

39 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

Исследование озонового слоя южного полушария с помощью данных  
дистанционного зондирования

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

Выпускник \_\_\_\_\_ А.В. Дергунов  
подпись, дата

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Е.В. Федотова  
подпись, дата

Красноярск 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Ознакомление с теоретическими сведениями и технологиями .....	5
1.1 Озон и озоновый слой.....	5
1.2 Озоновые дыры .....	6
1.3 Причины разрушения озонового слоя .....	7
1.4 Меры предотвращения разрушения озонового слоя.....	9
1.5 Анализ влияния выбросов вулкана Эребус на образование Антарктической озоновой дыры.....	10
1.5.1 Вулкан Эребус и его выбросы в стратосферу .....	10
1.5.2 Механизм подъема вулканических выбросов вулкана Эребус в стратосферу.....	12
1.6 Исследование озонового слоя Земли из космоса.....	13
1.6.1 Дистанционное зондирование Земли .....	13
1.6.2 Измерение общего содержания озона в стратосфере с помощью спектрофотометров TOMS и OMI.....	15
1.7 Землетрясения, магнитуда, интенсивность .....	17
1.8 Исходные данные и их формат .....	18
1.9 Обзор программного обеспечения .....	19
1.10 Обзор гипотезы о влиянии сейсмичности на озоносферу планеты.....	20
2 Исследование озоновой дыры в южном полушарии.....	21
2.1 Построение карт общего содержания озона в южном полушарии.....	21
2.2 Анализ данных средних зональных значений концентраций озона.....	27
3 Исследование влияния сейсмичности на озоносферу планеты .....	29
4 Выводы по полученным результатам работы .....	42
Заключение .....	43
Список использованных источников .....	44

## ВВЕДЕНИЕ

Цель: исследование стратосферного озона в южном полушарии; исследование гипотезы влияния сейсмичности на озоносферу планеты.

Задачи:

- анализ темы «Влияние выбросов вулкана Эребус в озоновый слой в южном полушарии»;
- изучение влияния выбросов литосферных газов сейсмической природы на общее содержание;
- изучение основных сведений и понятий в данном вопросе;
- анализ данных средних зональных значений концентраций озона в южном полушарии;
- создание карт общего содержания озона над исследуемыми территориями;
- построение графиков поведения озона, основываясь на данных построения карт общего содержания озона.

На данный момент существует основная позиция по вопросу причины разрушения озонового слоя Земли, и эта позиция является главенствующей во всем мире среди ученых разных стран. Считается, что фреоны являются главными вредителями для стратосферного озона и, что именно эти вещества служат причиной истощения озонового слоя Земли и образования озоновых дыр, то есть имеет место антропогенный фактор.

В наше время развитые технологии и накопленные большие объемы данных за многие годы позволяют начать более глубокое изучение проблемы истощения озонового слоя Земли. На данный момент существует несколько альтернативных точек зрения касательно возникновения озоновых дыр и общего истощения озонового слоя. Все они связаны с изучением накопленных данных и с сопоставлением различных фактов.

Также, ежегодно на нашей планете происходят десятки и сотни землетрясений, некоторые из них чрезвычайно сильные и наносят огромный

ущерб инфраструктуре и экономике многих государств. Сейсмическая активность в некоторых регионах нашей планеты способна вызывать смертоносные оползни и обрушение жилых зданий, а также вызывать многометровые цунами, что влечет за собой гибель тысяч людей.

Поэтому исследование и, возможно, установление зависимости между такими явлениями, как повышение общего содержания озона в регионе, где должно произойти землетрясение, за 5-9 дней до начала сейсмической активности, и быстрого снижения общего содержания озона в том же регионе, после затухания основных толчков, возможно, помогло бы в будущем прогнозировать скорое возникновение некоторых сильных землетрясений.

# 1 Ознакомление с теоретическими сведениями и технологиями

## 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].

Теоретически, если весь озон «сжать» до плотности воды и разместить на поверхности Земли, то он образовал бы пленку всего 2-4 мм толщиной, причем минимум пришелся бы на экватор, а максимум оказался бы у полюсов. Высотное же распределение озона таково, что максимум концентрации отмечается на высоте 25 км. Но она повышается также и на высоте 70 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 загрязнением [1].

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 [1].

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 [1]:



Озоновый слой является своего рода щитом Земли, защищающим все живое на поверхности планеты от смертоносного ультрафиолетового излучения Солнца.

Жесткие ультрафиолетовые лучи способны вызвать у человека рак кожи, в частности быстротекущую злокачественную меланому, катаракту и иммунную недостаточность, а также обычные ожоги кожи и роговицы. Жесткие ультрафиолетовые лучи способны нанести вред и морским экосистемам, так как они плохо поглощаются водой [1].

Последствия разрушения озонового слоя можно проиллюстрировать примерами. Так, предполагают, что 1%-ное сокращение озонового слоя вызывает 4%-ный скачок в распространении рака кожи. Вызывая рак кожи и ее старение, ультрафиолетовые лучи одновременно подавляют иммунную систему, что приводит к возникновению инфекционных, вирусных, паразитарных и других заболеваний, к которым относятся корь, ветряная оспа, малярия, лишай, туберкулез, проказа и др. Вероятно, что десятки миллионов жителей планеты полностью или частично потеряли зрение из-за катаракты, которая возникает в результате повышенной солнечной радиации [2].

Общее содержание озона (ОСО) – количество озона в вертикальном атмосферном столбе в конкретной точке, измеряется по поглощению и рассеянию солнечной радиации в ультрафиолетовом диапазоне [3].

## 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].

В качестве единицы измерения ОСО используется единица Добсона (е.Д.), соответствующая толщине слоя газообразного озона в вертикальном столбе атмосферы. При нормальном давлении (760 мм рт. ст.) и температуре (0°C) 100 е.Д. соответствуют толщине озонового слоя в 1 мм. Величина содержания озона в атмосфере испытывает суточные, сезонные, годовые и многолетние колебания. При среднем глобальном общем содержании озона в 290 е.Д. толщина озонового слоя изменяется в широких пределах – от 90 до 600 е.Д [1].

Единица Добсона названа в честь ученого Гордона Добсона, который в 1920 году сконструировал первые приборы для измерения уровня озона. Теперь эти приборы называют Добсоновскими озонными спектрометрами [1].

Наиболее известной и крупной озоновой дырой планеты является Антарктическая озоновая дыра, расположенная в южном полушарии. Ее площадь составляет порядка 20-25 миллионов квадратных километров [4].

### **1.3 Причины разрушения озонового слоя**

По общепринятой в научной среде теории, во второй половине XX века всё возрастающее воздействие антропогенного фактора в виде выделения хлор- и бромсодержащих фреонов привело к значительному утончению озонового слоя.

Специалисты по исследованию атмосферы из Британской Антарктической службы в 1985 г. сообщили о неожиданном факте: весеннее содержание озона в атмосфере над станцией Халли-Бей в Антарктиде уменьшилось с 1977 по 1984 г. на 40%! Вскоре этот вывод подтвердили другие исследователи, также показавшие, что область пониженного содержания озона простирается за пределы Антарктиды и по высоте охватывает слой от 12 до 24

км, т.е. значительную часть нижней стратосферы. Фактически это означает, что в полярной атмосфере имеется озоновая «дыра» [5].

В начале 80-х гг. XX в. спутник «Нимбус-7» обнаружил аналогичную дыру в Арктике, правда, она охватывала значительно меньшую площадь и падение уровня озона в ней было не так велико — около 9 %. В среднем с 1979 по 1990 г. содержание озона снизилось на 5 % [5].

В 1974 г. ученые установили, что вызывать разрушение озонового экрана могут хлорфторуглероды (ХФУ). Начиная с этого времени так называемая «хлорфторуглеродная проблема» стала одной из основных в исследованиях по загрязнению атмосферы. К хлорфторуглеродам относятся, в частности, фреоны — химически инертные на поверхности Земли вещества [3].

Фреоны – это газы, не вступающие в химические реакции у поверхности планеты. Фреоны закипают очень быстро при комнатной температуре и поэтому являются хорошими распылителями [3].

Из-за этой особенности фреоны долгое время использовались в изготовлении аэрозолей. И так-как, расширяясь, фреоны охлаждаются, они очень эффективны при использовании в холодильной промышленности [3].

Хлорфторуглероды (ХФУ, в латинской транскрипции – CFC) применялись в качестве газообразующих средств при изготовлении пенопластов, в аэрозольных упаковках, а самое главное – в качестве холодильных агентов [3].

ХФУ имели массу достоинств: низкую токсичность, пожаробезопасность, совместимость со многими материалами [3].

Наиболее известны полностью галогенированные хлорфторуглероды CFC-11 и CFC-12, именно они считаются главными виновниками разрушения озона. Известны также гидрохлорфторуглероды (ГХФУ, HCFC). Некоторые из них появились задолго до возникновения озонной проблемы. ГХФУ содержат хлор и водород и не могут разрушать озоновый слой, так как происходит быстрое связывание хлора атомами водорода в нижних слоях атмосферы.

Наконец, ГФУ (HFC) – гидрофтор-углероды, появившиеся недавно, не содержат хлора, и потому считается, что не могут разрушать озоновый слой [3].

Почти весь производимый в мире фреон (или фторорганические соединения) в конечном счете поднимается в верхние слои атмосферы и разлагается там под влиянием ультрафиолетовых лучей, которые разрушают устойчивые в обычных условиях молекулы ХФУ. Последние распадаются на компоненты, обладающие высокой реакционной способностью, в частности атомный хлор. В ходе фотохимического разложения фреона в стратосфере ион хлора выступает как агент разрушения озона. Таким образом, ХФУ переносят хлор с поверхности Земли через тропосферу и нижние слои атмосферы, где менее инертные соединения хлора разрушаются и поднимаются в стратосферу, к слою с наибольшей концентрацией озона. Осколки фреоновых молекул разрушительно действуют на слой атмосферного озона [3].

Очень важно, что при разрушении озона хлор действует подобно катализатору: в ходе химического процесса его количество не уменьшается. Вследствие этого один атом хлора может разрушить до 100 000 молекул озона, прежде чем он будет дезактивирован или вернется в тропосферу [3]

#### **1.4 Меры предотвращения разрушения озонового слоя**

Международным сообществом был принят ряд мер, направленных на предотвращение разрушения озонового слоя. В 1977 г. в Программе ООН по окружающей среде был принят план действий по озоновому слою, а в 1985 г. в Вене состоялась конференция, посвященная данному вопросу. Был установлен список веществ, отрицательно влияющих на озоновый слой, и принято решение о взаимном информировании государств о производстве и использовании этих веществ и о принимаемых мерах [3].

Таким образом, было официально заявлено о пагубном воздействии изменений озонового слоя на здоровье людей и окружающую среду, и что меры по охране озонового слоя требуют международного сотрудничества.

Решающим шагом стало подписание Монреальского протокола в 1987 г., в соответствии с которым устанавливался контроль за производством и использованием фреонов. Протокол подписало большинство стран мира, в том числе и Россия. Согласно этому соглашению производство фреонов должно было быть прекращено к 2010 г [3]. Но до конца не ясно, только ли за счет антропогенных факторов она появляется?

