

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра метеорологии и климатологии

**Сравнительный анализ общего содержания озона в некоторых
городах России**

АВТОРЕФЕРАТ
БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 411 группы
направления 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

Мордвинкова Павла Сергеевича

Научный руководитель
ассистент

М.А. Алимпиева

Зав. кафедрой
к.г.н., доцент

М. Ю. Червяков

Саратов 2021

Введение. Общее содержание озона в атмосфере (ОСО) — это толщина слоя озона, приведенного к нормальному давлению и температуре, то есть та характеристика озона, которая наблюдается проще и надежнее всего. Регулярные наблюдения за ней ведутся много лет по единообразным, разработанным весьма тщательно методам. Общее содержание озона наблюдается сейчас регулярно на всех пяти континентах, а также в Арктике и Антарктике. Озон является продуктом соединения молекулярного кислорода с атомарным, образующимся под воздействием ультрафиолетовых солнечных лучей. Общее содержание озона в атмосфере невелико — 2,10%, но он отражает до 95% ультрафиолетовых лучей, что предохраняет живые организмы от их губительного действия. Задерживая до 20% инфракрасных излучений, достигающих Земли, озон повышает утепляющие действия атмосферы. На формирование озонового экрана влияет наличие в стратосфере хлора, оксидов азота, водорода, фтора, брома, метана, обеспечивающих фотохимические реакции разрушения озона [3]. ОСО в атмосфере определяется как количество озона, находящегося в вертикальном столбе с основанием 1 см^2 . Типичное значение общего содержания озона, выражаемого в специальных единицах шкалы высот, составляет около 300 единиц Добсона (ед. Д.). Одна единица Добсона равна слою озона 10 мкм при стандартных давлении и температуре [1].

Целью настоящей работы является исследование общего содержания озона над Саратовом, Санкт-Петербургом и Красноярском.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) скачать ежедневные данные ОСО за период с 2005 по 2020 гг. для выбранных городов;
- 2) на исходном материале сформировать выборку среднегодовых значений;
- 3) провести статистический анализ данных на заданном интервале;
- 4) сделать сравнительный анализ месяцев для всех исследуемых пунктов.

Основное содержание работы. В первом разделе «Методы измерения озона» рассматривается какими методами измеряется атмосферный озон. В

настоящее время исследовано множество методов измерения атмосферного озона. Их можно подразделить на два вида: по способу измерения по способу измерения (контактный и дистанционный) и по месту расположения измерительного устройства. По месту расположения измерительного устройства методы измерения общего содержания озона делятся на наземные (оптические и лидарные), аэростатные (шарозондовые), ракетные, самолетные и спутниковые. В случае контактного метода (*in situ*) аппаратура проводит анализ окружающего воздуха и проводит необходимые измерения [4]. Локальные (контактные) измерения реализуются с помощью чувствительных датчиков, которые размещаются на борту аэростатов (баллонов) или геофизических ракет. Спектрометры Добсона и Брюера используются для измерения вертикального распределения озона с помощью Умкер-метода [5]. Используя данные по Умкер-методу можно получить профиль озона. Методы наблюдений *in situ*. Главный принцип УФ-метода основан на поглощении света в УФ-диапазоне молекулой озона. Дистанционные методы измерения озона выполняются «на расстоянии», которое может составлять сотни километров от измерительного прибора (*remotesensing*). Носителем информации об удаленном объеме атмосферы является электромагнитное излучение. Методы дистанционного зондирования можно поделить на пассивные и активные. Пассивным методом фиксируется электромагнитное излучение озона, возникшее под влиянием естественных причин. Второй метод – активный – используется искусственный источник зондирующего сигнала и фиксируется воздействие его на озон. Вертикальные профили озона измеряются с помощью лазерных систем дистанционного зондирования (лидаров) активными методами [4]. Озон в атмосфере измеряется также с помощью приборов, размещенных на самолетах и спутниках. Наблюдения с воздуха обычно проводятся полевыми фотометрами, анализирующими воздух в тропосфере и нижних слоях стратосферы во время полета. Еще один способ измерения озона - это измерение озона с помощью легких шаров (озонзондов) является активным методом измерения вертикального распределения озона в атмосфере.

