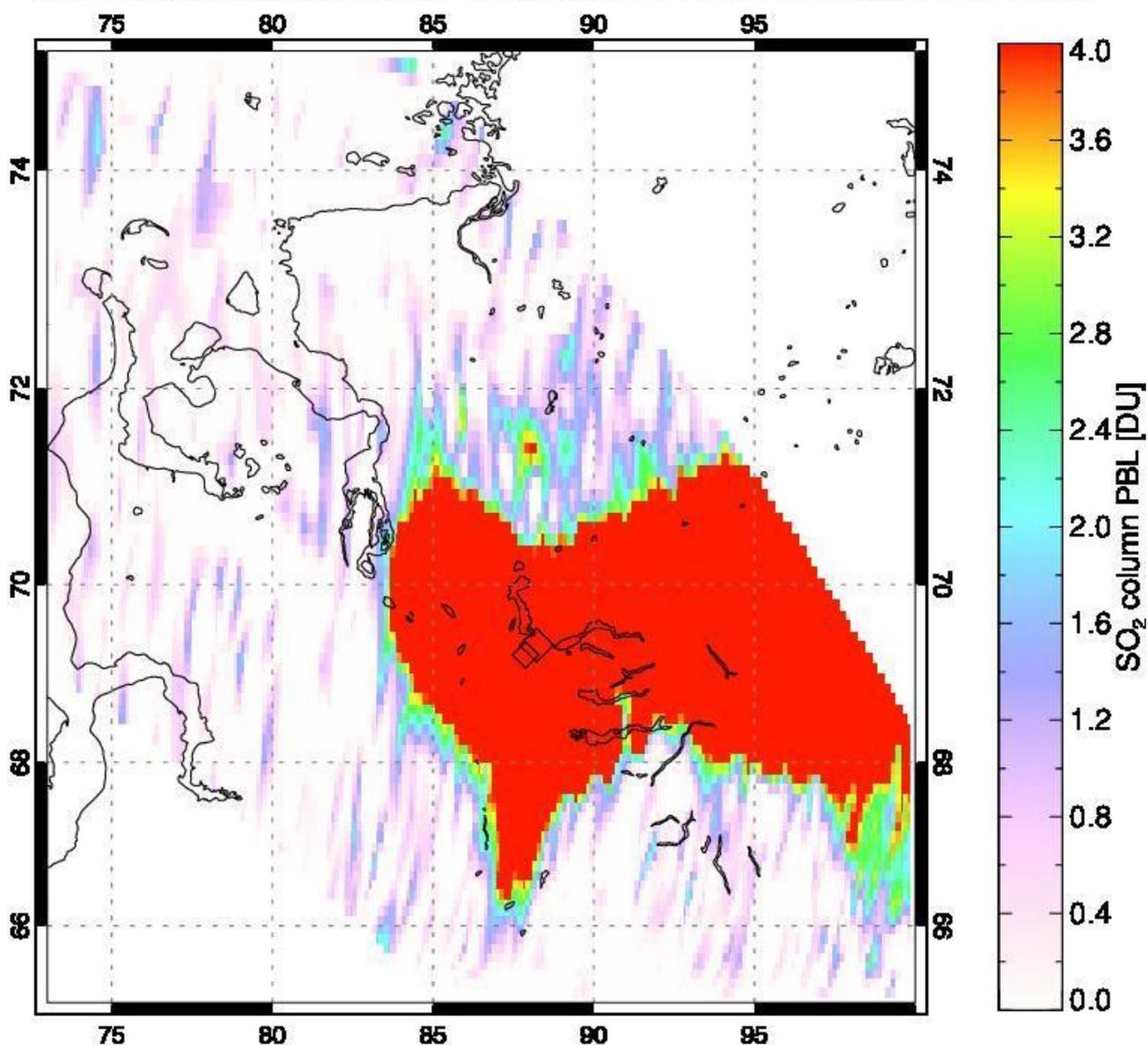


Рисунок 9 – Фрагмент базы данных ОМІ территории Норильска за 1 мая 2015 года

Минимальный объем диоксида серы в 2015 году был выброшен в атмосферу 31 июля в 04:50 UTC. Его масса составила 0.001 кт площадью около 100 квадратных километров. Единица Добсона составила 12,87 в координатах 70°13'12" северной широты и 76°33'0" восточной долготы (рисунок 10).

Aura/OMI - 07/31/2015 04:55-04:58 UT

SO₂ mass: 0.001 kt; Area: 100 km²; SO₂ max: 3.53 DU at lon: 81.83 lat: 68.88 ; 04:57UTC

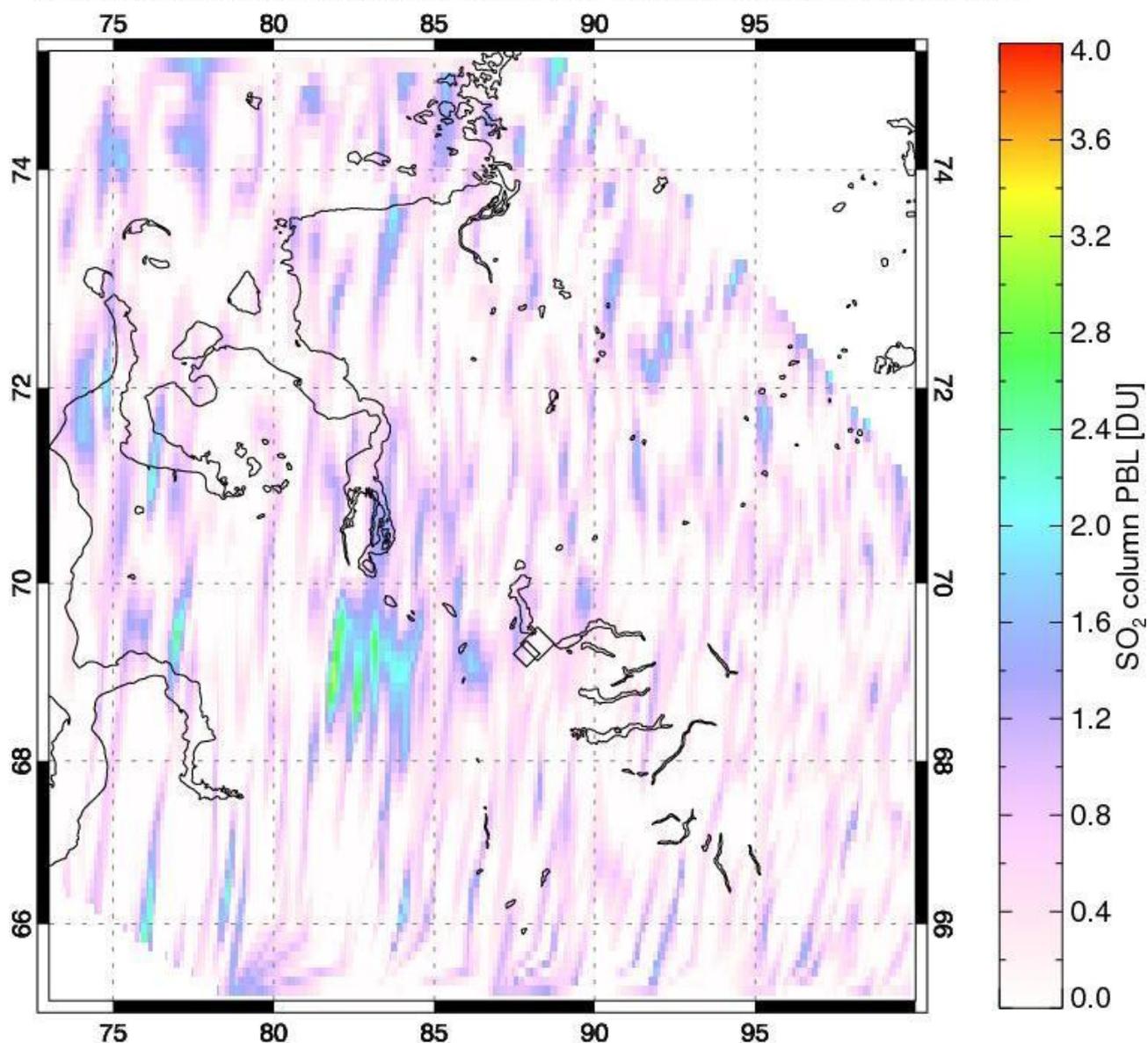


Рисунок 10 – Фрагмент базы данных ОМІ территории Норильска за 31 июля 2015 года

Максимальные концентрации диоксида серы достигаются в безветренную ясную погоду, во время сильных ветров концентрации, как правило, не столь велики, но шлейф от выброса тянется на сотни километров, захватывая часть территории Северного Ледовитого океана и огромные пространства суши.

В теплые летние дни наблюдается резкое снижение концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе.

3.2 Оценка выбросов SO₂ на территории Восточного Китая

Обзор территории Восточного Китая программой OMI был осуществлен в период с 1-го января 2014 года по 31-е декабря 2015 года. Во время исследования было установлено, что в 2014 году промышленными предприятиями городов Восточного Китая было выброшено в атмосферный воздух 1244,029 килотонн диоксида серы, суммарная площадь распространения которых составила 27519635 км². Усредненная по месяцам масса была равна 103,169 кт со средней площадью 2293303 км².

В 2015 году в атмосферный воздух Восточного Китая было сброшено 563,233 килотонн диоксида серы, что более чем в два раза меньше, чем в прошлом году. Общая площадь распространения выбросов составила 11792660 км². Усредненная по месяцам масса была равна 46,936 кт с усредненной площадью 982722 км². На рисунке 11 показана гистограмма масс выбросов за каждый месяц 2014 и 2015 гг.