Хотя человечеством были приняты меры по ограничению выбросов хлор- и бромсодержащих фреонов путём перехода на другие вещества, например, фторсодержащие фреоны, процесс восстановления озонового слоя займёт несколько десятилетий. Прежде всего, это обусловлено огромным объёмом уже накопленных в атмосфере фреонов, которые имеют время жизни десятки и даже сотни лет. Однако, по состоянию на 2014 год ученые всего мира отмечают тенденцию к медленному восстановлению озонового слоя Земли [3].

В последнее время появилось несколько проектов по восстановлению озонового слоя. Так, восстановить озоновый слой над Антарктидой при помощи запуска специальных воздушных шаров с установками для производства озона надеется английская группа защитников окружающей среды, которая называется «Помогите озону». Один из авторов этого проекта заявил, что озонаторы, работающие от солнечных батарей, будут установлены на сотнях шаров, наполненных водородом или гелием [2].

## **1.5 Анализ влияния выбросов вулкана Эребус на образование Антарктической озоновой дыры**

### **1.5.1 Вулкан Эребус и его выбросы в стратосферу**

Вулкан Эребус находится в Антарктиде. Это самый южный вулкан на Земле и самый активный в Антарктиде. Расположен по координатам -77.529729 ю.ш. и 167.153067 в.д. Высота вулкана Эребус 3794 метра, диаметр кратера 805 метров, а глубина кратера 274 метра [6].

Вулкан Эребус открыт 28 января 1841 года английской экспедицией под руководством полярного исследователя сэра Джеймса Кларка Росса на кораблях «Эребус» и «Террор» [6].

На протяжении многих лет Антарктические полярные станции регистрируют повышенное содержание HCl в стратосфере над южным полюсом, это значит, что в данном регионе присутствует источник данного загрязнения, но данный факт не согласуется с общепринятой теорией разрушения озонового слоя и присутствия в стратосфере южного полюса такого количества HCl [6].

**ЭРЕБУС (77° ю.ш.)  
(состав газовых выбросов)**

Год	Газы (т/с)							Источник
	SO <sub>2</sub>	HCl	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CO	OCS	HF	
2004	74	21	864	1330	54	0,51	21	6

Год	1976-1984	1983	1986	1991	2004
HCl (т/с)	~1000	1200	19	36,4	21
Источник	9	7	4	4	6

Год	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
SO <sub>2</sub> (т/с)	230	230	16	21	51	28	51	100	71	52
Источники	3,5,7	3	3,5	4,5	3,7	3,5	5	3	3,4,5	5

Год	1993	1994	1996	1997	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
	42	95	39	46	57	54	75	85	74	76	77
	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	8

Рисунок 1 – Годовые значения выбросов вулкана Эребус [6]

На рисунке 1 видно, что количество выбросов таких веществ, как SO<sub>2</sub> и HCl с конца 70-х по середину 80-х годов двадцатого века чрезвычайно высокое. Примерно в тот же период времени ученые стали регистрировать образование так называемой «Антарктической озоновой дыры» в южном полушарии Земли [6].

Наиболее вероятным источником HCl в Антарктиде является действующий вулкан Эребус. Его активность выражается в ежедневной

дегазации, при этом высота газовой струи может достигать около 2 км от высоты кратера [6].

Преобладающими компонентами газовых выбросов Эребуса являются водяной пар  $H_2O$ , углекислый газ  $CO_2$ , диоксид серы  $SO_2$  и хлороводород  $HCl$  с мольными долями 0,58, 0,36, 0,01 и 0,01 соответственно. Выбросы  $SO_2$  и  $H_2O$  способствуют образованию сернокислотного аэрозоля, играющего роль ядер конденсации частиц полярных стратосферных облаков. В свою очередь, выбросы  $HCl$  адсорбируются на частицах полярных стратосферных облаков, где в результате реакции с  $ClONO_2$  высвобождается  $Cl_2$ . Среднегодовой объем выбросов  $HCl$  составляет 18,6 кт [6].

### **1.5.2 Механизм подъема вулканических выбросов вулкана Эребус в стратосферу**

Поскольку вулкан Эребус характеризуется относительно небольшой высотой парогазовых извержений, то перемещение его выбросов в стратосферу осуществляется в основном в высоких циклонах, дрейфующих над Антарктидой с марта по октябрь [6].

На рисунке 2 приведена характерная траектория перемещения воздушных масс в высоком циклоне от вулкана Эребус в стратосферу, рассчитанная по модели NOAA HYSPLIT (с опцией remap MSL to AGL) с использованием архивных данных NOAA GDAS с пространственным и временным разрешением 0,5 градуса и 3 часа соответственно [6].

На рисунке 2 видно, что в результате вихревого подъема происходит хорошее горизонтальное и вертикальное перемешивание воздушных масс внутри циркумполярного вихря в границах наблюдаемой озоновой дыры (показаны пунктиром).

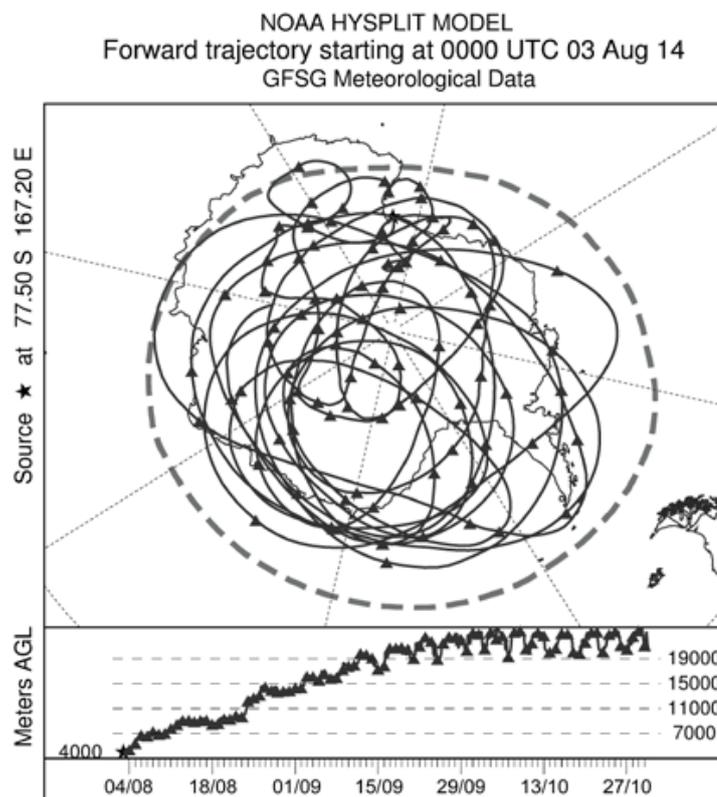


Рисунок 2 – Траектория движения воздушных масс над Антарктидой с началом от координат и высоты вулкана Эребус с 3 августа по 30 октября 2014 г [6]

Подтверждением подъема продуктов извержений вулкана Эребус на стратосферные высоты является факт регистрации аэрозольных частиц  $\text{KCl}$ , идентифицированных как вулканогенные выбросы Эребуса, во время самолетных наблюдений на высоте 8 км в октябре 1989 г. на всем маршруте в диапазоне  $77\text{--}89^\circ$  ю.ш. и  $165^\circ$  в.д. [6].

## 1.6 Исследование озонового слоя Земли из космоса

### 1.6.1 Дистанционное зондирование Земли

Мониторинг атмосферного озона проводится на основе ежедневных данных, полученных с помощью наземной озонометрической сети и спутниковых методов [3].

Современные спутниковые методы позволяют не только получать изображение Земли. Используя чувствительные приборы, удастся измерять концентрацию атмосферных газов, в том числе вызывающих парниковый эффект. Спутник «Метеор – 3» с установленным на нем прибором TOMS позволял за сутки оценить состояние всего озонового слоя Земли. Спутник NOAA кроме получения изображений поверхности дает возможность исследовать озоновый слой и даже изучать вертикальные профили параметров атмосферы (давление, температуру, влажность на разных высотах в сотнях точек после обзора) [7].

Дистанционные методы делят на активные и пассивные. При использовании активных методов спутник посылает на Землю сигнал собственного источника энергии (лазера, радиолокационного передатчика), регистрирует его отражение. Радиолокация позволяет «видеть» Землю сквозь облака. Чаще используются пассивные методы, когда регистрируется отраженная поверхностью энергия Солнца либо тепловое излучение Земли [7].

При дистанционном зондировании Земли из космоса используются оптический диапазон электромагнитных волн и микроволновый участок радиодиапазона. Оптический диапазон включает в себя ультрафиолетовый участок спектра; видимый участок – синюю, зеленую и красную полосы; инфракрасный участок – ближний, средний и тепловой [7].

Регулярная спутниковая информация о состоянии озонового слоя стала доступной с ноября 1978 г. К настоящему времени космические аппараты дают возможность ежедневно получать информацию об озоне в глобальном масштабе в виде поля общего содержания озона (ОСО) [3].

Космические аппараты дистанционного зондирования в основном выводятся на солнечно-синхронные (гелио-синхронные) приполярные

круговые орбиты. Плоскость такой орбиты наклонена относительно оси вращения Земли (рисунок 3).

Угол наклона для солнечно-синхронных космических аппаратов выбирается таким образом, чтобы его орбита прецессировала в направлении с востока на запад с периодом 1 год, со средней угловой скоростью 0,986 град/сут, т.е. синхронно с обращением Земли вокруг Солнца [3].

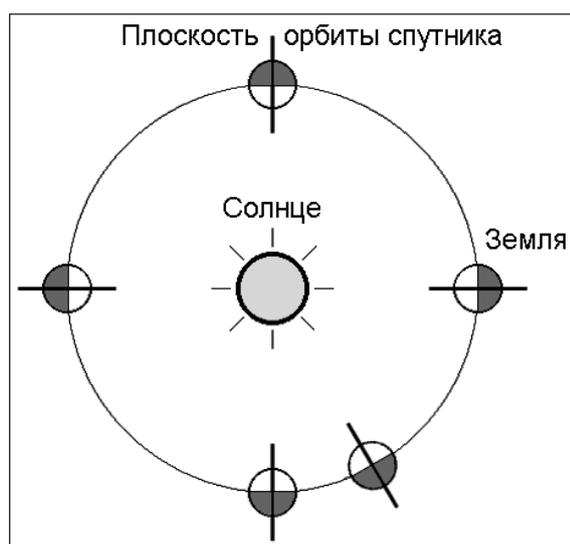


Рисунок 3 – Схематичное изображение солнечно-синхронной орбиты [3]

Плоскость солнечно-синхронной орбиты при этом всегда направлена на Солнце, независимо от времени года. В результате наблюдения за состоянием озоносферы проводятся на освещенной части Земли в одно и то же местное солнечное время. В течение суток положение орбиты в пространстве можно считать постоянным [3].

### **1.6.2 Измерение общего содержания озона в стратосфере с помощью спектрофотометров TOMS и OMI**

В данной работе использовались данные с двух спутников дистанционного зондирования Земли: спутник AURA с аппаратурой Ozone

Monitoring Instrument (OMI) и спутник EARTH PROBE с аппаратурой Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS).