Во втором разделе «Изучение озонового слоя» был рассмотрен глобальный и отечественный мониторинг озонового слоя. В настоящее время более 70 агентств примерно в 50 странах-членах Всероссийской метеорологической организации (ВМО) вносят данные наблюдений за озоном в Глобальную службу атмосферы (ГСА) ВМО. Эти данные начали тщательно анализироваться, когда в начале 1970-х годов научные открытия подчеркнули способность хлорфторуглеродов (ХФУ) и галонов разрушать озон с серьезными экологическими последствиями [16]. Однако только в середине 1980-х годов были получены убедительные доказательства разрушения озона, о чем свидетельствует резкое снижение содержания озона весной в Арктике [2]. В настоящее время имеется очень много научно-исследовательских организаций, занимающихся исследованием общего содержания озона на различных интервалах времени. Все эти данные собираются в Мировые Центры данных [3,17]. Одним из таких центров является Национальное управление океанологических и атмосферных процессов. Его базовые обсерватории – это располагаются от Антарктиды до Аляски [13].

Исследовав данные, можно сделать вывод, что значения общего содержания озона менялись с 316,1 до 311,3 ед. Добсона. Наибольшее значение отмечалось в 1982 году и составляло 322,9 ед. Добсона, а наименьшее – в 1995 году и было 295,0 ед. Добсона. В 1993 и 1995 годах отмечаются одинаковые значения ОСО – 295,0 ед. Добсона. С 1980 года по 1993 наблюдается спад, а с 1995 по 2020 год.

В России за проведение регулярных измерений общего содержания озона и взаимодействие с соответствующими органами ВМО ответственна Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) [15]. На территории бывшего СССР ежедневные измерения ОСО выполняются на сети, состоящей из 35 озонметрических станций, расположенных в России, Украине и Казахстане, оснащенных фильтровыми озонόμεтрами М-124. Методическое, техническое и метрологическое обеспечение мониторинга ОСО и ультрафиолетовой (УФ) радиации над

территорией РФ осуществляет Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова (ГГО). Данные наблюдений поступают в Росгидромет (ЦАО, ГГО, Гидрометцентр России) [16]. Анализ данных общего содержания озона подтвердил тенденцию уменьшения атмосферного озона, отмеченную в обзорах Всемирной метеорологической организации еще в 1995 года [17]. Результаты исследований показали, что зимой 1999-2000 г. в Северном полушарии наблюдалось чрезвычайно низкое содержание озона в стратосфере. В России за последние 10 лет концентрация озона снизилась на 4-6% в зимнее время и на 3% в летнее. По мнению ряда ученых-экологов, к 2030 г. в России при сохранении нынешних темпов истощения озонового слоя заболеют раком кожи дополнительно 6 млн человек [18].

В третьем разделе **«Сравнительный анализ общего содержания озона в Саратове, Санкт-Петербурге и Красноярске»** был проведен анализ ОСО в различных городах России. Сначала проводился анализ среднегодовых и среднемноголетних значения с 2005 по 2020 года. Можно сделать вывод, что ОСО в Саратове изменяется от 320,8 до 324,0 ед.Д. Максимальное значение отмечается в 2010 году и составляет 335,1 ед. Д., а минимальное в 2008 году – 315,9 ед.Д. В Санкт-Петербурге значения ОСО варьируются от 318,8 до 324,1 ед.Д. Максимальное среднее годовое значение ОСО наблюдается в 2015 году и составляло 337,8 ед.Д., а минимальное было в 2008 году – 315,9 ед.Д. В Красноярске значения ОСО изменяются значения от 346,7 до 333,2 ед.Д. Самое низкое значение ОСО отмечается в 2011 году – 330,7 ед.Д., а самое высокое было в 2010 году и составляло 362,4 ед.Д.

Были рассчитаны статистические характеристики (среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации) значений ОСО в исследуемых городах. Из анализа данных видно, что среднее многолетнее значение ОСО в Саратове составляет 327,9 ед.Д. Однако, в течении года его значение меняется. Самое большое значение ОСО зимнего периода достигается в феврале и составляет 364,4 ед.Д., а минимальное отмечается в декабре (309,5 ед.Д.). Малое значение ОСО в весенний сезон отмечается в мае, а наибольшее в апреле. В летний