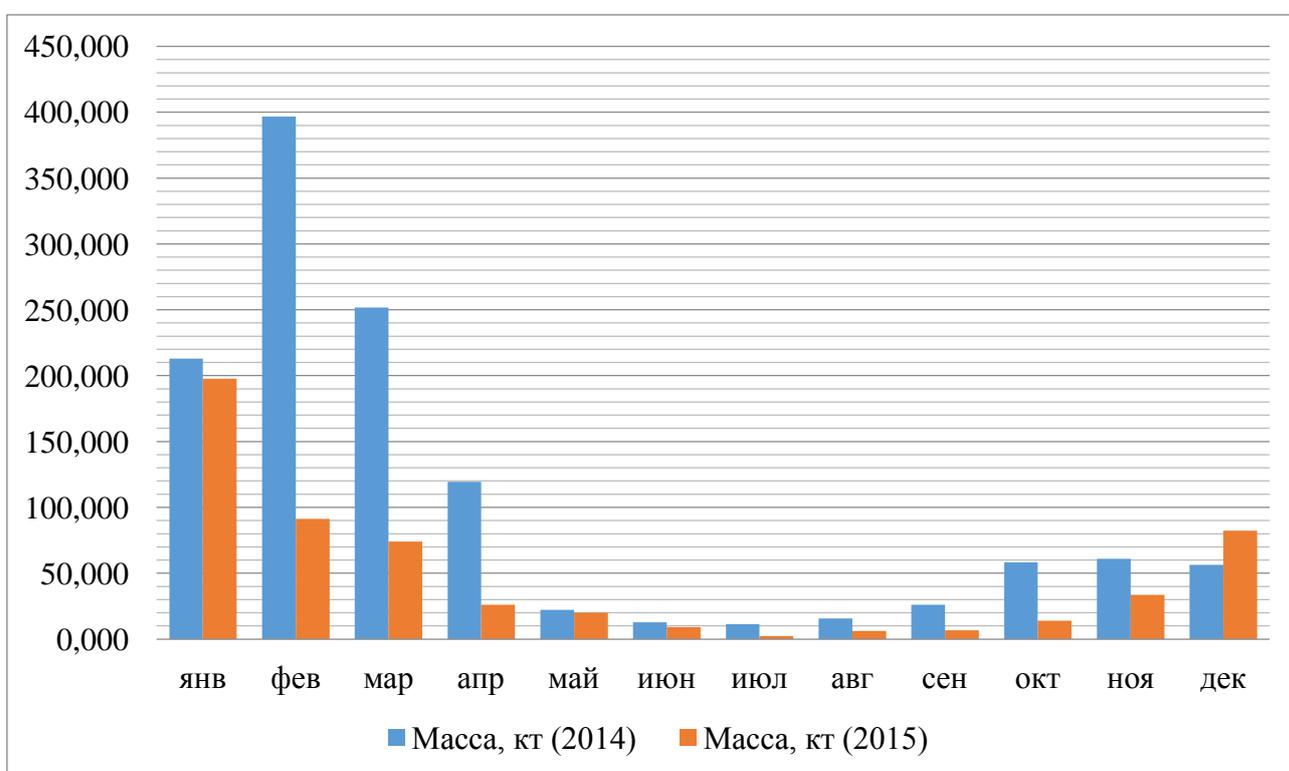


Рисунок 11 – Массы выбросов диоксида серы за каждый месяц 2014 и 2015 гг. на территории Восточного Китая

В результате работы было установлено, что пик выбросов в 2014 году был в феврале и был равен 396,683 кт, что составило 32% от общей массы выбросов. На втором месте идет март с 251,670 кт выбросов (20% от общей массы) и на третьем – январь с 212,945 кт (17% от общей массы) (рисунок 12).

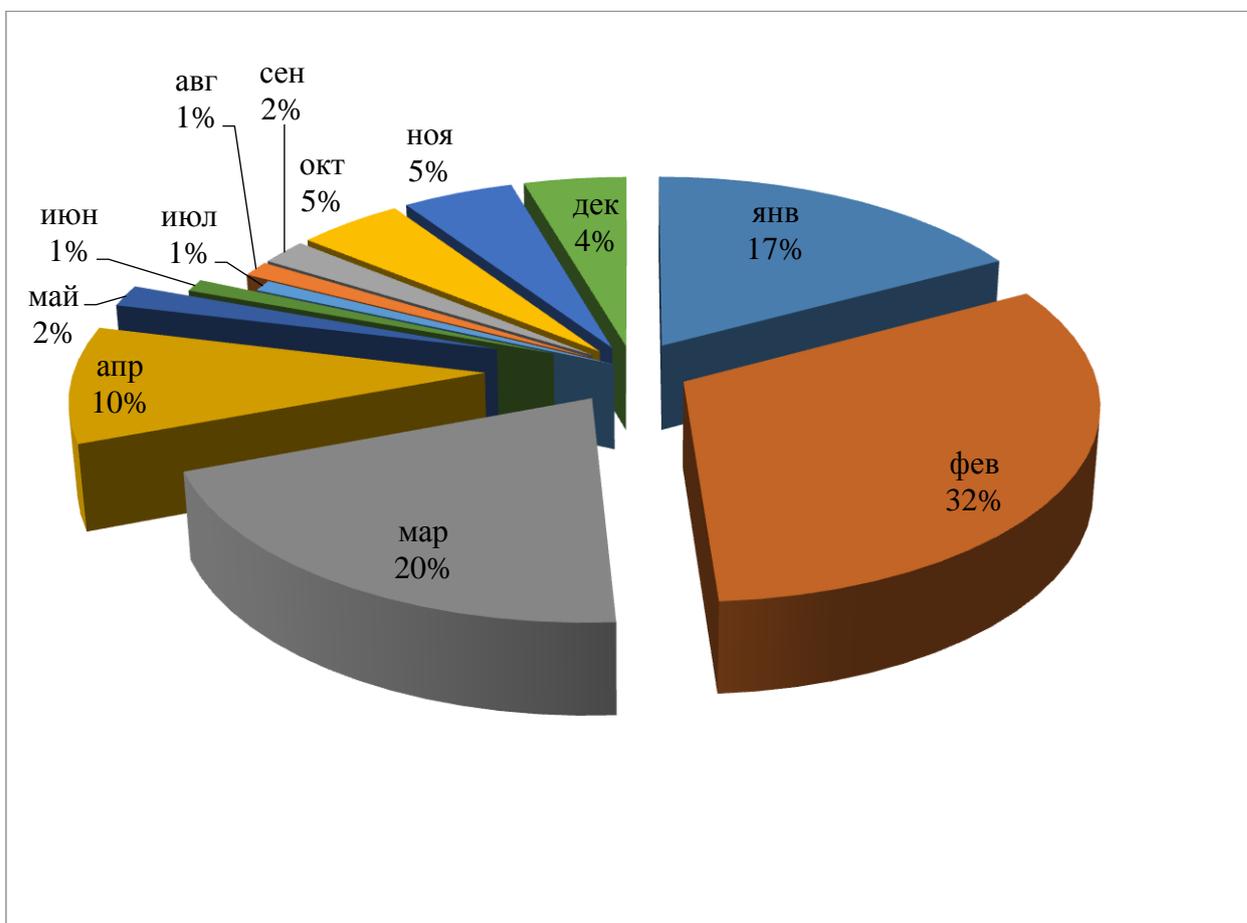


Рисунок 12 – Процентное отношение массы выбросов диоксида за 2014 год на территории Восточного Китая

В 2014 году выброс с наибольшим количеством диоксида серы произошел 10 февраля в 05:36 UTC. Его масса составила 57,909 кт, а площадь распространения 511677 км². Концентрация SO₂ была равна 22,53 DU в координатах 37.17 и 111.91. Фрагмент базы данных OMI за данный период представлен на рисунке 13.

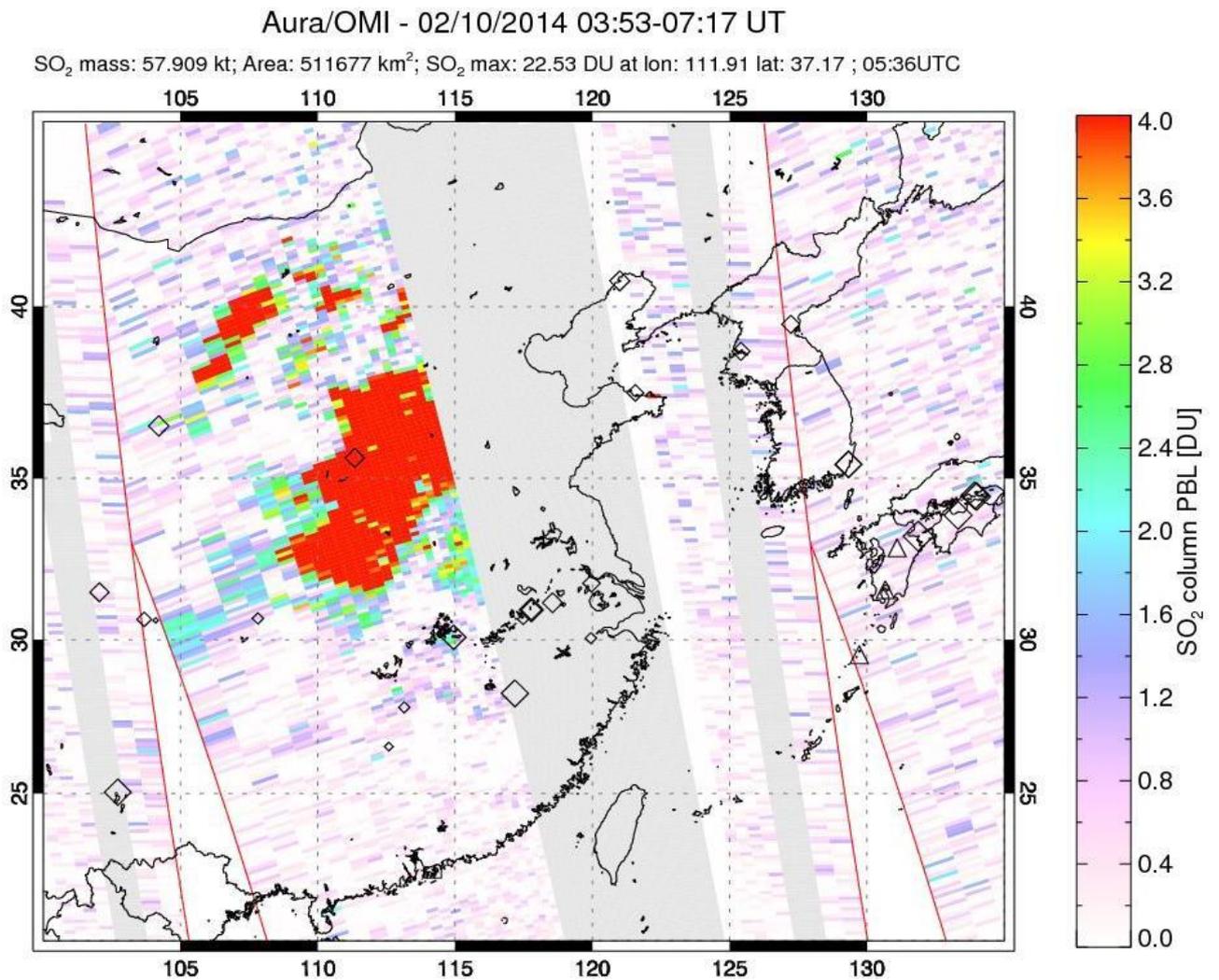


Рисунок 13 – Фрагмент базы данных ОМІ территории Восточного Китая за 10 февраля 2014 года

Выброс с наименьшей массой (0,006 кт) диоксида серы в 2014 году случился 3 июня в 04:42 UTC. Площадь осадков составила 1981 км², а концентрация SO₂ была равна 3,98 единиц Добсона в координатах 40.60 и 116.65 (рисунок 14).