Технические данные спутников приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики спутников [3]

Спутник	Тип орбиты	Высота орбиты, км	Наклонение, град	Период обращения, мин	Прибор для измерения озона	Период работы прибора, гг
EARTH PROBE	Солнечно-синхронная	750	97.43	94.6	TOMS	1996 - 2005
AURA	Солнечно-синхронная	705	98.21	98.83	OMI	2004 – по настоящее время

Спектрофотометр TOMS осуществлял глобальное картирование поля ОСО на протяжении 23 лет (1978-2004 гг.) [3].

В TOMS реализована возможность измерений ОСО перпендикулярно линии полета спутника в пределах угла  $\pm 52,5$  градусов от надира (с шагом сканирования 3 градуса) и пространственным разрешением  $50 \times 50$  км. Методика определения ОСО с помощью спектрофотометра аналогична наземной методике. Общее содержание озона вычисляется из разницы поглощения отраженного и рассеянного УФ излучения на двух парах длин волн, выделяемых монохроматором на дифракционной решетке [3].

Спектрофотометр измеряет интенсивность излучения в УФ-области на двух парах длин (312,5/331,2 нм) и (317,5/339,8 нм) а для калибровки использовалась пара длин волн (360,4/380 нм) [3].

Спектрофотометр OMI осуществляет глобальное картирование поля ОСО с 2004 года по настоящее время [3].

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) [3].

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. Ежедневные глобальные измерения OMI осуществляются в каналах UV-2 и VIS с пространственным разрешением  $13 \times 24$  км и канале UV-1 –  $13 \times 48$  км [3].

В спектрометре OMI реализован надирный метод измерения отраженного и рассеянного солнечного излучения с углом отклонения от местной вертикали  $\pm 57$  градусов, что позволяет обеспечивать измерение интенсивности излучения вдоль и поперек движения спутника AURA. Поле зрения прибора в  $114^\circ$  соответствует полосе обзора в 2600 км [3].

### **1.7 Землетрясения, магнитуда, интенсивность**

Землетрясения – представляют собой подземные толчки и колебания земной поверхности. Наиболее опасные из них возникают из-за тектонических смещений и разрывов в земной коре или верхней части мантии Земли [8].

Волны, которые вызывают землетрясения, называются сейсмическими волнами. Хотя источник естественных землетрясений занимает некоторый объем горных пород, часто его удобно определять как точку, из которой расходятся сейсмические волны. Эту точку называют фокусом (или гипоцентром) землетрясения [8].

Магнитуда землетрясения - величина, характеризующая энергию, выделившуюся при землетрясении в виде сейсмических волн. Первоначальная шкала магнитуды была предложена американским сейсмологом Чарльзом Рихтером в 1935, поэтому в обиходе значение магнитуды ошибочно называют шкалой Рихтера. Шкала Рихтера характеризует величину энергии, которая выделяется при землетрясении от 0.0 до 9.5 условных единиц. Самые сильные землетрясения на Земле имеют магнитуду 9.0 [9].

Магнитуда характеризует землетрясение как цельное, глобальное событие и не является показателем интенсивности землетрясения, ощущаемой в конкретной точке на поверхности Земли. Интенсивность землетрясения,

измеряемая в баллах, сильно зависит от расстояния до очага, в зависимости от глубины фокуса и типа горных пород сила землетрясений с одинаковой магнитудой может различаться на 2-3 балла [9].

Магнитуда - безразмерная величина, она не измеряется в баллах [9].

Интенсивность землетрясения – мера величины сотрясения земной поверхности при землетрясении на охваченной им территории. Сейсмические движения сложны, но поддаются классификации. Существует большое число сейсмических шкал, которые можно свести к трем основным группам. В России применяется наиболее широко используемая в мире 12-балльная шкала MSK-64 (Медведева-Шпонхойера-Карника), восходящая к шкале Меркали-Канкани (1902), в странах Латинской Америки принята 10-балльная шкала Росси-Форея (1883), в Японии - 7-балльная шкала. Оценка интенсивности, в основу которой положены бытовые последствия землетрясения, легко различаемые даже неопытным наблюдателем, в сейсмических шкалах разных стран различна. В наиболее простом и удобном виде ощущения и наблюдения представлены в схематизированной краткой описательной шкале (вариант MSK), которой может пользоваться каждый [9].

## **1.8 Исходные данные и их формат**

В данной работе использовались свободно предоставляемые данные с официального сайта National Aeronautics and Space Administration (NASA). Информация, собираемая и обрабатываемая научными сотрудниками, со спутников дистанционного зондирования Земли, таких как AURA и EARTH PROBE, использованная в данной работе, содержится на файлообменном сервере NASA без необходимости иметь специальный доступ, то есть в «отрытом» виде. Данный файлообменный сервер, на который сотрудники NASA ежедневно загружают данные, находится по адресу [10].



Программное обеспечение «ОЗ» - продукт собственной разработки Сибирского Федерального университета. Данное программное обеспечение предназначено для обработки и преобразования данных, содержащих информацию о концентрации озона, предоставляемых файлообменным сервером NASA, в формат, совместимый с программным обеспечением Surfer.

### **1.10 Обзор гипотезы о влиянии сейсмичности на озоносферу планеты**

Распределение атмосферного озона и его изменчивость зависят не только от фотохимических реакций, которые вносят вклад в его образование и разрушение, но также и от совокупного влияния других естественных внешних и внутренних геофизических факторов. К внешним (космофизическим) факторам относятся: изменение потока солнечной радиации, орбитальное движение Земли вокруг Солнца и т.д. Воздействие внутренних геофизических факторов на поле ОСО, таких как зональная и меридиональная циркуляция, особенности подстилающей поверхности и т.д., определяют динамику озона. К дополнительному воздействию на озоносферу приводит эндогенная активность Земли, а именно вулканизм и сейсмичность [3].

В данной работе рассматривается сейсмическая активность, как эндогенная активность Земли, влияющая на озоносферу планеты.

При подготовке и возникновении землетрясения появляются интенсивные сейсмо-гравитационные колебания, которые воздействуют на атмосферу. Согласно современным данным, основным механизмом литосферно-атмосферных связей при сейсмической активности являются внутренние гравитационные волны (ВГВ) [3].

Известно, что в период возрастания сейсмической активности ВГВ способны создавать аномалии электронной концентрации в ионосфере. Однако аномалии могут возникать и в других слоях атмосферы. В стратосфере над сейсмически-активным районом возможны изменения общего содержания озона. При сейсмических событиях возможен выход литосферных газов в

тропосферу и протекание химических и фотохимических реакций, приводящих к генерации молекул озона [3].

В подтверждение данной гипотезы было проведено исследование. Профессор В.Б. Кашкин взял за основу два землетрясения, произошедшие в Сибири 27 сентября 2003 года в районе Горного Алтая и 27 августа 2008 года вблизи поселка Култук Иркутской области. Данные землетрясения произошли вблизи границы Евразийской литосферной плиты, на данной территории присутствуют многочисленные разломы земной коры, а значит, возможен выход литосферных газов на поверхность [3].

Анализ данных показал, что резкое повышение концентрации озона, наблюдаемое в районах Алтайского и Иркутского землетрясений, возникло на 2-3 дня раньше, чем начались сейсмические активности. Из этого можно предположить, что рассматриваемый озон – приземный и возник в результате реакций с участием окислов азота, углерода и метана в присутствии солнечного света, являющихся выделившимися литосферными газами. Так же на приземную природу указывает и малое фотохимическое время жизни рассматриваемого озона [3].

## **2 Исследование озоновой дыры в южном полушарии**

### **2.1 Построение карт общего содержания озона в южном полушарии**

Для построения карты общего содержания озона в южном полушарии необходимо получить данные о содержании озона в этом регионе.

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

Регулярные наземные измерения общего содержания озона начались в 1926 г. на станции Ароза в Швейцарских Альпах, а более или менее массовыми стали в конце 1950х 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 [4].

Для получения данных с южного полушария за 2013 год нам подходит спутник Aura со спектрометром OMI (Ozone Monitoring Instrument).

Спектрометр, предназначен для измерения интенсивности отражённого и рассеянного в атмосфере солнечного излучения в ультрафиолетовом диапазоне [3].

Данные со спутника Aura можно получить с официального сайта NASA, так как они находятся в свободном доступе.

Ссылка с адресом для получения данных выглядит следующим образом [10].

Спектрометр OMI имеет разрешение в один градус по широте и один градус по долготе.

Данные на сайте за один день представлены последовательностью цифр вида: lat = -89.5 27427427427427427427427327327327327..., 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.

Карта ОСО строится в программе Surfer 9. Данная программа воспринимает формат данных с расширением «dat», но данные с сайта NASA представлены в текстовом формате с расширением «txt».

В таком случае необходимо воспользоваться еще одной программой, с помощью которой можно осуществить конвертирование текстового файла со значениями озона в формат с расширением «dat» для совместимости с программой Surfer 9.

Данная программа называется «O3».

Для того чтобы конвертировать текстовый файл со значениями озона в формат «dat» необходимо определиться со значениями «Старт по широте» и «Старт по долготе» во вкладке «Подготовка» и выставить предпочтительные

значения. Так же следует указать полушарие, с которым придется работать, по условию задачи нужно выбрать «южное полушарие» и поставить на против него «галочку». И выбрать «Шаг по широте» и «Шаг по долготе», в обоих случаях следует указать «1», так как спектрометр ОМІ рассчитан на разрешение в один градус.

На рисунке 5 представлен интерфейс программы.

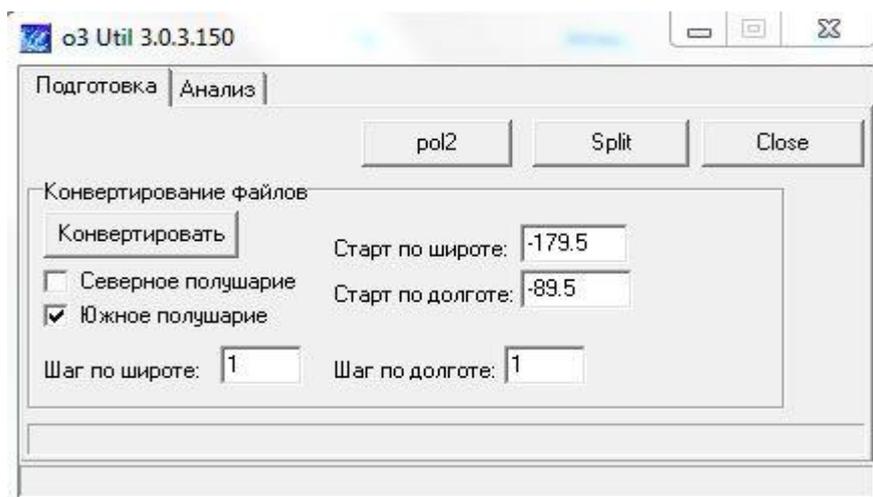


Рисунок 5 – Интерфейс программы ОЗ

Далее нажимаем на кнопку «Конвертировать» и в открывшемся окне указываем нужный текстовый файл со значениями концентрации озона. При желании можно указать сразу несколько файлов, зажав при этом кнопку Ctrl на клавиатуре.

