



ИЗМЕНЯЮЩИЙСЯ ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ



ВМО

WMO LIBRARY - www.wmo.int/library



000831



ЮНЕП

7С2

ОСНОВНЫЕ ДАТЫ В ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ОЗОНА

- 1839 г. Открытие озона К. Ф. Шонбейном
- 1860 г. Начало измерения приземного озона в сотнях пунктов
- 1880 г. Хартли выдвигает наличие связи между полосой сильного поглощения солнечного излучения в диапазоне между 200 и 320 нм и присутствием озона в верхней атмосфере
- 1913 г. Получение при помощи измерений УФ-излучения доказательства того, что основная часть озона находится в стратосфере
- 1920 г. Первые количественные измерения общего содержания озона
- 1926 г. Установка в разных пунктах земного шара шести озонных спектрофотометров Добсона для регулярных измерений общего содержания озона
- 1929 г. Открытие метода обращения для измерения вертикального распределения озона и установление того, что максимум озона находится ниже высоты 25 км
- 1930 г. Фотохимическая теория образования и разрушения стратосферного озона, основанная на химии чистого кислорода
- 1934 г. При помощи озозондов, подвешенных на шарах-зондах, установлено, что максимальная концентрация озона наблюдается на высоте примерно 20 км
- 1955 г. Предложение о создании Глобальной сети станций для наблюдений за озоном в рамках МГГ
- 1957 г. ВМО принимает на себя ответственность за стандартные процедуры единообразных наблюдений за озоном, учреждение Глобальной системы наблюдений за озоном (ГСНО₃)
- 1965 г. Фотохимическая теория разрушения озона под воздействием и шкалой NO_x
- 1966 г. Первые измерения озона со спутников
- 1971 г. Предположение о механизме разрушения озона под воздействием NO_x
- 1974 г. Начало рассмотрения предположения о химическом воздействии ClO_x как механизме разрушения озона
- 1974 г. Признание антропогенных ХФУ в качестве источника стратосферного хлора
- 1975 г. Проведение ВМО первой международной оценки состояния глобального озона
- 1977 г. Илан действия в отношении озонового слоя, учрежденный ЮНЕП в сотрудничестве с ВМО
- 1981-94 гг. Публикация ВМО в сотрудничестве с ЮНЕП и национальными научно-исследовательскими учреждениями научных оценок состояния озонового слоя в 1981, 1985, 1988, 1991 и 1994 гг.
- 1984 г. Первое сообщение на симпозиуме Комиссии по озону в Халкидики о необычайно низком (-200 мкм см) общем содержании озона на станции Сёва. Антарктика, в октябре 1982 г.: важное значение этого факта было признано лишь в следующем году
- 1985 г. Принятие Венской конвенции о защите озонового слоя и опубликование Британской антарктической экспедицией данных со станции Халлей о существовании с начала 1980-х гг. «озоновой дыры» в течение антарктической весны

(продолж. па задней обложке)

Изменяющийся озоновый слой

Ру мен Д. Божков

Совместная публикация Всемирной Метеорологической Организации и Программы Организации
Объединенных Наций по окружающей среде по случаю пятидесятой годовщины Организации
Объединенных Наций

© 1995,
Всемирная Метеорологическая Организация и
Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде

Материал из настоящей публикации может быть процитирован или воспроизведен бесплатно при условии, что в каждом случае будет четко и должным образом указан данный источник.

ISBN 92-63-40828-9

ПРИМЕЧАНИЕ

Употребляемые обозначения и изложение материала в настоящем издании не означают выражения со стороны Секретариата Всемирной Метеорологической Организации или Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде какого бы то ни было мнения относительно правового статуса страны, территории, города или района, или их властей, или относительно делимитации их границ.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Считается, что в течение миллионов лет основной состав атмосферы оставался неизменным, хотя и стало известно об изменении содержания некоторых редких соединений, таких как двуокись углерода. Молекулы озона, сконцентрированные главным образом на высотах между 15 и 35 км, определяют температурную структуру стратосферы и, по капая опасное ультрафиолетовое излучение, защищают жизнь на нашей планете. Однако в последние полвека человечество поставило озоновый слой под угрозу. Не осознавая последствий, мы выбрасывали в атмосферу химические вещества, которые разрушают часть защищающего жизнь озонового слоя и тем самым нарушают поддерживаемый природой хрупкий баланс.

Отдельные наблюдения за озоном проводились уже в 1920-х годах, однако систематические измерения начались лишь около 40 лет тому назад. В настоящее время около 60 стран-членов вносят свой вклад в деятельность Глобальной системы наблюдений за озоном (ГСНО₃) Всемирной Метеорологической Организации (ВМО), обеспечивающей поступление данных, как оказалось имеющих важное значение для понимания состояния и оценки изменений озонового слоя. Эти данные начали тщательно анализироваться после того, как в начале 1970-х гг. в результате научных исследований была выявлена способность хлорфторуглеродов (ХФУ) и галонов разрушать озон с серьезными последствиями для окружающей среды.

Однако лишь в середине 1980-х гг. мы получили убедительные доказательства разрушения озона, иллюстрацией чего послужило резкое уменьшение содержания озона в весенний сезон над Антарктикой. Проведенные учеными в течение более 25 лет научные исследования по всему земному шару показали, что выбрасываемые в

атмосферу в результате деятельности человека химические соединения разрушают озон.

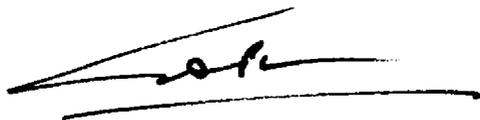
Атмосфера не имеет национальных границ, и поэтому сразу же было признано, что для исправления положения потребуются международные усилия. Одна из постоянных обязанностей ВМО заключается в обеспечении правительств авторитетной научной информацией и консультациями относительно состояния и поведения атмосферы и климата Земли. В 1975 г. ВМО опубликовала первое научное заявление под названием «Изменение озонового слоя в результате деятельности человека и некоторые возможные геофизические последствия». Двумя годами позже ВМО присоединилась к Программе Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) в подготовке межправительственного совещания экспертов (Вашингтон, О.К., март 1977 г.), на котором был утвержден первый международный План действий по защите озонового слоя.

В последующие годы ВМО в сотрудничестве с ЮНЕП координировала подготовку ряда научных оценок. Они были основаны на достижениях сотен ученых как из развитых, так и развивающихся стран, и вкладах многих национальных учреждений. Эти оценки легли в основу проведенных под эгидой ЮНЕП переговоров о заключении Конвенции о защите озонового слоя (Вена, 1985 г.) и ее Монреальского протокола (1987 г.). Дополнения к этому протоколу (Лондон 1990 г., Копенгаген 1992 г.) потребовали резкого уменьшения использования ХФУ, галонов и других разрушающих озон веществ, которые рассматриваются в качестве основной причины разрушения озона.

Эти соглашения явили собой первые, заключенные под эгидой Организации Объединенных Наций, глобальные договоры об управлении рисками в области окружающей среды. В них

предусмотрены меры по предотвращению возникающей проблемы. История этих договоров носит исключительный и беспрецедентный характер, и они могут рассматриваться в качестве модели для дальнейших международных действий по борьбе с глобальными угрозами окружающей среде. Действия по защите озонового слоя могут рассматриваться в качестве одного из наиболее значительных международных достижений нашего века. В 50-ю годовщину Организации Объединенных Наций это достижение свидетельствует об укреплении духа сотрудничества между правительствами, промышленными структурами, экологическими организациями и между народами планеты в целях обеспечения процветающего и устойчивого мира.

В брошюре *Изменяющийся озоновый слой* кратко описывается история изучения атмосферного озона и те меры, которые координируются и стимулируются ВМО и ЮНЕП в целях защиты атмосферы земного шара. Эта история продолжалась в течение всех 50 лет существования Организации Объединенных Наций; история, демонстрирующая постоянное сотрудничество между ВМО и ЮНЕП, которые совместно опубликовали настоящую брошюру в качестве вклада в празднование 50-й годовщины ООН.



(Г. О. П. Обаси)
Генеральный секретарь
Всемирной Метеорологической
Организации

Что касается будущего озонового слоя, то все еще остаются некоторые неопределенности. Однако можно с уверенностью сказать, что его восстановление зависит от способности государств надлежащим образом выполнять международные соглашения и ограничивать выбросы веществ, содержащих хлор и бром, и разрушающих стратосферный озон. Отрадно сознавать, что мировое сообщество предприняло прогрессивные шаги, заключив Венскую конвенцию и ее Монреальский протокол. Эти договоры являют собой яркий пример использования науки на пользу человечества.

В конце настоящей брошюры представлен обобщенный взгляд на возможное развитие событий по мере того, как мы приближаемся к следующему столетию, и рассматривается вопрос о том, как государства мира должны будут сотрудничать между собой в целях предотвращения будущих угроз озоновому слою, как этого требует Повестка дня на XXI век, принятая совещанием на высшем уровне по проблемам планеты Земля (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.).

И наконец, от имени ВМО и ЮНЕП мы хотели бы выразить благодарность д-ру Румелу Д. Божкову за подготовку настоящей брошюры.



(Е. Даудсвелл)
Исполнительный директор
Программы Организации Объединенных
Наций по окружающей среде

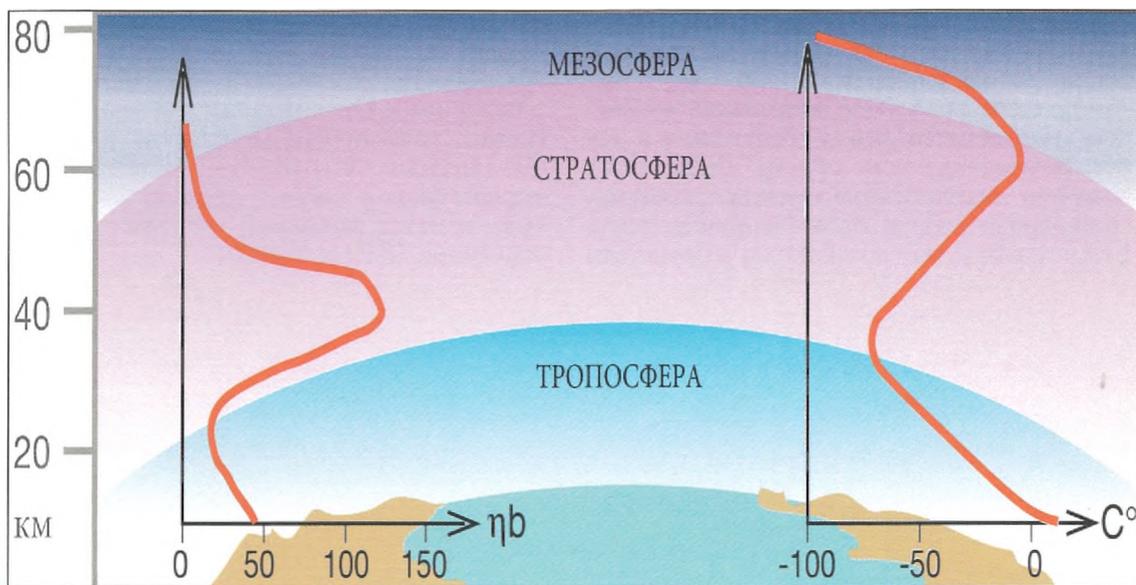
1. ВВЕДЕНИЕ

С начала 1970-х гг. проблема озона как одного из малых газовых компонентов атмосферы, которая ранее представляла интерес лишь для небольшой группы ученых, приобрела глобальное значение. Такое резкое изменение объясняется открытием учеными того факта, что нормальное содержание озона в атмосфере находится под угрозой в результате деятельности человека. Уменьшение содержания озона было обнаружено на основе информации, поступавшей с более чем 150 станций в Глобальную систему наблюдений за озоном (ГСНОЗ) ВМО начиная с середины 1950-х гг., и в последние 15 лет с нескольких специализированных спутников. Активные лабораторные исследования, измерения в полевых условиях и теоретические изыскания позволили установить связь между произведенными человеком химическими соединениями и наблюдаемым ис-

чезновением озона. Именно с учетом этой информации страны, откликнувшиеся на призыв Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), подписали первую экологическую Конвенцию о защите озонового слоя (Вена. 1985 г.).

На 99 процентов воздух, которым мы дышим, состоит из азота (78%) и кислорода (21%). Их соотношение оставалось неизменным в течение миллионов лет. Редкие компоненты, такие как водяной пар, двуокись углерода, метан, окись азота, озон и инертные газы (например, аргон, гелий, неон), составляют менее 1% от объема воздуха. В каждом десяти миллионах молекул воздуха на долю озона приходится в среднем лишь три молекулы. Если весь озон, содержащийся в атмосфере, распределить по поверхности земного шара, то получится слой толщиной всего около 3 мм.