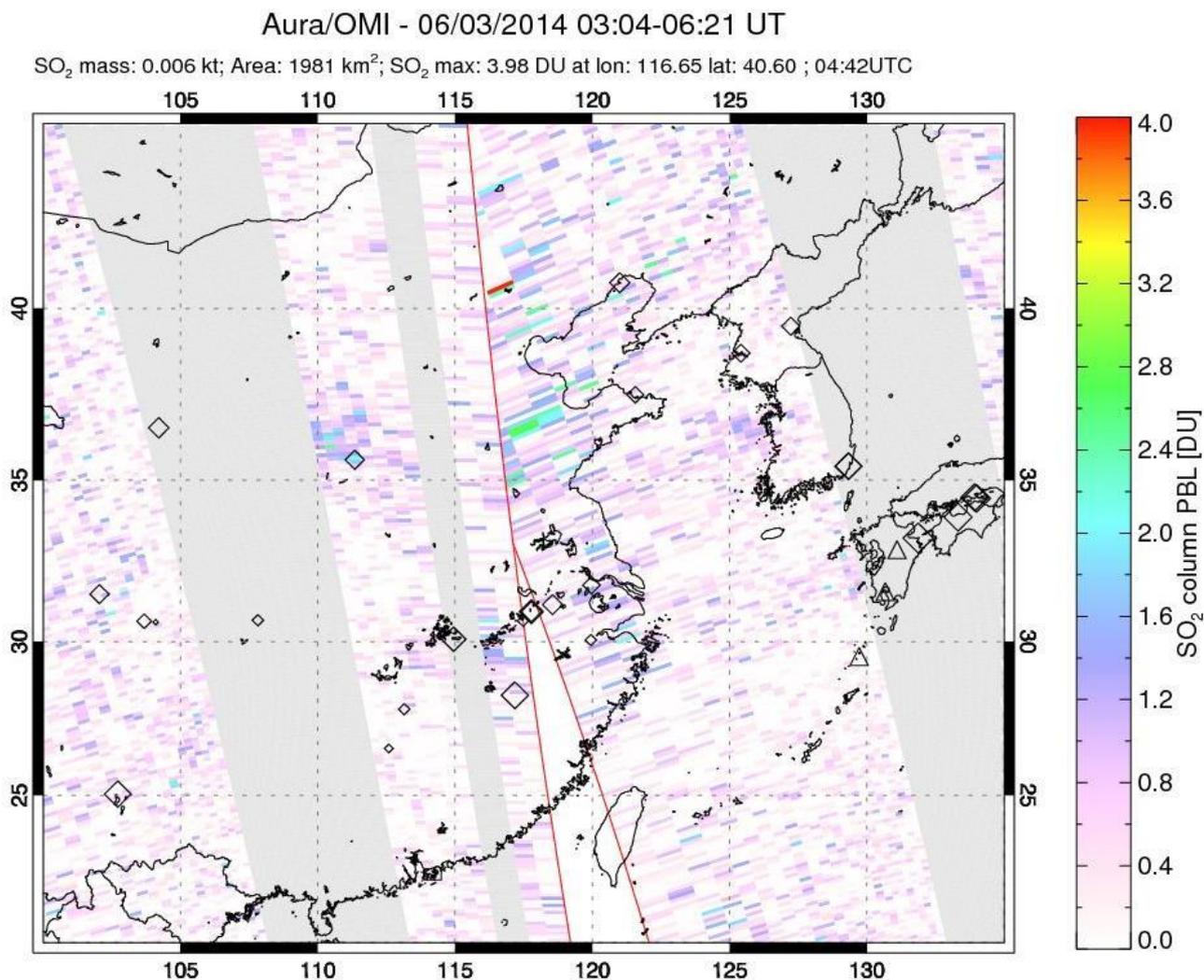


Рисунок 14 – Фрагмент базы данных ОМІ территории Восточного Китая за 3 июня 2014 года

Пик выбросов в 2015 году был осуществлен в январе и был равен 197,598 кт, что составило 35% от общей массы выбросов. На втором месте идет февраль с 91,249 кт выбросов (16% от общей массы) и на третьем – декабрь с 82,412 кт (15% от общей массы). Процентное соотношение месячных масс за 2015 год представлено на рисунке 15.

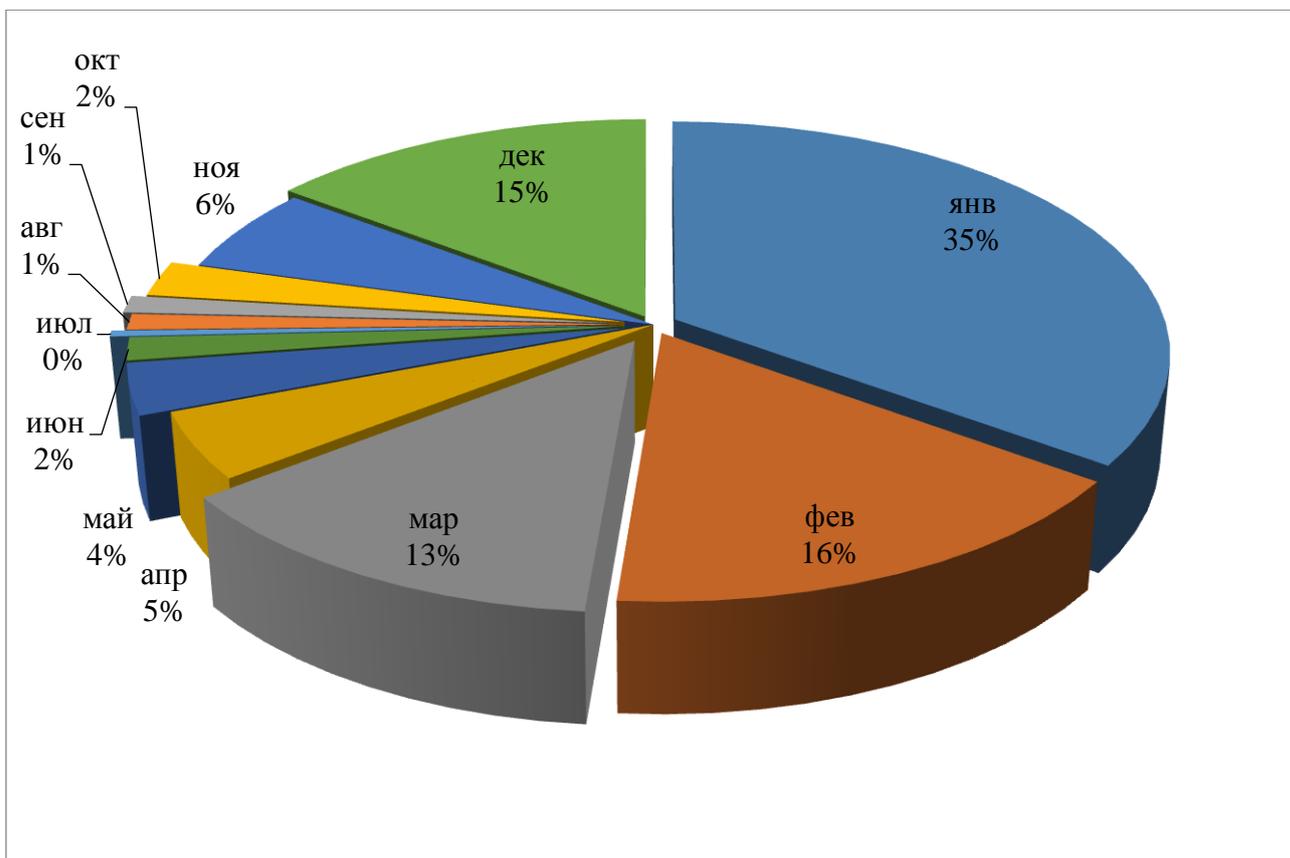


Рисунок 15 – Процентное отношение массы выбросов диоксида за 2015 год на территории Восточного Китая

В 2015 году выброс с наибольшим количеством диоксида серы произошел 7 декабря в 05:29 UTC. Его масса составила 39,368 кт, а площадь распространения 227577 кв. км. Концентрация SO_2 была равна 18,95 DU в координатах 36.97 и 111.06. Фрагмент базы данных ОМІ за данный период представлен на рисунке 16.

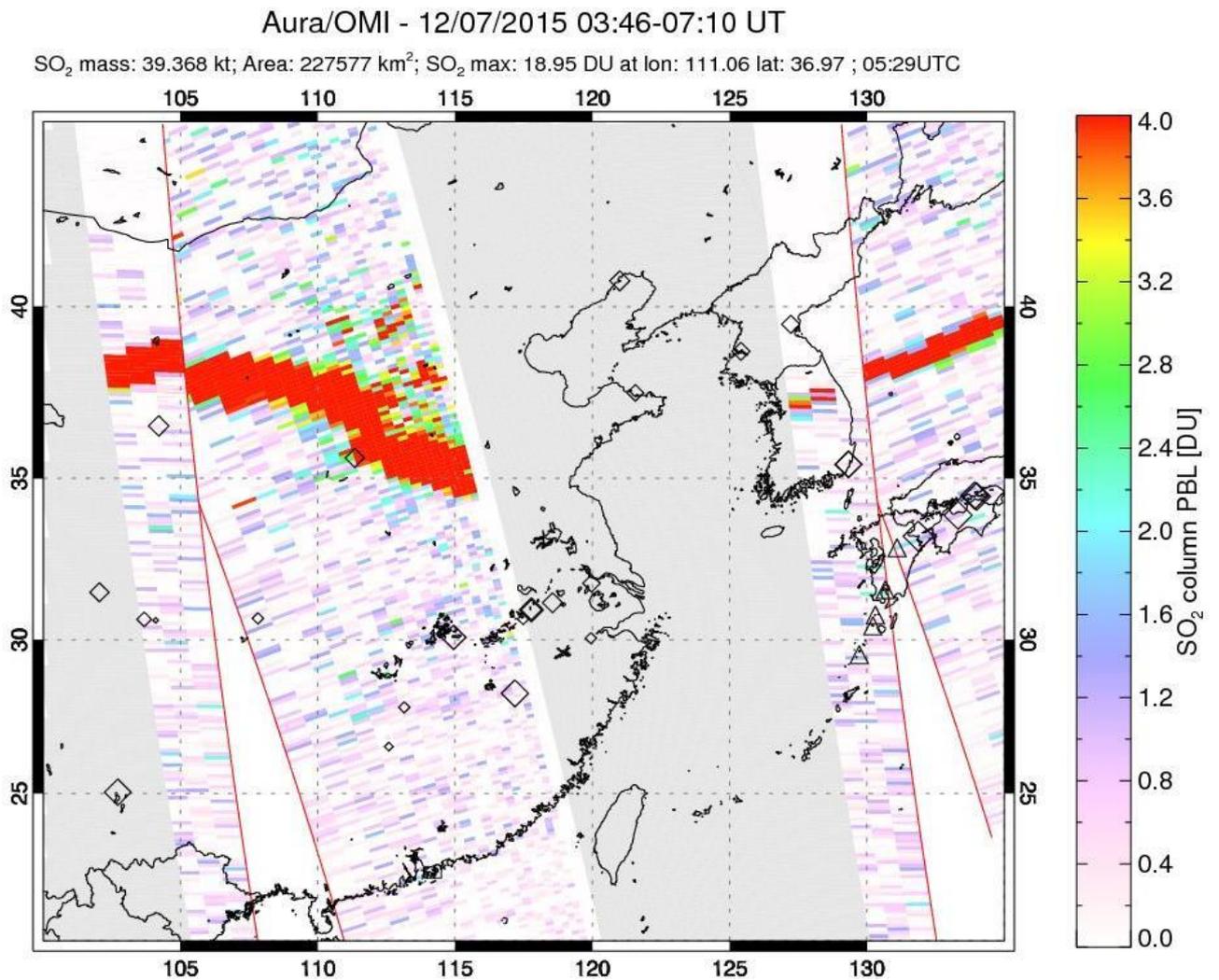


Рисунок 16 – Фрагмент базы данных ОМІ территории Восточного Китая за 7 декабря 2015 года