Нажимаем «Открыть» и программа осуществляет конвертирование файлов в то же место, где хранятся исходные текстовые файлы. Создается папка «\_dat» с полученными файлами с расширением «dat».

Для подготовки карты содержания озона необходимо произвести еще одну операцию с получившимся файлом с расширением «dat», а именно в программе «ОЗ» нажать на кнопку «pol2» во вкладке «Подготовка» и выбрать в открывшемся окне получившийся ранее файл с расширением «dat» и нажать кнопку «Открыть».

В результате получим файл, у которого в конце имени стоит буква «R». Это означает, что при построении карты озона в программе Surfer 9 карта будет представлять собой более привычное изображение с центром в южном полюсе.

В программе Surfer 9 нажимаем «Grid», затем «Data», необходимо указать полученный файл с буквой «R» в конце названия и нажать «Открыть».

Далее нажимаем на кнопку «New Image Map», которая с изображением фотоаппарата и выбираем полученный grid файл, нажимаем «Открыть».

В итоге получаем карту ОСО за конкретный день сентября 2013 года. Для удобства и информативности необходимо вывести шкалу единиц Добсона для данной карты, щелкнув правой кнопкой мыши по изображению и выбрав пункт «Properties», во вкладке «General» нужно поставить «галку» напротив слов «Show Color Scale». Так же, для удобства нужно раскрасить полученное изображение, на той же вкладке General нажав на цветовую схему под словом «Color», в появившемся окне в меню «Presets» можно выбрать любую наиболее подходящую цветовую схему или загрузить собственную, нажав на кнопку «Load».

Следует также сделать единую шкалу единиц Добсона, что бы она была одинаковая для каждой построенной карты ОСО. Для этого необходимо определить минимальные и максимальные значения концентрации озона для каждой из построенных карт ОСО и выбрать из них самые крайние значения. Два раза щелкнув левой кнопкой мыши по изображению карты ОСО нужно еще раз щелкнуть левой кнопкой мыши по вкладке «Colors». Откроется вкладка «Colormap», в которой необходимо заполнить поля «Minimum» и «Maximum» выбранными ранее значениями концентрации озона.

В итоге имеем следующие изображения, представленные на рисунках 6-8.

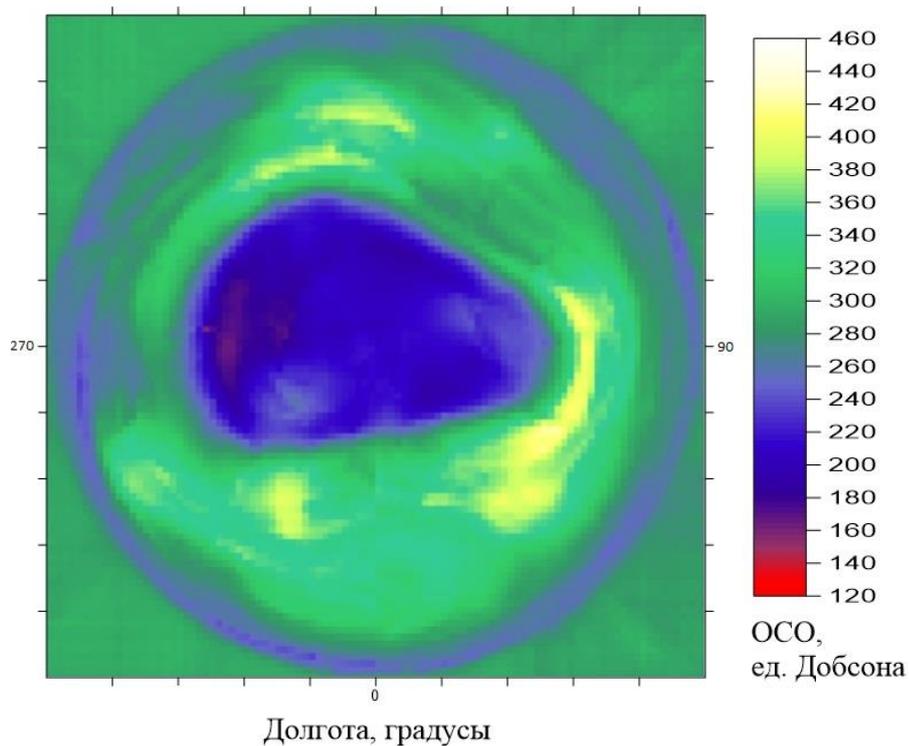


Рисунок 6 – Изображение карты общего содержания озона за 1 сентября 2013  
года

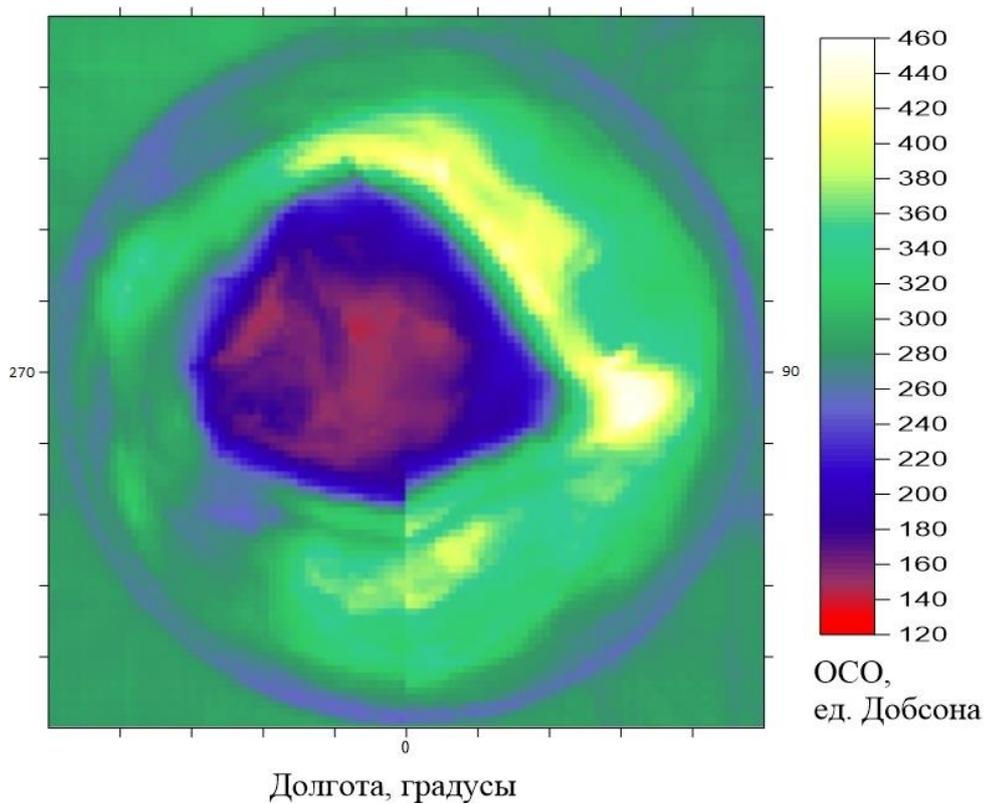


Рисунок 7 – Изображение карты общего содержания озона за 15 сентября 2013  
года

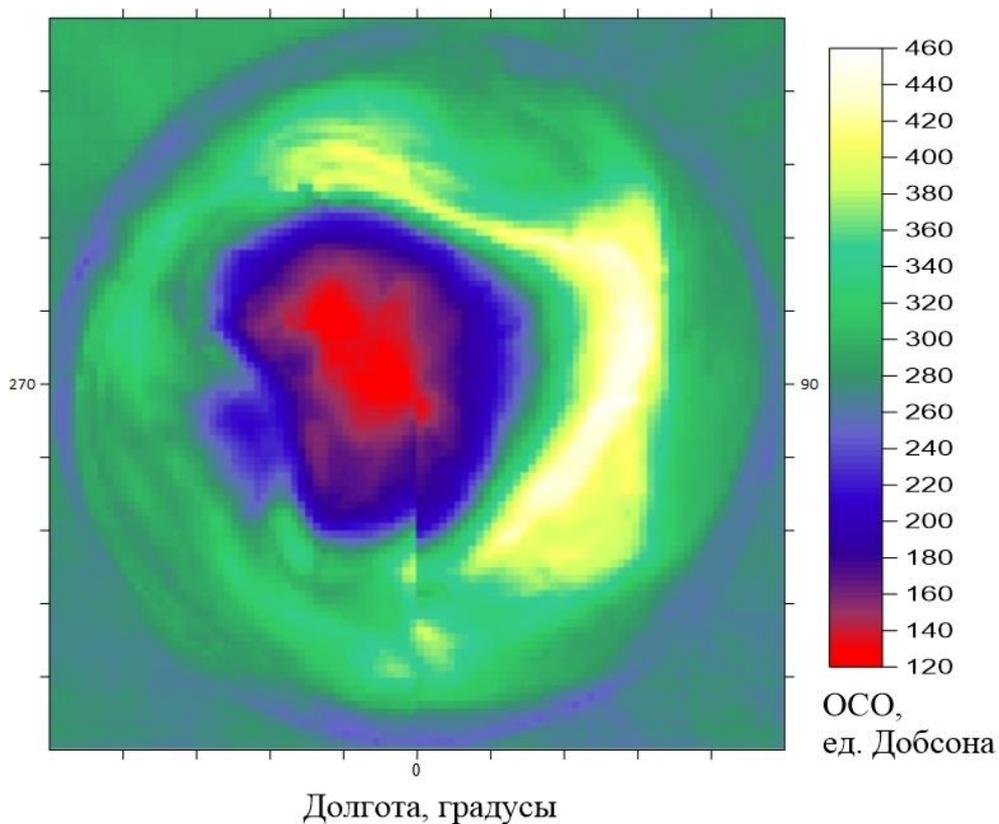


Рисунок 8 – Изображение карты общего содержания озона за 30 сентября 2013 года

На данных рисунках видно изменение ОСО над южным полюсом в сентябре 2013 года. Значения концентрации озона падают. Если 1 сентября над Антарктидой значения концентрации озона были от 220 до 240 единиц Добсона, то уже через две недели, а именно 15 сентября данные значения упали до 160-140 единиц Добсона, а еще через две недели 30 сентября данные значения составляли 140-120 единиц Добсона. Как известно, значения ОСО ниже 220 единиц Добсона считаются озоновой дырой, что и имеем на построенных картах ОСО.

Приведенные выше операции необходимо произвести 30 раз, соответственно количеству дней в сентябре. В дальнейшем можно прикрепить все полученные изображения карт озона в южном полушарии в презентацию, например, созданную в программном обеспечении Microsoft Power Point, и запустить непрерывное слайд-шоу для того, чтобы можно было наблюдать за

изменением ОСО в период времени с 1 по 30 сентября и образованием Антарктической озоновой дыры.

## **2.2 Анализ данных средних зональных значений концентраций озона**

Зональное среднее значение показывает среднее значение содержания озона в конкретный день месяца на определенной широте, так называемом кольце, с шагом в пять градусов.

Данные о зональных средних представлены сайтом NASA и находятся в свободном доступе по адресу: [10].

