

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

Название работы

Анализ арктической озонной аномалии по спутниковым данным в марте 2011
года

Руководитель _____ д.т.н., проф. каф. ИИФиР СФУ В.Б. Кашкин
подпись, дата

Выпускник _____ К.В. Краснощёков
подпись, дата

Нормоконтролер _____ Е.В. Федотова
подпись, дата

Красноярск 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Ознакомление с теоретическими сведениями, изучение общепризнанной теории	4
1.1 Озон и озоновый слой	4
1.2 Озоновые дыры.....	6
1.3 Причины разрушения озонового слоя и последствия	6
1.3.1 Антропогенные воздействия.....	6
1.3.2 Разрушение озонового слоя при вулканических выбросах	7
1.4 Методы борьбы с разрушением озонового слоя	8
2 Методы исследования озонового слоя.....	8
2.1 Дистанционное зондирование земли (ДЗЗ).....	8
2.2 Изучение озонового слоя при помощи спектрометра OMI	10
3. Исследование озонной аномалии по данным спектрометра OMI	12
3.1 Построение ежедневных карт озонового слоя в северном полушарии за март 2011 года	13
3.2 Создание графика общего содержания озона по долготам	18
3.3 Исследование угловой скорости вращения озонового слоя.....	20
3.4 Создание диаграмм выбросов SO ₂ и O ₃	22
3.4.3 Построение карт содержания SO ₂ и O ₃	28
4. Выводы по проделанной работе	32
4.1 Причины образования озонной аномалии.....	32
4.2 Возникшие проблемы при изучении озонной аномалии 2011 года и способы их решений	33
Заключение	35
Список использованных источников	36

ВВЕДЕНИЕ

Основная теория разрушения озона имеет несколько пробелов. Она гласит: во второй половине XX века всё возрастающее воздействие антропогенного фактора в виде выделения хлор- и бромсодержащих фреонов привело к значительному утончению озонового слоя.

Существует несколько спорных моментов, а именно:

- почему основные источники антропогенного фреона находятся в северном полушарии, а дыра образовалась в южном?
- почему использование фреонов значительно уменьшилось, а общее содержание озона уменьшалось ещё десятки лет?

Общепризнанная теория разрушения озонового слоя отвечает на эти вопросы, однако они выглядят ещё более спорными, чем сама теория.

Цель работы: изучение стратосферного озона в северном полушарии и поиск причины разрушения озонового слоя.

Задачи:

- изучение появления озонной аномалии над северным полушарием в марте 2011;
- создание карт общего содержания озона над исследуемыми территориями;
- построение графиков стратосферного озона по средним, зональным значениям;
- оценка скорости вращения циркумполярного вихря в марте 2011 года;
- изучить влияние вулканических выбросов на содержание озона;
- оценка влияния вулканического диоксида серы на озоновый слой.

1. Ознакомление с теоретическими сведениями, изучение общепризнанной теории

1.1 Озон и озоновый слой

Озоновый слой – это часть стратосферы на высоте от 12 до 50 километров с наибольшим содержанием озона, образовавшимся в результате воздействия ультрафиолетового излучения Солнца на молекулярный кислород. В тропических широтах высота варьируется от 25 до 30 км, в умеренных от 20 до 25 км, в полярных от 15 до 20 км [1].

Так что же представляет собой слой озона в атмосфере? Теоретически, если весь озон «сжать» и разместить при температуре 0°C и давлении 1013 гПа на поверхности Земли, то он образовал бы пленку всего 2-4 мм толщиной. Если основные газы разместить при тех же условиях, то получится слой 8 километров. Высотное же распределение озона таково, что максимум концентрации отмечается на высоте 25 км. Большая часть озона находится в стратосфере, и этот слой в Арктике обычно расположен низко, тогда как в тропической зоне высоко. Что касается тропосферы, то здесь озона меньше, к тому же он в большей мере подвержен как сезонным, так и другим изменениям, в частности вызванным загрязнениями [2].

Озон — это особая форма кислорода. Озон — это газ, молекула которого состоит из трех атомов кислорода. Озон – сильнейший окислитель, самый химически активный из всех малых газовых составляющих в атмосфере, его молекулы постоянно находятся в процессах образования и распада [2].

Большинство молекул кислорода воздуха состоит из двух атомов. Молекула же озона состоит из трех атомов кислорода. Озон образуется под действием солнечного света. При столкновении фотонов ультрафиолетового света ($h\nu$) с молекулами кислорода (O_2) от них отщепляется атом кислорода, который, присоединившись к другой молекуле кислорода, образует озон (O_3), состоящий из трех молекул кислорода:



Почва, растительность, строительные сооружения, облачные частицы на всех высотах, водные поверхности, снег и многое другое инициируют распад озона. Малейшие изменения температуры и газового состава атмосферы, а также содержания в ней аэрозолей приводят к изменению количества озона [2].

Хотя озона содержится в атмосфере очень мало, он, тем не менее, играет весьма существенную роль в существовании жизни на Земле, так как поглощает жесткую часть исходящего от Солнца УФ_излучения (с длиной волны от 280 до 315 нм — так называемое УФ_Б_излучение), защищая от него живые организмы и растительность [1].

Озоновый слой является своего рода щитом Земли, защищающим все живое на поверхности планеты от смертоносного ультрафиолетового излучения Солнца. Повсеместное истощение озонового слоя приводит к чрезвычайно серьезным проблемам человечества, таким как потеря урожаев, различные кожные заболевания у тех людей, кто проводит много времени на открытом воздухе, и многие другие.

Утончение слоя озона может привести к серьезным последствиям для человечества. Уменьшение концентрации озона на 1 % вызывает увеличение интенсивности жесткого ультрафиолета у поверхности Земли в среднем на 2 %. По своему воздействию на живые организмы жесткий ультрафиолет близок к ионизирующим излучениям, однако из-за большей, чем у γ -излучения, длины волны он не способен проникать глубоко в ткани, поэтому поражает только поверхностные органы. Жесткий ультрафиолет обладает достаточной энергией для разрушения ДНК и других органических молекул [3].

Жесткие ультрафиолетовые лучи способны вызвать у человека рак кожи, в частности быстротекущую злокачественную меланому, а также катаракту и иммунную недостаточность, не говоря уже об обычных ожогах кожи и

роговицы. Они наносят вред животным и растениям, в частности морским экосистемам, поскольку плохо поглощаются водой.

1.2 Озоновые дыры

Озоновая дыра – это локальное падение концентрации озона в озоновом слое Земли.

Для определения границ озоновой дыры был выбран минимальный уровень содержания озона в атмосфере равный 220 единиц Добсона. Считается, что значения содержания озона в озоновом слое меньше 220 единиц Добсона являются значениями внутри озоновой дыры [4].

Единицы Добсона – это единица измерения содержания озона в атмосфере Земли. Одна единица Добсона равна слою озона 10 мкм при стандартных давлении и температуре. Это соответствует $2,69 \times 10^{16}$ молекул озона на квадратный сантиметр поверхности Земли, или 0,447 милимоля на квадратный метр [5].

1.3 Причины разрушения озонового слоя и последствия

1.3.1 Антропогенные воздействия

Существует общепризнанная теория разрушения озонового слоя, в которой описано, что основным источником разрушения озонового слоя, в современном мире, являются озоноразрушающие вещества (ОРВ). К ОРВ относятся хлор или бром содержащие вещества. При этом наиболее губительными являются хлорфторуглероды (ХФУ). Хлорфторуглероды широко применялись в качестве хладагентов, аэрозолей, растворителей.

Научные исследования в середине 1970 годов показали, что ХФУ, поднимаясь в верхние слои атмосферы, разрушая под действием

ультрафиолетового излучения с выделением хлора, который вступает в реакции с поглощением озона. Находясь в стратосфере, один атом хлора может разрушить до 1000 молекул озона.

В соответствии с фреоновой гипотезой озон разрушается в ходе каталитического цикла оксида хлора (т. е. сам оксид хлора при этом не расходуется и его относительно небольшое количество может вызвать разрушение значительного количества озона). Каталитический цикл образуют следующие реакции:



где М обозначает молекулу «третьего компонента» химической реакции, в качестве которого могут быть все газы, содержащиеся в атмосфере (обычно это азот или кислород) [1].

Особенность этой реакции в том, что две молекулы ClO, которые присутствовали в начале цикла, остались «неизменными» в конце его, а двух молекул озона — как не бывало [1].

1.3.2 Разрушение озонового слоя при вулканических выбросах

Однако существуют и альтернативные гипотезы разрушения озонового слоя, одной из них является теория разрушения озонового слоя в результате крупных вулканических извержений. В результате крупных извержений в атмосферу, на большую высоту, выбрасывается огромное количество различных газов и вулканического пепла, одним из этих газов является SO₂, содержание которого можно зарегистрировать методами дистанционного зондирования земли.

О том, как вулканические выбросы оказывают влияние на озоновый слой описано в [5]. В своей работе Савельева Е.С. описывает механизм разрушения стратосферного озона в полярных регионах в весенний период, был проведён анализ условия формирования весенних озоновых аномалий в Арктике и Антарктике.

1.4 Методы борьбы с разрушением озонового слоя

Так, как официальная версия разрушения озона, основана на том, что озон разрушается при выбросах хлор и бромсодержащих веществ, между большинства странами было подписан Монреальский протокол.

Монреальский протокол 1985 года - Международный договор, который был подготовлен к Венской конвенции об охране озонового слоя 1985 года. Данный документ разработан с целью защиты озонового слоя Земли с помощью снятия с производства некоторых химических веществ, которые приводят к его разрушению [2].

Протокол был подготовлен и подписан 16 сентября 1987 года и вступил в силу 1 января 1989 года. С тех пор данный протокол пересматривался семь раз, СССР подписал данный протокол в 1987 году, а в 1991 году Россия.

По мнению ученых, если договоренности, предписанные в рамках Монреальского протокола будут выполняться всеми странами участниками, то ожидается полное восстановление озонового слоя Земли к 2050 году.

2 Методы исследования озонового слоя

2.1 Дистанционное зондирование земли (ДЗЗ)

Дистанционное зондирование земли применяется для сбора информации об объекте не находясь в зоне прямого контакта. Сбор информации обычно

ведётся при помощи авиации или космических аппаратов. Информация может регистрироваться при помощи различных камер, радиолокаторов.