Рисунок 1- Приблизительно 90% атмосферного озона находится в стратосфере, где его концентрация фиксируется между 19 и 23 км и на поверхности Земли (кривая на рисунке слева). Температура воздуха после быстрого понижения с высотой в тропосфере, повышается в стратосфере, так как озон поглощает излучение (кривая на рисунке справа).



Общее количество озона в атмосферном столбе в каждом конкретном месте различно и определяется главным образом крупномасштабной динамикой атмосферы,

Несмотря на крайнюю разреженность в атмосфере, молекулы озона играют чрезвычайно важную роль в сохранении жизни на нашей планете. Они поглощают вредное солнечное ультрафиолетовое излучение (с длинами волн менее 320 нм), защищая как шитом всех людей, животных и растения от гибели. Озон также в значительной степени определяет термальную структуру стратосферы (10-50 км), где температура возрастает с высотой (рисунок 1).

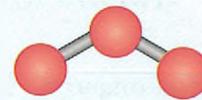
Хотя под воздействием солнечной энергии и образуется новый озон (см. текст в рамке на с. 7), молекулы этого газа постоянно разрушаются под влиянием естественных соединений, содержащих кислород, азот, водород и хлор или бром. Эти химические вещества присутствовали в стратосфере задолго до того, как человек начал загрязнять атмосферу. Азотистые соединения исходят из почв и океанов, водород образуется главным образом из атмосферного водяного пара, хлор и бром поступают из океана в виде хлористого метила или бромистого метила. В настоящее время в результате деятельности человека этот хрупкий баланс между образованием и разрушением молекул озона нарушен. Выбрасывая в атмосферу дополнительные химические вещества, содержащие хлор и бром (например, хлорфторуглероды), мы способствуем разрушению

озона, что ведет к уменьшению его содержания в стратосфере.

Обратный процесс происходит в нижней части атмосферы (вплоть до 10-12 км), называемой тропосферой. Здесь в результате главным образом процессов сгорания топлива местное содержание озона в средних широтах северного полушария более чем удвоилось за последние 100 лет. Это *увеличение* содержания озона в тропосфере не может компенсировать его уменьшение в стратосфере, однако такие изменения могут повлиять на радиационный баланс системы Земля-атмосфера.

Данная тема рассматривается в связи с празднованием 50-й годовщины Организации Объединенных Наций, поскольку она являет собой пример успешного решения одной из проблем в области окружающей среды. Понимание тех изменений, которые происходят в озоновом слое, и определение мер, необходимых для защиты озона, требует сотрудничества ученых, правительств и промышленных структур по всему земному шару. Решение данной проблемы требует также общих усилий со стороны всех государств при сотрудничестве со специализированными учреждениями Организации Объединенных Наций, такими как Программа развития Организации Объединенных Наций и Всемирный банк, а также с другими национальными и международными органами, координируемыми ВМО и ЮНЕП.

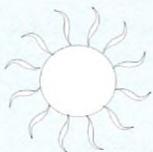
АТМОСФЕРНЫЙ ОЗОН



Озон (O_3), это одна из разновидностей элементарного кислорода (O), в молекуле которого находятся три атома вместо двух атомов, как в обычной молекуле кислорода (O_2). Он образуется в стратосфере в результате воздействия солнечной радиации на молекулы кислорода в процесс, называемом фотолиз: молекулы O_2 разлагаются на отдельные атомы кислорода, которые в свою очередь соединяются с молекулярным кислородом, и образуется озон.

Озон разрушается естественным образом в результате ряда каталитических циклов, в которых участвуют кислород, азот, хлор, бром и водород.

В стратосфере (10-50 км над поверхностью земного шара) находится 90% всего озона, содержащегося в атмосфере. Если рассмотреть столб озона, проходящий через всю атмосферу, то он имеет максимальное парциальное давление в нижней стратосфере на высоте 19-23 км над поверхностью Земли (рисунок 1).



Активность Солнца и наблюдаемое уменьшение количества озона

Стратосферный озон образуется главным образом благодаря ультрафиолетовому (УФ) излучению. Мощность солнечного излучения влияет на скорость его образования.

Энергия Солнца, высвобождающаяся в УФ-части спектра, неодинакова, особенно это заметно в течение хорошо известного цикла солнечных пятен, составляющего 11 лет. Проведенные начиная с 1950-х гг. наблюдения за несколькими солнечными циклами, показали, что общее глобальное количество озона уменьшается на 1-2% от максимума к минимуму типичного солнечного цикла. Наблюдавшиеся в последнее время долгосрочные изменения в количестве озона значительно превышают этот показатель. Они не могут быть объяснены лишь изменениями солнечной активности.

2. ИЗМЕРЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЗОНА

Озон был открыт К. Ф. Шонбеином в 1839 г. при наблюдениях за электрическими разрядами, сынако лишь после 1850 г. было определено, что озон является одной из естественных составляющих атмосферы. Его название происходит от греческого слова, означающего «запах», что связано

с наличием у присутствующего в больших концентрациях озона резкого характерного запаха. Измерения приземного озона начали регулярно проводить с 1860-х гг. В 1880 г. эксперименты показали, что озон сильно поглощает излучение в ультрафиолетовой части спектра солнечного.

ИЗМЕРЕНИЕ ОЗОНА И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ЕДИНИЦЫ

Общее содержание озона определяется как количество озона, содержащееся в вертикальном столбе с основанием в 1 см^2 при нормальных давлении и температуре. Оно может быть выражено в единицах давления, обычно примерно 0,3 атмосферы-сантиметров. Паболее часто используется такая единица как миллиатмосферодаптиметр (матм см) (обычно называемая единицей Добсона), соответствующая средней концентрации озона в атмосфере равной примерно одной части на миллиард по объему (млрд⁻¹ или 1 ppbv). Внутри вертикального столба озон распределяется неравномерно.

Среднее значение на земном шаре составляет примерно 300 единиц: оно изменяется в зависимости от географического местонахождения примерно от 230 до 500 единиц Добсона. Общее содержание озона в столбе является в среднем самым низким над экваториальным поясом и возрастает с увеличением широты (рисунок 2).

Эффект обращения

При нанесении на график данных о соотношении измеренных интенсивностей рассеянного от зенита неба света с двумя различными длинами волн (311 нм и 322 нм) в сравнении с возрастающим зенитным углом Солнца в диапазоне от 60° до 90° наблюдается определенный оптический эффект. Данное соотношение возрастает при увеличении зенитного угла вплоть до приблизительно 86° , а затем оно начинает изменяться в обратном направлении (Umkehr).

Сочетание поглощения и рассеяния излучения с названными длинами волн позволяет получить развертку по высоте, из которой можно вывести вертикальное распределение озона в девяти слоях толщиной по 5 км каждый. Такие расчеты проводятся по единому методу в Мировом центре данных об озоне ВМО, в файле которого хранятся более 40 000 профилей озона.

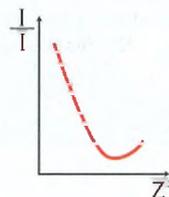
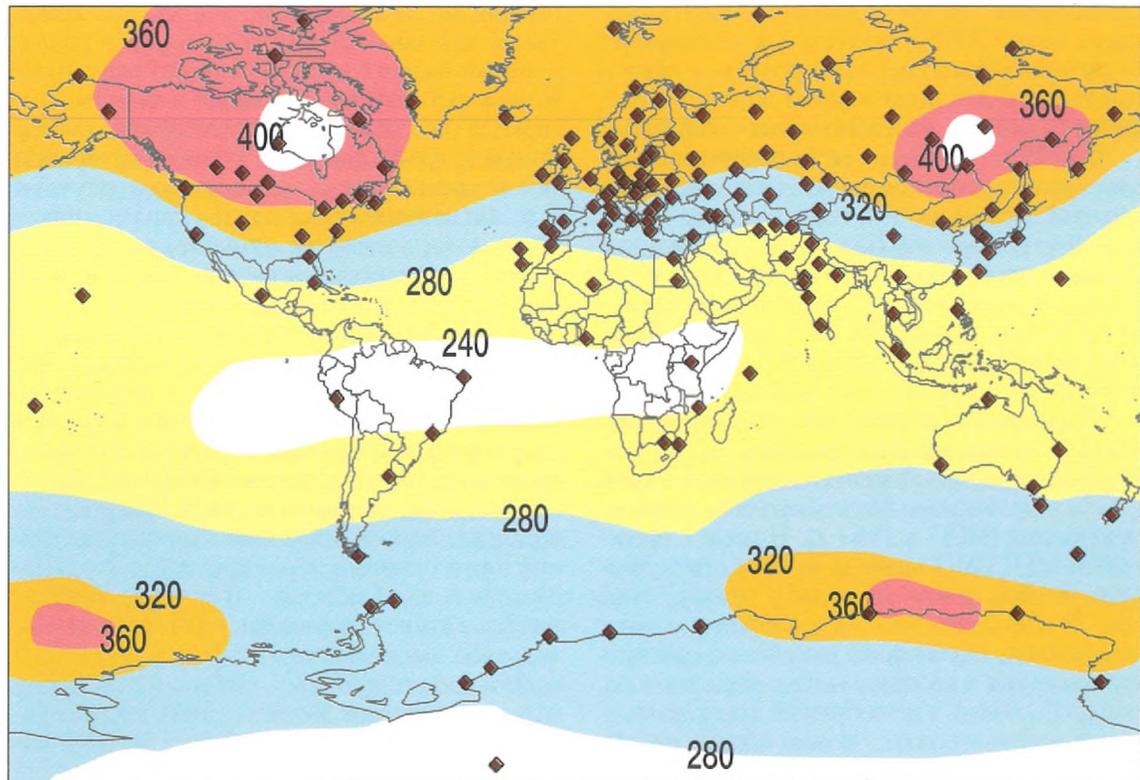


Рисунок 2 — Местонахождение тени активно действующих станций ГСНОЗ с указанием среднего распределения содержания озона: низкое содержание на 1 жваатриа /ьны. V поясом и высокое над средними широтами (и над полярными широтами в северном полушарии).



света. Это позволило к 1913 г. сделать вывод о том, что большая часть атмосферного озона находится в стратосфере. Позднее было показано, что максимальной концентрации озон достигает на высотах между 19 и 23 км (рисунок 1).

После первых количественных измерений общего столба озона в 1920 г. оксфордский ученый Г. М. Б. Добсон усовершенствовал прибор для рутинного контроля за общим содержанием озона. Создание этого прибора явилось вехой в науке об озоне. Он до сих пор является основным средством для измерений в Глобальной системе наблюдений за озоном и на сегодняшний день постоянно используется почти в 100 обсерваториях по всему земному шару. Информация о

количествах озона регулярно сообщается в виде данных о толщине слоя всего озона в столбе воздуха, обычно называемой единицей Добсона (см. текст в рамке слева).

Начиная с конца 1950-х и. ценные данные стали поступать также с фильтровых озонметров, размещенных на 44 станциях на территории бывшего СССР. В последнее десятилетие был разработан автоматизированный озонный спектрофотометр Брюера. Ряд этих приборов уже используется для сообщения данных об озоне.

В дополнение к данным наземных измерений в настоящее время поступают данные со специализированных видов оборудования, установленного на спутниках, таких как спектрометр

картирования для представления общего содержания озона (ТОМС), приборы для эксперимента по изучению стратосферных аэрозолей и газов и спектрометр для исследования обратного рассеяния солнечного ультрафиолетового излучения.

В 1929 г. был открыт метод определения вертикального профиля содержания озона, названный «методом обращения» (см. текст в рамке). Затем в 1930-х гг. Чэпмэном была разработана фотохимическая теория образования озона. Позднее при помощи озонзондов, установленных на шарах-зондах, начали получать данные о профилях озона. Более подробно история изучения озона изложена на обратной стороне обложки настоящей брошюры.

Создание Глобальной сети станций наблюдений за озоном явилось составной частью деятельности по осуществлению грандиозных планов в связи с проведением Международного геофизического года (МГГ) в 1957 г. В связи с проведением МГГ ВМО приняла на себя ответственность за сбор данных об озоне в течение этого года. В сотрудничестве с Международной комиссией по озону Организация разработала стандартные процедуры и координационные меры для того, чтобы обеспечить единообразные высококачественные измерения озона. Можно сказать, что эта деятельность ознаменовала начало функционирования Глобальной системы наблюдений за озоном ВМО, являющейся в настоящее время составной частью Глобальной службы атмосферы (ГСА). До этого момента исследования озона

проводились исключительно для научных целей, таких как определение роли озона в радиационном балансе планеты или потенциальные возможности его использования в качестве трассера для отслеживания атмосферной циркуляции. Возникло предположение о существовании связи между увеличением ультрафиолетового излучения и возникновением рака кожи у людей, однако мир в целом все еще *не осознал* той потенциальной роли, которую играет деятельность человека в разрушении озонового слоя.