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.

Данные представлены в виде текстового файла с расширением «txt», но так как построение графиков будет производиться в программном обеспечении Microsoft Excel, то при открытии файла с расширением «txt» могут возникнуть различные проблемы. В частности, во всем файле дробные числовые данные были представлены со знаком точка, вместо запятой, из-за этого не будут работать формулы и не будет возможности строить графики. Необходимо заменить в файле все точки на запятые.

Построение графиков будет производиться в программном обеспечении Microsoft Excel.

Выделим значения южного полушария за один день. В файле присутствуют данные, имеющие нулевые значения, это связано с тем, что спутник работает по принципу регистрации отраженного солнечного излучения от атмосферы.

Следовательно, в местах, скрытых от Солнца из-за полярной ночи в определенные месяцы года, невозможен сбор информации со спутника. Для сбора информации в таких условиях используются наземные станции.

Построенная диаграмма с графиками за три дня ноября 2013 года представлена на рисунке 9.

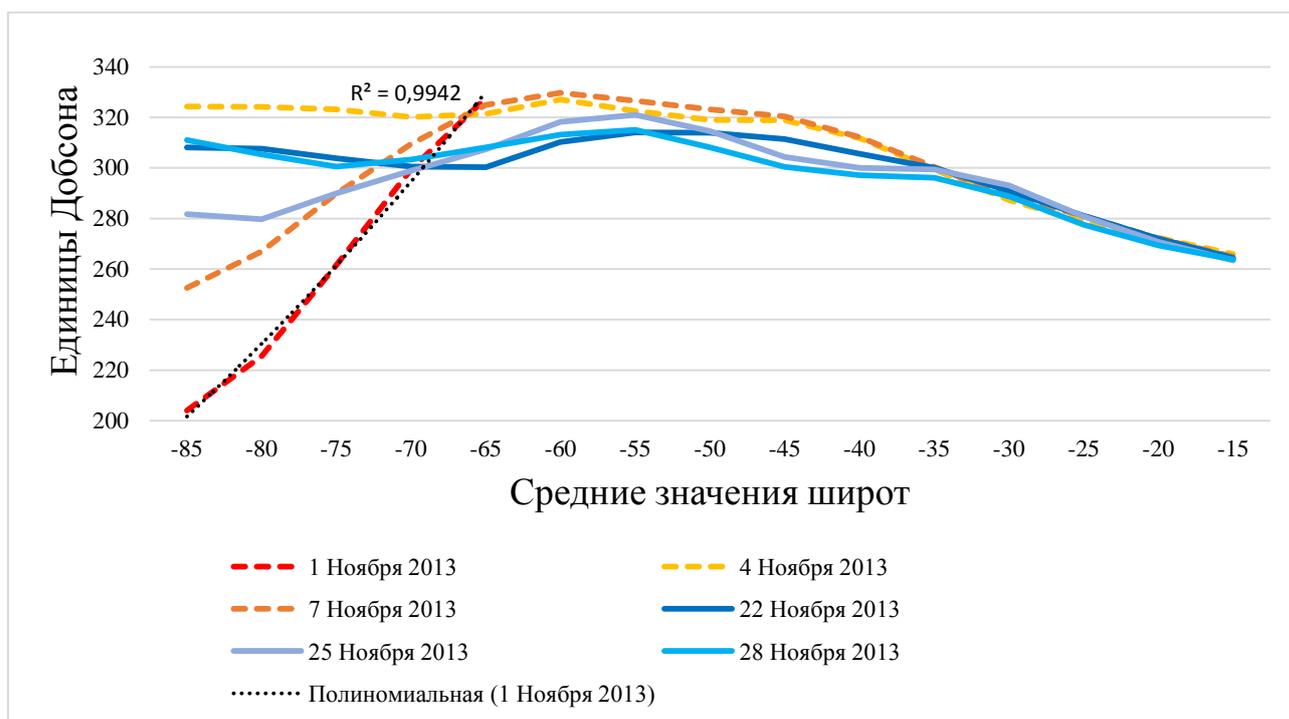


Рисунок 9 – График средних зональных значений озона за ноябрь 2013 года

Как видно из графиков в ноябре наблюдается озоновая дыра, однако к концу месяца наблюдается заполнение дыры озоном и ее полное исчезновение.

Так же можно заметить, что в диапазоне значений широт от  $-85^\circ$  до  $-65^\circ$  некоторые кривые имеют вид параболоиды. Проверим насколько это совпадает. Выберем один из графиков и вставим линию тренда вида полинома второй степени. Добавим значение аппроксимации в диаграмму.

Так же высокое скопление стратосферного озона вокруг Антарктической озоновой дыры, где низкие значения концентрации озона, по своей сути имеет вид «воронки» или параболоида, отсюда можно предположить, что имеет место некая квадратичная зависимость.

### **3 Исследование влияния сейсмичности на озоносферу планеты**

В ходе исследования будут построены карты общего содержания озона.

Для создания карты ОСО над выбранной территорией необходимо получить данные о содержании озона в этом регионе.

Рассмотрим процесс создания карт ОСО над территорией Японии у восточного побережья острова Хонсю. Именно в этом регионе 11 марта 2011 года произошло крупнейшее землетрясение магнитудой 9.0, унесшее жизни почти 16 тысяч человек, еще 6 тысяч человек были ранены, а 2 с половиной тысячи человек пропали без вести. Ущерб от землетрясения был оценен в 309 миллиардов долларов США [12].

Получить необходимые данные можно на специальном сервере NASA, предварительно выбрав интересующую нас директорию (рисунок 10). Чтобы взять данные за 2011 год, необходимо выбрать спектрометр OMI, так как спутник AURA, который использует данную аппаратуру, как раз функционировал в тот год и по сей день.

## Содержание /pub/

Название	Размер	Последнее изменение
 [родительский каталог]		
 LLM_climatology/		09.06.14, 1:00:00
 ML_climatology/		14.12.12, 1:00:00
 MergedOzoneData/		04.09.13, 1:00:00
 TOZ_climatology/		10.12.14, 0:00:00
 adeos/		01.12.06, 0:00:00
 balloon/		01.12.06, 0:00:00
 ccd/		04.05.16, 15:00:00
 docs/		01.12.06, 0:00:00
 epic/		02.05.16, 12:29:00
 eptoms/		01.12.06, 0:00:00
 meteor3/		20.02.08, 0:00:00
 nimbus7/		02.12.06, 0:00:00
 omi/		07.12.06, 0:00:00
 omps_np/		22.11.13, 1:00:00
 omps_tc/		07.01.16, 6:54:00
 sbuv/		12.04.13, 1:00:00
 surface_reflectivity/		02.12.06, 0:00:00
 tmp/		30.04.14, 1:00:00
 version8/		02.12.06, 0:00:00

Рисунок 10 – Содержание сервера NASA [10]

Далее следует выбрать пункт «data» и следом интересующую нас папку «ozone». Следом будет представлен список папок, каждая из которых содержит данные за определенный год. Выберем 2011 год (рисунок 11).

## Содержание /pub/omi/data/ozone/

Название	Размер	Последнее изменение
 [родительский каталог]		
 Y2004/		05.06.09, 1:00:00
 Y2005/		01.02.08, 0:00:00
 Y2006/		04.06.09, 1:00:00
 Y2007/		04.06.09, 1:00:00
 Y2008/		02.01.09, 0:00:00
 Y2009/		06.01.10, 0:00:00
 Y2010/		02.01.11, 0:00:00
 Y2011/		02.01.12, 1:00:00
 Y2012/		04.01.13, 1:00:00
 Y2013/		02.01.14, 1:00:00
 Y2014/		02.01.15, 0:00:00
 Y2015/		02.01.16, 6:30:00
 Y2016/		31.05.16, 5:30:00

Рисунок 11 – Список папок с данными за определенные года [10]

Согласно гипотезе, описанной в главе 1.10, эффект аномального повышения концентрации озона в атмосфере происходит за несколько дней, до начала сейсмической активности. Возьмем данные за несколько дней до 11 марта 2011 года и данные за несколько дней после землетрясения.

Эпицентр Японского землетрясения находился в точке с координатами: 38.297° с.ш. и 142.372° в.д. [10].

Карта ОСО строится в программном обеспечении Surfer 9. Данное программное обеспечение совместимо форматом данных с расширением «dat», но данные с сайта NASA представлены в текстовом формате с расширением «txt».

В таком случае необходимо вновь воспользоваться программным обеспечением «ОЗ», с помощью которого можно осуществить конвертирование текстового файла со значениями озона в формат с расширением «dat» для совместимости с программой Surfer 9.

В итоге получаем карту озонового слоя за конкретный день марта 2011 года. Для удобства и информативности необходимо вывести шкалу единиц Добсона для данной карты, щелкнув правой кнопкой мыши по изображению и

выбрав пункт «Properties», во вкладке «General» нужно поставить «галку» напротив слов «Show Color Scale». Так же, для удобства нужно раскрасить полученное изображение, на той же вкладке General нажав на цветовую схему под словом «Color», в появившемся окне в меню «Presets» можно выбрать любую наиболее подходящую цветовую схему или загрузить собственную, нажав на кнопку «Load».

Так же следует сделать единую шкалу единиц Добсона, что бы она была одинаковая для каждой построенной карты ОСО. Для этого необходимо определить минимальные и максимальные значения концентрации озона для каждой из построенных карт ОСО и выбрать из них самые крайние значения. Во вкладке «Colormap» необходимо заполнить поля «Minimum» и «Maximum» выбранными ранее значениями концентрации озона.

В итоге имеем следующие изображения, представленные на рисунках 12-14.