Дистанционное зондирование может вестись активным или пассивным методом. Активный метод предполагает вынужденное излучение объекта при его искусственном облучении. Пассивный метод использует естественное отражённое излучение от предметов.

Данные дистанционного зондирования служат основным источником информации при подготовке карт землепользования и топографических карт. Метеорологические и геодезические спутники NOAA и GOES используются для наблюдения за изменением облачности и развитием циклонов, в том числе таких, как ураганы и тайфуны. Изображения, получаемые со спутников NOAA, используются также для картирования сезонных изменений снегового покрова в северном полушарии в целях климатических исследований и изучения изменений морских течений, знание которых позволяет сократить продолжительность морских перевозок. Микроволновые приборы на спутниках Нимбус используются для картирования сезонных изменений в состоянии ледового покрова в морях Арктики и Антарктики [6].

Также данные дистанционного зондирования используются при составлении геологических карт с указанием типов пород, структурных и тектонических особенностей местности, для поиска месторождений полезных ископаемых. Инженерная геология пользуется данными дистанционного зондирования для выбора мест строительства, отвечающих заданным требованиям, определения мест залегания строительных материалов, контроля за проведением горных работ с поверхности, а также для проведения инженерных работ в приморской зоне. Кроме того, эти данные используются при оценках сейсмической, вулканической, гляциологической и других опасностей геологического происхождения, а также в таких ситуациях, как лесные пожары и промышленные аварии [6].

2.2 Изучение озонового слоя при помощи спектрометра OMI

С 2004 г. по настоящее время глобальное картирование поля ОСО осуществляется прибором Ozone Monitoring Instrument (OMI) (Голландия–Финляндия), космическим носителем которого является спутник, запущенный 15июля 2004 г. по программе систематических наблюдений EarthObserving System (EOS), NASA [7]. Данный спутник движется по приполярной солнечно-синхронной орбите со скоростью 7 км/с. В течение суток AURA осуществляет примерно 14 оборотов вокруг Земли[7].

По широте пространственный охват составляет от $-89,5^\circ$ до $+89,5^\circ$.

Прибор OMI измеряет интенсивность уходящего солнечного излучения в двух каналах УФ-области UV-1 (264-311 нм) и UV-2 (307-383 нм), а также в видимой области – канал VIS (349-504 нм). Спектральное разрешение для диапазона UV-1 составляет $\Delta \lambda = 0,63$ нм, UV-2 – $\Delta \lambda = 0,45$ нм и VIS – $\Delta \lambda = 0,63$ нм [7].

В спектрометре OMI реализован надирный метод измерения отраженного и рассеянного солнечного излучения с углом отклонения от местной вертикали $\pm 57^\circ$, что позволяет обеспечивать измерение интенсивности излучения вдоль и поперек движения космического аппарата AURA. Поле зрения прибора в 114° соответствует полосе обзора в 2600 км [8].

Схема прибора OMI приведена в [9]. На рисунке 1 видно, что спектрофотометр состоит из трех элементов: оптического комплекса, детекторного и электронного блоков. Оптический комплекс I включает:

– телескоп с полем зрения $114^\circ(\pm 57^\circ)$, оптическая ось которого направлена в надир 1, что позволяет измерять интенсивность уходящего солнечного излучения в полосе обзора 2 перпендикулярно направлению полета AURA;

– дифракционную решетку 6 и направляющие сферические зеркала 7;

термостабилизирующую систему 11, состоящую из нагревательного прибора 12 и температурного соединения 13 между оптической системой и детекторным блоком;

– две ПЗС-матрицы 14, преобразующие оптическое излучение в электрический сигнал.

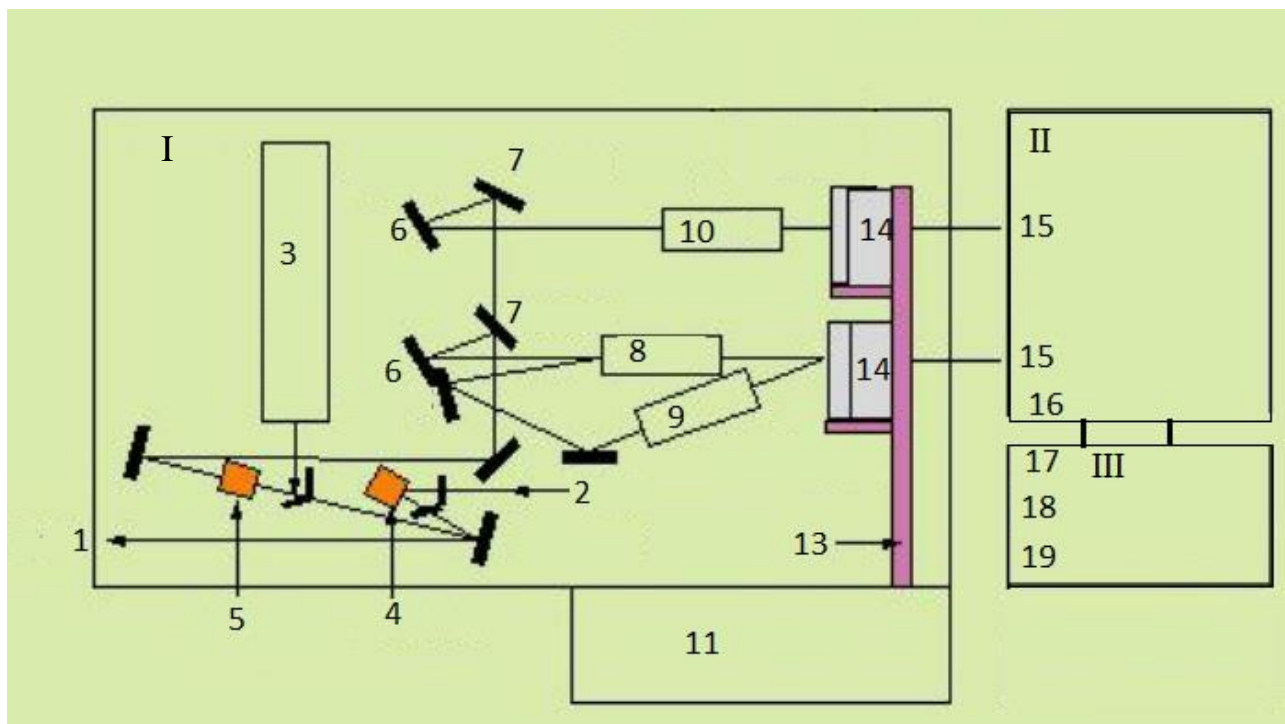


Рисунок 1 - Схема спектрометра ОМІ

Детекторный блок II состоит из двух аналого-цифровых преобразователей АЦП 15 и контроллеров мощности и температуры для термостабилизирующей системы. Основная функция электронного блока III заключается в управлении оптической частью прибора ОМІ. Электронный блок включает устройство синхронизации 17, контроллера с датчиком температуры и двух нагревательных элементов 18, 12-битного АЦП 19.

Обработка данных ОМІ осуществляется в реальном времени на основе методики Differential Optical Absorption Spectroscopy(DOAS), основанной на интерпретации дифференциальной структуры спектров поглощения атмосферных газов [10]. Метод DOAS заключается в минимизации рассогласований между результатами измерений и линейной комбинацией

эталонных спектров молекулярного поглощения после вычета широких спектральных составляющих, связанных с рассеянием, альbedo поверхности, рекомбинационным рассеянием и слабо меняющимися по спектру компонентами поглощения.

На первом этапе методом наименьших квадратов (МНК) определяется ОСО для наклонной трассы уходящего излучения, затем с учетом рассчитанных значений воздушных масс, определенных для различных климатических условий, находится ОСО в вертикальном столбе атмосферы. Основная трудность заключается в «прогнозе» величин воздушных масс, соответствующих реальному состоянию атмосферы и настоящим условиям спутниковых измерений [4].

3. Исследование озонной аномалии по данным спектрометра ОМІ

Космический аппарат Aura был успешно выведен на орбиту 15 июля 2004 года с помощью двухступенчатой ракеты Delta II 7920-10L. Аура был выведен на солнечно-синхронную орбиту. Это орбита 705 км над Землей с циклом повторения шестнадцати дней и 233 оборотов в цикле. Он предназначен для изучения атмосферы земли. Основной задачей спутника является контроль за изменением климата на Земле, загрязнением воздуха, состоянием озонового слоя Земли [7].

Прибор ОМІ (Ozone Monitoring Instrument) представляет собой спектрометр с двумерной ПЗС (прибор с зарядовой связью) матрицей в качестве датчика, измеряющий рассеянную атмосферой Земли солнечную радиацию в ультрафиолетовой и видимой частях спектра со спектральным разрешением ~ 0.5 нм и пространственным (горизонтальным) разрешением $13 \times 24 \text{ км}^2$ в надире. В качестве опорных спектров, используются спектры солнечного света [2].

Глобальный мониторинг концентраций SO_2 осуществляется на основе измерений в ультрафиолетовом диапазоне (UV) приборами, установленными на

искусственных спутниках Земли. В настоящее время, для решения данной задачи, на околоземной орбите находится два спутника – SCIAMACHY (на борту спутника ENVISAT) и OMI (на борту спутника AURA). 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 на околоземной орбите своего предшественника – TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer). OMI обладает более широким спектральным и пространственным разрешением. Он способен осуществлять ежедневный глобальный мониторинг состояния атмосферы в диапазоне 270-500 нм длины волны и спектральным разрешением 0.5 нм с пространственным разрешением 13x24 км/1 пиксель. Алгоритм обработки данных даёт информацию о повышенных концентрациях SO₂ на трёх высотах над уровнем моря: 2 км (антропогенный SO₂), 5 км (пассивная вулканическая дегазация) и 15 км (крупные эксплозивные извержения). 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 приходящего солнечного света. В качестве единиц измерения концентрации SO₂ используются единицы Добсона (Dobson Units). Одна единица Добсона равна 0.01 мм толщины сжатого слоя озона при 0 градусов Цельсия или 2.69×10^{20} молекул озона на квадратный метр. Типичное фоновое значение концентрации SO₂ в атмосфере составляет ≤ 1 единицы Добсона [11].

3.1 Построение ежедневных карт озонового слоя в северном полушарии за март 2011 года

Для построения карт общего содержания озона в северном полушарии необходимо найти данные о содержании озона.