Озон образуется в течение всего газа в стратосфере над экваториальным поясом. Благодаря движению воздуха он перемещается в направлении полярных широт. Местонахождение основания стратосферного резервуара, где находится большая часть озона, определяется высотой тропопавзы.

Благодаря активным потокам воздуха в направлении полюса наивысшие значения содержания озона отмечаются над арктической частью Канады и над Сибирью. В течение зимнего периода в южном полушарии почти симметричное вихревое движение холодного воздуха около полюса препятствует тому, чтобы богатый озоном воздух из тропиков достигал самых южных широт. Концентрация озона остается высокой над средними широтами до астрального лета. Как мы увидим позже, эти специфические метеорологические условия над Антарктикой и присутствие больших количеств химически активного хлора способствуют разрушению озона.

ТРОПОПАУЗА

Изотермальная область, отделяющая тропосферу от стратосферы (рисунок 1). Тропопауза находится на высоте 8-10 км над полярными широтами и на высоте примерно 18 км над экваториальным поясом.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, УГРОЖАЮЩИХ ОЗОНОВОМУ СЛОЮ

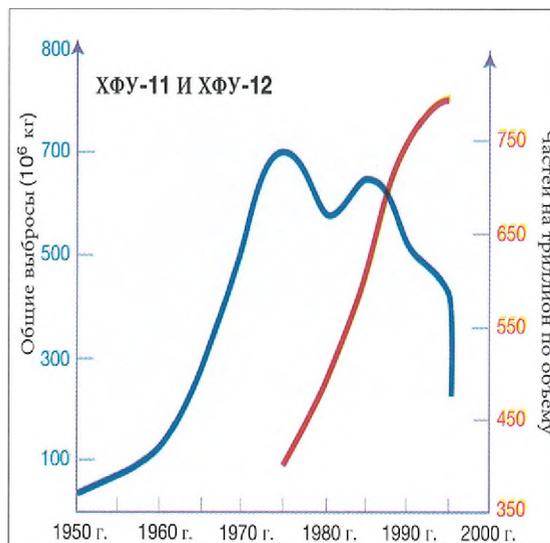
До начала 1970-х гг. никто не имел представления о том, что деятельность человека может таить в себе угрозу разрушения озонового слоя. Затем ученые определили две потенциальные проблемы: угроза от выбросов сверхзвуковых самолетов, совершающих полеты в нижней стратосфере, и угроза от химических веществ, используемых в холодильниках и в качестве газов-вытеснителей в аэрозольных упаковках. В 1971 г. Г. С. Джонстон из университета Калифорнии (Беркли) указал на потенциальную опасность, исходящую от большого флота сверхзвуковых самолетов, выбрасывающих значительные количества окиси азота в нижнюю стратосферу, которая, по всей вероятности, ускоряет естественное разрушение озона. Лишь тремя годами позднее Ф. Ш. Роулэнд и М. Молина показали, что широко используемые, очень инертные химические вещества,

известные как хлорфторуглероды, переносятся в результате конвективного движения воздуха в стратосферу. В стратосфере они могут поглощать обладающие высокой энергией фотоны из солнечного света и выделять свободный хлор; высвобожденный хлор после ряда каталитических реакций может разрушать находящийся в стратосфере озон.

В настоящее время нам известно, что бром из галогенированных углеводородов, используемых в некоторых огнетушителях, также может высвобождаться в стратосфере и оказывать даже еще более разрушительное воздействие на озон. Некоторые ХФУ и галогенированные углеводороды могут сохраняться в атмосфере более 100 лет. Перемещаемые воздушными потоками галоидоуглеводороды, выброшенные в атмосферу в течение последних 60 лет, могут в течение десятилетий оставаться угрозой для озонового слоя. Они несут тысячи тонн в атомарном виде хлора и брома в стратосферу. Это во много раз больше, чем количество хлора и брома, поступающих в стратосферу естественным путем из океанов, в форме хлористого метила и бромистого метила.

В 1975 г. ВМО создала группу экспертов для подготовки авторитетного заявления под названием «Изменение озонового слоя в результате деятельности человека и некоторые возможные геофизические последствия». В этом заявлении основное внимание было уделено воздействию как сверхзвукового транспорта, так и ХФУ. В нем содержалось первое международное предупреждение об опасности значительного уменьшения количества озона и рекомендовалось принятие международных мер для углубления понимания данной проблемы.

Рисунок 3 - Выбросы в атмосферу двух наиболее широко используемых ХФУ — ХФУ-11 и ХФУ-12, возросли с поднаците 1 т/вх ко. ш - чества в 1950-х гл ю более чей 700 тысяч тонн в год в 1970-х гг. Эти выбросы несколько сократили, та в последние годы в результате принятия мер согласно Виопреа, ш:качу п/юто- кану. Однако концентрация этих веществ в атмосфере прола г,кает возрастать (красная цка ю). сви. јете панв) я о долган сроке существо- вания тих соединений.



ГАЛОИДОУГЛЕВОДОРОДЫ

Галоидоуглеводороды — это обобщающий термин, охватывающий ряд возникающих в результате производственной деятельности человека газов, все из которых содержат атомы углерода и галогена (фтора, хлора или брома). Галоидоуглеводороды включают хлорфторуглеводороды (ХФУ) и галоны. Первые из этих веществ были синтезированы в 1928 г. С того времени они широко использовались для различных целей, например, в качестве газов-вытеснителей в аэрозольных упаковках, при производстве мягких и твердых пенных веществ, в холодильных установках и в кондиционерах воздуха, а также в качестве очищающих растворителей (рисунок 4).

Вследствие такого широкого использования быстро стало возрастать их содержание в атмосфере (рисунок 3).

Галоидоуглеводороды в тропосфере являются инертными, нетоксичными, невоспламеняющимися, не имеющими запаха и бесцветными. Однако после того, как они достигают стратосферы, особенно высот на уровне и выше уровня максимальной концентрации озона (19-23 км), обладающие высокой энергией фотоны, приходящие с ультрафиолетовым излучением от Солнца, высвобождают из них атомы хлора или брома. Эти атомы каталитически отщепляют один атом кислорода от молекулы озона, преобразуя таким образом озон в молекулярный кислород (рисунки 6 и 7).



В следующем после этого году ВМО начала осуществление Глобального проекта по изучению и мониторингу озона с целью выработки рекомендаций для стран-членов. Организации Объединенных Наций и других международных организаций по следующим аспектам проблемы:

- Степень, в которой антропогенные загрязняющие вещества можно считать причиной уменьшения количества озона в стратосфере;
- Возможное воздействие изменений в стратосферном озоне на климатические тенденции и на солнечное УФ-излучение на поверхность Земли;
- Определение потребностей в целях усиления долгосрочного мониторинга озона.

Исследования, проводившиеся сотнями ученых при поддержке правительственных организаций во всем мире, позволили расширить знания об угрозе озоновому слою. Наряду с активизацией сотрудничества с ЮНЕП этот фактор значительно



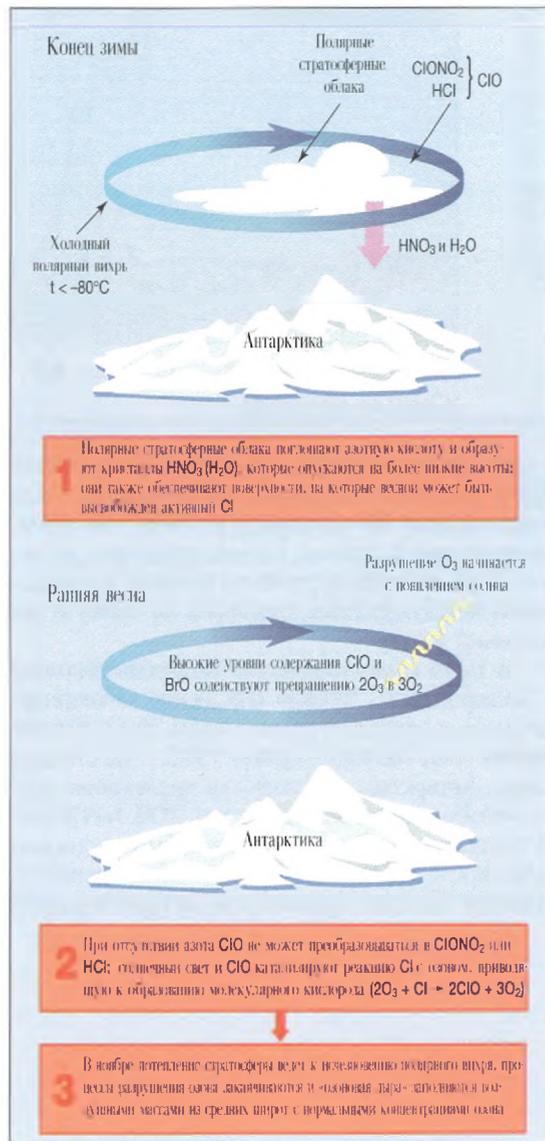
Рисунок 4 - Различные виды использования ХФУ в виде процентных долей от общих выбросов в 1986 г.

4. НАБЛЮДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СОСТОЯНИИ ОЗОНА

Уменьшение количества озона особенно заметно над холодным антарктическим континентом, поскольку возникающий в зимний сезон околупольный вихрь в стратосфере препятствует активному обмену с воздухом из средних широт. Это явление приводит к установлению очень низких температур (ниже -80°C), что способствует возникновению полярных стратосферных облаков (ПСО), состоящих из ледяных частиц. Обычно хлор и бром «заперты» в стабильных соединениях-хранилищах (таких как ClONO_2 , BrONO_2 и HCl). Частицы льда притягивают к себе водяной пар и поглощают соединения азота, затем опускаются вместе с ними в более низкие слои атмосферы, обезвоживая и лишая воздух в стратосфере соединений азота. С возвращением солнечных лучей ранней весной эти соединения-хранилища преобразуются в активные виды хлора и брома на поверхности ПСО. Эти вещества могут с поразительной эффективностью разрушать молекулы озона (рисунки 6 и 7).

В октябре 1987 г. концентрации озона над Антарктикой понизились до половины их нормального уровня (за 1957-1978 гг.), и над этим районом образовалась «озоновая дыра» размером с Европу. С (ачиная с этого момента, уменьшение количества озона происходило все более быстрыми темпами и в течение последних трех лет были зарегистрированы, в частности, следующие экстремальные значения:

- Рекордно низкое значение содержания озона, составляющее менее 100 мдм см (дефицит 70%) в течение нескольких суток;
- Самая большая из всех когда-либо зарегистрированных «озоновая дыра» площадью в 24 миллиона квадратных километров; и
- Общий дефицит озона в весенний сезон, превышающий 40%.



Рисунки 6 и 7 — Схематическое изображение процесса разрушения озона над Антарктикой.

Рисунок 7 — Схематическая последовательность разрушения озона активными Cl, высвобождающимися из молекулы ClONO_2 .