Выброс с наименьшей массой (0,001 кт) диоксида серы случился 14 августа в 04:59 UTC. Фрагмент базы данных ОМІ за данный период представлен на рисунке 17.

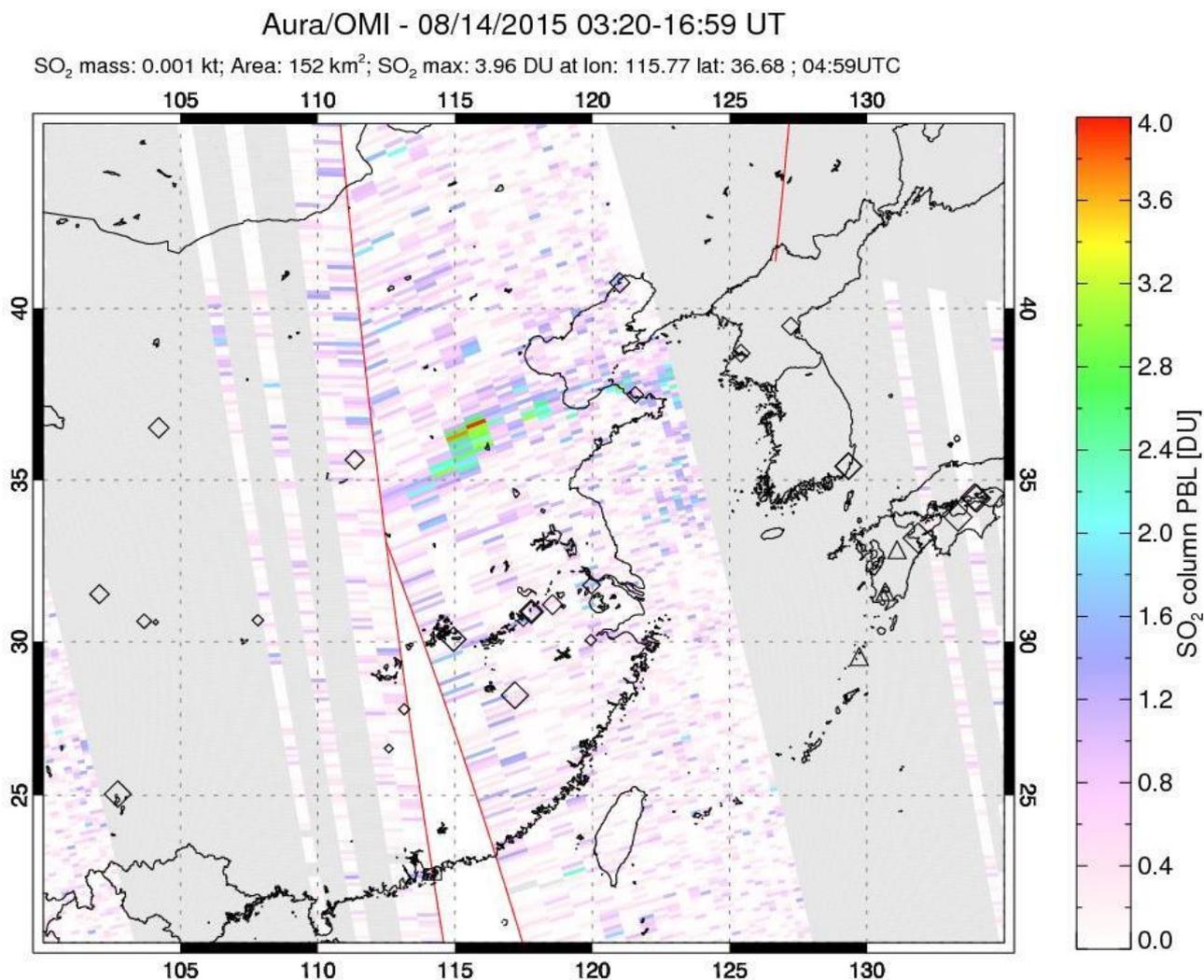


Рисунок 17 – Фрагмент базы данных ОМІ территории Восточного Китая за 14 августа 2015 года

Площадь осадков составила всего 152 км², а концентрация была равна 3,96 единиц Добсона в координатах 36.68 и 115.77.

3.3 Оценка выбросов SO₂ на территории Камчатки

Исследование выбросов диоксида серы на территории действующих вулканов Камчатки было произведено в период с 1-го января 2014 года по 31 декабря 2015 года.

Во время исследования было установлено, что в 2014 году в результате дегазации вулканов Камчатки было выброшено в атмосферу 51,116 килотонн

диоксида серы, суммарная площадь распространения которых составила 2905611 км². Усредненная по месяцам масса была равна 4,260 кт со средней площадью 242134 км².

В 2015 году в атмосферный воздух было сброшено 33,443 килотонн диоксида серы, что на одну треть меньше, чем в прошлом году. Общая площадь распространения выбросов составила 2099889 км². Усредненная по месяцам масса была равна 2,787 кт с усредненной площадью 174991 км². На рисунке 18 показана гистограмма массы выбросов за каждый месяц 2014 и 2015 гг.

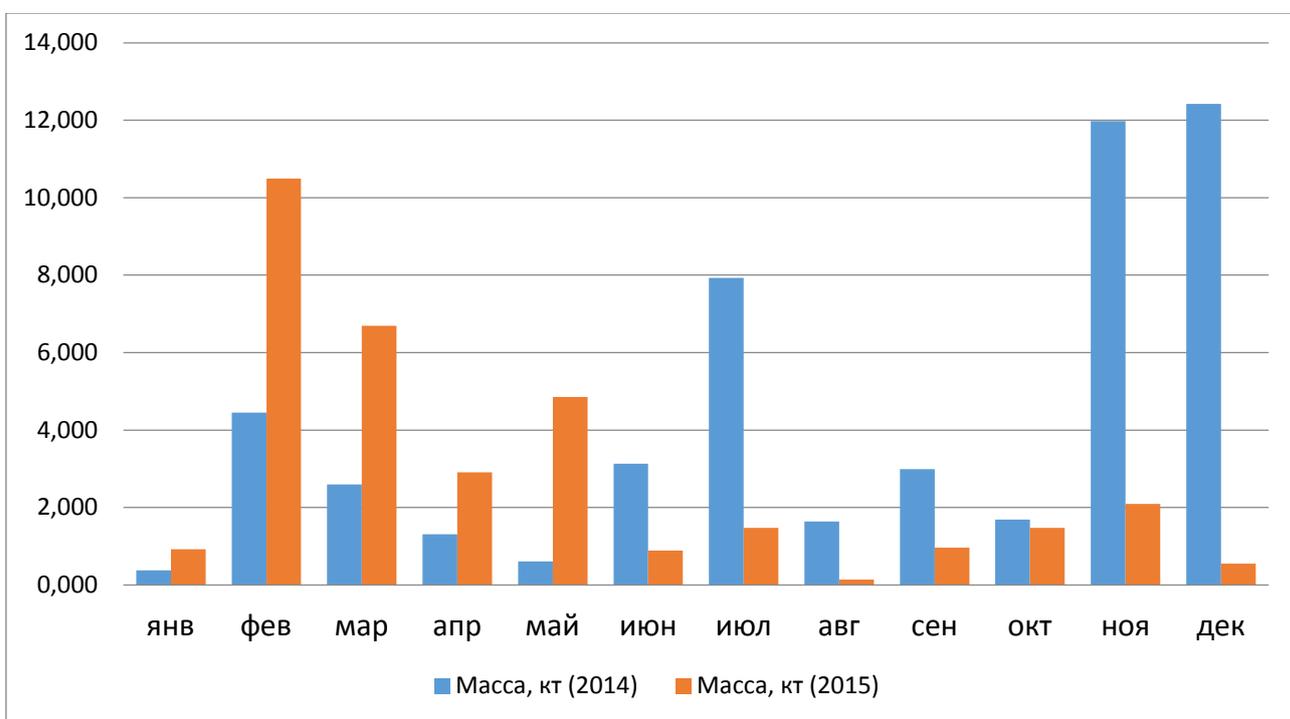


Рисунок 18 – Массы выбросов диоксида серы за каждый месяц 2014 и 2015 гг. на территории Камчатки

В результате работы было установлено, что пик выбросов в 2014 году был в декабре и был равен 12,419 кт, что составило 24% от общей массы выбросов. На втором месте идет ноябрь с 11,974 кт выбросов (23% от общей массы) и на третьем – июль с 7,929 кт (16% от общей массы) (рисунок 19).