Информацию о содержании озона измеряют при помощи наземных станций и с помощью спутников.

Регулярные наземные измерения ОСО начались в 1926 г. на станции Ароза в Швейцарских Альпах, а более или менее массовыми стали в конце 1950-х г. Озонометрические станции расположены по территории Земли крайне неравномерно: за рубежом большая их часть сосредоточена в Западной и Центральной Европе, примерно столько же — в США, Канаде, Индии и Японии и совсем мало — в остальной части Северного полушария и Южном полушарии.

Спутниковые измерения были начаты в конце 1970х г.— именно тогда, когда стали проявляться наиболее значительные изменения озонового слоя. В настоящее время по ОСО имеются данные аппаратуры TOMS (Total Ozone Mapping System) с искусственных спутников Земли Nimbus7 за 1978—1993 гг., Meteor3 — за 1991—1994 гг. (хотя и с большими пропусками и нарушениями однородности погрешности измерений, обусловленными отличиями орбиты от солнечно синхронной) и Earth Probe — с 1996 г. по настоящее время.

Для получения данных с северного полушария за 2011 год подходит спутник Aura с спектрометром OMI спектрометр, предназначен для измерения размеров отражённого и рассеянного в атмосфере солнечного излучения.

Скачать данные можно с сайта NASA [12].

Данный спектрометр имеет расширение в один градус по широте и один градус по долготе.

Данные на сайте за один день представлены последовательностью цифр вида: lat = -89.5 27427427427427427427427327327327...

где lat есть значение широты. Далее идут последовательно 360 трехзначных чисел, обозначающих толщину озонового слоя на определённой долготе, данной широты. Толщина озонового слоя представляется в единицах Добсона.

Так как карты будут строиться в программе Surfer 9, которая принимает файлы формата dat, необходимо конвертировать данные, полученные с сайта, в вид, понятный данной программе.

Для этого будем использовать программу ОЗ.

Выберем северное полушарие и поставим значения, как на рисунке 2

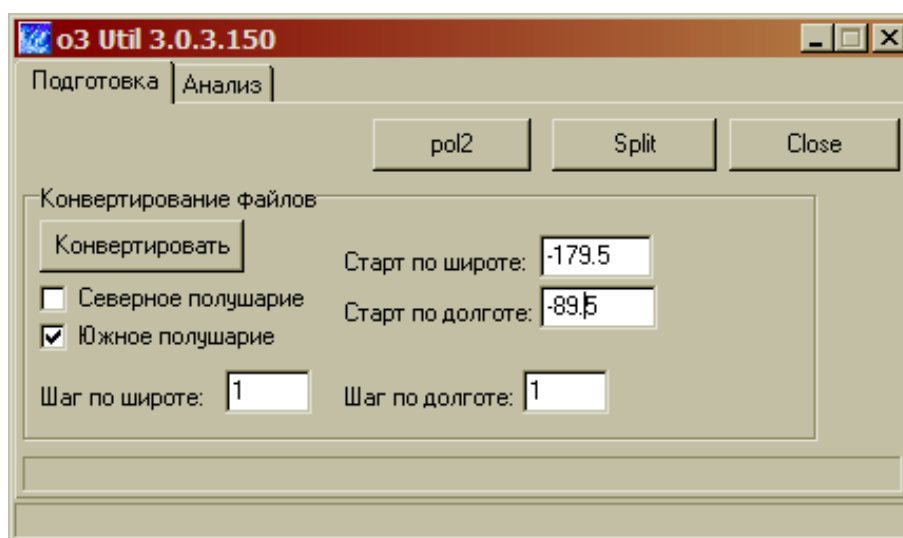


Рисунок 2 – Интерфейс программы ОЗ

Для получения карт, в более привычном виде, с центром в северном полюсе, воспользуемся функцией pol2.

Для создания карт возьмём данные, полученные при помощи программы ОЗ. Для географической привязки карт необходимо наложить на неё градусную сетку. Это делается стандартными инструментами программы Surfer. При построении карт за март использовалась интерполяция методом Kriging, для заполнения пустых пикселей вблизи полюса.

Метод Криге (Kriging) – это геостатистический метод построения сети, который оказался очень полезным и в других областях. Данный метод пытается выразить тренды, которые предполагаются в ваших данных. Например, точки высокого уровня предпочтительнее соединять вдоль гребня, а не изолировать с помощью замкнутых горизонталей [13].

Далее откроем при помощи того же Surfer уже готовое изображение с градусной сеткой, как на рисунке 3.

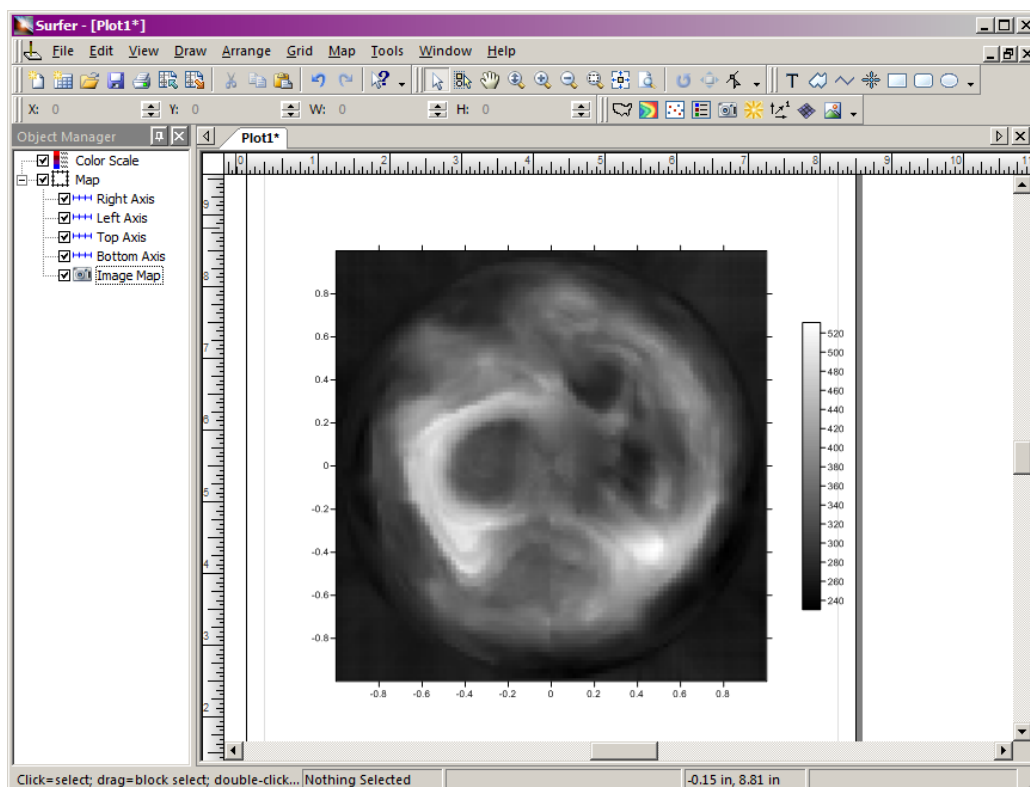


Рисунок 3 – Интерфейс программы Surfer

По умолчанию в ПО Surfer максимальному значению из предоставленных данных соответствует белый цвет, минимальному чёрный. Для более наглядного восприятия карт ОСО отредактируем градиент. Минимальному значению будет соответствовать красный цвет, максимальному белый, так же добавим промежуточные цвета, синий, зелёный и жёлтый. Так как, ежедневные значения имеют разные значения максимального и минимального значения ОСО, то для того, что бы на разных изображениях одно и тоже значение ОСО соответствовало одному и тому же цвету необходимо для каждого вручную задать минимальное и максимальные значения.

На рисунке 4 можно видеть как образовывалось кольцо полярного вихря и внутреннюю часть воронки с пониженным содержанием ОСО. Однако это не является озоновой дырой, так как принято считать, что озоновой дырой является уменьшение ОСО менее 220 е.Д.

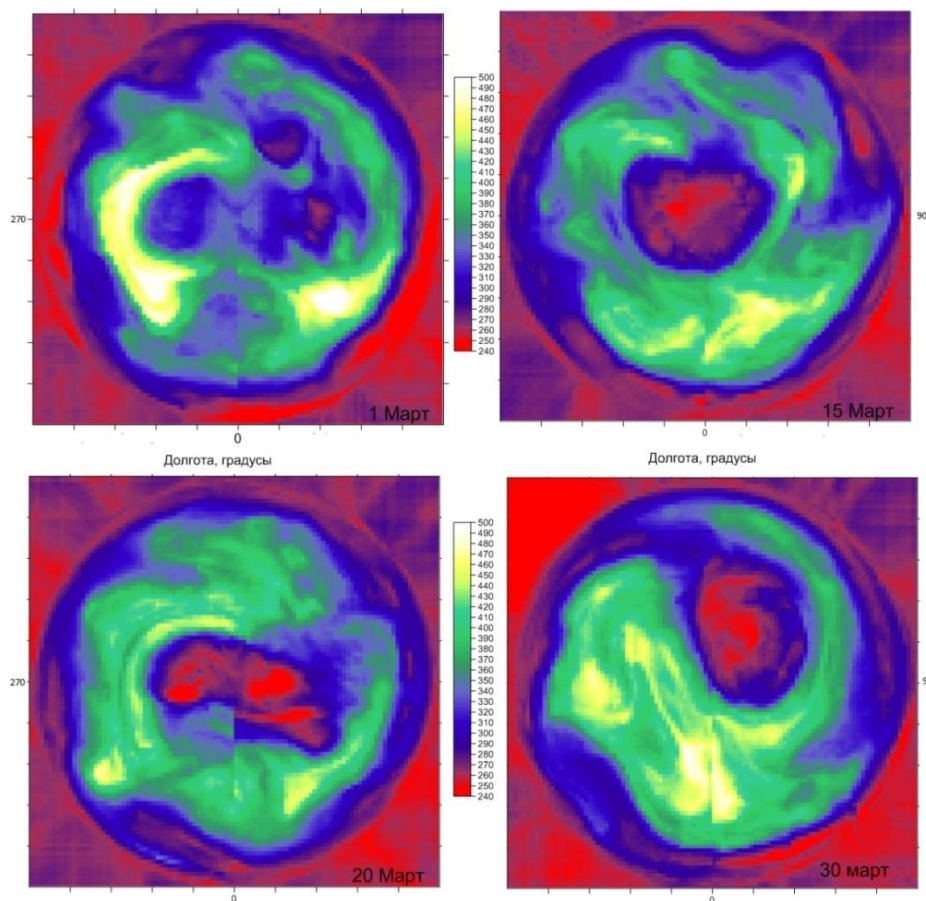


Рисунок 4 – Общее содержание озона над северным полушарием 2011 года

Особенностью озонной аномалии весной 2011 года, стало то, что она сместилась на юг, накрыв европейскую и азиатскую часть России, это видно на рисунке 5.