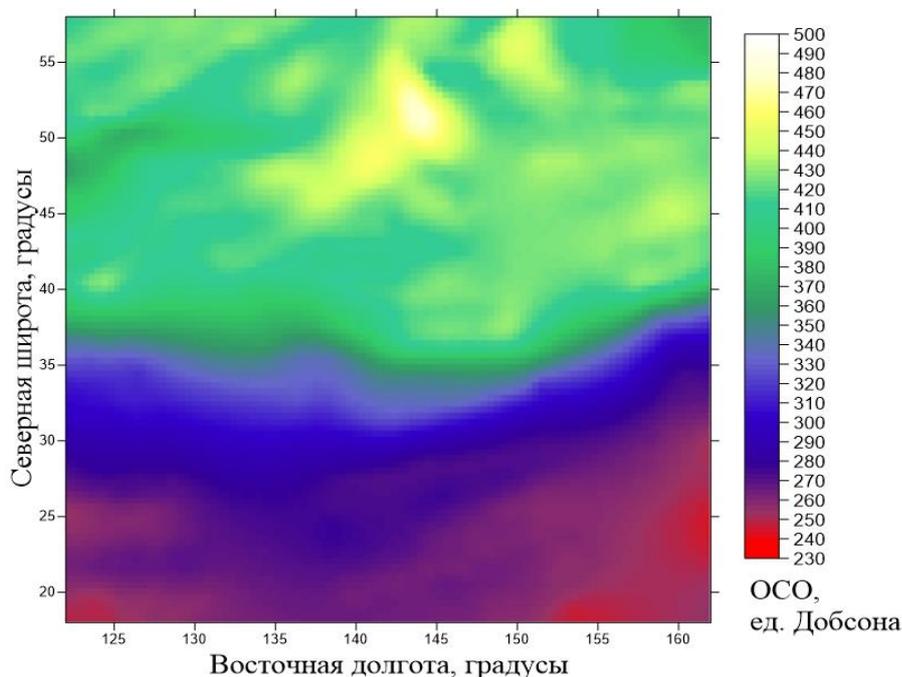


Рисунок 12 – Карта общего содержания озона над Японией 5 марта 2011 года

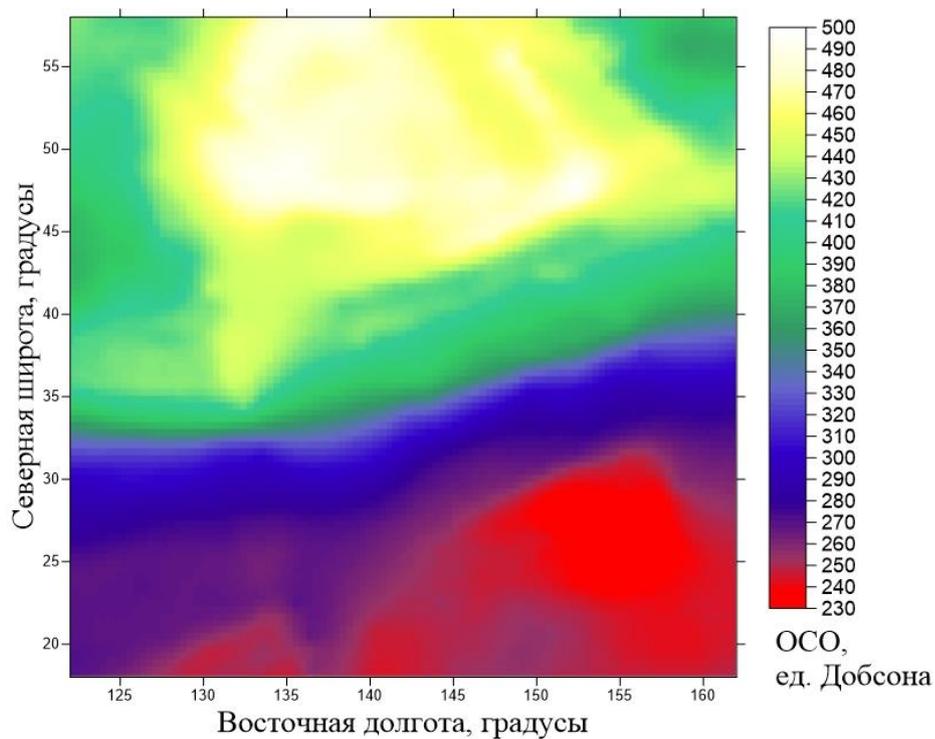


Рисунок 13 – Карта общего содержания озона над Японией 9 марта 2011 года

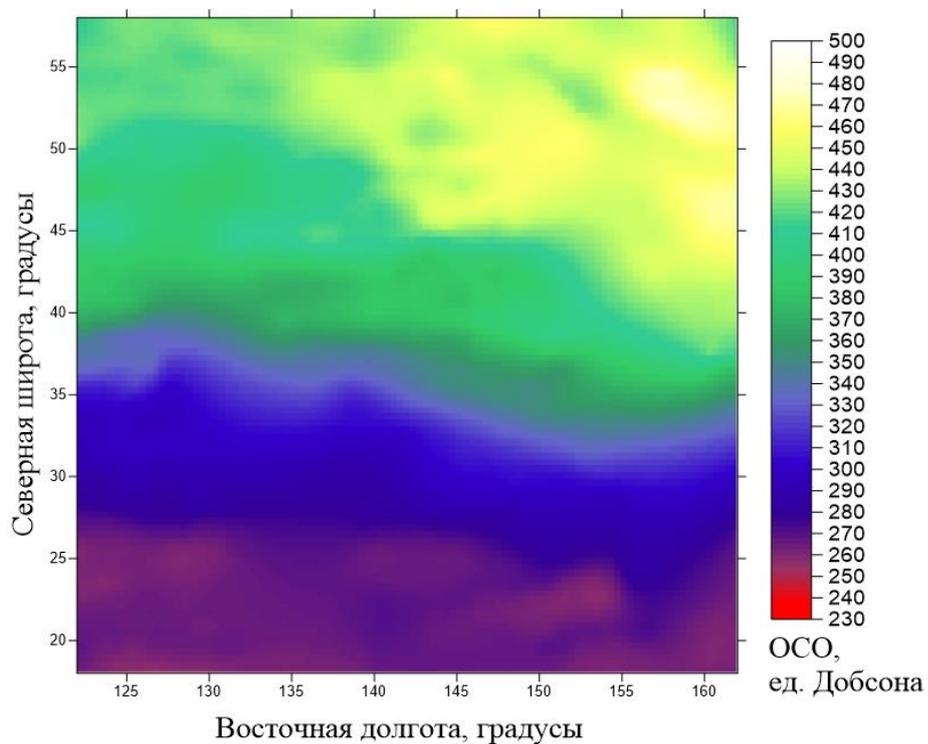


Рисунок 14 – Карта общего содержания озона над Японией 14 марта 2011 года

Как видно из рисунков выше, за несколько дней до землетрясения 11 марта 2011 года, можно наблюдать низкую концентрацию озона, а именно на рисунке 12, однако уже на рисунке 13 заметно значительное повышение концентрации озона. И только после землетрясения можно наблюдать снижение концентрации озона в данном регионе, о чем свидетельствует рисунок 14.

Так же для наглядности был сделан график, на котором видны все изменения средних концентраций озона в данном регионе в определенные дни за определенный промежуток времени.

Чтобы создать такой график, необходимо знать координаты эпицентра землетрясения. Как видно выше, на изображениях карт озона взята территория размером 40 на 40 градусов, но нас больше интересует изменение концентраций озона конкретно над эпицентром землетрясения. Возьмем территорию размером 10 на 10 градусов с эпицентром землетрясения строго по середине и посчитаем среднее значение концентрации озона над данной территорией.

Для того, чтобы выбрать территорию 10 на 10 градусов, необходимо в программном обеспечении Surfer 9 выбрать уже готовые файлы по данному землетрясению с расширением «dat» и указать новый промежуток, координаты центра которого будут совпадать с координатами эпицентра рассматриваемого землетрясения, равный 10 градусам по широте и 10 градусам по долготе, а затем сохранить файл с новыми настройками в том же расширении «dat». Необходимо проделать данную процедуру не менее 8-10 раз, в соответствии с выбранным рассматриваемым временным промежутком.

Получившиеся файлы нужно открыть в программном обеспечении Microsoft Excel. Полученные данные будут представлены в виде массива данных, состоящего из трех столбцов: два столбца отвечают за значения широты и долготы в градусах, а третий за значение концентрации озона в соответствующей координате (рисунок 15). Далее остается применить формулу подсчета среднего значения из всех данных третьего столбца.

	137	33	325,03	13
137.1		33	325,48	384,96
137.2		33	325,95	
137.3		33	326,43	
137.4		33	326,90	
137.5		33	327,38	
137.6		33	327,85	
137.7		33	328,32	
137.8		33	328,78	
137.9		33	329,23	
	138	33	329,67	
138.1		33	330,07	
138.2		33	330,41	
138.3		33	330,67	
138.4		33	330,80	
138.5		33	330,76	

Рисунок 15 – Изображение полученного массива данных

Следующим шагом будет создание графика поведения озона над выбранной территорией по результатам проделанной работы (рисунок 16).

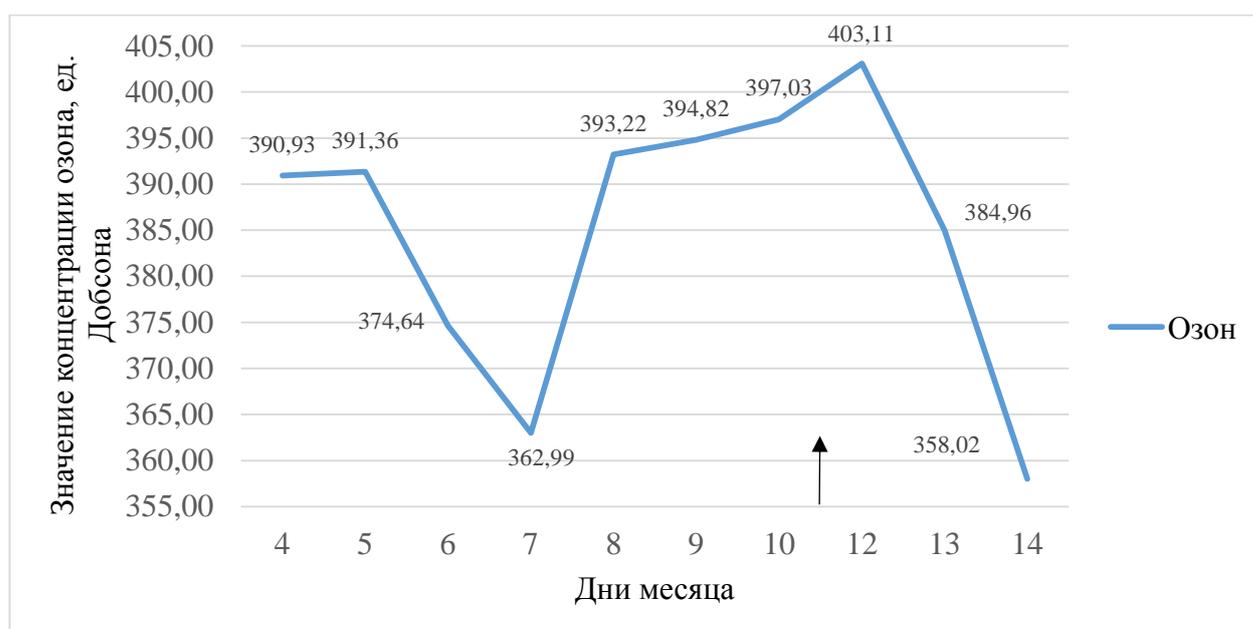


Рисунок 16 – График поведения озона над Японией в марте 2011 года

Как видно, данный график подтверждает вышесказанное, а именно, повышение концентрации озона над территорией, где в ближайшие дни произойдет землетрясение. А затем, снижение концентрации озона спустя 2-3 дня.

На основе данного метода построения карт ОСО были изучены несколько других территорий, так же пострадавших от землетрясений.

Например, территория Турции, где произошло землетрясение магнитудой 7.6 вблизи города Измит 17 августа 1999 года. Данное землетрясение унесло жизни 17 тысяч человек и 44 тысячи человек были ранены, ущерб был оценен в 30 миллиардов долларов США [10].

Эпицентр землетрясения находился в точке с координатами:  $40.760^\circ$  с.ш. и  $29.970^\circ$  в.д. [10].

По аналогии с Японским землетрясением 2011 года проведем предварительную обработку данных, затем построим карты ОСО над данной территорией и для наглядности график поведения озона за определенный период времени.