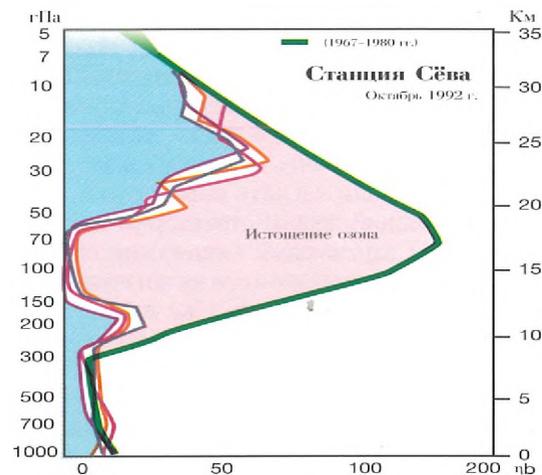
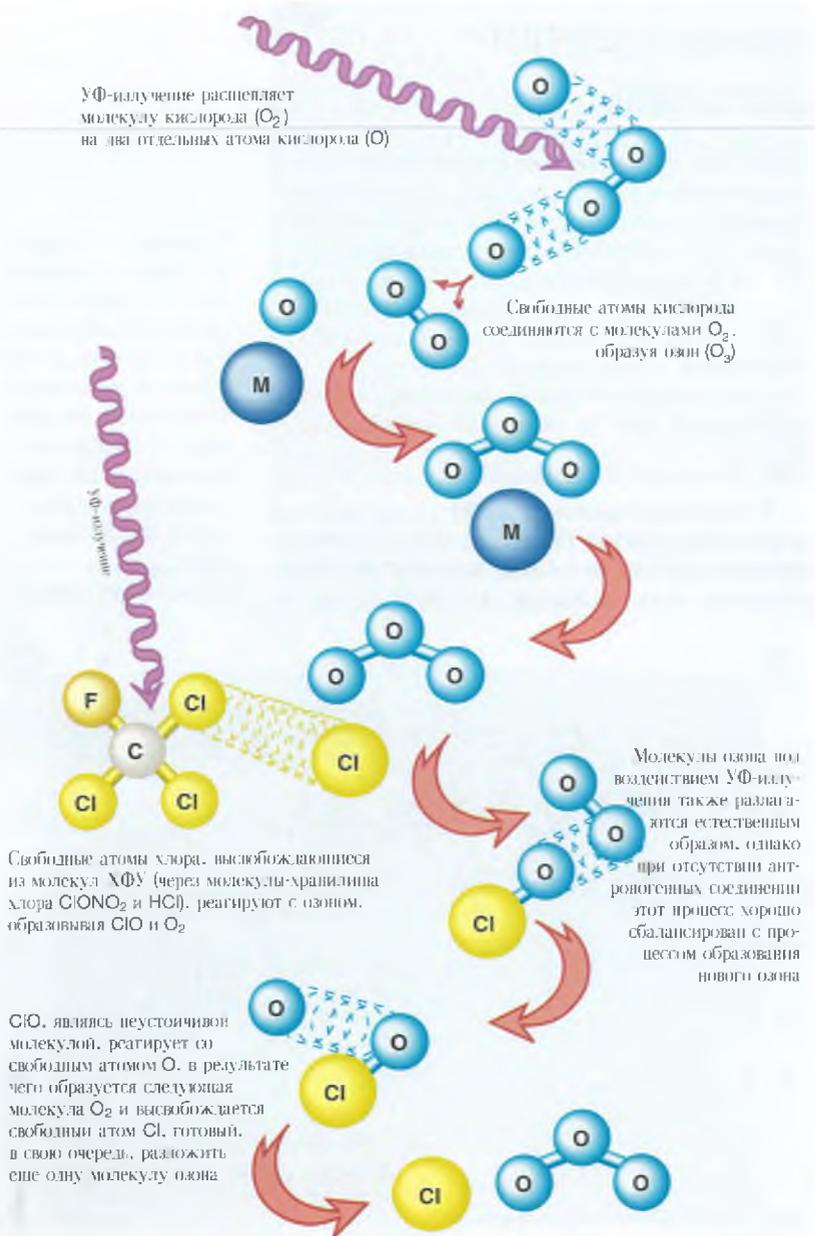


Рисунок 8 - Вертикальные профили озона на станции Сёва (69° шш.) в октябре 1992, иллюстрируют полное разрушение озона в нижней части стратосферы. Показан также и средний профиль озона за последние годы за предшествовавшие появлению «озоновой Дыры» годы (1967-1980 гг.). (Ито. ЯМА, Токио)

Наиболее сильно озон разрушаема в нижней части стратосферы. В последние три года в период с конца сентября-октябрь озон над Антарктикой практически исчезал на высотах между 13 и 20 км, как это показано на рисунке 8. Уменьшение количества озона весной, когда для стратосферы над Антарктикой характерны изолированность и экстремально низкие температуры, превышает в несколько раз уменьшение озона в летний сезон (рисунок 9).

«Озоновая дыра» образуется в основном над Антарктикой, поскольку там наблюдается уникальное сочетание метеорологических условий, благоприятствующих реакциям разрушения озона после появления солнечного света весной. На рисунке 10 показаны зарегистрированные 17 октября 1994 г. размеры «озоновой дыры», распространившейся на южную оконечность Южной Америки.

Начиная с 1988 г. активные измерения начали проводиться и в северном полярном регионе, включая измерения с воздушных судов, шаров-зондов и специализированных спутников. Данные этих измерений, а также данные, полученные в ходе наземных международных экспедиции. позволили сделать вывод о том, что в зимний-весенний период стратосфера над Арктикой имеет нарушенный химический состав с высокими концентрациями разрушительных соединений хлора и брома такого же типа, который создает проблемы над Антарктидой. Однако разрушение озона над Арктикой не происходит столь же активно, как над Антарктикой, по двум причинам: температуры стратосферы редко опускаются ниже 80°С, поскольку происходит частый интенсивный обмен воздушными массами с пространством над средними широтами: и арктический полярный вихрь обычно рассеивается в конце зимы *прежде*, чем появившийся солнечный свет может вызвать крупномасштабное разрушение озона.

Параллельно с получением свидетельств об уменьшении содержания озона над полярными областями ученые приступили также к поиску причин *глобального* разрушения озонового слоя. В течение 1987-1988 гг. международная группа экспертов по изучению тенденций состояния озона внимательно изучила результаты последних исследований и измерений, проводившихся как спутниками, так и наземными приборами по всему земному шару. В отчете ВМО по озону № 18 (1988 г.) был представлен следующий вывод:

- Глобальные уровни озона *понижались* на несколько процентов в последние 17 лет, причем, главным образом, в течение зимне-весеннего сезона над средними и полярными широтами;
- Общие потери озона нельзя отнести лишь за счет естественных процессов; факты свидетельствуют о том, что причиной является воздействие антропогенных галоидоуглеводородов.

КВАЗИДВУХЛЕТНЕЕ

КОЛЕБАНИЕ

КДК — это чередование восточного и западного режимов ветров в стратосфере над экваториальными широтами с периодичностью примерно в 24-30 месяцев. Это чередование оказывает значительное влияние на атмосферный перенос. В случае, когда стратосферные ветры имеют западное направление, в пространстве над средними полярными широтами наблюдается дефицит озона в 6-8%. В случае, когда ветры имеют восточное направление регистрируется, как правило, аналогичный избыток озона.

В опубликованном в 1991 г. докладе об оценке озона новости были еще хуже, а именно: значения содержания озона значительно понижались не только в зимний-весенний период, но

Рисунок 9 — Сезонные колебания содержания озона по сравнению с средними значениями и перчию образования «озоновой дыры» (1957-1978 гг.) на i Антарктикой. Обобщенные показатели для станции Фаралей. Сёва. Ха./in-Би, Южный полюс.

(Бюлетен, ВМО, 1994 г.)



также и в летний сезон. Ввиду того, что люди проводят значительно больше времени на открытом воздухе, а мощность УФ-В излучения является наивысшей в течение именно летнего периода, потери озона в это время года означают значительное возрастание угрозы здоровью человека.

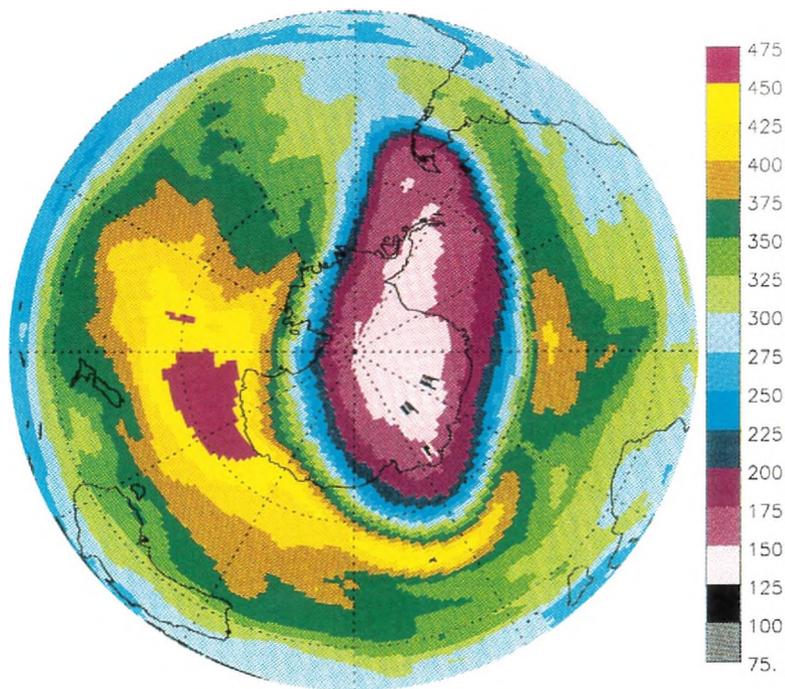
Наблюдающееся с 1970-х гг. постоянное уменьшение общего содержания озона является статистически значимым в течение всего года

повсюду, за исключением пространства над экваториальным поясом. Проверенные на качество данные, поступающие из ГСНОЗ, включая спутниковые данные, показывают, что кумулятивное уменьшение количества озона над средними и полярными широтами близко к 10%. Принимая во внимание известную естественную изменчивость этого уменьшения в обоих полушариях, можно считать, что оно особенно сильно в течение зимнего-весеннего периода (более 6-7% за

я

Единицы , (обгона

Рисунок 10 — Па контурной карте со. кр-якания о. юна. основанной на данных ТОМС, уста ношенного на спутнике Метеор-3, ви.ша вытя-нутая «озоновая аира» пры.ти ролюющаяся ю южной оконечности Южной Америки по состоянию на 17 октября 1994 г. (НАС-Л—Группа оп|м|ботки кшпых ТОМС в центре I OLUip.II.

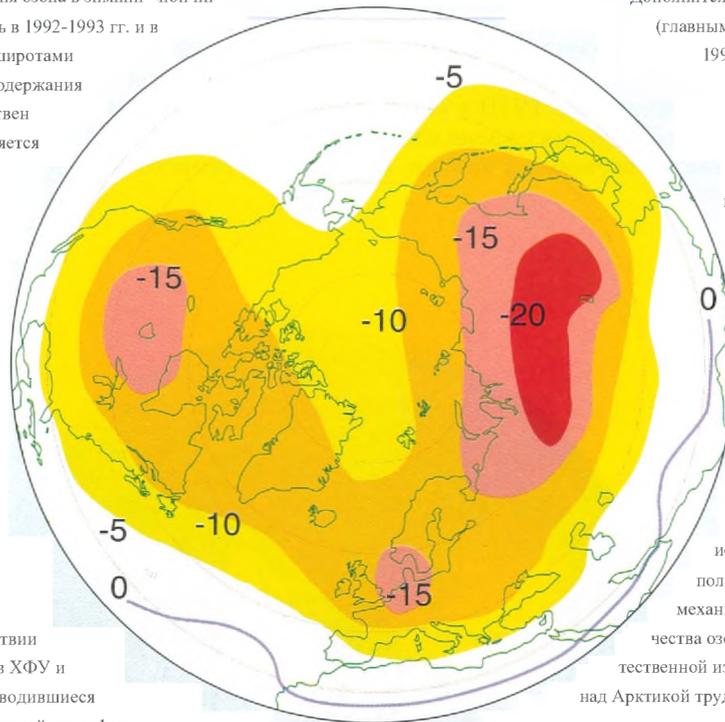


УМЕНЬШЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОЗОНА НАД АРКТИКОЙ

Наибольшее уменьшение содержания озона в зимний сезон на северном полушарии наблюдалось в 1992-1993 гг. и в 1995 г. Над средними и высокими широтами были зарегистрированы значения содержания озона на 9-20% ниже нормы. Естественная долгоцовойная изменчивость является наибольшей в период между декабрем и мартом. В этот период отклонение, превышающее примерно 30% (т.е. в два раза больше стандартного отклонения), не может, по всей вероятности, наблюдаться чаще, чем один раз в 20 лет. Поэтому снижение содержания озона на 20%, которое наблюдалось в феврале и марте 1993 г. и в 1995 г., можно рассматривать как экстремальные случаи.

Результаты научных исследований свидетельствуют о том, что одна из причин уменьшения количества озона заключается в воздействии хлора и брома, выбождающихся из ХФУ и галонов. Например, измерения, проводившиеся со спутника НАСА для изучения верхней атмосферы, показали наличие высоких концентраций СЮ в воздушных массах, перемещающихся из Арктики на юг в освещаемые солнцем широты, в 45-65° с.ш. Чрезвычайно низкое содержание озона объясняется также и несколькими другими факторами, а именно:

- Нижняя часть стратосферы была относительно холодной, что стимулировало образование ПСО и химическое разрушение озона на их поверхностях;
- Квазидвухлетнее колебание (см. с. 16) находилось в фазе западного направления как в 1993 г., так и в 1995 г., ачивая на стратосферную циркуляцию и способствуя понижению содержания озона на 6-8%;
- В 1993 г. восходящие потоки воздуха «блокирующего» антициклона, находившегося над Северной Атлантикой и Европой в течение нескольких недель, переместили воздушные массы с дефицитом озона из тропосферы над субтропиками в полярный регион:



деятел ы гостью человека.