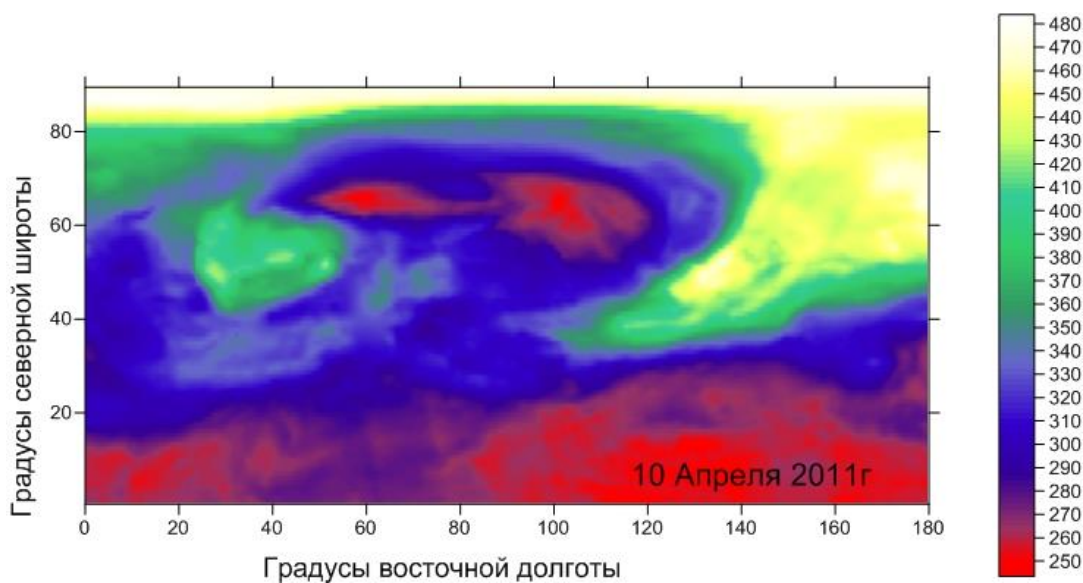


Рисунок 5 – Смещение озонной аномалии

Причиной уменьшения ОСО может служить извержение вулкана в Индонезии [14].

Результатом работы над данным заданием стало 30 карт за каждый день марта, на которых отображено распределение озона в северном полушарии. При таком количестве изображений, при последовательном просмотре, можно отследить изменение содержания озона изо дня в день, а так же увидеть образование полярного вихря над северным полушарием с зоной пониженного общего содержания озонового слоя в центре.

3.2 Создание графика общего содержания озона по долготам

Зональное среднее, показывает среднее значение озона в кольце ограниченным заданными широтами. На сайте NASA предоставляется такая информация. Она находится по адресу [12].

Данные на сайте за один год представлены последовательностью цифр вида: Jan 1, 2006 2006.003 271.4 275.7 278.9 287.4 296.7 3... В начале каждой строки находится информация о дате, за которые предоставлены данные. Так же в файле содержится информация о верхней и нижней границе каждого кольца, в котором рассчитываются средние значения. В данном файле ширина кольца равняется пяти градусам.

Данные в этом файле предоставлены более удобно, чем для предыдущего задания, и особой обработки не требуют, единственное, что требуется, это изменить разделитель разрядов с точки на запятую, это связано с особенностью локализации.

Для построения графиков воспользуемся программой Excel. Выделим значения северного полушария за один день. При выборе данных, можно заметить, что для некоторых дней, начальные значения имеют нулевые значения. Это связано с тем, что спутник работает по принципу регистрации отраженного солнечного излучения от атмосферы. Следовательно, в местах, которые скрыты от солнца, полярная ночь, невозможен сбор информации со

спутника. Для сбора информации в таких условиях используются наземные станции.

Добавим на график информацию за три дня. Для отображения был выбран март 2011 года. На рисунке 6 видно увеличение общего содержания озона в течение месяца.

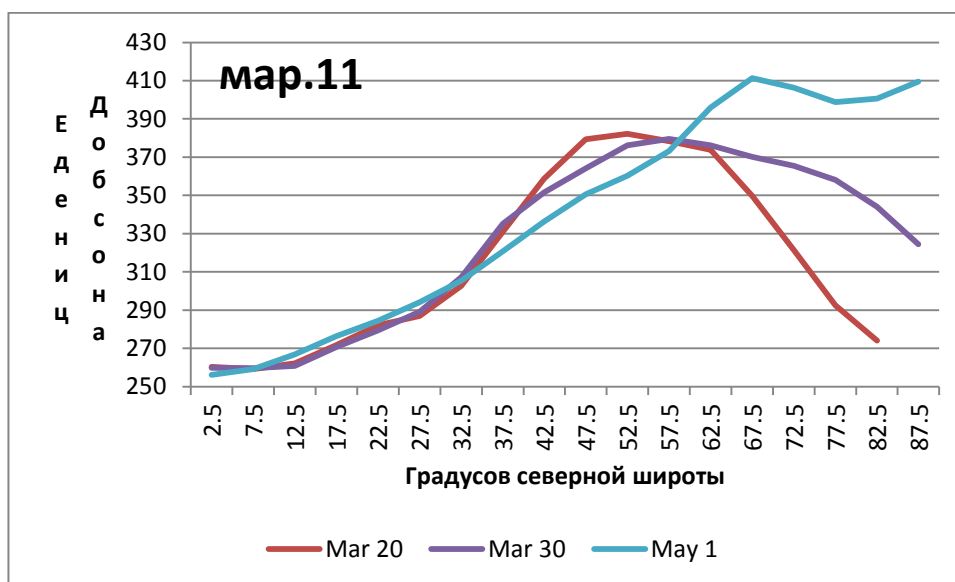


Рисунок 6 – График зонального содержания озона

Максимум ОСО во время образования полярного вихря приходится на 50 градусов северной широты. По графику видно, что максимальное значение ОСО в вихре почти на 40 единиц Добсона выше, чем значения на той же широте за май. Так же можно заметить, что в диапазоне от 85° до 60° кривая имеет вид параболоиды. Проверим насколько это совпадает. Выберем одну из линий и вставим линию тренду вида полинома второй степени. Добавим значение аппроксимации. Видим, что наша прямая имеет очень высокий показатель аппроксимации, что значит, что имеет вид некая квадратичная зависимость.

3.3 Исследование угловой скорости вращения озонового слоя

Для сравнения таких показателей, как угловая скорость вращения озонового слоя и содержание озона необходимо иметь представление о скорости озона и содержанием озона. Будем использовать схожий принцип, как и в предыдущем задании, среднее зональное содержание озона и угол, на который сместился озон за один день по этому же кольцу. Для того, что бы выяснить как скорость озона влияет на его содержание в атмосфере необходимо сравнить данные до озонной аномалии, которая произошла в 2011 году, и момент аномалии. Для сравнения возьмём зональные средние за 2010 год и 2011. Для выявления угловой скорости вращения озонового слоя будем использовать программу Dinamic, которая работает, по принципу подсчёта коэффициента корреляции между двумя днями. Для него используются данные как и для задания, построения карт озонового слоя. Необходимо выбрать два подрят идущих дня. Для получения таблицы, как на рисунке 7. Необходимо указать ширину кольца. В нашем случае, это 5°. Так как такая же ширина используется и в зональных средних, с которыми мы будем сравнивать.

мин. широта	макс. широта	сдвиг по дол.	сдвиг по шир.		
-89,5	-84,5	0	-1	0	0
-84,5	-79,5	0	-1	0	0
-79,5	-74,5	0	0	0	0
-74,5	-69,5	0	2	0	0
-69,5	-64,5	0	1	0	0
-64,5	-59,5	0	4	0	0
-59,5	-54,5	1	3	0	0
-54,5	-49,5	13	2	0	0
-49,5	-44,5	13	1	0	0
-44,5	-39,5	11	-1	0	0
-39,5	-34,5	8	-1	0	0
-34,5	-29,5	0	-1	0	0
-29,5	-24,5	0	1	0	0
-24,5	-19,5	0	0	0	0
-19,5	-14,5	0	1	0	0
-14,5	-9,5	2	1	0	0
-9,5	-4,5	2	1	0	0

Рисунок 7 – Интерфейс программы Dinamic5

Для получения таблицы, как на рисунке семь. Необходимо указать ширину кольца. В нашем случае, это 5°. Так как такая же ширина используется и в зональных средних, с которыми мы будем сравнивать.

Откроем все файлы, созданные при помощи программного обеспечения «Dinamic» и объединим их в один файл, для более удобной последующей работы с ними. Для того, что бы увидеть разницу, между скоростью ветра в период озонной аномалии и этим же периодом в предыдущем году, построим графики за март 2010 года. Для наглядности, добавим на полученные графики, графики, полученные в результате выполнения предыдущего пункта.

На рисунке 8 преведена усреднённая скорость по параллели в северном полушарии за период с 1 по 10 марта 2010 года, а так же общее содержание озона над данной территорией.