период самое большое значение ОСО было в июне (332,7 ед.Д.), а минимальное значение отмечалось в августе (303,16 ед.Д.). Минимальное значение ОСО осеннего сезона составляло (282,6 ед.Д.) в октябре, а максимальное значение ОСО было в сентябре (293,0 ед.Д.). Максимальная величина среднего квадратического отклонения составляла 22,91, а минимальное значение равно 9,51. Очень большая величина коэффициента вариации в марте (0,06). С мая по октябрь эта мера составляла 0,03. Среднее многолетнее значение ОСО в Санкт-Петербурге составляет 327,9 ед.Д. Самое большое значение ОСО в зимнем периоде достигается в феврале и составляет 360,1 ед.Д., а минимальное отмечается в декабре (298,1 ед.Д.). Малое значение ОСО в весенний сезон отмечается в мае (359,4 ед.Д.), а наибольшее в апреле (376,6 ед.Д.). В летний период самое большое значение ОСО было в июне (340,2 ед.Д.), а минимальное значение отмечалось в августе (301,2 ед.Д.). Минимальное значение ОСО осеннего сезона составляло 280,3 (ед.Д.) в октябре, а максимальное значение ОСО было в сентябре (287,6 ед.Д.). Максимальная величина среднего квадратического отклонения была в марте (28,83), а минимальное значение было в сентябре (6,32). Самая большая величина коэффициента вариации составляла 0,09, а наименьшая (0,02) была в августе и сентябре. В Красноярске среднее многолетнее значение ОСО составляет 345,1 ед.Д. Однако, в течении года его значение меняется. Самое большое значение ОСО зимнего периода достигается в феврале и составляет 396,6 ед.Д., а минимальное отмечается в декабре (330,3 ед.Д.). В летний период самое большое значение ОСО было в июне – 345,7 ед.Д., а минимальное значение отмечалось в августе - 312,4 ед.Д. Минимальное значение ОСО осеннего сезона составляло 299,6 ед.Д. в октябре, а максимальное значение ОСО было в сентябре - 305,7 ед.Д. Максимальная величина среднего квадратического отклонения составляла 28,52, а минимальное значение равно 8,04. Максимальное значение коэффициента вариации в декабре (0,09). В июле, августе и октябре эта величина составляла мера составляла 0,03.

Анализ статистических характеристик показывает, что наибольшие значения ОСО наблюдаются в феврале, марте, мае и сентябре, а минимальные значения были в декабре, мае, августе и октябре. Поскольку представляет интерес изучать минимальные значения ОСО, приближенные к 220 ед.Д. (озоновая дыра), то для характеристики каждого из сезонов были выбраны месяцы с наименьшим содержанием ОСО.

Далее проводился анализ общего содержания озона в городах по сезонам. Можно сделать вывод, что в Саратове в зимний период можно проследить периоды, где значения ОСО были ниже среднего многолетнего: с 1 по 12 и с 15 по 21 декабря. Значения ОСО ниже нормы отмечались 18 раз. Самое минимальное значение ОСО наблюдалось 7 декабря и составляло 243,6 ед.Д., а максимальное было 23 декабря (360,2 ед.Д.). Для Санкт-Петербурга также преобладали значения ОСО ниже среднего многолетнего (27 дней). В этом пункте можно увидеть следующие периоды, где значения ОСО были ниже нормы: с 1 по 11, с 13 по 21 и с 25 по 31 декабря. Самое маленькое значение отмечалось 26 декабря и составляло 220 ед.Д. Значений выше средних многолетних было всего 4. Максимальное значение ОСО наблюдалось 23 декабря (348,6). В Красноярске наблюдалось 9 дней с значениями ОСО ниже среднего многолетнего. Можно выделить только один период с значениями ОСО ниже нормы: с 5 по 9 декабря. Самое минимальное значение ОСО наблюдалось 5 декабря (264,5 ед.Д.), а максимальное было 3 декабря (376,3 ед.Д.).

В Саратове в весенний период значения ОСО ниже среднемноголетних наблюдались только 5 дней. Можно проследить только один период с значениями ОСО ниже нормы: с 24 по 27 мая. Самое минимальное значение ОСО для данного пункта наблюдалось только 26 мая и составляло 321,4 ед.Д., а максимальное было 17 мая (399,6 ед.Д.). В суточном ходе значений ОСО для Санкт-Петербурга хорошо видно, что преобладали значения ОСО выше нормы. Только 5 дней характеризовали значения ОСО, находящиеся ниже относительно среднего многолетнего значения ОСО. Можно проследить только

один период с значениями ОСО ниже нормы: с 1 по 4 мая. Минимальное значение ОСО отмечалось 3 мая и составляло 330,8 ед.Д. Максимальное значение ОСО наблюдалось 15 мая (439,3). В Красноярске наблюдалось 17 дней ОСО ниже нормы. По средним суточным значениям ОСО можно выделить несколько периодов с значениями ОСО ниже нормы. Самое минимальное значение ОСО было 18 мая (326,9 ед.Д.), а максимальное было 4 мая (446,7 ед.Д.).