- Дополнительное уменьшение содержания озона на 1-2% (главным образом на поверхности сульфатов) в 1992-1993 гг. может быть также объяснено наличием в атмосфере остатков вулканических аэрозольей от извержения вулкана Пинатубо в июне 1991 г.

В январе-марте 1995 г. чрезвычайно сильное уменьшение содержания озона на 15-25% наблюдалось над средними широтами в пространстве от Восточной Европы до Дальнего Востока. Особенно сильным это уменьшение было над Сибирью (<35% при отсутствии каких бы то ни было вулканических аэрозольей, по при явном избытке СЮ и сильном квазидвухлетнем колебании с западным направлением.

Несмотря на определенные знания, исследователи пока еще не уверены полностью в том, что они точно знают механизм, вызывающий уменьшение количества озона. Ввиду наличия сильной естественной изменчивости в содержании озона над Арктикой трудно точно определить, в какой степени процесс разрушения озона может быть объяснен

Рисунок 11 - В марте 1993 г. отклонения общего содержания озона от долгосрочной средней свидетельствовали о значительных дефицитах озона над средними широтами северного полушария. Этот дефицит был сравнительно меньше над полярной областью, чем над более солнечными районами. Следует отметить, что цифра в 13% означает уменьшение содержания озона более, чем в два раза, превышающее стандартное отклонение. Основано на данных, близких к реальному времени, полученных со станций ГСНОЗ.

Уменьшение содержания O_3 (в процентах за $1 \pm 2 \text{C}$) на основе использования данных ГСНО₃ за январь 1964 — март 1994 г. с линеПноП тешепнеп ыя 1979-1994 гг.

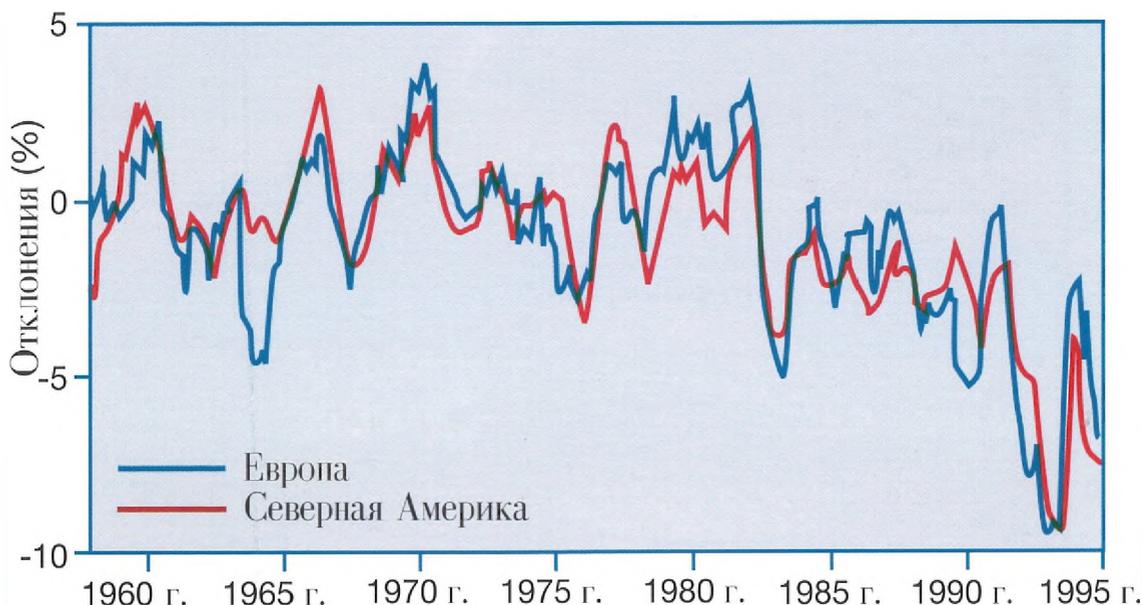
Регион	Дек., янв., фочр. март	Май. июнь июль, авг.	Сент., окт.. ноябрь	Гол
35°-65° сш.	5,8 ± 1,7	2,6 ± 1,5	2,5 ± 1,0	3,8 ± 1,2
Северное полушарие	4,0 ± 1,1	1,9 ± 1,1	1,6 ± 0,9	2,6 ± 0,9
Южное полушарие	2,7 ± 1,0	3,4 ± 0,8	6,6 ± 1,5	3,9 ± 0,8
35°-65° ю.ш.	3,6 ± 1,2	4,9 ± 1,3	7,3 ± 2,0	5,0 ± 1,0

Оценочные предельные значения ошибки приведены как плюс или минус двойное стандартное отклонение, В действительности темпы уменьшения содержания озона превышают более, чем тройное стандартное отклонение. Это означает, что такие результаты будут наблюдаться случайно один раз в сто лет. Аналогичные темпы разрушения озона указаны в оценке озона за 1994 г.

десятилетие). Уменьшение количества озона в летние-осенние сезоны составляет половину от этой величины. Подробные исследования свидетельствуют о статистически значимом увеличении темпов разрушения озона примерно на

1,5-2,0% в период 1981-1991 гг. по сравнению с периодом 1970-1980 гг. Тенденции состояния озона над средними широтами, а также северным и южным полушариями в целом, представлены в численном выражении в таблице выше. Эти

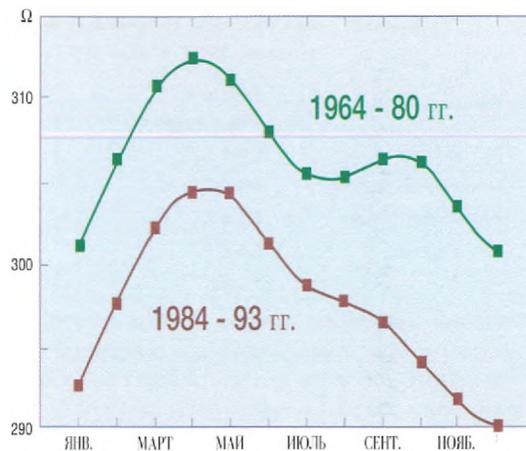
Рисунок 12 — Отклонение значений общего содержания озона по сравнению со средним значением за 1964-1980 гг. (сглаженными стипци ми средни ми значениями за периоды в 12 месяцев) для Европы и Северной Америки демонстрирует значительное изменение количества озона в начале 1970-х гг. Квазидесятилетние колебания связаны с динамикой стратосферы.



цифры служат дополнительным ярким свидетельством глобального уменьшения содержания озона.

На графике регистрировавшихся в течение продолжительного времени значений озона над Европой и Северной Америкой четко прослеживается снижение общего содержания озона почти на 10% (рисунок 12). Основные межсезонные колебания связаны главным образом с изменениями переноса воздуха в атмосфере, зависящими в свою очередь от изменений фазы КДК (см. текст в рамке на с. 16) в стратосфере над экватором; однако общее уменьшение содержания озона соответствует разрушению озона под воздействием хлора и брома, как это предсказано моделями.

В течение последних десяти лет (1984-1993 гг.) общий глобальный средний уровень озона понизился до 297 мдм см с показателя 306 мдм см в 1964-1980 гг. (т.е. примерно на 3%) (рисунок 13). Однако, если не принимать во внимание экваториальный пояс, над которым не происходит никаких значительных изменений в



содержании озона, то показатель этого снижения над средними и полярными широтами возрастет более, чем в два раза. Пал некоторыми регионами в масштабе континентов зарегистрирован даже еще больший накопленный дефицит озона, как

Рисунок 13 — Ежемесячные значения глобального среднего содержания озона свидетельствуют о значительном его уменьшении в период 1984-1993 гг., что особенно сильно члх.)Я(ПЯЧ(х:ь в сентяб.)Х>- января. по (ичивенно с уровнем 1964-1980 гг //<х:ко. мжу • при г. юба. чином усреднении учитываются и огромные крлх:- трансти экваториального пояса, в которых не происходит никаких значите, иных изменений, то показате. йб действия те иногo уменьшения со чержания озона над ветротп ческами ши ржинами является значите/ьно большим.

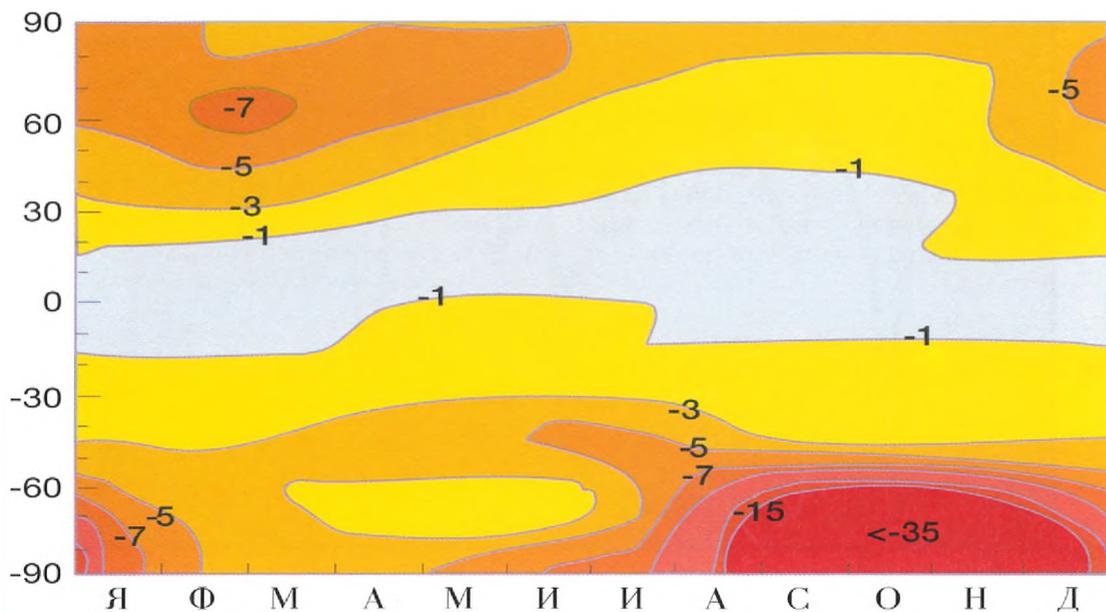
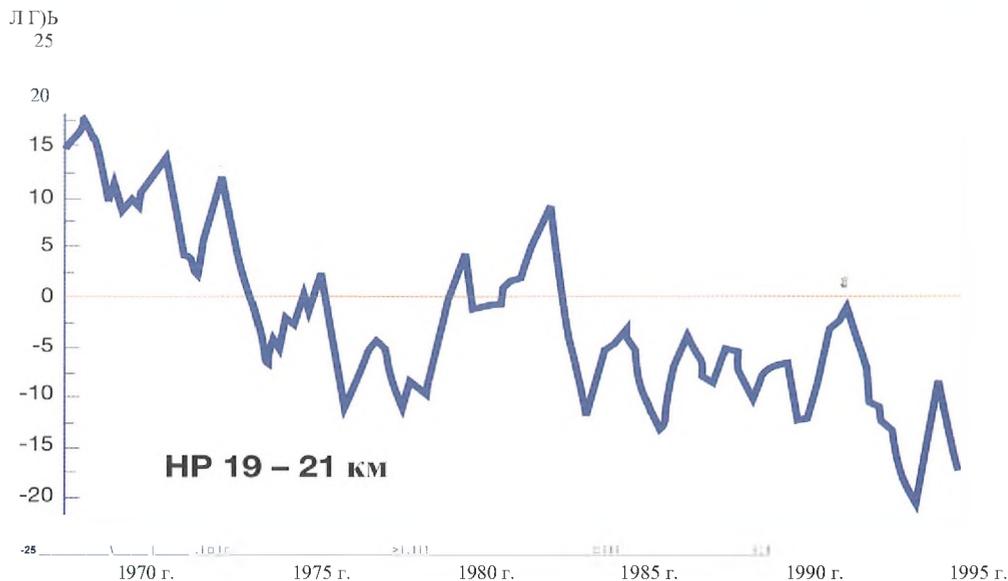


Рисунок 14 — Разниа (в кроцентах) между значениями общего содержания озона за шя периода (1964-1980 гг и 1984-1993 гг.). К югу от 60° юш. в период с сентября до конца ноября разница составляет ба гее 15% с. максн. ма. чинь, и значением в 35% в направлении полюса от 75° ю.ш. в октябре.

Рисунок 15 — Сакжание омна н аюе на высоте 19-21 км н а. н Хохенпейсенбергаи (Перлишия) уменьшилось примерно на 20% н послелние 25 лет. Этол графнк со средннми значениями за период 12 лет. Этол синев также ясно иллюстрирует квазилулетние колебания в тал слое. Этол колебания связаны с К' 1К' в лини, ннке стратосферы.