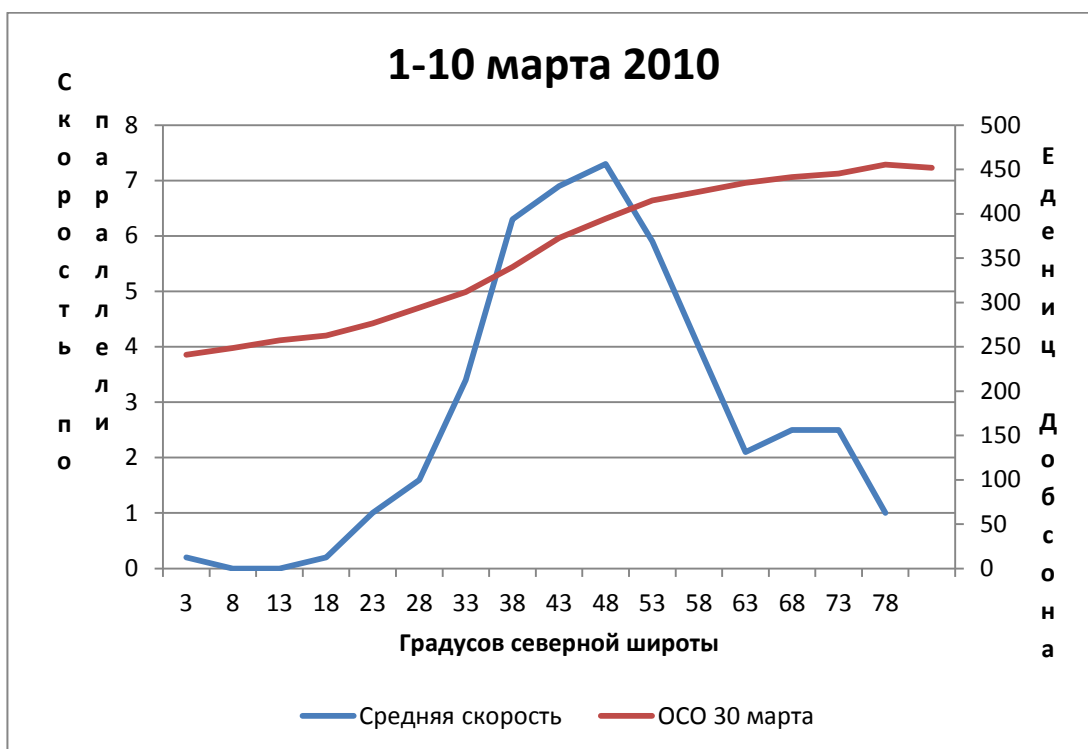


Рисунок 8 – Графики скорости и зональных значений озона

На графике видно, что в марте общее содержание озона плавно возрастает от экваториальной области к полярной. Средняя скорость имеет ярко выраженный пик над 50 градусами северной широты.

На рисунке 9 приведена усреднённая скорость по параллели в северном полушарии за период с 20 по 30 марта 2011 года, а так же общее содержание озона над данной территорией.

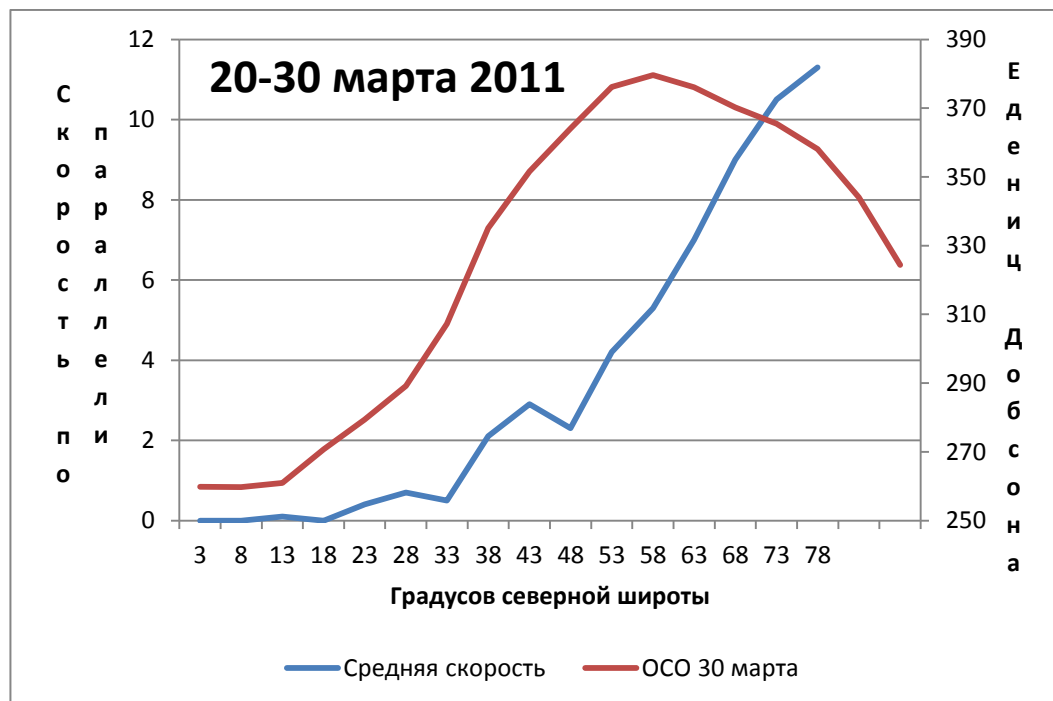


Рисунок 9 – График скорости и зональных значений озона

На графике виден провал в содержании озона, над северным полюсом, озоновая дыра. При этом и средняя скорость по параллели отличается от значений предыдущего года. Если сравнивать ОСО в марте 2010 и 2011 года, то можно увидеть, что ОСО очень сильно отличается по всему северному полушарию. Видно, что в 2011 году ОСО гораздо меньше чем в этом же дне год назад. Это так же может быть связано с выбросами вулкана в Индонезии [14].

3.4 Создание диаграмм выбросов SO₂ и O₃

Для создания диаграмм необходимо найти данные о содержании SO₂ и O₃. Для удобства их обработки, желательно, что бы предоставленная информация уже была сопоставлена по дням и географическим координатам.

Такую информацию предоставляет спутник Aura с расположенным на нём спектрометром OMI.

Информация со спутника Aura находится на сайте NASA [15]. Данная информация особо представляет интерес в зонах вулканической активности. Данные с сайта [15] можно сохранить в формате «.txt», что является не очень удобно для последующей обработки. Для более наглядного предоставления информации откроем скачанный файл при помощи ПО от Microsoft: Excel. На рисунке 10 виден фрагмент такого файла.

В исходных файлах предоставлена информация с 2004 по 2016 года и содержит информацию о содержании SO₂ и O₃ над данной территорией. В данной таблице приведены данные о дате каждого измерения над этой территорией, общее содержание SO₂ в слое атмосферы, общее содержание озона в атмосфере.

Popocatepete	Mexico	OVPID:	999	Latitude:	18,95	deg.
EOS	Aura	OMI	OMSO2	(Collectio	3),	Generated:
Criteria	:	for	pixels	1)	within	50km
Datetime	:	Date	and	time		
Lat.	:	CTP	center	latitude	(degree)	
Lon.	:	CTP	center	longitude	(degree)	
SO2_TRL	:	Total	Column	Amount	SO2	Low
SO2_TRM	:	Total	Column	Amount	SO2	Middle
SO2_STL	:	Total	Column	Amount	SO2	Low
OMTO3_O3	:	Best	Total	Ozone	Solution	(DU)
Read	format	(FORTRAN	i4.4,2i2.2,a1,3i2.2,i3.3,a1,f14.6,i6,i5.3,i11.5,i8			
Datetime	Lat.	Lon.	SO2_TRL	SO2_TRM	SO2_STL	OMTO3_O3
20120101T19	18,88	-99,17	6,906	3,582	2,844	270,51
20120101T19	18,61	-98,72	2,465	0,89	0,632	259,39
20120101T19	18,73	-98,75	5,788	1,614	1,145	262,78
20120101T19	18,85	-98,78	4,939	2,728	2,226	266,96
20120101T19	18,97	-98,81	7,677	5,235	4,072	279,1
20120101T19	19,09	-98,84	3,807	2,333	1,692	266,11
20120101T19	19,21	-98,87	1,509	0,876	0,61	258,66
20120101T19	19,33	-98,91	0,724	0,417	0,292	256,28
20120101T19	18,69	-98,39	1,608	0,869	0,636	260,59
20120101T19	18.81	-98.42	2.205	1.427	1.1	258.23

Рисунок 10 – Общий вид исходной информации в Excel

Содержание SO_2 в атмосфере делится на четыре группы: $\text{SO}_2\text{-TRL}$, $\text{SO}_2\text{-TRM}$, $\text{SO}_2\text{-STL}$.

Атрибут $\text{SO}_2\text{-TPL}$ показывает содержание SO_2 от 0 до 5 км над уровнем моря, значения отображаются в единицах добсона(DU). $1\text{DU} = 2.69 \cdot 10^{16}$ молекул/см². Что соответствует низкому тропосферному слою.

Атрибут $\text{SO}_2\text{-TPM}$ показывает содержание SO_2 от 5 до 10 километров над уровнем моря, значения отображаются в единицах добсона(DU). Что соответствует среднему тропосферному слою.

Атрибут $\text{SO}_2\text{-STL}$ показывает содержание SO_2 от 15 до 20 километров над уровнем моря, значения отображаются в единицах добсона(DU). Что соответствует стратосферному слою.

Установим зависимость от содержания SO_2 в среднем тропосферном слое содержания озона. Для этого обычно применяется вычисление коэффициента корреляции между величинами содержания SO_2 и O_3 , однако, ввиду преимущественно незначительного количества SO_2 в атмосфере данный способ является не эффективным, так как такое количество SO_2 не оказывает значительное влияние на содержание O_3 . Для какого либо видимого эффекта необходимо аномально высокое содержание SO_2 , для этого были выбраны районы с вулканической активностью и выбирался период наибольшей его активности за весь период наблюдения его при помощи спектрометра OMI. Во время вулканической активности содержание SO_2 в атмосфере увеличивается в десятки, а иногда и в сотни раз. Такие изменения и оказывают разрушительное влияние на содержание O_3 .

В ходе взаимодействия SO_2 с O_3 образуется оксид серы(VI) и кислород. В результате O_3 разрушается. В ходе анализа данных была построена диаграмма на которой отображено содержание SO_2 и O_3 в атмосфере.