В Саратове в летний сезон значения ОСО ниже среднемноголетних наблюдались почти половину месяца (15 дней). Для данного пункта можно выделить период с значениями ОСО ниже нормы: с 15 по 26 августа. Минимальное значение ОСО для Саратова наблюдалось 26 августа и составляло 291,1 ед.Д., а максимальное было 7 августа (348,2 ед.Д.). Для Санкт-Петербурга также преобладало ОСО выше среднего многолетнего значения. Значения ОСО ниже нормы были намного меньше и наблюдались всего 3 дня. Минимальное значение ОСО отмечалось 23 августа и составляло 291,5 ед.Д. Максимальное значение ОСО наблюдалось 12 августа (342,5 ед.Д.). Для Красноярска также преобладали значения ОСО выше среднего многолетнего. Наблюдалось 14 дней со значениями ОСО ниже среднего многолетнего. По графику суточного хода ОСО можно проследить 2 периода с значениями ОСО ниже нормы: с 11 по 17 и с 29 по 31 августа. Самое минимальное значение ОСО было 1 августа (275,2 ед.Д.), а максимальное наблюдалось 23 августа (341,1 ед.Д.).

В Саратове в осенний сезон значения ОСО ниже нормы наблюдались почти половину месяца (15 дней). Самое минимальное значение ОСО для Саратова наблюдалось 31 октября и составляло 237,7 ед.Д., а максимальное было 2 октября (343,2 ед.Д.). В Санкт-Петербурге хорошо видно, что преобладали значения ОСО ниже среднего многолетнего (17 дней). Минимальное значение ОСО отмечалось 31 октября и составляло 225,1 ед.Д. Максимальное значение ОСО наблюдалось 2 октября (343,0 ед.Д.). В Красноярске наблюдалось 22 дня ОСО ниже среднего многолетнего значения.

Самое минимальное значение ОСО было 30 октября (272,7 ед.Д.), а максимальное было 4 октября (324,1 ед.Д.).

Заключение.

1. Минимальное среднее годовое содержание ОСО на всех исследуемых пунктах отмечалось в 2008 году, а максимальное значение было зафиксировано в 2010 году.

2. Для выделения месяцев, характеризующие сезоны года, были рассчитаны статистические характеристики. Они показывают, что наибольшие значения ОСО наблюдаются в феврале, марте, мае и сентябре, а минимальные значения были в декабре, мае, августе и октябре. Такое распределение ОСО объясняется циркуляционной перестройкой в атмосфере (полярный вихрь).

3. В зимний период значения ОСО ниже нормы наблюдались 18 дней в Саратове, 27 дней в Санкт-Петербурге и 9 дней в Красноярске. Наибольшее число дней в Санкт-Петербурге объясняется географическим расположением пункта.

4. В весенний период значения ОСО ниже нормы наблюдались 5 дней в Саратове и в Санкт-Петербурге и 17 дней в Красноярске.

5. В летний период значения ОСО ниже нормы наблюдались 15 дней в Саратове, 3 дня в Санкт-Петербурге и 14 дней в Красноярске.

6. В осенний период значения ОСО ниже нормы наблюдались 15 дней в Саратове, 17 дней в Санкт-Петербурге и 22 дня в Красноярске.

7. Графики суточного хода значений ОСО для Саратова, Санкт-Петербурга и Красноярска на каждом из рассматриваемых месяцев не согласуются между собой

8. За период с 2005 до 2020 годы самое минимальное значение ОСО наблюдалось в Санкт-Петербурге (220,0 ед.Д.). Данное значение соответствует минимальному уровню содержания озона для определения границ для озоновой дыры.

Список использованных источников.