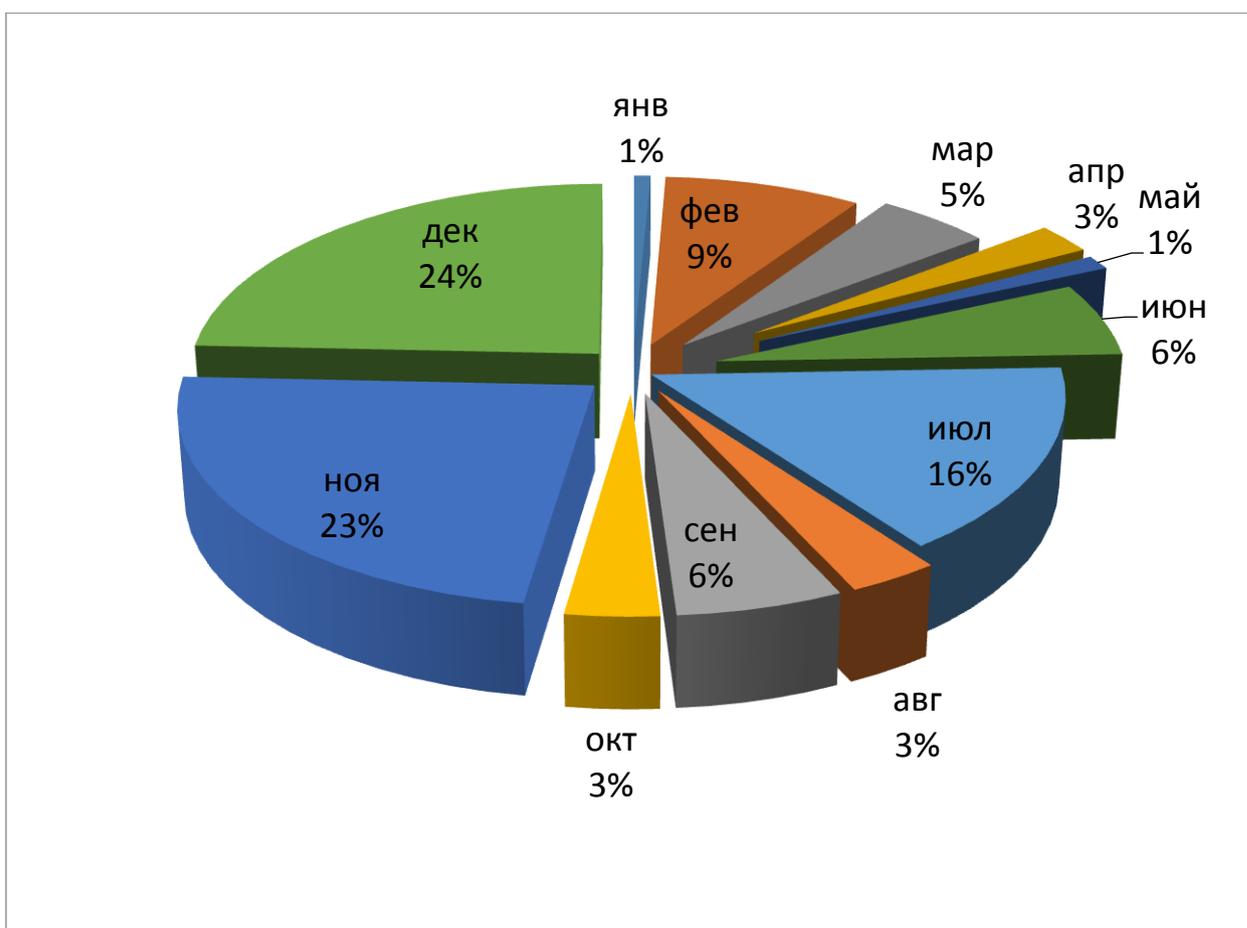


Рисунок 19 – Процентное отношение массы выбросов диоксида за 2014 год на территории Камчатки

В 2014 году в результате активности вулкана Ключевского выброс с наибольшим количеством диоксида серы произошел 18 декабря в 05:36 UTC. Его масса составила 3,816 кт, а площадь распространения 56265 км². Концентрация SO₂ была равна 64,96 DU в координатах 43.69 и 159.75. Фрагмент базы данных ОМІ за данный период представлен на рисунке 20.

Aura/OMI - 12/18/2014 02:25-02:30 UT

SO₂ mass: 3.816 kt; Area: 56265 km²; SO₂ max: 64.96 DU at lon: 159.75 lat: 43.69 ; 02:26UTC

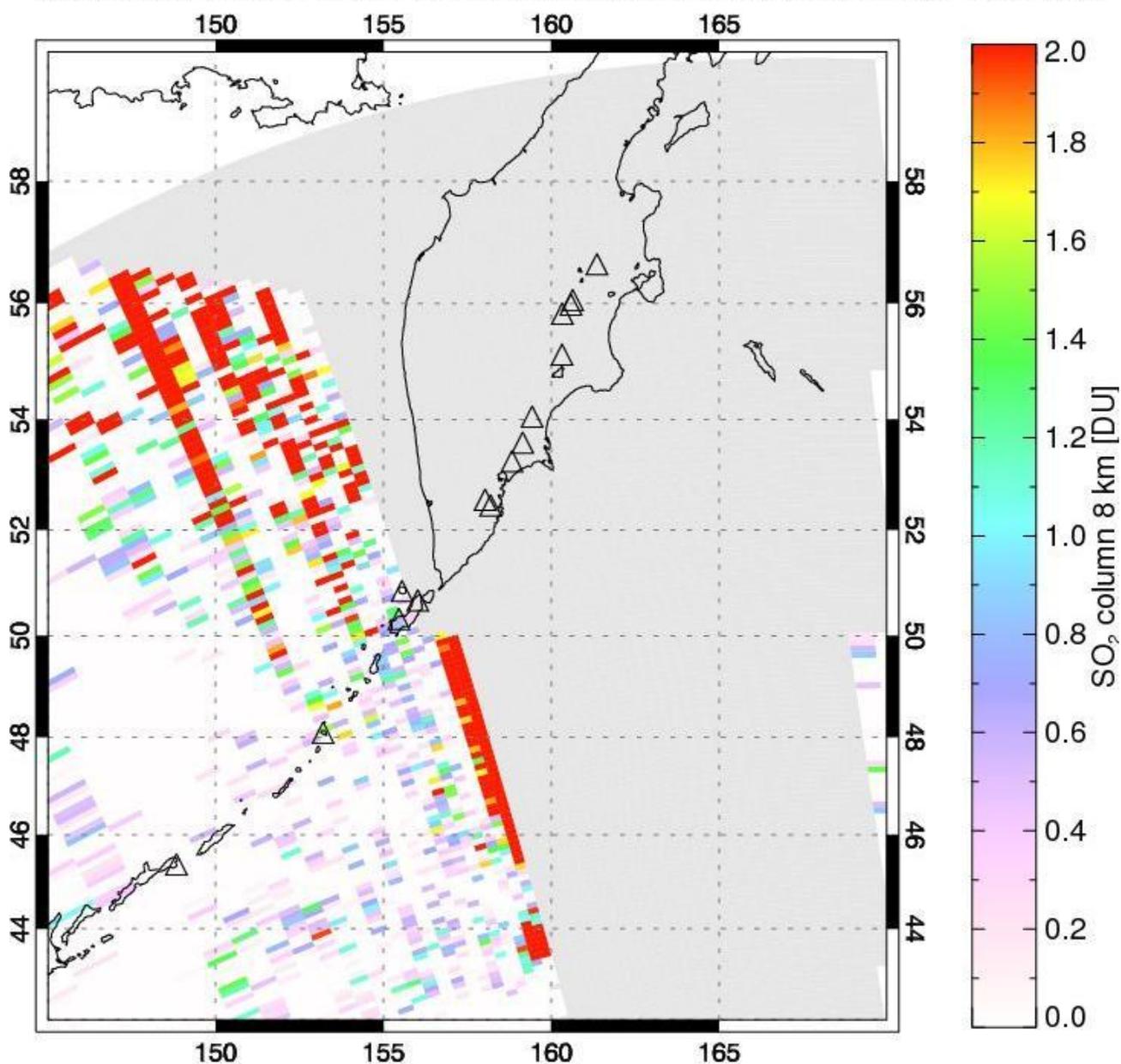


Рисунок 20 – Фрагмент базы данных ОМІ территории Камчатки за 18 декабря 2014 года

Выброс с наименьшей массой (0,001 кт) диоксида серы в 2014 году случился 28 июля в 04:42 UTC. Площадь осадков составила всего 99 км², а концентрация SO₂ была равна 0,72 единиц Добсона в координатах 54.18 и 148.79 (рисунок 21).

Aura/OMI - 07/28/2014 01:30-01:36 UT

SO₂ mass: 0.001 kt; Area: 99 km²; SO₂ max: 0.72 DU at lon: 148.79 lat: 54.18 ; 01:34UTC