Однако SO_2 не единственный газ, который может оказывать разрушительное влияние на озоновый слой. Основной причиной выбора SO_2 для сравнения с показаниями озона над одной и той же территорией, является

доступность этих данных, простота обработки и то, что он так же выбрасывается в период вулканической активности. Химический состав вулканических газов: водяной пар, диоксид углерода (CO_2), оксид углерода (CO), азот (N_2), диоксид серы (SO_2), оксид серы (SO), газообразная сера (S_2), водород (H_2), аммиак (NH_3), хлористый водород (HCl), фтористый водород (HF), сероводород (H_2S), метан (CH_4), борная кислота (H_3BO_3), хлор (Cl), аргон (Ar), преобразованные H_2O и CO_2 . Также присутствуют хлориды щелочных металлов и железа. Состав газов и их концентрация зависят от температуры и от типа земной коры, поэтому они могут меняться в пределах одного вулкана [16]. Все эти газы могут оказывать разрушительный эффект на озон.

На рисунке 11 визуальнo отображена зависимость содержания O_3 от количества SO_2 , при извержении. Заметно, что при существенном увеличении содержания SO_2 в атмосфере значительно уменьшается общее содержание озона, а с уменьшением содержания SO_2 , O_3 восстанавливается до прежних значений.

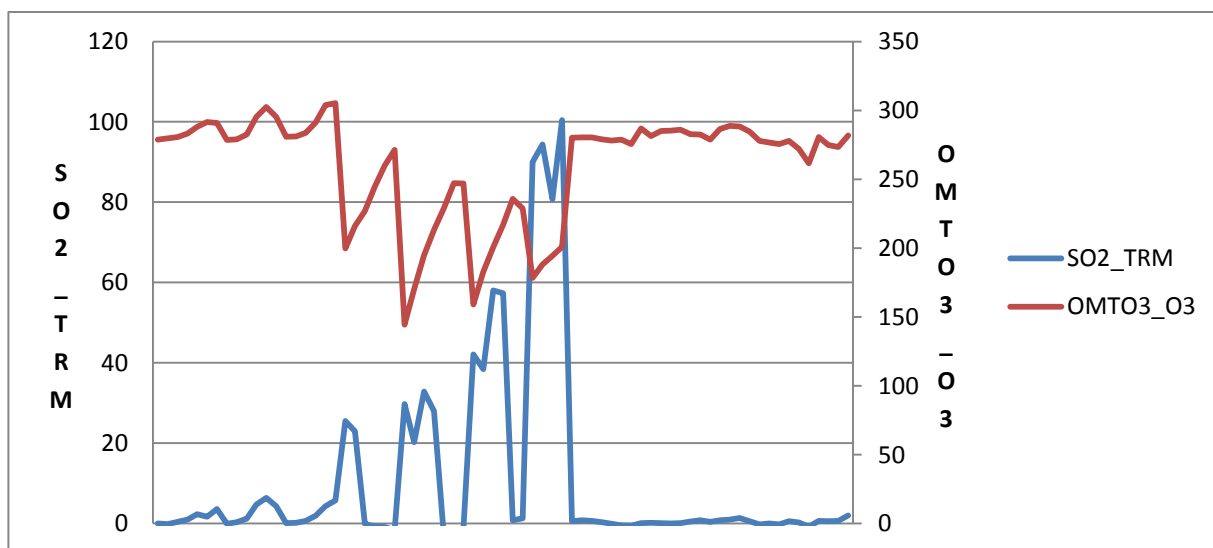


Рисунок 11 – График содержания SO_2 и O_3

Для построения графика, определим, в каком году на данной территории, с начала наблюдения, была зарегистрирована максимальная концентрация SO_2 . Построим график за этот год, этот график приведён на рисунке 12.

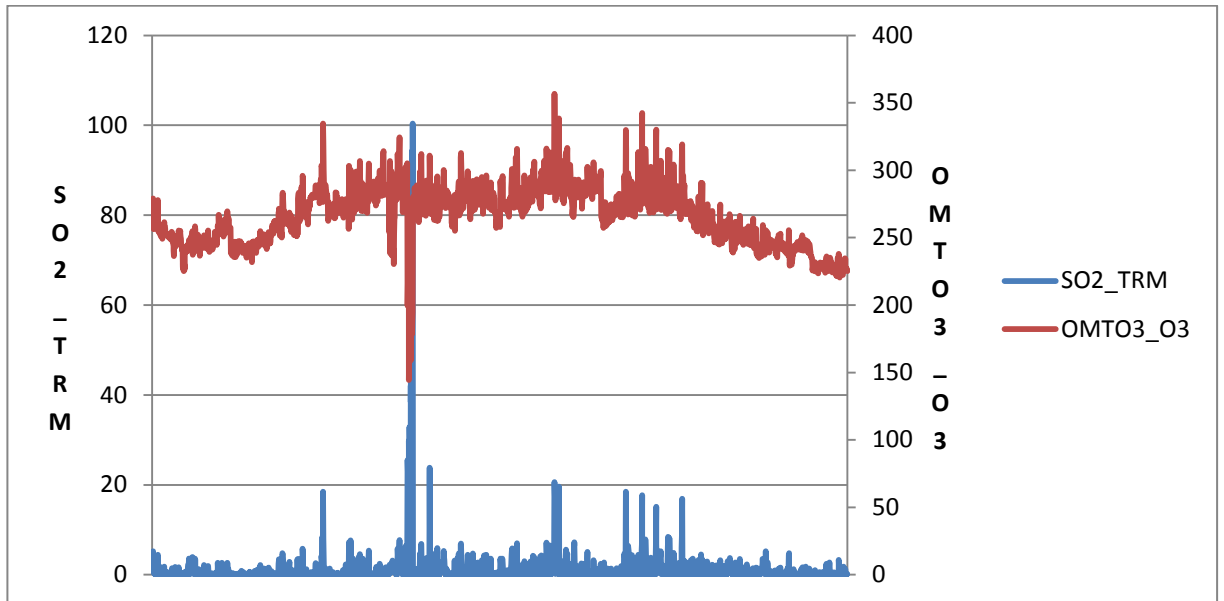


Рисунок 12 – График содержания SO_2 и O_3 за 2012 год.

Данный график не является информативным ввиду большого количества значений. Необходимо выбрать один небольшой участок, среди этих значений, которые представлял бы наибольший интерес. Исходя из графика находим интервал с наибольшим значением SO_2 и растягиваем его по графику, удаляя остальные значения. На графике, изображенном на рисунке 13 более детально видны значения SO_2 и O_3 . Наглядно видно, как содержание SO_2 вместе с другими веществами получаемыми во время извержения оказывают влияние на количество O_3 .

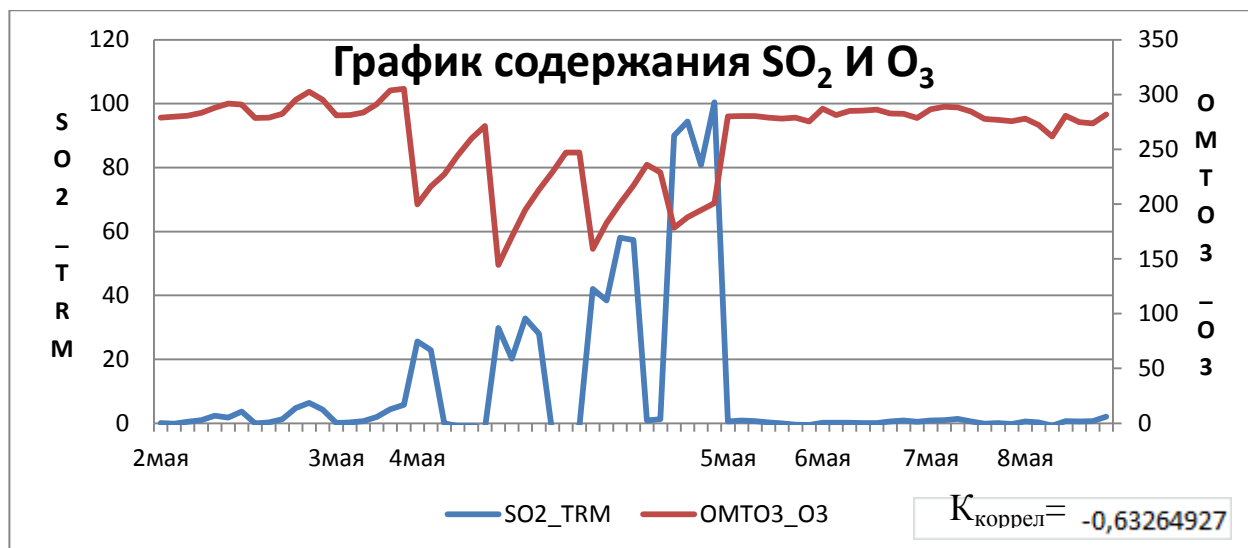


Рисунок 13 - График содержания SO₂ и ОМТО3_О3.

При этом, на графике можно заметить, что содержание озона в атмосфере понижается значительно, чем количество SO₂. Это обуславливается тем, что помимо SO₂ при извержении выбрасываются ещё многочисленные газы, которые также оказывают разрушающее воздействие на озоновый слой.

Коэффициент корреляции для содержания SO₂ и O₃ составляет -0,63, что соответствует средней отрицательной корреляции

Рассмотрим ещё один график влияния вулканических выбросов на общее содержание озона. Индикатором вулканической активности так же служит SO₂.

На рисунке 14 предоставлены данные по вулкану Стромболи, расположенному в Италии. Были приведены измерения SO₂ о O₃ в период с 22 апреля по 4 мая 2012 года.