- 1 Перов, С. П. Современные проблемы атмосферного озона / С. П. Перов. – Л.: Изд-во, Гидрометеиздат, 1980. – С. 284-287.
- 2 Изменения озонового слоя атмосферы [Электронный ресурс] : студенческая энциклопедия [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: https://studwood.ru/1176657/ekologiya/izmeneniya_ozonovogo_sloya_atmosfery (дата обращения : 25.04.2019). - Загл. с экрана. – Рус. яз.
- 3 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.
- 4 Кашкин, В. Б., Атмосферный озон и его изучение с помощью наземной и спутниковой аппаратуры / Л.В. Кашкина, Т.В. Рублева. – Красноярск: Современное образование. - 2001. - № 3. – С. 63–71.
- 5 Александров, Э.Л. Человек и стратосферный озон / Э.Л. Александров, Ю.С. Седунов. – Л.: Изд-во, Гидрометеиздат, 1979. – 107 с.
- 6 Тимофеев, Ю. М. Глобальная система мониторинга параметров атмосферы и поверхности / Ю. М. Тимофеев. – СПб. : Издательство Санкт-Петербургского университета, 2009. - 129 с.
- 7 Бланк, Т.В. Полупроводниковые фотоэлектропреобразователи для ультрафиолетовой области спектра [Электронный ресурс] / Т.В. Бланк, Ю.А. Гольдберг // Физика и техника полупроводников. - 2003. - № 9. - URL: <http://journals.ioffe.ru/ftp/2003/09/p1025-1055.pdf>. (дата обращения : 15.05.2020). - Загл. с экрана. – Рус. яз.
- 8 Потемкин, В.Л. Динамика атмосферного озона в условиях высокогорья / В.Л. Потемкин, Т.Г. Потемкина, Е.А. Гусева. – Иркутск: Изд-во, Вестник ИрГТУ, 2015. – С.13-15.
- 9 Гущин, Г.П., Виноградова, Н.Н. Суммарный озон в атмосфере / Г.П. Гущин, Н.Н. Виноградова. – Л.: Изд-во, Гидрометеиздат, 1983. – 247 с.
- 10 Браун, Р.А. Аналитические методы моделирования планетарного пограничного слоя / Р.А. Браун. – Л.: Изд-во, Гидрометеиздат, 1978. – 144 с.

- 11 Jeannie Allen. Tango in the Atmosphere: Ozone and Climate Change / Allen Jeannie. - NASA Earth Observatory, 2004.
- 12 Александров, Э.Л. Озоновый щит Земли и его изменения / Э.Л. Александров, Ю.А. Ахраэль, И.Л. Кароль, А.Х. Хргиан. – СПб. : Изд-во, Гидрометеиздат, 1992. – 288 с.
- 13 Общие сведения [Электронный ресурс] : Национальное управление океанических и атмосферных исследований Министерство торговли США [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: <https://www.noaa.gov/>. (дата обращения: 15.05.2020). – Загл. с экрана. – Яз. англ.
- 14 Киселев, В.Н., Кузнецов, А.Д. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы) / В.Н. Киселев, А.Д. Кузнецов. Учебник. - СПб., изд. РГГМУ, 2004. - 429 с.
- 15 Ананьев, Л.Б. Особенности общего содержания озона и циркуляции в нижней стратосфере в зимне-весенний период 2011 года / Л.Б. Ананьев, А.М. Звягинцев, И.Н. Кузнецова, М.И. Нахаев // Труды Гидрометцентра России – М. : Изд-во, Гидрометеиздат, 2012. -С. 44-60.
- 16 Звягинцев, А.М., Кузнецова, И.Н., Шалыгина, И.Ю. Исследование и мониторинг приземного озона в России / А.М. Звягинцев, И.Н. Кузнецова, И.Ю. Шалыгина. – М. : Изд-во, Труды Гидрометцентра России, 2017. Вып. 365. – С. 56-70.
- 17 Ученые о прогнозе уменьшения общего содержания озона [Электронный ресурс]: Информационный портал «Хайтек» [Электронный ресурс] : [сайт].- URL: <https://hightech.fm/2018/11/07/ozone2060>. (дата обращения : 19.04.2021). - Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 18 Красовский, А. Взаимодействие системы «атмосферный озон – климат» / А. Красовский, Л. Турышев // Журнал «Наука и инновации». Иркутск. : 2011. Вып. 4. – 3 с.
- 19 Ежедневные данные по озону [Электронный ресурс] : Национальная обсерватория NASA – Наблюдения Земли NASA [Электронный ресурс]: [сайт].

– URL: <https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/> (дата обращения : 15.03.2021 г.). – Загл. с экрана. – Яз. англ.

20 Карты общего содержания озона [Электронный ресурс] : Всемирный центр данных по озону и ультрафиолетовой радиации [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: <https://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selectMap?lang=e> (дата обращения : 10.05.2020). - Загл. с экрана. – Яз. англ.

21 Спутник Аура [Электронный ресурс] : Всемирная Викимедиа [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: [https://www.hmong.press/wiki/Aura_\(satellite\)#:~:text=Инструменты%20ауры.%200Aura%20\(%20EOS,качество%20воздуха%20и%20климат%20](https://www.hmong.press/wiki/Aura_(satellite)#:~:text=Инструменты%20ауры.%200Aura%20(%20EOS,качество%20воздуха%20и%20климат%20) (дата обращения : 13.05.2020). - Загл. с экрана. – Яз. англ.

22 Аура [Электронный ресурс] : Национальная обсерватория NASA – Наблюдения Земли NASA [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: <https://aura.gsfc.nasa.gov/about.html> (дата обращения : 15.03.2021 г.). – Загл. с экрана. – Яз. англ.