это показано на рисунке 12. На рисунке 14 показана разница в течение года между средними концентрациями озона в период 1964-1980 гг. и соответствующими показателями в период 1984-1993 гг. На графике ясно видны изменения от полюса к полюсу. Четко продемонстрировано также и резкое уменьшение содержания озона (вплоть до 35% в октябре), наблюдавшееся над южным полярным регионом. Над средними и полярными широтами в северном полушарии основное уменьшение содержания озона наблюдалось в зимние-весенние месяцы, когда разница между периодом 1964-1980 гг. и 1984—1993 гг. была близка к 7%. Над экваториальным поясом никаких значительных изменений не отмечалось.

Если рассматривать это явление в вертикальном разрезе, то уменьшение содержания озона наиболее активно происходит в нижней части стратосферы. Данные зондирования озона в Хохенпейсенберге свидетельствуют о

том, что парциальное давление озона в слое па высоте 19-21 км снизилось примерно на 30 рб, что соответствует снижению примерно на 20% за последние 25 лет (рисунок 15).

В то время, как количество *стратосферного* озона уменьшается, количество *тропосферного* озона, по меньшей мере, в северном полушарии, *возрастает* примерно па 10% в десятилетие. Увеличение содержания озона наблюдается также над районами пожаров в саванне в тропиках. Этот рост количества тропосферного озона является, главным образом, результатом воздействия солнечного излучения па конкретные, загрязняющие воздух вещества, в частности окислы азота, выбрасываемые в атмосферу с поверхности Земли, из самолетов и автомобилей, в совокупности со всевозрастающими по количеству другими веществами, способствующими образованию озона, такими как метан и окисл углерода.

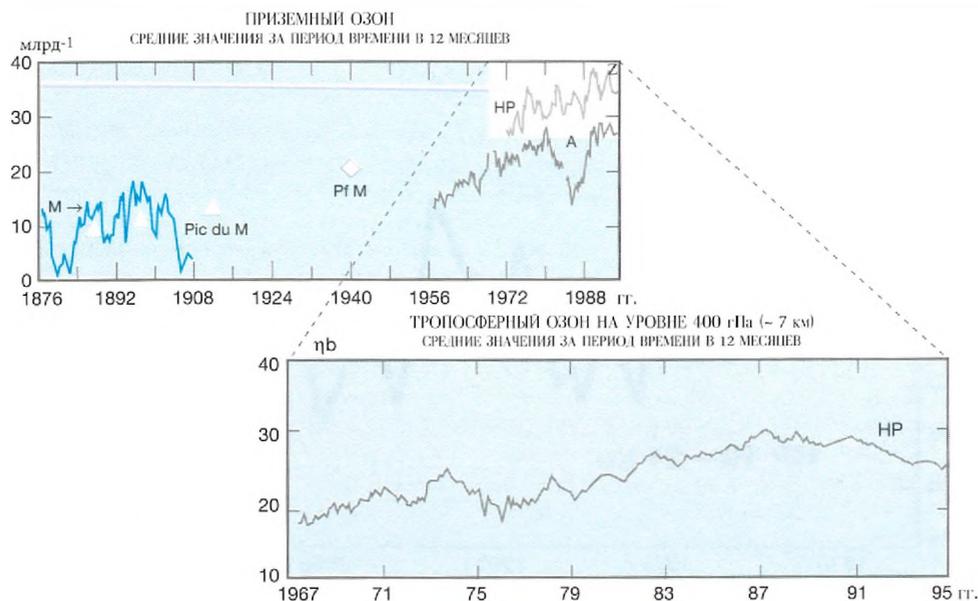


Рисунок 16 — Значения прижимам аюиа, пап-ченные в Монтсури (М) и Пик-ню-Мили (А) за втсрую половину п/хишого т. более чем в леи раза меньше соопг-ветству ющих зна чения за пос.е.ише несколько .десяти .юти й, по. п чен-ных в Хохенпейсенберге (НР). Арконе (А). Пфан-Тере (<>). Цугенитше (7) и Пик-ио-Мини (Д). Сенне-те нство \ее и чения сонер/каня тропо-сферного омни в северном полушарии на уров-не 400 гПа (7,2 км) в 1980-х гг основано на ла шных, полученных в рес): шпате зо/г. шрови-ти и озона в Хохенпей-сенберге.

За последние 100 лет концентрации озона около поверхности Земли в средних широтах в северном полушарии возросли более, чем в 2 раза. Данные из нескольких источников свидетельствуют о возрастании количества озона в нижней части тропосферы более чем на 1% в год, начиная с конца девятнадцатого века.

Эти источники включают: аналитические химические измерения в Монтсури (Париж) и широкую сеть, в которой используется качественный метод Шонбейна; проводившиеся от случая к случаю в начале 1940-х гг. измерения с помощью приборов с самолетов; и постоянный мониторинг в Пик-дю-Миди (Франция) и южной части Германии.

В течение нескольких последних десятилетий количество озона над поверхностью Земли — в средней и верхней частях тропосферы — также значительно возросло, как это показано на рисунке 16. Однако увеличение количества

озона в тропосфере не может компенсировать более сильное уменьшение его количества в стратосфере!

Увеличение количества озона около поверхности Земли создает некоторые угрозы здоровью человека (например, раздражение глаз и дыхательных путей). К тому же, вследствие способности озона активно реагировать с другими молекулами, окисляя их, он может нанести вред живым тканям растений и животных. Находящийся близко к земле озон является одним из ключевых компонентов смога, который наблюдается в безоблачные летние дни над многими крупными городами по всему земному шару. Правительства предпринимают попытки понизить уровни содержания озона при помощи регулирующих мер, накладывающих ограничения на его конкретные источники. Некоторые успехи в этом направлении были достигнуты в последние годы в Европе и Северной Америке.

5. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НА РАДИАЦИЮ И УФ-В ИЗЛУЧЕНИЕ

Парниковый эффект

И озон, и галоидоуглеводороды являются «газами, вызывающими парниковый эффект». Почти также как двуокись углерода (CO₂), они перехватывают и обратно рассеивают идущее от Земли инфракрасное излучение, способствуя тем самым нагреванию нижней части атмосферы. Однако ни озон, ни изменение его количества не распределяются в пространстве равномерно, и поэтому его радиационное воздействие (см. текст в рамке на с. 24) является более сложным по характеру, чем у других основных газов, вызывающих парниковый эффект, которые имея более продолжительный срок существования, перемешиваются равномерно. В целом, увеличение количества озона в тропосфере, особенно около тропопаузы, ведет к нагреванию; уменьшение количества озона в стратосфере ведет к охлаждению. Представляется, что некоторое небольшое снижение температуры (0,6°-0,8°) в слое на высоте 12-20 км в течение последних двух десятилетий соответствует предполагаемым радиационным последствиям уменьшения содержания озона в стратосфере.

Проведение точной оценки радиационных последствий изменений в количестве озона ограничивается отсутствием подробных данных об изменении вертикального распределения озона с изменением широты и долготы. Тем не менее проведенные в последнее время расчеты служат подтверждением сделанных ранее выводов о том, что уменьшение количества озона в нижней части стратосферы в последние десятилетия привело в результате к отрицательному радиационному воздействию (т.е. к охлаждающему воздействию на климат) и скомпенсировало примерно на 15-20% положительное

«парниковое» воздействие, возникшее в результате увеличения количества других газов. Увеличение количества озона в тропосфере с доиндустриальных времен могло *усилить* общее «парниковое» воздействие на целых 20%. Такие изменения могут оказать влияние на радиационный баланс системы Земля-атмосфера и на термальную структуру атмосферы, и, таким образом, привести к все еще непредсказуемым изменениям в структурах атмосферной циркуляции.

Ультрафиолетовое излучение

Роль атмосферного озона, как защитника жизни на планете, связана с его способностью поглощать опасное ультрафиолетовое излучение с длинами волн короче 320 нм. То небольшое количество УФ-В излучения, которому удается проникать через озоновый щит, может наносить значительный вред здоровью человека, например, вызывать возникновение катаракты глаз, рост случаев немеланомного рака кожи, повреждение генетической ДНК и подавление деятельности иммунной системы.

При безоблачном небе уменьшение количества озона на каждый 1% приводит к увеличению примерно на 1,3% УФ-В излучения, которое достигая поверхности Земли воздействует на кожный покров человека. Происходившее до настоящего времени уменьшение общего содержания озона привело к небольшому росту УФ-В излучения (280-320 нм), достигающего поверхности Земли, если не считать тропического ножа. Дальнейшее уменьшение количества озона может привести к значительным опасным последствиям, причем не только для человека, но и для других форм жизни и для химии тропосферы. Растительным культурам и водным

ОЗОН И РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Для характеристики потенциального влияния на климат часто используется понятие «радиационное воздействие» (единицей измерения которого служит Вт м^{-2}). Его оценки основываются на значениях суммарного солнечного и термального инфракрасного излучения в тропопаузе, и при прогнозировании изменения приземного климата, они не зависят от неопределенностей, например, от обобщенной интерактивной роли облаков, аэрозолей или океанов. Положительное значение означает рост сохранения энергии, что ведет к потеплению; отрицательное значение подразумевает увеличение потерь энергии, что ведет к охлаждению.

- *Количество тропосферного озона* возросло в северном полушарии с доиндустриальных времен. Модели и расчеты на основе данных наблюдений позволяют предположить наличие положительного радиационного воздействия примерно в $0,5 \text{ Вт м}^{-2}$.
- *Количество стратосферного озона* уменьшилось с 1970-х гг. Исследования подтверждают, что в период между 1980 г. и 1990 г. это привело к отрицательному значению радиационного воздействия примерно в $0,1 \text{ Вт м}^{-2}$ при наличии в тот же самый период положительного радиационного воздействия в $0,45 \text{ Вт м}^{-2}$ от увеличения количества других газов, вызывающих парниковый эффект.

Суммарное глобальное среднее радиационное воздействие, связанное с изменениями в количествах озона, представляется положительным в постиндустриальный период и на его долю приходится примерно 20% от увеличения радиационного воздействия в этот период под влиянием всех газов, вызывающих парниковый эффект.

Выше приведен пример, свидетельствующий о значительном вкладе изменений в количестве озона в общее радиационное воздействие под влиянием всех основных газов, вызывающих парниковый

экосистемам, включая океанский планктон, может быть нанесен ущерб с непредсказуемыми последствиями. Некоторые виды воздействия являются в основном функцией общей дозы, в то время как другие зависят от достижения определенного кумулятивного порогового значения. Согласно выводу группы экспертов по оценке воздействий каждый 1% происходящего *непрерывного* уменьшения общего содержания

озона будет приводить к росту случаев немelanомного рака кожи примерно на 2%.

Кроме того, морской фитопланктон является одним из основных поглотителей CO_2 , и любое воздействие УФ-В излучения на него может сыграть какую-то роль в тенденциях поведения CO_2 в будущем и соответственно повлиять на климат. Увеличение УФ-В излучения приведет к более высоким темпам фотодиссоциации

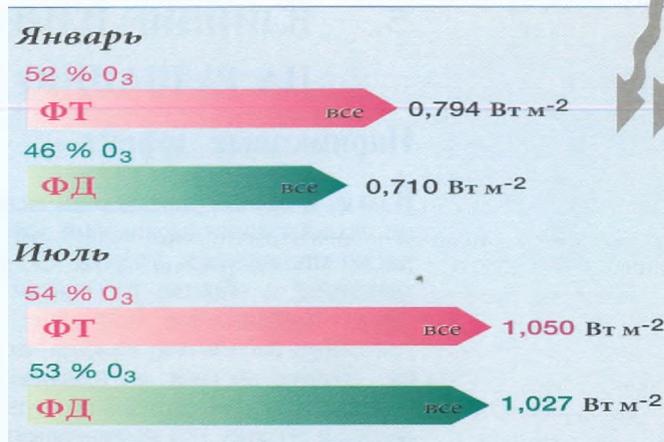


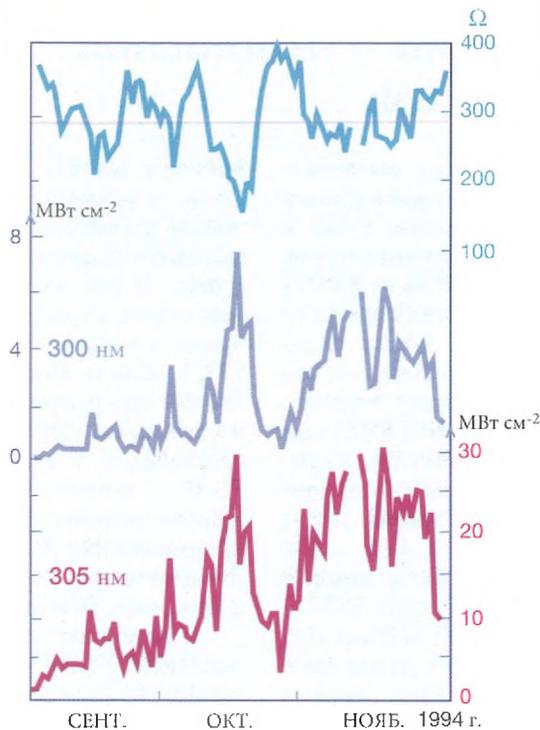
Рисунок 17 — См. текст ниже.