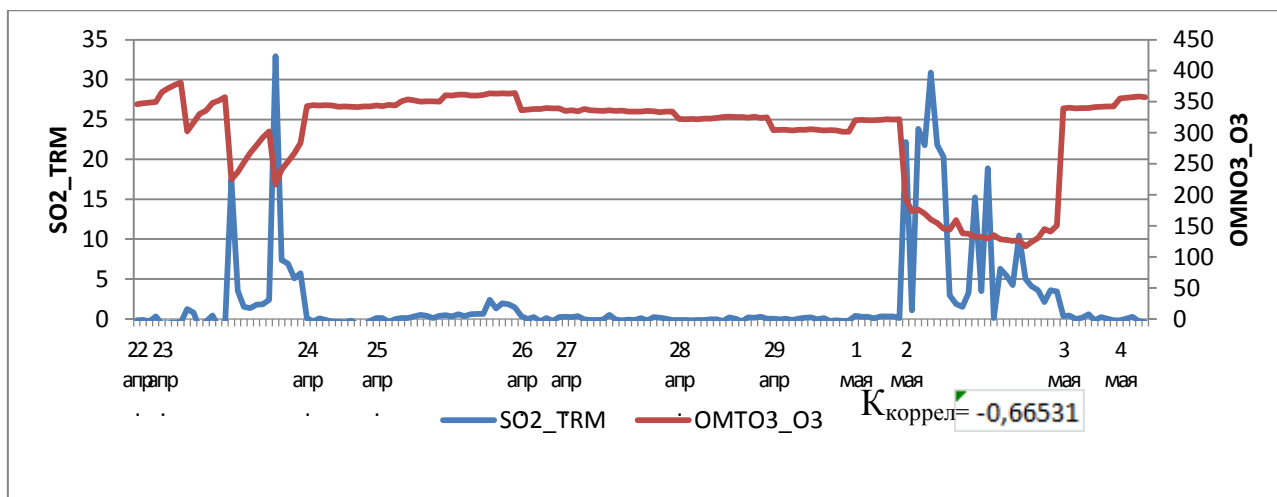


Рисунок 14 – График содержания SO₂ и O₃

Коэффициент корреляции во время увеличения концентрации SO₂ с O₃ равен -0,66, что соответствует средней отрицательной корреляции. На рисунке четырнадцать видно, что максимальная концентрация SO₂ 23 апреля больше, чем максимальная концентрация SO₂ 2 мая, но уменьшения озона не столь значительны. Из этого следует, что SO₂, является не единственным фактором уменьшения содержания O₃

3.4.3 Построение карт содержания SO₂ и O₃

Исходными данными для данных карт являются такие же данные, как и для графиков содержания SO₂ и O₃. Определим по графику, в какой день был наибольший выброс. Для того, что бы иметь представление, о том как извержение влияет на содержание SO₂ и O₃ в атмосфере необходимо выбрать и те дни, которые предшествовали извержению, и после. Построим карты содержания SO₂ и O₃ на примере вулкана Попокатепетль, расположенного в Мексике. Вулкан имеет координаты 19°01'20" северной широты и 98°37'40" западной долготы. На рисунке четыре видно, что наибольшая концентрация с приходится на 4 мая 2012 года. Для построения карт возьмём промежуток с 2 по 8 мая 2012 года.

Выделим данные за один из дней и скопируем их в новый документ, формата «.xlsx».

На рисунке 15 видно, что для построения карт, потребуются данные о дне, в который было проведено измерение, координаты точки, над которой был произведён замер, а так же сами данные концентрации SO₂ и O₃.

	A	C	D	E	F
1	Datetime	Lat.	Lon.	SO2_TRM	OMTO3_O3
2	20120502	18,56	-98,7	0,005	278,78
3	20120502	18,68	-98,72	-0,123	279,79
4	20120502	18,8	-98,75	0,409	280,54
5	20120502	18,92	-98,77	0,976	283,12
6	20120502	19,04	-98,8	2,361	287,97
7	20120502	19,16	-98,82	1,734	291,66
8	20120502	19,28	-98,85	3,621	290,9
9	20120502	18,69	-98,37	-0,022	278,59
10	20120502	18,81	-98,39	0,304	278,91
11	20120502	18,94	-98,41	1,246	282,49
12	20120502	19,06	-98,44	4,758	295,32
13	20120502	19,18	-98,46	6,389	302,52
14	20120502	19,3	-98,49	4,304	295,31

Рисунок 15 – Данные для построения карт содержания SO₂ и O₃

Карты будут создаваться в программном обеспечении Surfer9. Из-за особенности орбиты спутника Aura, количество измерений и их координаты ежедневно изменяются. Проанализировав координаты измерений, сделанных в другие дни, зададим границы карт. В данном примере это будет от 18,5 до 19,3 градусов северной широты и от 99,1 до 98,2 градусов западной долготы. По

такому же принципу определим и зададим минимальные и максимальные значения, для градиента заливки.

На рисунке 16 предоставлен пример выбора данных для построения карт содержания O₃ в атмосфере над территорией вулкана Попокатепетль.

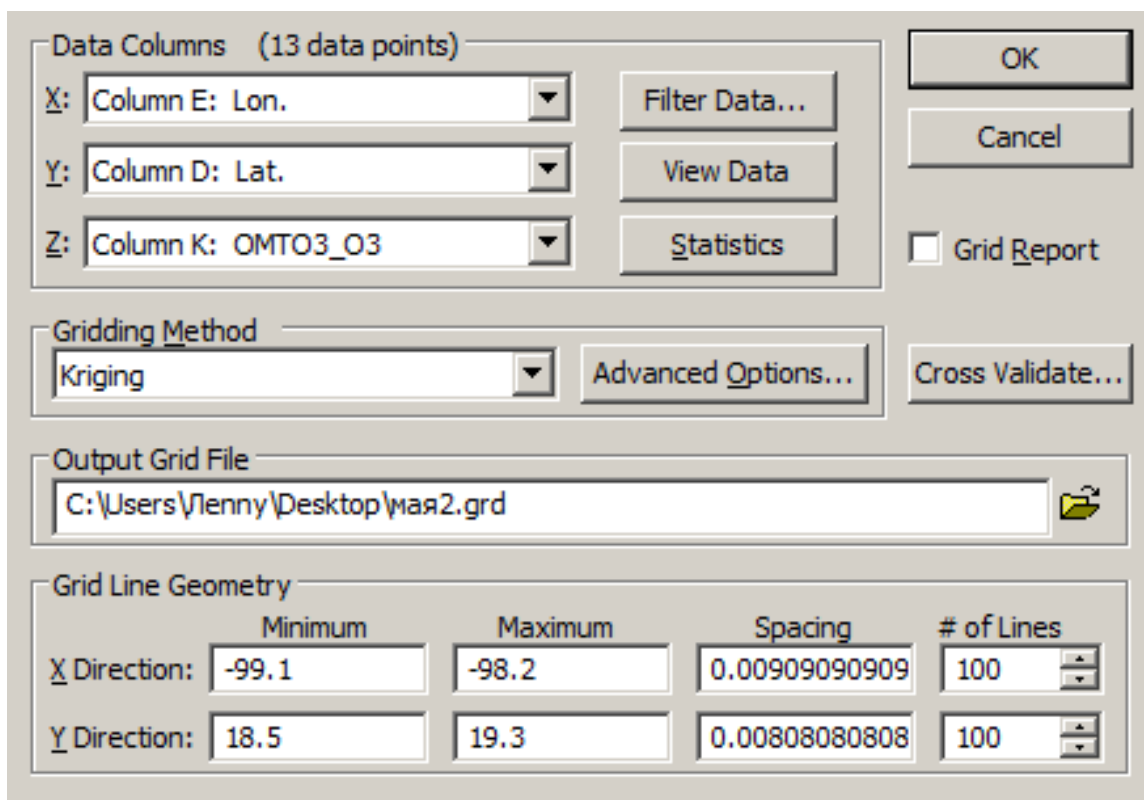


Рисунок 16 – Диалоговое окно «Surfer9»

В ходе прохождения практики были построены графики содержания SO₂ и O₃ в период с 2 по 8 мая 2012 года. Выбор интервала необходим для того, чтобы можно было увидеть, какого было состояние озонового слоя, а так-же какой была концентрация SO₂ до и после извержения и насколько быстро восстановились эти показатели.

На рисунке 17 можно увидеть, что 2 мая 2012 концентрация SO₂ в атмосфере близка к нулю единицам Добсона, что соответствует его средней концентрации.

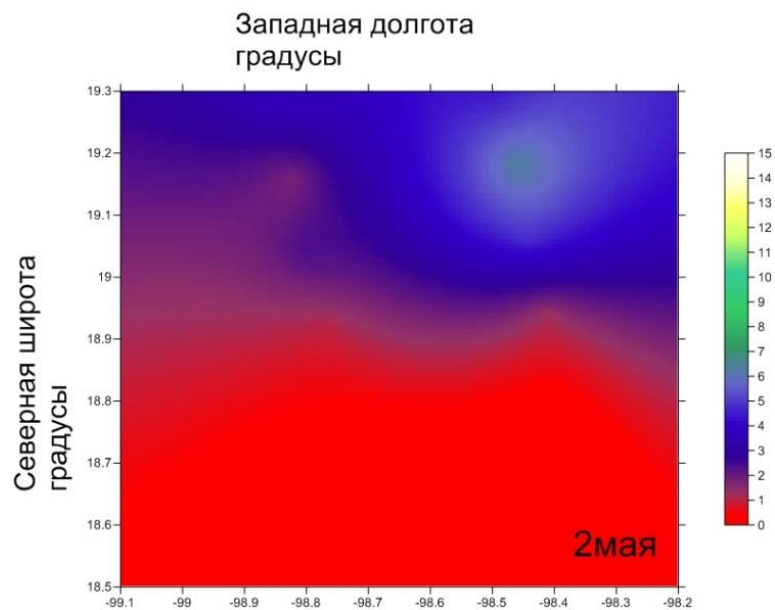


Рисунок 17 – Содержание SO₂ 2 мая 2012 года

Во время извержения вулкана Попокатепетль, концентрация SO₂ в атмосфере резко возросла. На рисунке 13 видно, что пиковая концентрация SO₂ равняется ста единицам Добсона. На рисунке 18 отображена информация по концентрации SO₂ 4 мая.