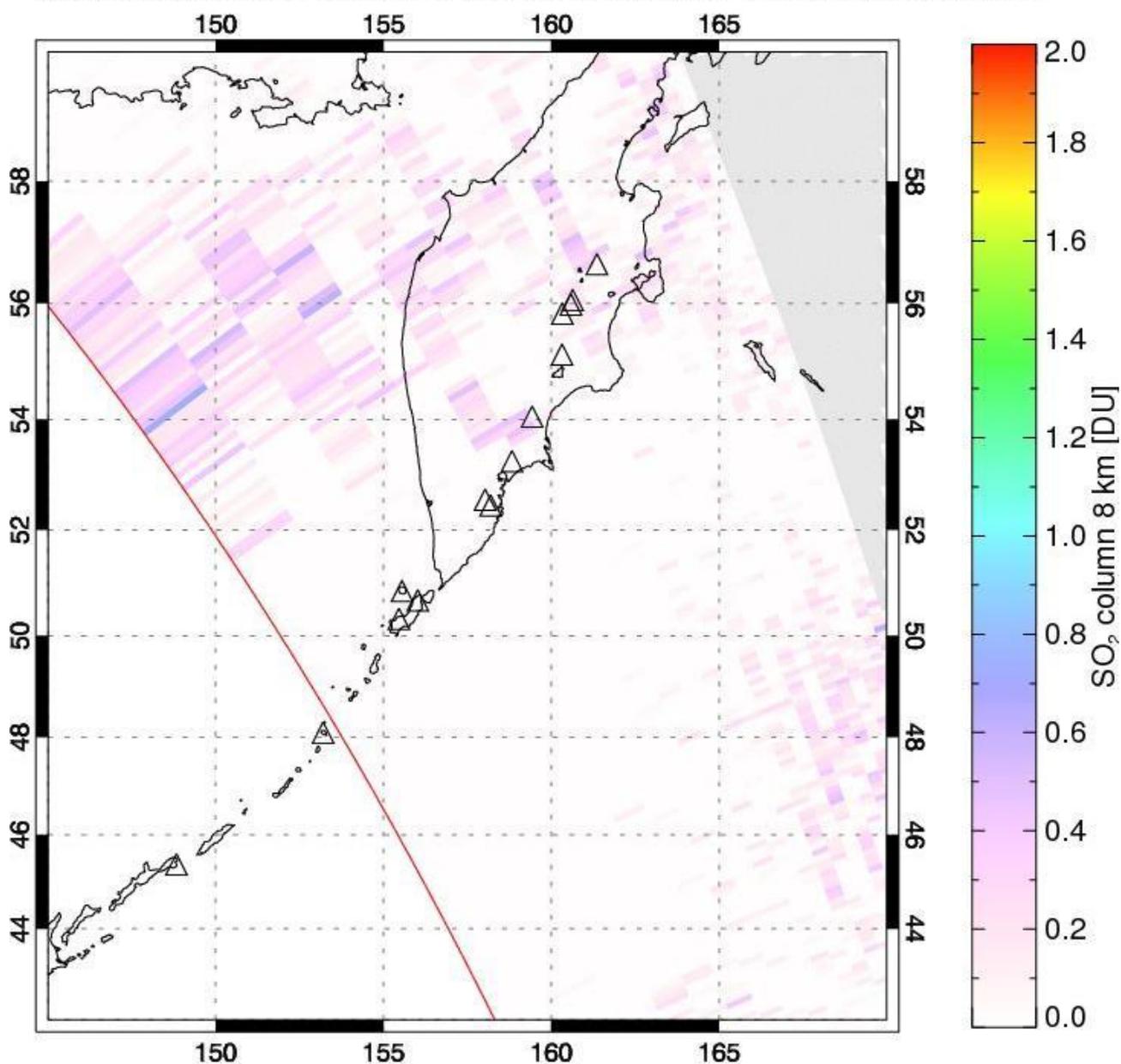


Рисунок 21 – Фрагмент базы данных ОМІ территории Камчатки за 28 июля 2014 года

Пик выбросов в 2015 году был в феврале и был равен 10,494 кт, что составило 31% от общей массы выбросов. На втором месте идет март с 6,691 кт выбросов (20% от общей массы) и на третьем – май с 4,85 кт (15% от общей массы). Процентное соотношение месячных масс за 2015 год представлено на рисунке 22.

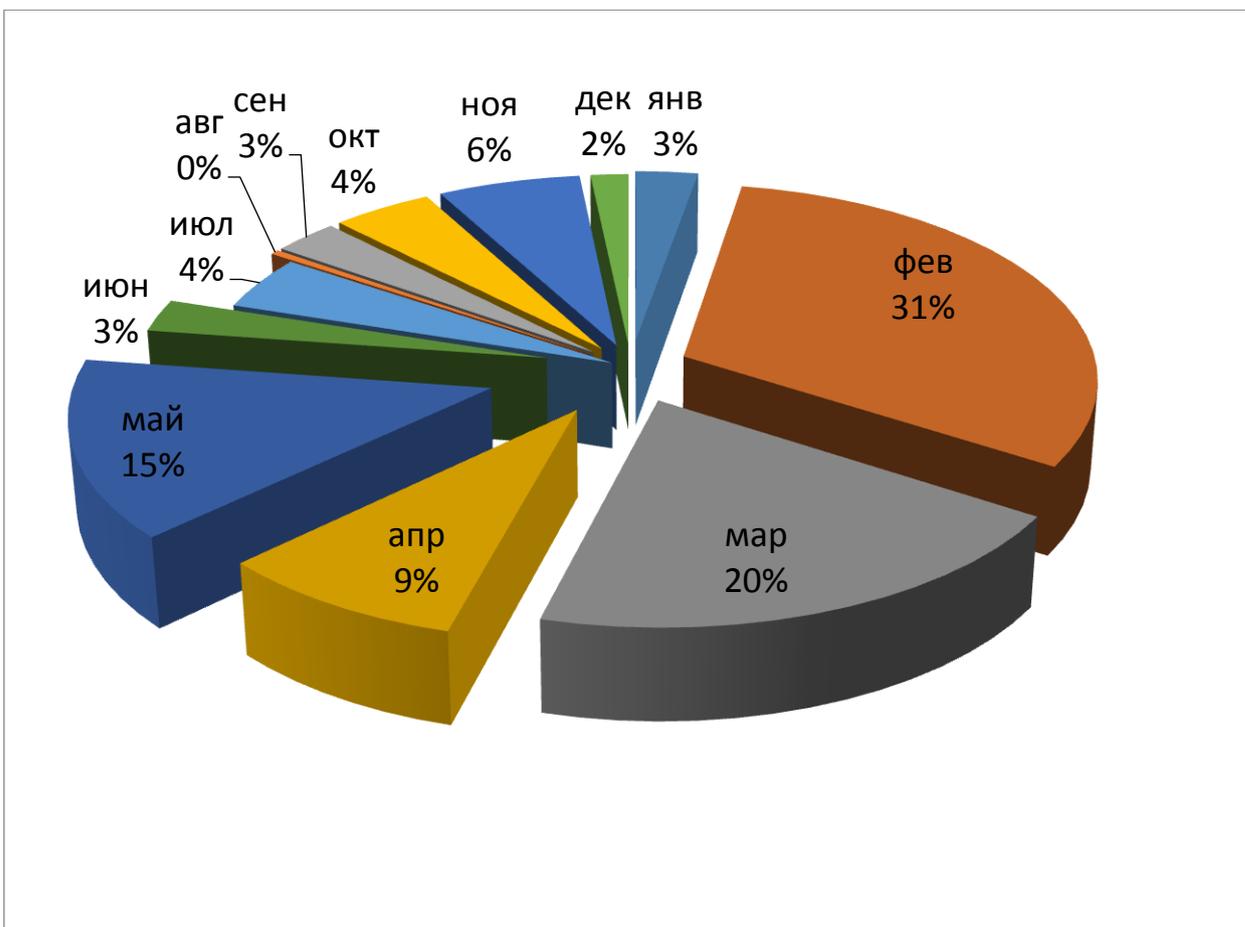


Рисунок 22 – Процентное отношение массы выбросов диоксида за 2015 год на территории Камчатки

В 2015 году выброс с наибольшим количеством диоксида серы был зафиксирован 17 февраля в 05:29 UTC. Его масса составила 4,261 кт, а площадь распространения 96476 кв. км. Концентрация SO_2 была равна 4,95 DU в координатах 45.06 и 166.66. Фрагмент базы данных ОМІ за данный период представлен на рисунке 23.

Aura/OMI - 02/17/2015 01:55-02:01 UT

SO₂ mass: 4.261 kt; Area: 96476 km²; SO₂ max: 4.95 DU at lon: 166.66 lat: 45.06 ; 01:55UTC

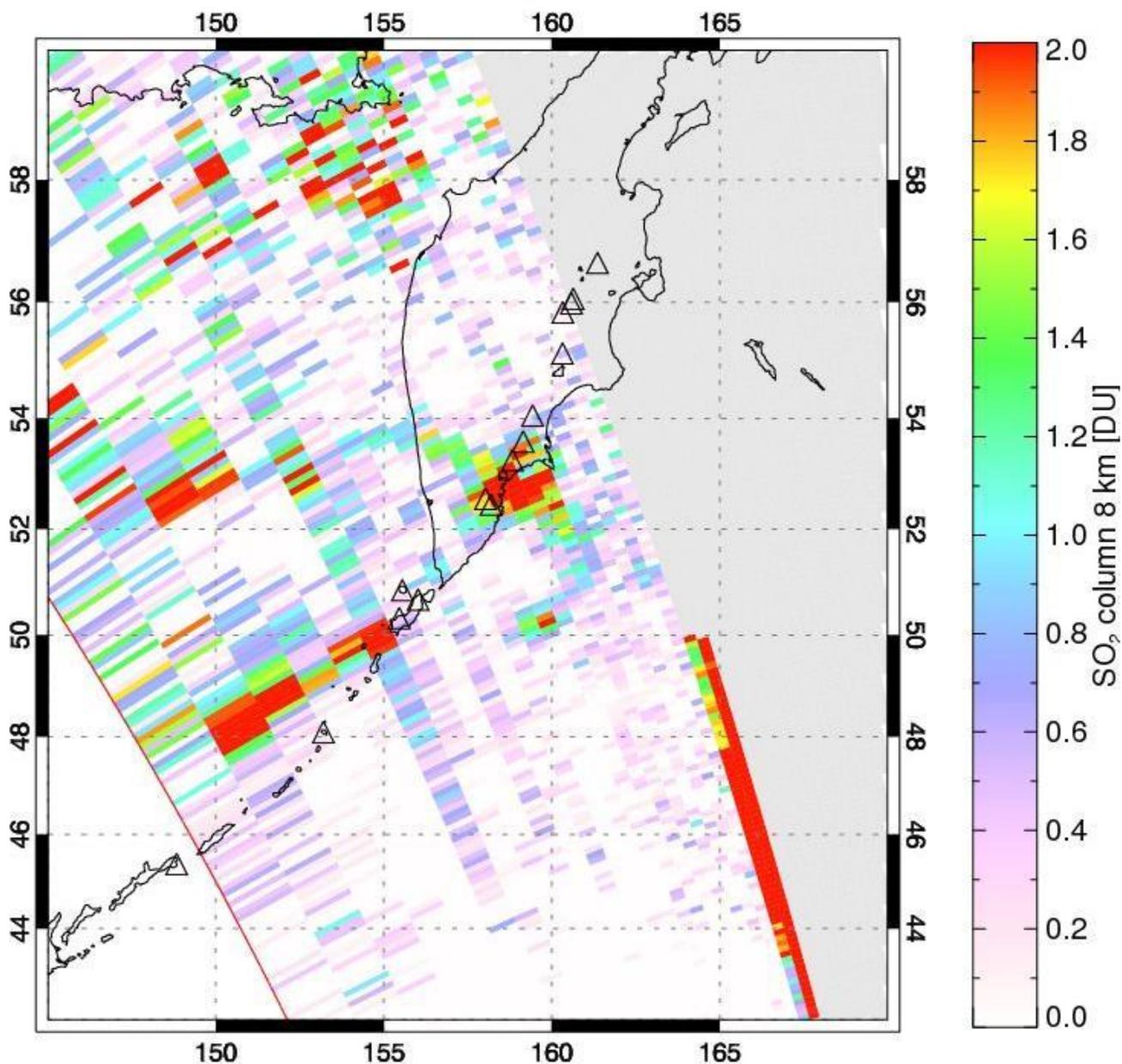


Рисунок 23 – Фрагмент базы данных ОМІ территории Камчатки за 17 февраля 2015 года

Выброс с наименьшей массой (0,001 кт) диоксида серы случился 1 сентября в 04:59 UTC. Фрагмент базы данных ОМІ за данный период представлен на рисунке 24.