В итоге получим следующие изображения, представленные на рисунках 17-19.

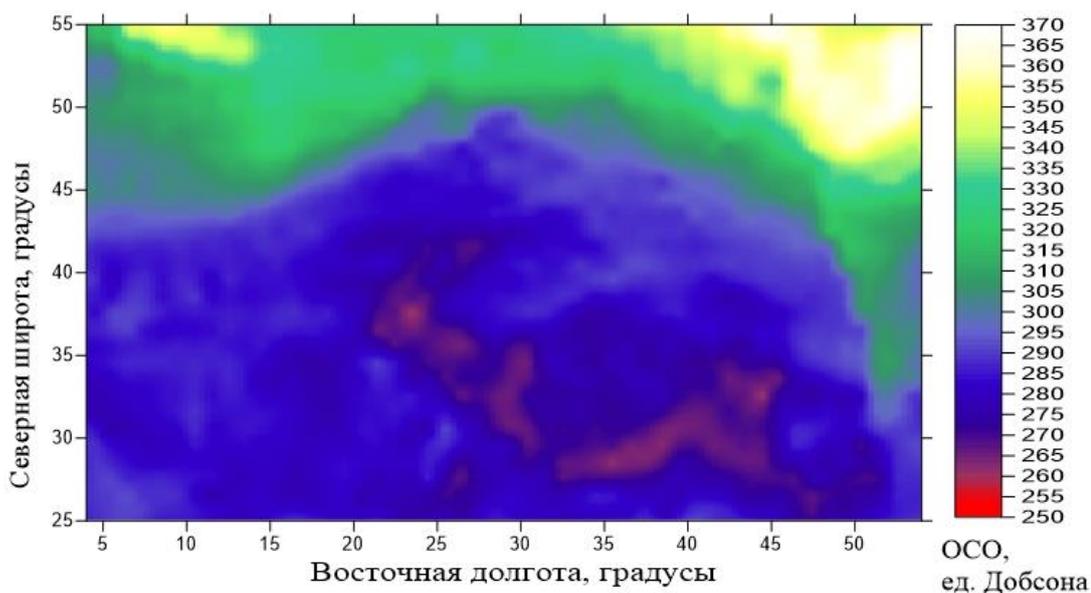


Рисунок 17 – Карта содержания озона над Турцией 09 августа 1999 года

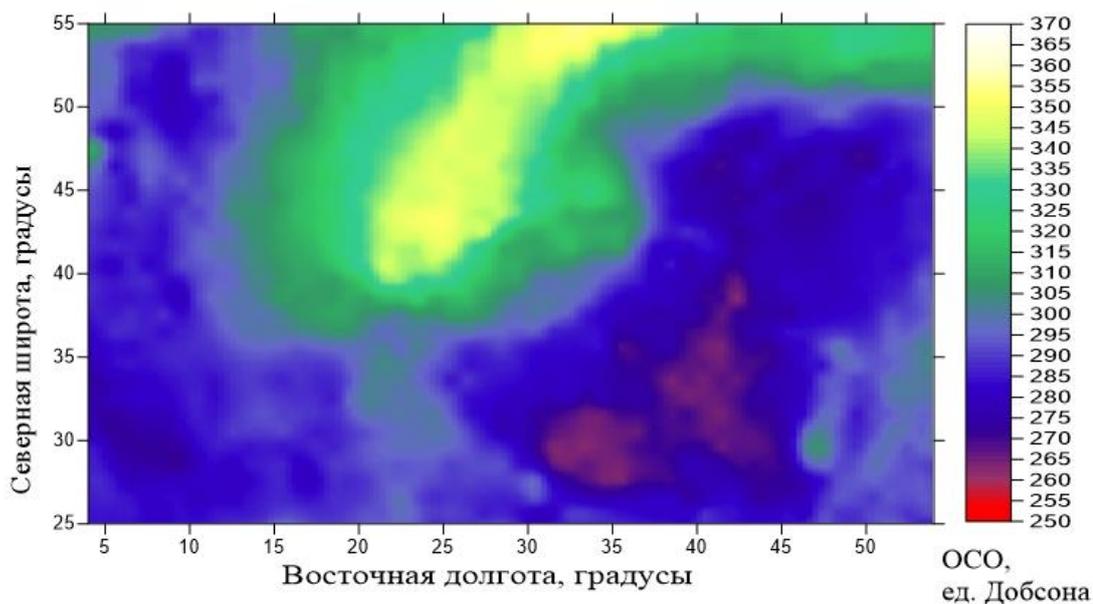


Рисунок 18 – Карта содержания озона над Турцией 14 августа 1999 года

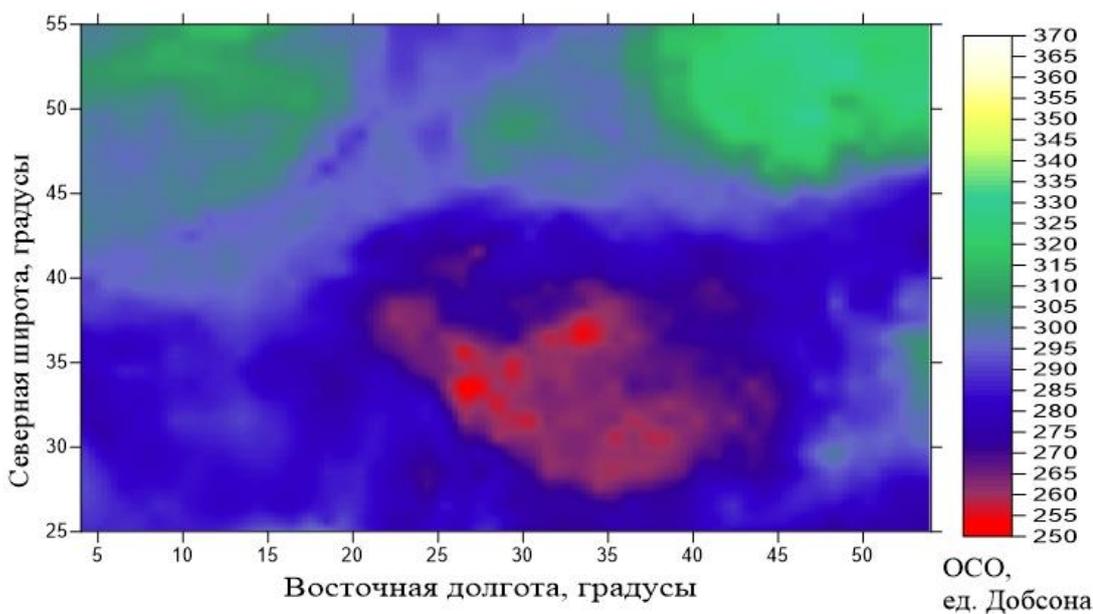


Рисунок 19 – Карта содержания озона над Турцией 18 августа 1999 года

Рассмотренным выше способом также построим график поведения озона над выбранной территорией (рисунок 20).



Рисунок 20 – График поведения озона над Турцией в августе 1999 года

Как видно, полученные данные схожи с предыдущими, что вероятно, подтверждает общую гипотезу, которая гласит о том, что при сейсмических событиях возможен выход литосферных газов в тропосферу и протекание химических и фотохимических реакций, приводящих к генерации молекул озона [4].

Также в ходе выполнения данной работы была установлена зависимость изменения концентрации озона над территориями, где происходили землетрясения, расположенными преимущественно в экваториальной зоне, то есть не дальше 30-35 градусов от экватора.

Наблюдаемое явление заключалось в том, что за несколько дней до начала сейсмической активности было зарегистрировано повышение концентрации озона над территорией, где располагается эпицентр землетрясения. Далее, спустя несколько дней концентрация озона над данной территорией заметно уменьшалась, однако, вскоре вновь произошло резкое повышение концентрации озона.

Данное явление представлено ниже на примере некоторых землетрясений, произошедших на территориях, относящихся к экваториальной зоне (рисунки 21-23).

На рисунке 21 отчетливо видно увеличение концентрации озона за несколько дней до землетрясения 12 января 2010 года. Примерно за 5 дней до землетрясения концентрация озона начала падать, однако, уже во время землетрясения и после него концентрация озона над данной территорией начала резко увеличиваться.

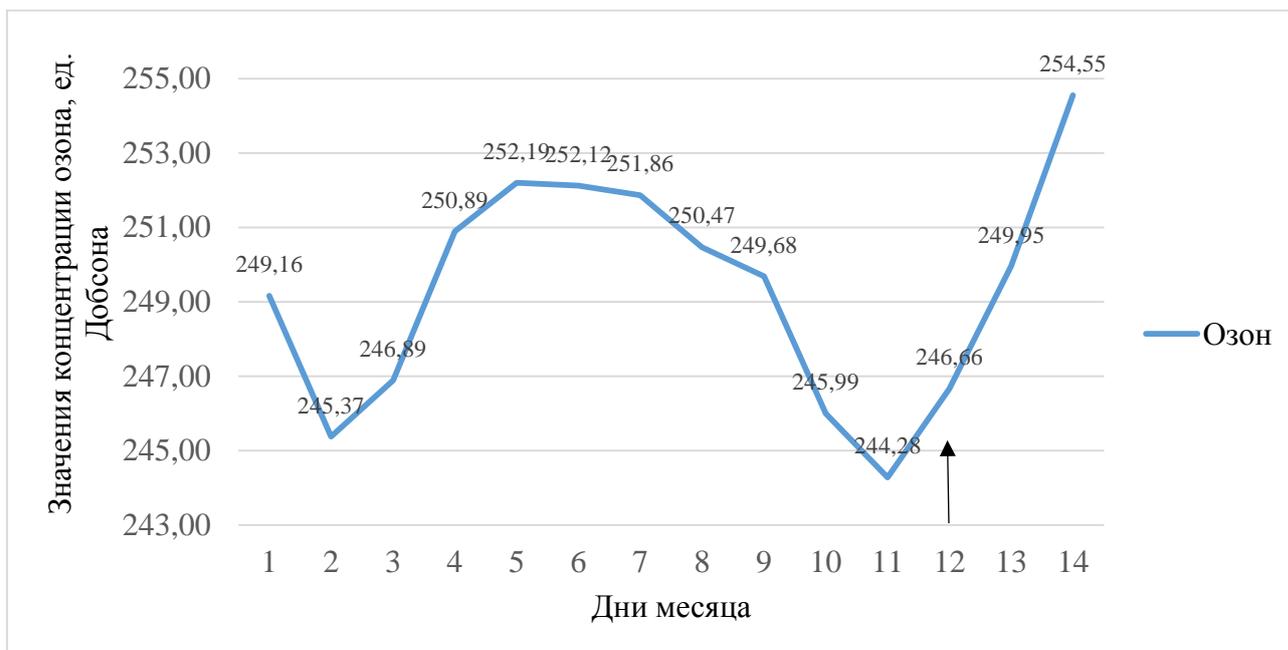


Рисунок 21 – График поведения озона над территорией Гаити. 15°- 25° с.ш., 70°-80° в.д

На рисунке 22 так же видно увеличение концентрации озона за 7-8 дней до землетрясения, произошедшего в Иране 26 декабря 2003 года. Затем происходит снижение концентрации озона по прошествии нескольких дней после увеличения, а затем вновь резкое увеличение концентрации озона над выбранной территорией.