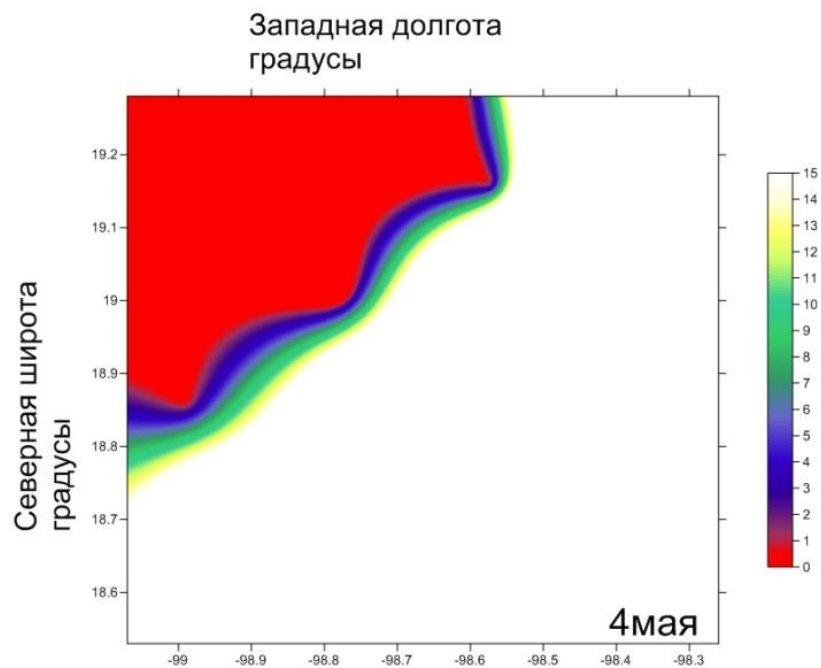


Рисунок 18 - Содержание SO₂ 4 мая 2012 года

Для того, что бы увидеть, как повышение SO_2 сказалось на концентрации O_3 , построим карту содержания O_3 , представленную на рисунке 19.

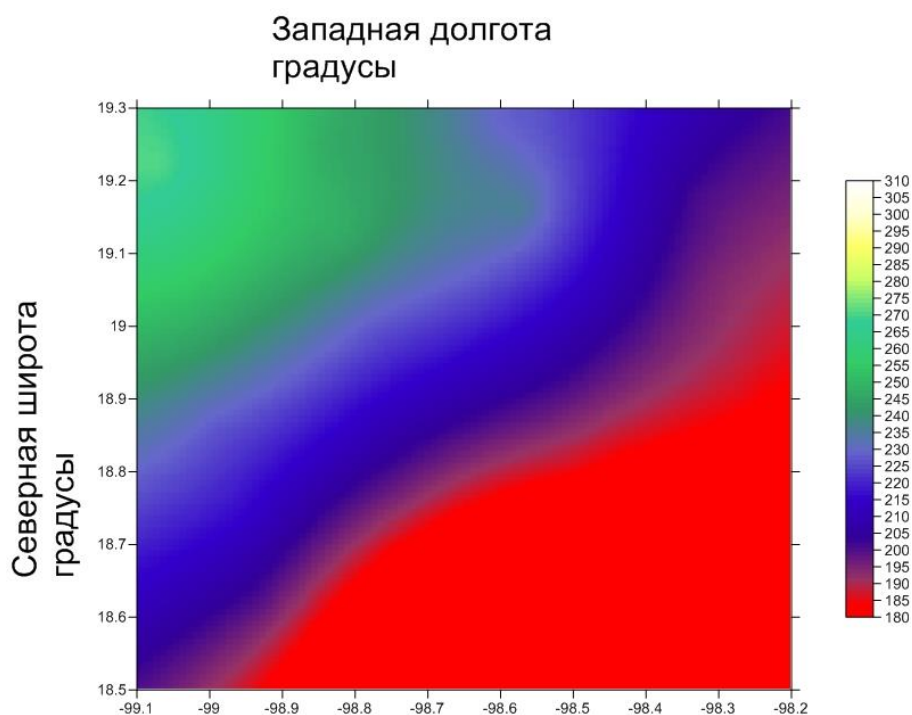


Рисунок 19 - Содержание O_3 4 мая 2012 года

Построив карту содержания озона, явно прослеживается схожесть с содержанием SO_2 . На рисунке девятнадцать видно, что там, где на рисунке восемнадцать содержания SO_2 , было максимум концентрации, находится минимум содержания озона. В другие же дни, где концентрация SO_2 в атмосфере не столь велика, по карте содержания озона в атмосфере, можно увидеть, что он не оказывает такого значительного влияния на концентрацию O_3 .

4. Выводы по проделанной работе

4.1 Причины образования озонной аномалии

По картам озонового слоя в северном полушарии, видно, как в начале марта образуется пониженная концентрация O_3 над полярной областью. Так

же это видно на графиках средне зонального содержания озона. Полярный вихрь, образовавшийся в марте 2011 года, имел максимальные значения ОСО на промежутках от 45 до 55 градусов северной широты. Озонная аномалия в северном полушарии уникальна тем, что она не осталась на месте, а сместилась на юг, где была уже не столь большая. Десятого апреля озоновая аномалия достигла 60 градусов северной широты, местами и южнее. На рисунке пять видно, что уменьшение ОСО наблюдается почти над всей территорией России.

В результате проделанной работы можно выделить различные факторы оказывающие влияние на озоновый слой. Наиболее серьёзное воздействие на озоновый слой влияют вулканические выбросы. О наличие вулканической активности можно судить, по увеличению концентрации SO_2 в атмосфере над месторасположением вулкана. По полученным графикам видно, какое влияние оказывают на локальное содержание озона вулканические выбросы. При вулканической активности ОСО над местами, в которых наблюдаются газы выбрасываемые при извержении, уменьшается более чем на 100 единиц Добсона.

4.2 Возникшие проблемы при изучении озонной аномалии 2011 года и способы их решений

Выводы, полученные в ходе выполнения работы, не могут явно ответить на причину образования озонной аномалии.

В результате выполнения работ были различные трудности.

В ходе построения карт озонового слоя над северным полушарием было выявлено, что некоторые дни имеют не полную информацию о ОСО, а предоставляют информацию только о половине дня.

Наиболее серьёзна была проблема с отсутствием данных в зимний период над полярными широтами. Это связано со способом измерения ОСО. Так как для измерения ОСО используется отраженное и рассеянное солнечное

излучение, то в период полярной ночи солнечное излучение над этой территорией отсутствует.

Данные о концентрации SO_2 и O_3 , над территориями с вулканической активностью предоставлены одним большим массивом данных, что усложняет поиск интересующей информации. Неравномерное количество измерений за сутки с различными координатами центра измерений усложняет построение карт содержания SO_2 и O_3 . Карты, создаваемые в ПО Surfer, имеют различную длину и широту по градусам, так же внутри имея множество пробелов. Для достижения наибольшей наглядности необходимо задавать единые координаты границ карт. Отсутствующая информация восполнялось путем интерполяции методом Kriging.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы была изучена официальная причина разрушения озонового слоя. Были построены карты озонового слоя в северном полушарии, исследованы его движения, а так же сезонные изменения. Построены графики распределения озона по широтам. Визуально представлена зависимость между угловой скоростью вращения озонового слоя и зонального содержания озона. Собранные данные, на основе которых, можно говорить, что на озоновый слой влияют вулканические выбросы, индикаторами которых являются повышенное содержание SO_2 в атмосфере, значительно отличающиеся от средних значений, повышение которого связано с выделением его в результате вулканической активности. Зависимости толщины озонового слоя от малых концентраций SO_2 , от 0 до 1 единицы Добсона, было не обнаружено.

По построенным картам озонового слоя и картам содержания SO_2 в атмосфере, можно увидеть как высокое содержание SO_2 влияет на концентрацию озона над данной территорией.

По построенным графикам содержания SO_2 и O_3 можно, более наглядно увидеть, что резкие колебания содержания озона совпадают с увеличением содержания SO_2 в атмосфере.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Кашкин В.Б., Рублева Т.В., Хлебопрос Р.Г., Баскова А.А. Озоновый щит Земли: легенды и реалии. Аэродинамическая модель антарктической озоновой дыры [Электронный ресурс] : Международная конференция "Современные проблемы математики, информатики и биоинформатики", посвященная 100-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР Алексея Андреевича Ляпунова. 2011. – 6 с. – Режим доступа: <http://conf.nsc.ru/Lyap-100/ru/reportview/84146>

2 Звягинцев А. М., Крученицкий Г. М. Озоновый кризис 20 лет спустя./ Россия в окружающем мире: 2005 (Аналитический ежегодник). Отв. ред. Марфенин Н. Н.: Модус К — Этерна, 2006. - 320 с.

3 Олейник Я. Б. Основы экологии: учебник / Я. Б. Олейник, П. Г. Шищенко, А. П. Гавриленко. - М.: Знание, 2012. - 558 с.

4 Кашкин В.Б. Стратосферный озон: вид с космической орбиты: монография / В.Б. Кашкин, Т.В. Рублева, Р.Г. Хлебопрос; Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 184 с.

5 Савельева Е.С. Вулканогенные факторы разрушения стратосферного озона / Савельева Екатерина Сергеевна. – Томск, 2014. – 112 с.

6 Академик. Словари и энциклопедии [Электронный ресурс] : Энциклопедия Кольера – Режим доступа - http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_colier/6661/%D0%94%D0%98%D0%A1%D0%A2%D0%90%D0%9D%D0%A6%D0%98%D0%9E%D0%9D%D0%9D%D0%9E%D0%95

7 NASA [Электронный ресурс] : Aura – Режим доступа: <http://aura.gsfc.nasa.gov>

8 Levelt P. F., van den Oord G. H. J., Dobber M. R., et all. The Ozone Monitoring Instrument // IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. 2006. V. 44, № 5. - P. 1093–1101.

9 Ozone Monitoring Instrument (OMI) Data User's Guide // OMIDUG-5.0. 2012. - 66 p.

10 Veefkind J.P., de Haan J.F., Brinksma E.J. et al. Total ozone from the Ozone Monitoring Instrument (OMI) using the DOAS Technique // IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. 2006. - V. 44, № 5. - P. 1239–1244.

11 Мельников Д.В. Применение данных OMI/Aura для задач мониторинга извержений вулканов Камчатки // Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. - С. 371-375.

12 NASA [Электронный ресурс] : – Режим доступа - <ftp://jwocky.gsfc.nasa.gov/pub/omi/data/>

13 Силкин К. Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. 66 с.

14 Зуев В.В., Зуева Н.Е., Савельева Е.С., Баженов О.Е., Невзоров А.В. О роли извержения вулкана Мерапи в аномальном понижении ОСО над Томском в апреле 2011 г. // Оптика атмосферы и океана. 2015. - Т. 28, № 12. - С. 1090–1094.

15 NASA [Электронный ресурс] : Goddard Space Flight Center – Режим доступа:
<http://avdc.gsfc.nasa.gov/pub/data/satellite/Aura/OMI/V03/L2OVP/OMSO2/>

16 РИА Новости [Электронный ресурс] : Продукты извержения вулканов и их воздействие на организм – Режим доступа:
<http://ria.ru/documents/20100418/223794946.html>