Aura/OMI - 09/01/2015 01:30-01:36 UT

SO₂ mass: 0.001 kt; Area: 95 km²; SO₂ max: 0.64 DU at lon: 166.32 lat: 56.23 ; 01:33UTC

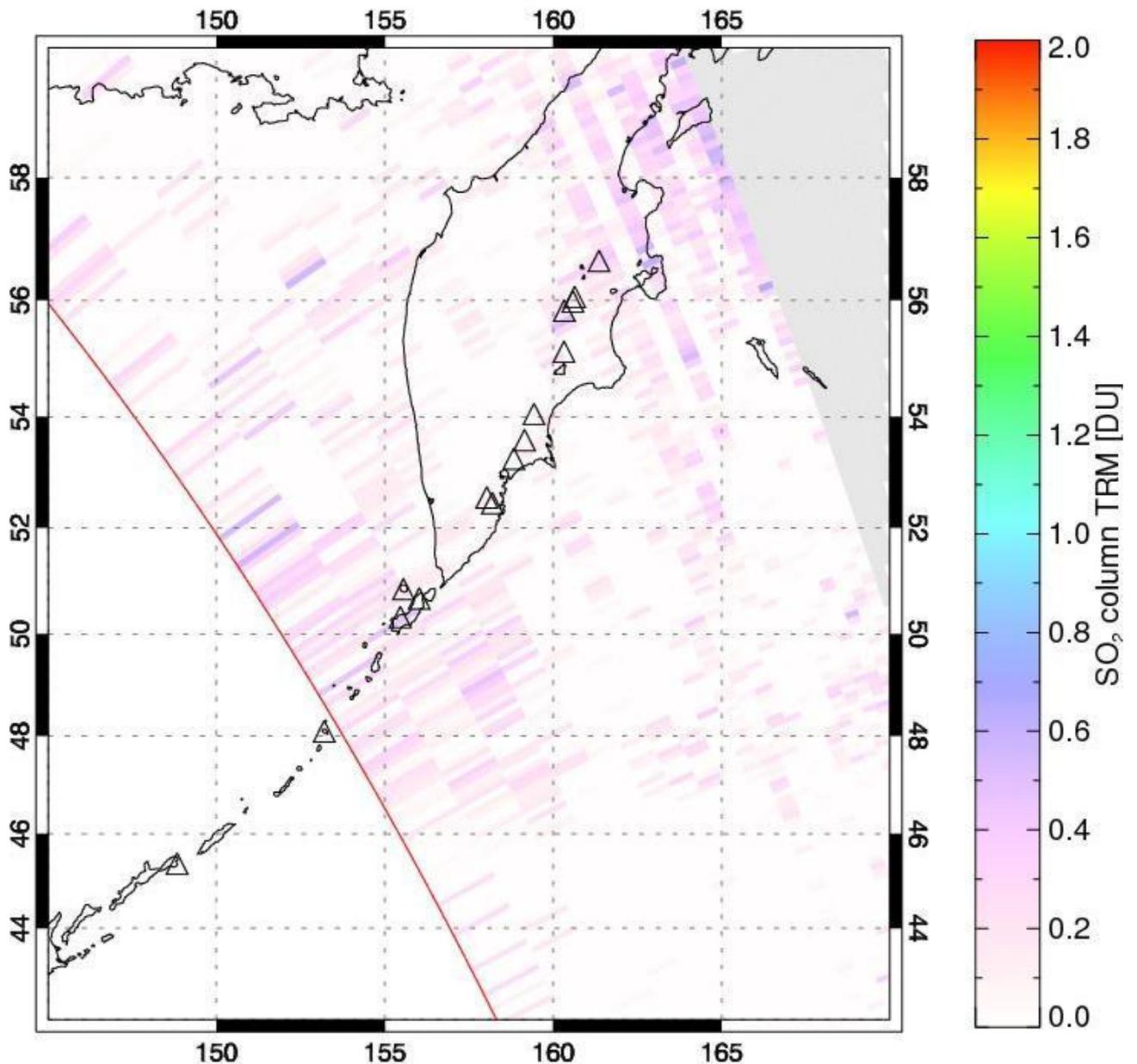


Рисунок 24 – Фрагмент базы данных ОМІ территории Камчатки за 1 сентября 2015 года

Площадь осадков составила всего 95 км², а концентрация была равна 0,64 единиц Добсона в координатах 56.23 и 166.32.

4 Сравнение результатов мониторинга SO₂ на исследуемых территориях

За время исследований в 2014 году сумма суточных масс выбросов SO₂ по Норильску составила 1495,592 кт, что на 10% больше массы выбросов городов Восточного Китая (1244,029 кт) и на 52% больше Камчатки (51,116 кт).

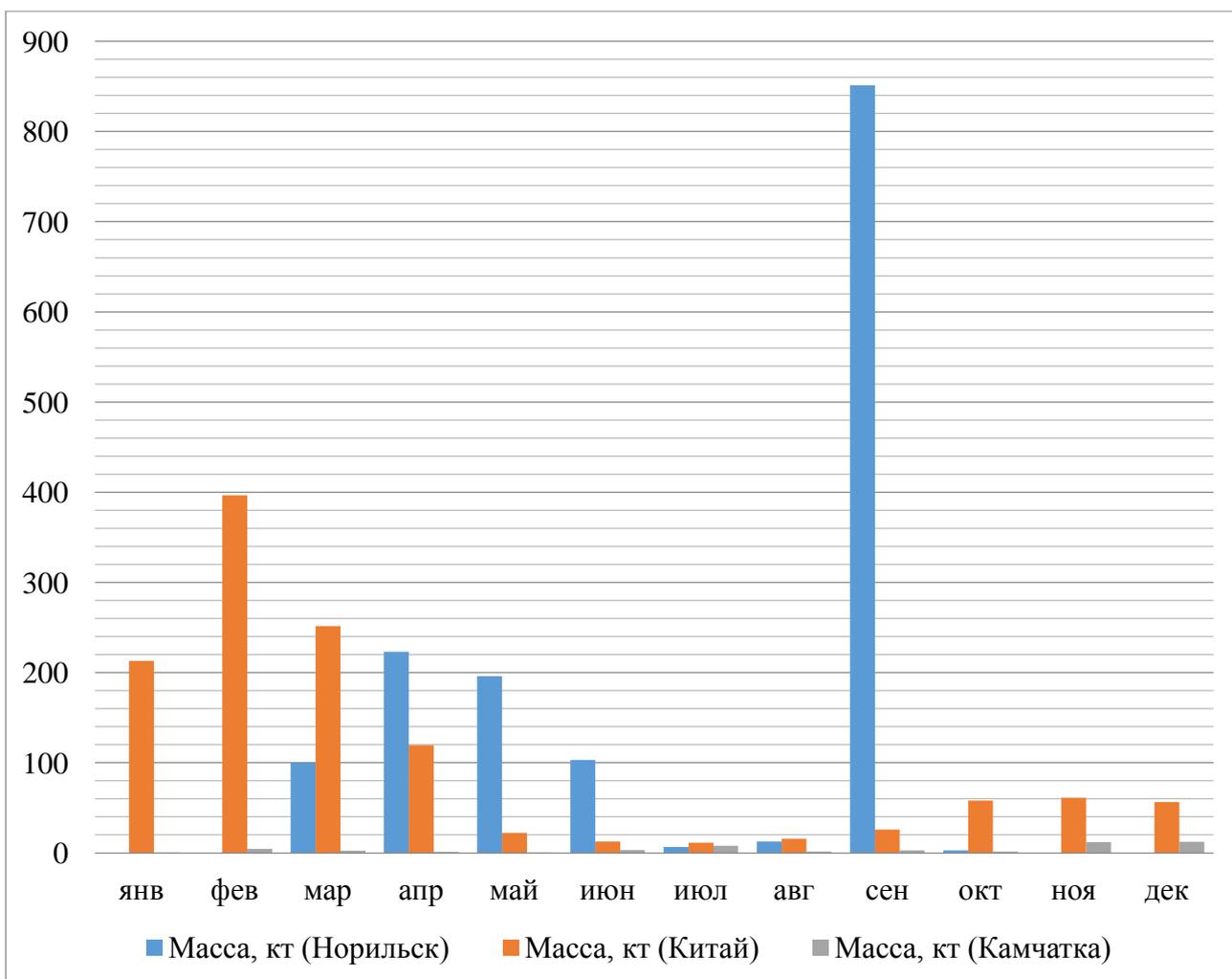


Рисунок 25 – Массы выбросов диоксида серы за каждый месяц 2014 года на территориях Норильска, Восточного Китая и Камчатки

По площади распространения выбросов за 2014 год лидирует Восточный Китай (27519635 км²), на втором месте идет Норильск (4245312 км²) и последнюю позицию занимает Камчатка (2905611 км²).

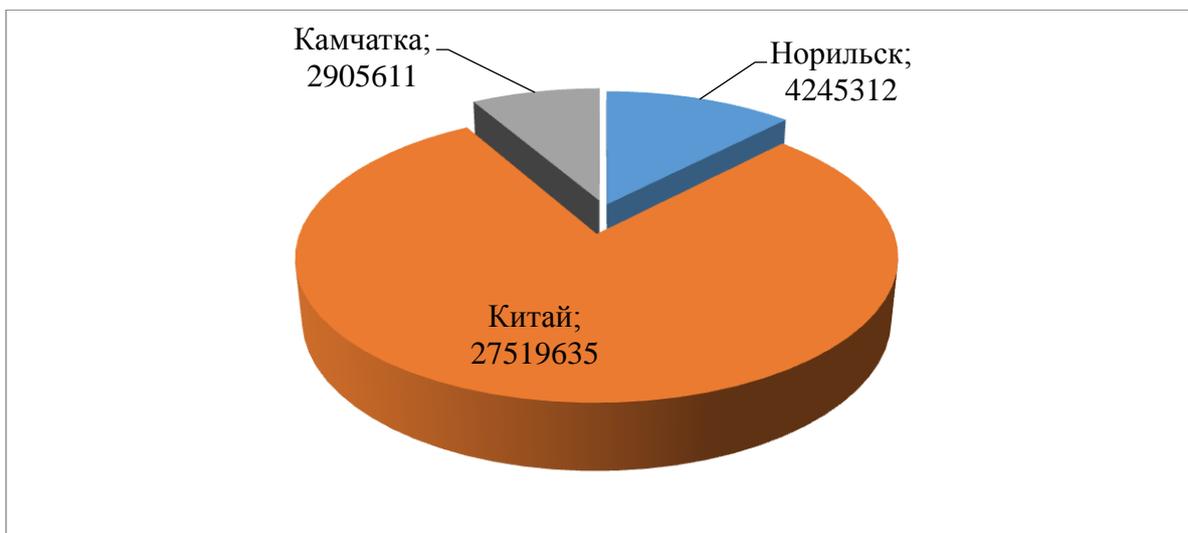


Рисунок 26 – Соотношение площадей выбросов диоксида серы за 2014 год на территориях Норильска, Восточного Китая и Камчатки

За 2015 год сумма суточных масс выбросов SO_2 по Норильску составила 721,691 кт, что на 12% больше массы выбросов городов Восточного Китая (563,233 кт) и на 53% больше Камчатки (33,443 кт).