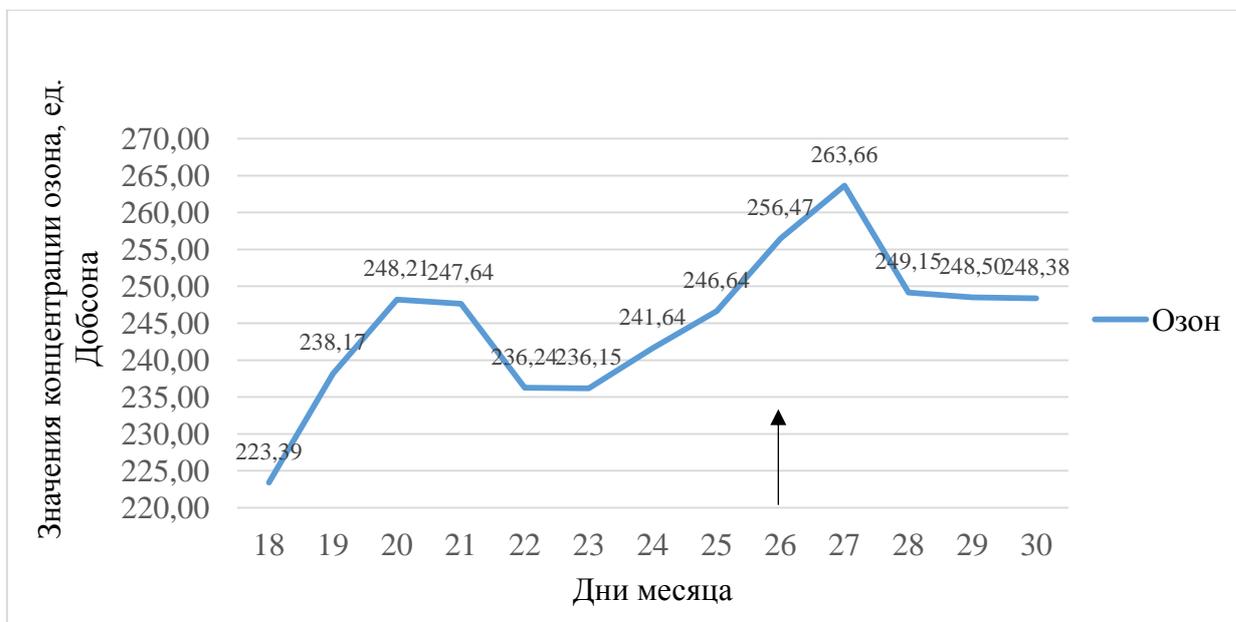


Рисунок 22 – График поведения озона над территорией Ирана. 25°-35° с.ш., 55°-65° в.д.

На рисунке 23, как и на предыдущих, видно существенное повышение значения концентрации озона над территорией Коста-Рики за 6 дней до землетрясения 5 сентября 2012 года. Далее следует уменьшение концентрации озона над данной территорией по прошествии нескольких дней, а затем вновь резкое увеличение концентрации озона после землетрясения.

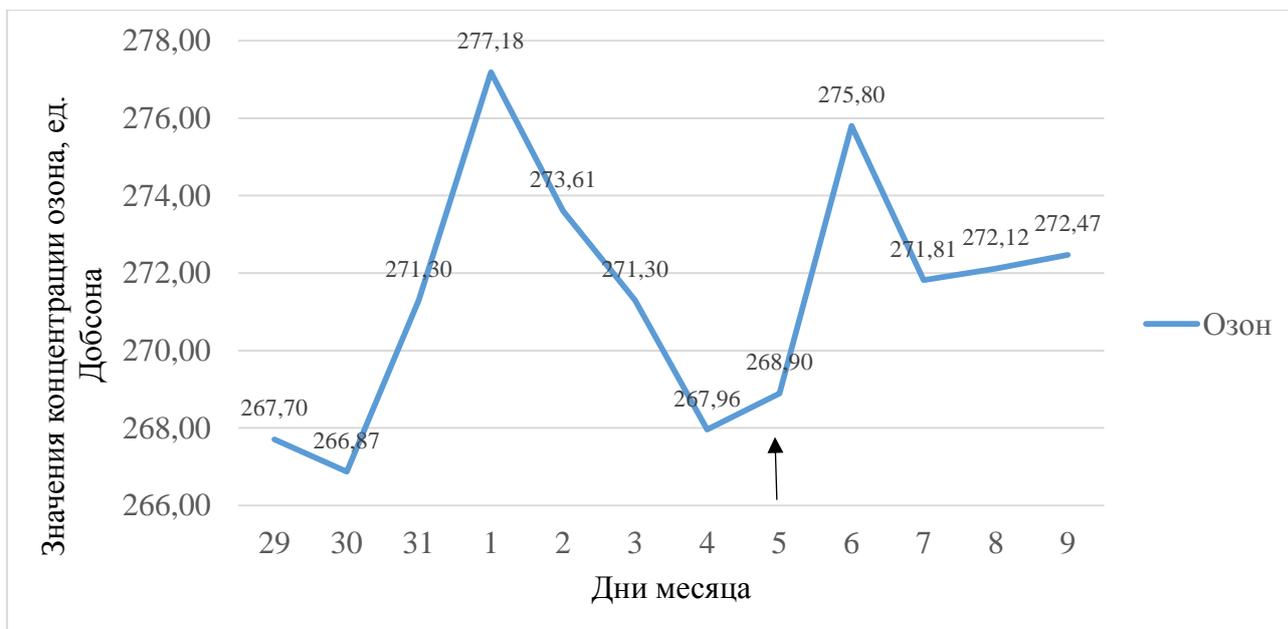


Рисунок 23 – График поведения озона над территорией Коста-Рики.  
5°-15° с.ш., 80°-90° з.д.

Демонстрируемые явления заставляют сделать предположение о том, что за несколько дней до землетрясения высвобождаются литосферные газы, они поднимаются в тропосферу и в результате фотохимических реакций образуется тропосферный озон, однако, этот озон может быть разрушен другими химическими веществами, входящими в состав выделившихся литосферных газов, таких как  $SO_2$  или  $HCl$ , так же образовавшийся озон является неустойчивым и быстро разрушается [3]. Это объясняет быстрое уменьшения концентрации образовавшегося озона. Но ближе к моменту землетрясения литосферные газы вновь выделяются, возможно даже в большем количестве, что провоцирует повторное повышение концентрации озона над территорией, где находится эпицентр землетрясения.

Данный эффект лучше всего наблюдать как раз в экваториальной зоне, так как озоновый слой в стратосфере Земли распределен неравномерно, больше всего он скапливается в средних широтах, тогда как ближе к экватору его гораздо меньше, но тем не менее в экваториальной зоне средняя концентрация озона более стабильна, так как в экваториальной области происходит

повышенный синтез стратосферного озона из-за наибольшей освещенности со стороны Солнца [3].

#### **4 Выводы по полученным результатам работы**

В средних широтах южного полушария наблюдается кольцо с высоким содержанием озона до 450 единиц Добсона. Профиль кольца описывается параболой. В центре кольца область с пониженным содержанием озона.

Обнаружено, что за 5-9 дней до землетрясения происходит повышение концентрации озона в зоне эпицентра сейсмической активности. Затем происходит снижение концентрации озона в данной зоне. Но в момент землетрясения вновь происходит увеличение концентрации озона в зоне эпицентра сейсмической активности.

Разработана методика построения карт общего содержания озона, позволяющая исследовать изменения концентрации озона в период землетрясений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы можно выявить ряд закономерностей, свидетельствующих о том, что общепризнанная теория разрушения озонового слоя может не являться главенствующей на самом деле.

Например, общепризнанная теория не объясняет почему в южном полушарии резко меняется концентрация озона в течение нескольких дней.

В общепризнанной теории также не предусмотрен факт извержений вулканов. Как известно, вулканические выбросы, помимо множества вредных для человека и природы веществ, могут содержать HCl. Данное соединение при попадании в стратосферу разделяется на составляющие и, в теории, свободный хлор (Cl) может спровоцировать уничтожение множества молекул озона. Данный факт наиболее ярко представлен на примере вулкана Эребус, самым южным вулканом на планете, который является действующим и над которым регистрируют самые низкие значения содержания озона.

Так же, в ходе выполнения данной работы было изучено влияние выбросов литосферных газов сейсмического характера на озоновый слой. Собраны статистические данные, на основе которых, можно сделать вывод о том, что при сейсмических событиях возможен выход литосферных газов в тропосферу и протекание химических и фотохимических реакций, приводящих к генерации молекул озона.

По построенным картам озонового слоя над территориями, где ранее происходили крупные землетрясения, можно увидеть увеличение концентрации озона за 5-9 дней до того, как начинает проявляться сейсмическая активность, затем резкое падение концентрации озона по прошествии нескольких дней. Это указывает на приземную природу ново образованного озона, что также подтверждается его малым фотохимическим временем жизни.

Были построены графики поведения озона над конкретными рассматриваемыми территориями за промежуток времени равный 10-14 дням. На графиках более наглядно демонстрируется изучаемый эффект.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Звягинцев А. М., Крученицкий Г. М. Озоновый кризис 20 лет спустя. – Москва: Модус-К-Этерна, 2006. – 145 с.
- 2 Официальный сайт Дальневосточного Государственного Университета Путей Сообщения [Электронный ресурс] : – Режим доступа - [http://edu.dvgups.ru/METDOC/ENF/BGD/MONIT\\_SR\\_OBIT/METHOD/USH\\_POSOV/frame/1\\_4.htm](http://edu.dvgups.ru/METDOC/ENF/BGD/MONIT_SR_OBIT/METHOD/USH_POSOV/frame/1_4.htm)
- 3 Кашкин В.Б., Рублева Т.В., Хлебопрос Р.Г. Стратосферный озон: вид с космической орбиты. – Красноярск:СФУ, 2015. – 221 с.
- 4 Электронная библиотека «Современные проблемы» [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://modernproblems.org.ru/ecology/113-hlebopos1.html>
- 5 Сайт Ecolo Earth [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://www.ecostam.ru/eaecos-325-1.html>
- 6 Зуев В.В., Зуева Н.Е., Савельева Е.С. Источник хлора в антарктической стратосфере //Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Тезисы докладов XXI международного симпозиума. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. – С. 112.
- 7 Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. – Москва:Логос, 2001. – 262 с.
- 8 Болт Б. Землетрясения: общедоступный очерк. – Москва:Мир, 1981. – 253 с.
- 9 Сайт Института Сейсмологии Академии Наук Узбекистана «Цифровая сейсмическая сеть Узбекистана» [Электронный ресурс] : – Режим доступа – <http://isas.uzsci.net/magnit.html>
- 10 Официальный файлообменный ресурс NASA [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <ftp://jwocky.gsfc.nasa.gov/pub/>
- 11 Официальный сайт ПО Surfer [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://www.goldensoftware.com/products/surfer>

12 Официальный сайт Национального Центра Экологической Информации США (NOAA) [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://www.ngdc.noaa.gov/>