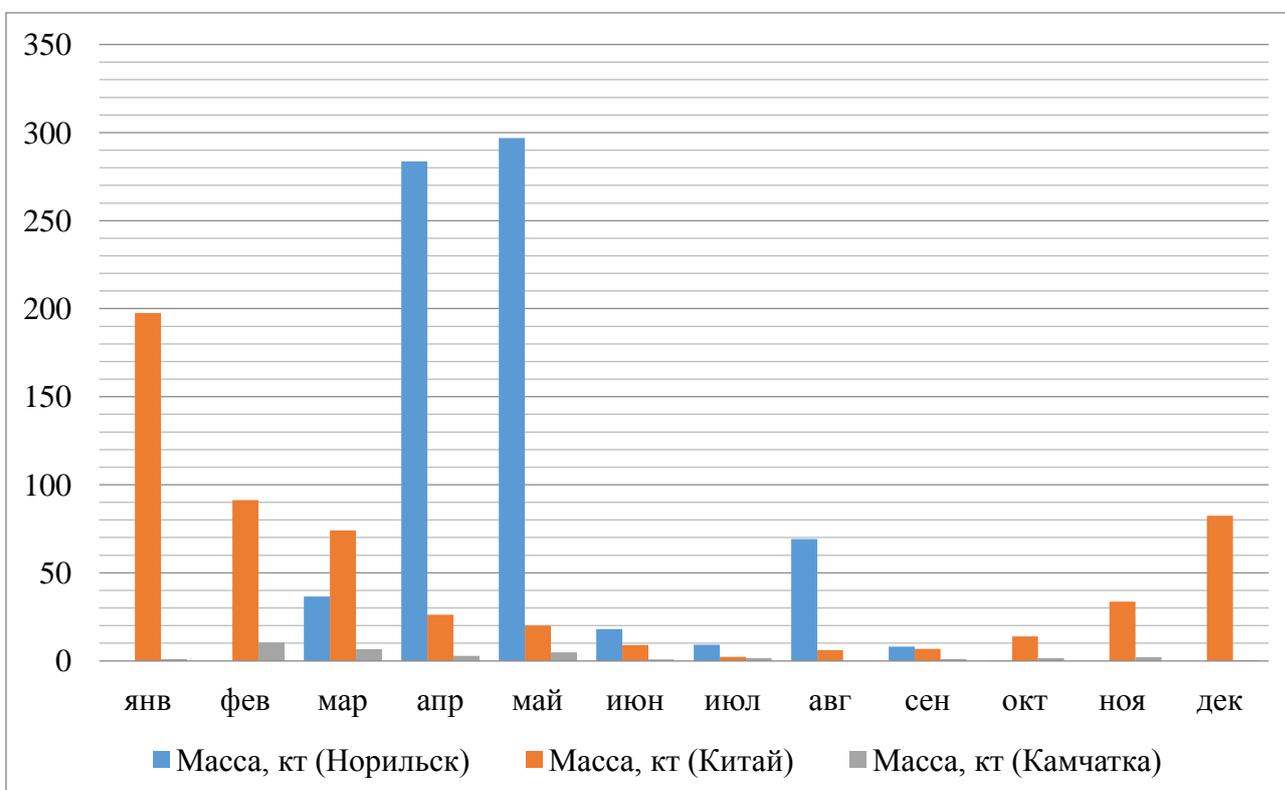


Рисунок 27 – Массы выбросов диоксида серы за каждый месяц 2015 года на территориях Норильска, Восточного Китая и Камчатки

По площади распространения выбросов за 2014 год лидирует Восточный Китай (11792660 км²), на втором месте идет Норильск (2114470 км²) и последнюю позицию занимает Камчатка (2099889 км²).

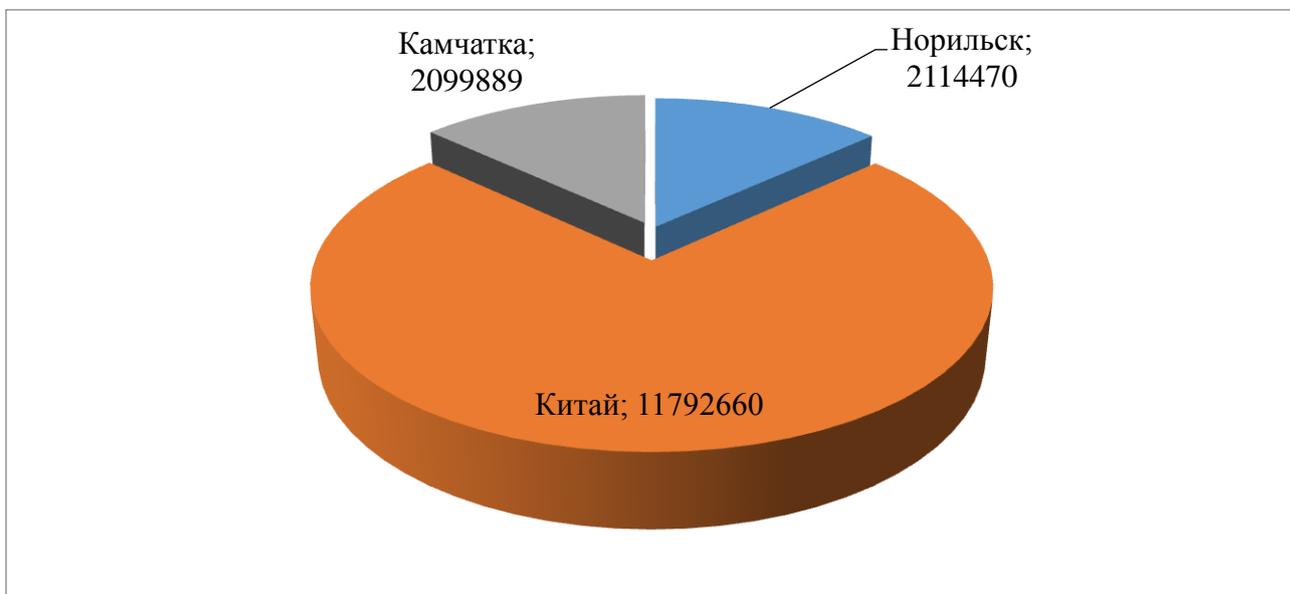


Рисунок 28 – Соотношение площадей выбросов диоксида серы за 2015 год на территориях Норильска, Восточного Китая и Камчатки

Максимальный месячный объем выбросов, зафиксированный спутником Aura, составил 851,099 кт в сентябре 2014 года на территории Норильска. Его площадь была равна 2611739 км².

Максимальный суточный выброс произошел 12 сентября 2014 года в 05:10 UTC площадью 516903 км² и массой 201,31 кт на территории Норильска.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования для оценки количества и площади выбросов диоксида серы в атмосфере по спутниковым данным ОМІ на территориях Норильска, Восточного Китая и Камчатки было наглядно показано, что Норильск занимает первое место по загрязнению атмосферного воздуха. Но, не смотря на то, что выбросы на территории Норильска обладают наибольшей массой, Восточный Китай лидирует по площади распространения SO₂.

На примере вулканов Камчатки было доказано, что массы и площади выбросов диоксида серы природного происхождения, крайне малы, по сравнению с массами и площадями антропогенных источников SO₂.

Наибольшая доля выбросов на всех исследуемых территориях пришлась на январь-май. Меньше всего выбросов было в июне-июле.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Finnish Meteorological Institute [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://www.fmi.fi.ru/>
2. Группа экоанализ [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://www.ecoanaliz.ru/cat-ecorussia/80-econorilsk.html/>
3. Global Sulfur Dioxide Monitoring [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://so2.gsfc.nasa.gov/>
4. Зуев, Д. В. Анализ выбросов диоксида серы по данным инструмента ОМІ (спутник Aura) для Норильской промышленной зоны космоса / Д. В. Зуев, В. Б. Кашкин // Оптика атмосферы и океана. - Красноярск : СФУ, 2013. - 5 с.
5. Geographyofrussia [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <https://geographyofrussia.com/kamchatka/>
6. Естествознание, справочник естественных наук [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://naturalscience.ru/content/view/416/598/>
7. Мельников, Д.В. Применение данных ОМІ/Aura для задач мониторинга извержений вулканов Камчатки/ Д.В. Мельников. – Институт сейсмологии ДВО РАН, 2013 – 6 с.
8. Большая Энциклопедия Нефти Газа [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/>
9. Сухинин, А. И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Учебник / А. И. Сухинин, В. Б. Кашкин. – Красноярск : СФУ, 2012. - 262 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица суточной массы и площади выбросов диоксида серы на территории Норильска за март 2014 года

Таблица А.1 – Суточная масса и площадь выбросов диоксида серы

День	Масса SO ² , кг	Площадь SO ₂ , км ²	Средняя масса, кг	Средняя площадь, км ²
1	0,000	100,244		376690
2	0,000			
3	0,000			
4	0,000			
5	0,004		279	
6	0,000			
7	0,114		11036	
8	0,000			
9	0,011		6672	
10	0,037		3185	
11	0,196		30028	
12	0,210		13552	
13	0,104		6894	
14	0,108		11058	
15	0,000			
16	1,991		6861	
17	0,006		183	
18	0,116		171	
19	0,179		3620	
20	0,121		7940	
21	0,089		1883	
22	8,160		46190	

Продолжение таблицы А.1

День	Масса SO ² , кг	Площадь SO ₂ , км ²	Средняя масса, кг	Средняя площадь, км ²
23	0,395		2686	
24	0,004		2182	
25	4,778		8958	
26	18,157		36776	
27	29,93		60762	
28	12,714		33821	
29	16,631		52057	
30	6,189		29896	
31	0,000			

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица массы выбросов диоксида серы в кт на исследуемых территориях за 2014 и 2015 год

Таблица Б.1 – Месячная масса выбросов диоксида серы

2014год							
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Итого
Норильск			100,244	223,043	196,13	103,074	
Китай	212,945	396,683	251,67	119,479	22,15	12,68	
Камчатка	0,374	4,454	2,595	1,309	0,612	3,131	
	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
Норильск	6,702	12,578	851,099	2,722			1495,592
Китай	11,363	15,618	25,959	58,202	61,028	56,252	1244,029
Камчатка	7,929	1,639	2,993	1,687	11,974	12,419	51,116
2015год							
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Итого
Норильск			36,459	283,73	296,904	18,039	
Китай	197,598	91,249	74,104	26,132	19,991	9,007	
Камчатка	0,918	10,494	6,691	2,906	4,85	0,893	
	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
Норильск	9,104	69,261	8,153	0,041			721,691
Китай	2,334	6,158	6,736	13,862	33,65	82,412	563,233
Камчатка	1,475	0,135	0,966	1,473	2,089	0,553	33,443