эффект (CO_2 , CH_4 , M_2O , CFCs , O_3) с 1971-1980 гг. по 1981-1990 гг. в пространстве над средними широтами северного полушария с использованием данных зондирования озона, проведенных в Хохенпейсенберге. Расчеты, проведенные в соответствии с двумя предположениями для моделирования, а именно: о фиксированной температуре (ФТ) и фиксированном шнামичном нагревании (ФД), показывают, что почти половина радиационного воздействия в рамках данного вида моделирования связана с изменениями в количестве озона. (Ванг и др., (ЖБ. 1993 г.)

основных малых газовых составляющих атмосферы, от которых зависят химические процессы в тропосфере.

Несмотря [га то, что данных длительных измерений УФ-В излучения недостаточно и что показатели интенсивности излучения, измеренные на земле, зависят от облачного покрова, альбедо, наличия аэрозолей и CO_2 , все же удалось надежно установить отрицательную корреляцию между интенсивностью УФ-В излучения и общим содержанием озона.

В тех частях земного шара, над которыми изменения озона наиболее значительны, т.е. пот «озоновой дырой», документально зарегистрировано увеличение УФ-В излучения. Максимальные уровни УФ-В излучения регистрируются на Южном полюсе в октябре — как раз перед летним солнцестоянием, и повреждающее ДНК^{*} излучение на станции Пальмер (64° ю.ш.) в октябре может превышать максимальные летние значения, измеренные в Сан-Диего (32° с.ш.). В средних широтах увеличение УФ-В излучения меньше по масштабам, однако оно вполне очевидно в периоды уменьшения содержания озона. Например, уменьшение количества озона примерно на 15%, которое наблюдается над большей частью южной оконечности Южной Америки в октябре в течение последних 15 лет, приводит в среднем к увеличению достигающего земли УФ-В излучения па 85% с длиной волны примерно в 300 нм и на 35% с длиной волны примерно в 305 нм. В период образования «озоновой дыры» над пунктом Ушуая в середине октября 1994 г. интенсивность УФ-В излучения с короткими длинами волн возросла в пять раз



при длине волны примерно 300 нм и в два раза при длине волны примерно в 305 нм по сравнению с показателями при «нормальном» состоянии озона (рисунок 18). Именно перспективы постоянного увеличения УФ-В излучения стимулировали в значительной степени международное сообщество к принятию в 1980-х п. регулирующих мер, как это описывается в следующей главе.

Рисунок 18 - В период МС/К/Лу СеНтябреА! и 11(1-ябрем 1994 л размеры антаркти ческой «озоновой дыры» увеличились, и они достигли пункта Ушуая /55° юли.). Измеренные значения Ф-В излучения, достигающего поверхности семши, находятся в от-ри ните. 1 июля коррр еии очной связи с уровнями озона в атмосфере. В середине октября, когда «озоновая дыра» распро-странилась, до Ушуая. при измеренном 17 ок-тября дефи ните озона в 60% (всего лишь 151 мшии см), наблю-дался резки й рост УФ-В излучения с тинами волн в 300 нм и 305 нм.

6. ПЛАН ДЕЙСТВИЙ В ОТНОШЕНИИ ОЗОНОВОГО СЛОЯ

Подготовленное ВМО первое межправительственное научное заявление, предупреждающее о опасности, угрожающей озоновому слою, и довели принять распространенное в 1975 г., подготовило почву для официальных действий. В 1976 г. ЮНЕП призвала к изучению вопроса о необходимости некоторых стран вскоре и оправданности рекомендации любых видов приняли меры для контроля ХФУ;

национального и международного контроля над выбросами антропогенных химических веществ», В том же году Совет управляющих ЮНЕП санкционировал созыв совещания экспертов, напечатанных правительствами, межправительственными и неправительственными организациями (НПО), ВМО присоединилась к ЮНЕП в деле подготовки и проведения этого совещания, которое состоялось в Вашингтоне, ОК, 1-9 марта 1977 г. ВМО подготовила 80-страничный «Обзор состояния знаний об озоновом слое» с рядом соответствующих редких разновидностей, анализ данных, моделирование и лабораторные исследования фотохимии и измерения УФ-В излучения. ЮНЕП заложила основу для международных действий.

Представители 32 стран утвердили «Всемирный план действий в отношении озонового слоя», Этот состоящий из 21 пункта план исследований охватывал мониторинг озона и солнечной радиации, оценку воздействия истощения озонового слоя на здоровье человека, экосистему и климат, а также разработку средств для оценки помической эффективности мер контроля. ВМО приняла на себя ответственность за план исследований атмосферы. ЮНЕП была придана координационная и активизирующая роль», увеличения объема связанной с ней научной ин- Утверждая этот план действий, правительственные эксперты признали, что существует потенциальная проблема, хотя и с неопределенными к тому

времени масшта-
бами, и рекомен-
довали принять ме-
ры, чтобы справиться
с ней. В том же духе
некоторые страны вскоре
приняли меры для контроля ХФУ;

США. Канада, Норвегия и Швеция начали по- этапное прекращение использования этих веществ в аэрозольных упаковках, за исключением важных медицинских и других видов использования. В 1980 г. Комиссия Европейского сообщества приняла решение не увеличивать свои мощности по производству ХФУ-11 и ХФУ-12 и призвала к 30-процентному сокращению их использования в аэрозольных упаковках к 1982 г.

В целях контроля за осуществлением плана действий ЮНЕП создала Координационный комитет по озоновому слою. В него вошли представители стран, выполняющих крупные научные программы, связанные с планом действий, а также ВМО, Всемирная организация здравоохранения и НПО. Этот комитет проводил свои регулярные совещания до середины 1980-х гг. и стал координационным пунктом для соответствующих международных действий. Различные гипотезы обсуждались учеными и оспаривались промышленными структурами прежде, чем было принято требование о контроле над ХФУ.

ВСНСКИЯ КОНВОНЦИЯ

В результате проявившейся в течение многих лет постоянной озабоченности данной проблемой и увеличения объема связанной с ней научной ин- необходимости принятия мер по защите озонового слоя. В январе 1982 г. ЮНЕП создала

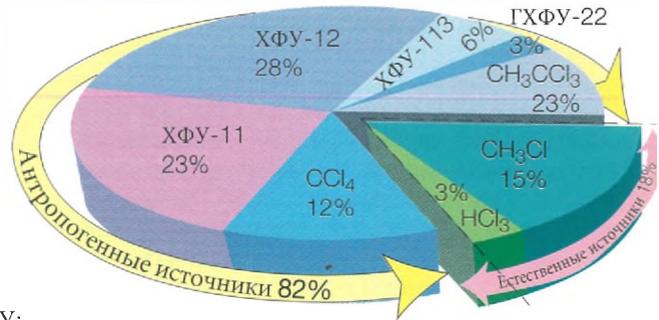


Рисунок 19 - Основная

ми общего количества
ткращея в атч-
афере х юра прихашткя
на антропогенные ис-
точники (82%) и тош-
ко 18% - на еатеап-
венные источники.

первое совещание специальной группы правовых и технических экспертов для выработки Глобальной рамочной конвенции о защите озонового слоя. ВМС) содействовала подготовке подробного научного обзора данной проблемы. Это совещание определило принципиальную основу для Конвенции. После трех лет активных переговоров, проходивших под эгидой ЮНЕП. Конвенция была принята в марте 1985 г. в Вене. В 21-й статье Конвенции стороны обязались защищать здоровье человека и окружающую среду от воздействий, связанных с истощением озонового слоя. В двух приложениях Конвенции предусматривается, что государства-участники должны сотрудничать в исследованиях атмосферного озона, наблюдениях за ним и обмене данными и информацией. В Вене было также решено провести дальнейшую работу по подготовке документа о конкретных мерах в виде протокола к данной Конвенции.

Монреальский протокол

Согласно историческому протоколу о веществах, разрушающих озоновый слой, принятому в Монреале (сентябрь 1987 г.), выбросы ХФУ должны быть снижены к 2000 г. на 50% (см. таблицу на с. 28).

В протоколе содержится комплексный график поэтапного снижения производства и потребления веществ, разрушающих озоновый слой, а также меры регулирования их производства, экспорта и импорта. Стороны Протокола также учредили группу экспертов по научным вопросам, экологическим воздействиям и технико-экономическим оценкам.

Венская конвенция и ее Монреальский протокол демонстрируют яркий пример служения науки человечеству. Ученые, изучающие атмосферу, выявили опасность, исходящую от галоидоуглеводородов, а мировые лидеры приняли решительные меры по защите озонового слоя.

Благодаря активному сотрудничеству между ВМО и ЮНЕП была создана возможность для достижения впервые в практике рационального использования окружающей среды важных успехов, а именно: выявить угрозу и принять меры по ограничению масштабов ущерба на ранней стадии до того, как станут ощутимыми негативные последствия. Проведение переговоров и заключение соглашений по проблеме озона означали, что впервые государства мира объединили свои усилия под эгидой Организации Объединенных Наций в целях защиты Земли ради будущих поколений.

За прошедшие после принятия Конвенции годы появилось еще больше доказательств вредных воздействий хлористых и бромистых соединений. Поскольку проводившиеся наблюдения подтвердили увеличение опасности для озонового слоя. Стороны Монреальского протокола приняли решение усилить требования Протокола и включить в него новые вещества. Они утвердили соответствующие дополнения и поправки (Лондон, 1990 г. и Копенгаген, 1992 г.). Достижение целей Протокола в значительной степени зависит от широкого сотрудничества всех стран мира. С учетом важности участия развивающихся стран в этих общих усилиях была согласована инициатива об отсрочке на 10 лет выполнения ими соответствующих требований.

Более того, в целях оказания содействия развивающимся странам в поэтапном выполнении требований в пересмотренном Протоколе был учрежден экологический фонд, средства в который вносят развитые страны. Из этого фонда оказывается помощь развивающимся странам в виде технического сотрудничества и передачи технологии для обеспечения перехода на более «безопасные для озона» альтернативные химические соединения.

ПОЭТАПНЫЙ ГРАФИК

1. ХИМИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА. ПОДПАДАЮЩИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕ МОНРЕАЛЬСКОГО ПРОТОКОЛА 1987 г.

ХФУ (И, 12, 113, 114, 115) Постепенное снижение уровней 1986 г. на: 20% к концу 1994 г.

50% к концу 1999 г.

2. МОНРЕАЛЬСКИЙ ПРОТОКОЛ СЛОНДОНСКОЕ ДОПОЛНЕНИЕ - 1990 г.)

ХФУ (13, 111, 112, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217)	Постепенное	снижение уровней 1986 г. на: 20%	1993г.
			85% 1997г.
			100% 2000г.

Галоны (1211, 1301, 2402) Замораживание в 1992 г. на уровнях 1989 г., а затем

постепенное снижение на: 50% 1995г.

100% 2000 г.

Тетрахлорметан

Постепенное снижение уровней 1989 г. на: 85%

1995 г.

100% 2000г.

Метилхлороформ

Замораживание в 1993 г.

Постепенное снижение уровней 1989 г. на: 30%

1995г.

70% 2000г.

100% 2005г.

3. ДАЛЬНЕЙШАЯ АКТИВИЗАЦИЯ ДЕЙСТВИЯ МОНРЕАЛЬСКОГО ПРОТОКОЛА (КОПЕНГАГЕНСКОЕ ДОПОЛНЕНИЕ - 1992 г.)

ХФУ	Ликвидация	100%	к концу 1995г.
Галоны	Ликвидация	100%	к концу 1993г.
Тетрахлорметан	Ликвидация	100%	к концу 1995г.
Метилхлороформ	Ликвидация	100%	к концу 1995г.
Бромистый метил	Замораживание на уровнях 1991 г.		к концу 1994 г.
ГХФУ	Постепенное снижение уровней 1989 г. на: 35%		к концу 2004 г.
		90%	к концу 2014 г.
		99,5%	к концу 2019 г.
		100%	к концу 2029г.

7. ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

Как можно видеть, ВМО играет одну из главных ролей в определении проблемы истощения озонового слоя и распространении информации о ней. Она координировала проведение оценок авторитетных научных сведений в поддержку противившихся под эгидой ЮНЕП международных обсуждений, которые привели к заключению Венской конвенции, принятию ее Монреальского протокола и последующих дополнений к нему. Согласно оценкам, даже при полном соблюдении международным сообществом существующих соглашений, концентрации хлора и брома в стратосфере будут по-прежнему возрастать до конца настоящего века. Предполагается, что максимальные потери глобального озона будут происходить в течение следующих десяти лет, когда будет разрушено еще 3-4% озона (в течение еще

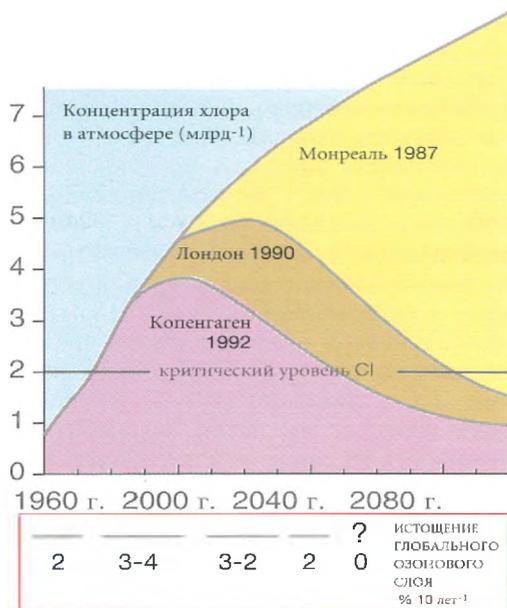
нескольких лет) прежде, чем темпы уменьшения количества озона стабилизируются, а затем начнут уменьшаться (см. последнюю линию на рисунке 20).

Очень трудно с уверенностью предсказать сроки восстановления озонового слоя. На рисунке 20 представлены расчетные значения концентраций эквивалентных хлору веществ в стратосфере как продуктов запрогнозированных уровней производства и потребления галоидоуглеводородов при условии полного соблюдения первоначального Протокола, его Лондонского дополнения и еще более строгих мер поэтапного сокращения к январю 1996 г., утвержденных в ходе Копенгагенской конференции (ноябрь 1992 г.). Научные данные свидетельствуют о том, что концентрация веществ, эквивалентных хлору, в стратосфере в две части на миллиард по объему (млрд⁻¹ по объему), достигнутая в конце 1970-х гг., является опасным пороговым значением, ведущим к разрушению озона.

В настоящее время концентрации веществ, эквивалентных хлору, превышают 3,7 млрд⁻¹ по объему и, как ожидается, будут возрастать в течение еще 3-5 лет. При отсутствии Монреальского протокола продолжение использования ХФУ и других разрушающих озон соединений должно было бы привести к середине следующего века к увеличению в три раза количества хлора и брома в атмосфере по сравнению с современным уровнем. Такое увеличение содержания этих веществ привело бы к гораздо большему разрушению озонового слоя, чем наблюдаемое на сегодняшний день.

Только полное соблюдение Монреальского протокола и Лондонского и Копенгагенского дополнений к нему может предотвратить увеличение концентраций хлора свыше 4 млрд⁻¹ по объему и обеспечить их уменьшение до уровня 2 млрд⁻¹ по объему к середине следующего

Рисунок 20 - Ипк/и/ные концентрации, эквивалентные хлору в атмосфере (за период с 1960 г. и прогнозы, соответствующие принятию различных мер по постепенной ликвидации ХФУ и других разрушающих озон веществ. Цифры в рамке внизу означают прогнозируемое истощение глобального озонового слоя по десятилетиям в случае, если бы: тут соб. - по темпам истощения Монреа. некоего протокола и дополнений к нему.



столетия. При равенстве всех других условий только в этом случае слой озона вернется к существовавшему до появления «озоновой дыры» нормальному уровню. Следует подчеркнуть, что ожидаемое восстановление озонового слоя было бы невозможно без принятия Монреальского протокола и дополнений к нему.

Органы, принимающие решения, при рассмотрении существующих международных соглашений должны обладать авторитетной информацией о состоянии озонового слоя.

Для обеспечения такой информации необходимо сохранять и совершенствовать ГСНО₃ и в следующем столетии, также как и всю Глобальную службу атмосферы (I 'СА), которая осуществляет мониторинг других химических составляющих атмосферы как с помощью наземных средств, так и из космоса. Только общие усилия национальных метеорологических служб и компетентных учреждений, занимающихся проблемами окружающей среды, при поддержке и координации со стороны ВМО и ЮНЕП могут обеспечить ученых необходимыми данными. На основании таких данных ученые могут проводить более точные оценки и разрабатывать прогнозы, необходимые правительствам для защиты глобальной окружающей среды в интересах будущих поколений.

Как ЮНЕП призвана координировать деятельность в рамках договоров по защите окружающей среды, так и ВМО призвана выполнять возрастающие обязательства в отношении мониторинга и исследования озона и других загрязняющих атмосферу веществ. В целях выполнения поставленных перед ними задач ВМО и ЮНЕП должны более тесно сотрудничать друг с другом и со своими странами-членами, а также с другими международными и национальными организациями. Благодаря такому сотрудничеству ВМО и ЮНЕП смогут

БРОМИСТЫЙ МЕТИЛ

Еще одним широко используемым химическим веществом, угрожающим озоновому слою, является бромистый метил CH_3Br . Из него может высвободиться бром, который в 30-60 раз более разрушителен для озона, чем хлор.

Бромистый метил используется в качестве дезинфицирующего вещества для почв и товаров, включая карантинную обработку некоторых продуктов для международной торговли, а также в качестве добавки к транспортному топливу. В настоящее время, согласно оценкам, общие Аздовые антропогенные выбросы превышают более чем в 2 раза те 40 000 тонн, которые ежегодно выбрасывались в начале 1980 х гг. В дополнение к этому, еще 30 000-50 000 тонн в год выделяется из естественных источников, таких как горячая биомасса. Более половины всего производимого CH_3Br выбрасывается в атмосферу, где концентрации этого вещества составляют уже 8-15 частей на миллиард по объему. Никакого отдельно взятого альтернативного химического вещества для замены бромистого метила во всех его применениях на сегодняшний день не существует.

выполнить свои обязанности и обеспечить основу для активных международных действий по защите атмосферы. Проводя оценки и разрабатывая прогнозы, касающиеся масштабов опасного влияния деятельности человека, они смогут выпускать предупреждения об опасности. Как уже отмечено в предисловии, дух сотрудничества между учеными, правительствами и промышленными структурами ярко проявился в ходе ведения переговоров о защите озонового слоя. В связи со своей пятидесятой годовщиной и на предстоящие десятилетия Организация Объединенных Наций может гордиться этим достижением, которое поможет обеспечить процветание и устойчивость на планете для народов всего мира.

ЭКВИВАЛЕН ТЫ ХЛОРА

Восстановление озона будет зависеть от того, насколько быстро уменьшатся концентрации хлора и брома в стратосфере. Для оценки истощения озонового слоя в будущем ученые пропели перерасчет этих концентраций в значении нагрузки, эквивалентные хлору в стратосфере.

ОБОБЩЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОБЛЕМ ОЗОНА - 1995 г.

- Уменьшение общего содержания озона продолжается на всех широтах, за исключением экваториального пояса (20° ю.ш.- 20° с.ш.); уменьшение количества озона в течение зимнего-весеннего периода в последние 25 лет представляется в два раза большим, чем в течение летнего сезона: при этом оба показателя статистически значимы;
- Глобальное среднее уменьшение содержания озона за последние 15 лет оценивается примерно в 5%; однако потери в общем содержании озона во внетропической зоне за этот период составили 6,5% в северном полушарии и 9,5% в южном полушарии; тенденции к понижению в течение 1980-х гг. и 1990-х гг. была значительно сильнее, чем в течение 1970-х гг.;
- Наиболее сильное уменьшение количества озона, наблюдаемого в вертикальном разрезе, происходит в нижней части стратосферы (ниже 23 км) -10% за десятилетие;
- Обнаружено изменение приземного ультрафиолетового излучения, вызывающего покраснение кожи, под влиянием изменений в столбе озона: подсчитано, что в безоблачные дни это излучение возрастает примерно на 1,3% па каждый процент уменьшения общего содержания озона;
- «Озоновая дыра» над Антарктикой в весенний сезон 1994 г. была такой же глубокой и обширной над охваченным регионом, как и экстремальные явления, наблюдавшиеся в 1992 и 1993 гг. В конце сентября и в начале октября потери озона над Антарктикой составили примерно 60% от среднего показателя за период, предшествующий появлению «озоновой дыры», и в течение нескольких дней даже достигали 70%;
- Полученные данные дают основания предположить, что «озоновая дыра» над Антарктикой в весенний период связана, главным образом, с разнородными процессами на поверхностях полярных стратосферных облаков и сульфатных аэрозолей, содержащих антропогенные хлор и бром;
- Потери озона в полярных и средних широтах будут, по всей вероятности, возрастать по мере увеличения содержания в атмосфере хлористых и бромистых соединений. Ожидается, что концентрации этих соединений начнут уменьшаться к началу следующего столетия при условии, что все страны будут строго соблюдать требования Монреальского протокола и дополнений к нему;
- Частый меридиональный обмен воздушных масс в нижних слоях стратосферы в северном полушарии препятствует возникновению изолированного околполярного вихря с экстремально низкими температурами стратосферы, как это происходит над Антарктикой. По имеющимся данным наблюдений значительного уменьшения количества озона над Арктикой, как в «озоновой дыре» над Антарктикой не происходит, хотя аналогичные нарушения химического состава атмосферы наблюдались в 1989 г., и было подтверждено наличие очень высоких концентраций СЮ в течение 1991-1992 гг. и последующих зимних сезонов над Арктикой. Эти явления свидетельствуют о вполне вероятной возможности значительных потерь озона над Арктикой в течение коротких периодов, особенно при вторжениях холода в стратосферу в освещенных солнцем высоких-средних широтах, подобно некоторым эпизодам с экстремально низким содержанием озона (дефицит более 20%), наблюдавшимся в 1992 г., 1993 г. и начале 1995 г.;
- Необходимо дальнейшее уменьшение содержания галогенов в стратосфере с тем, чтобы привести вновь концентрацию хлора обратно к уровню 2 млрд¹ по объему (концентрации, характерные для конца 1970-х гг., когда началось разрушение озона над Антарктикой с образованием «дыры» и когда начали проявляться ускоренные тенденции потерь общего содержания озона в столбе в северном полушарии). Безусловное выполнение всеми странами требований Монреальского протокола и дополнений к нему позволит снизить запасы хлора до <2 млрд.г¹ по объему к 2060-2070 гг.:

- Всего лишь небольшое замещение ХФУ такими веществами, как ГХФУ, может привести к увеличению ника концентрации хлора и сохранить на десятилетия беспрецедентные уровни хлора в стратосфере (в Копенгагене в 1992 г. было решено постепенно снизить этот уровень на 90% к 2015 г.):

- Несмотря на то, что наблюдается определенное снижение темпов роста некоторых из основных разрушающих озон веществ, что свидетельствует о влиянии Монреальского протокола и дополнений к нему, продолжающееся использование бромистого метила ведет к значительному увеличению содержания разрушающих озон веществ:

- Данные наблюдений об истощении озонового слоя в нижней части стратосферы используются для расчета изменений в радиационном балансе атмосферы: результаты расчетов свидетельствуют о том, что в течение последних 25 лет существует тенденция к охлаждению нижней части стратосферы в средних и высоких широтах примерно на 1°C, что может привести к последствиям для системы поверхность тропосфера, определить которые можно лишь после проведения расчетов интерактивных химических и динамических процессов во всей атмосфере:

- Согласно данным моделирования и ограниченных наблюдений можно считать, что содержание озона в тропосфере возросло в средних широтах северного полушария со времени доиндустриального периода. Это изменение могло бы увеличить примерно на 20% радиационное воздействие всех других газов, вызывающих парниковый эффект, за этот период времени:

- Уровни озона в тропосфере на высотах до 10-12 км над несколькими существующими станциями, используемыми шары-зонды, в средних широтах северного

полушария возрастали примерно на 10% в десятилетие с середины 1960-х гг. до конца 1980-х гг. Хотя база данных и недостаточна, результаты некоторых предварительных исследований позволяют предположить наличие значительного положительного вклада озона в глобальное приземное потепление, близкое по значению к соответствующим показателям других газов, вызывающих парниковых эффект;

- По существующим моделям с данными только о химии газовых составляющих нельзя смоделировать наблюдавшееся истощение озонового слоя в средних и высоких широтах: однако в случае учета разнородных процессов, происходящих на сульфатных аэрозолях, прогнозируемое разрушение озона должно возрастать: однако это ширине все еще не может объяснить полностью всего уменьшения содержания озона в средних широтах;

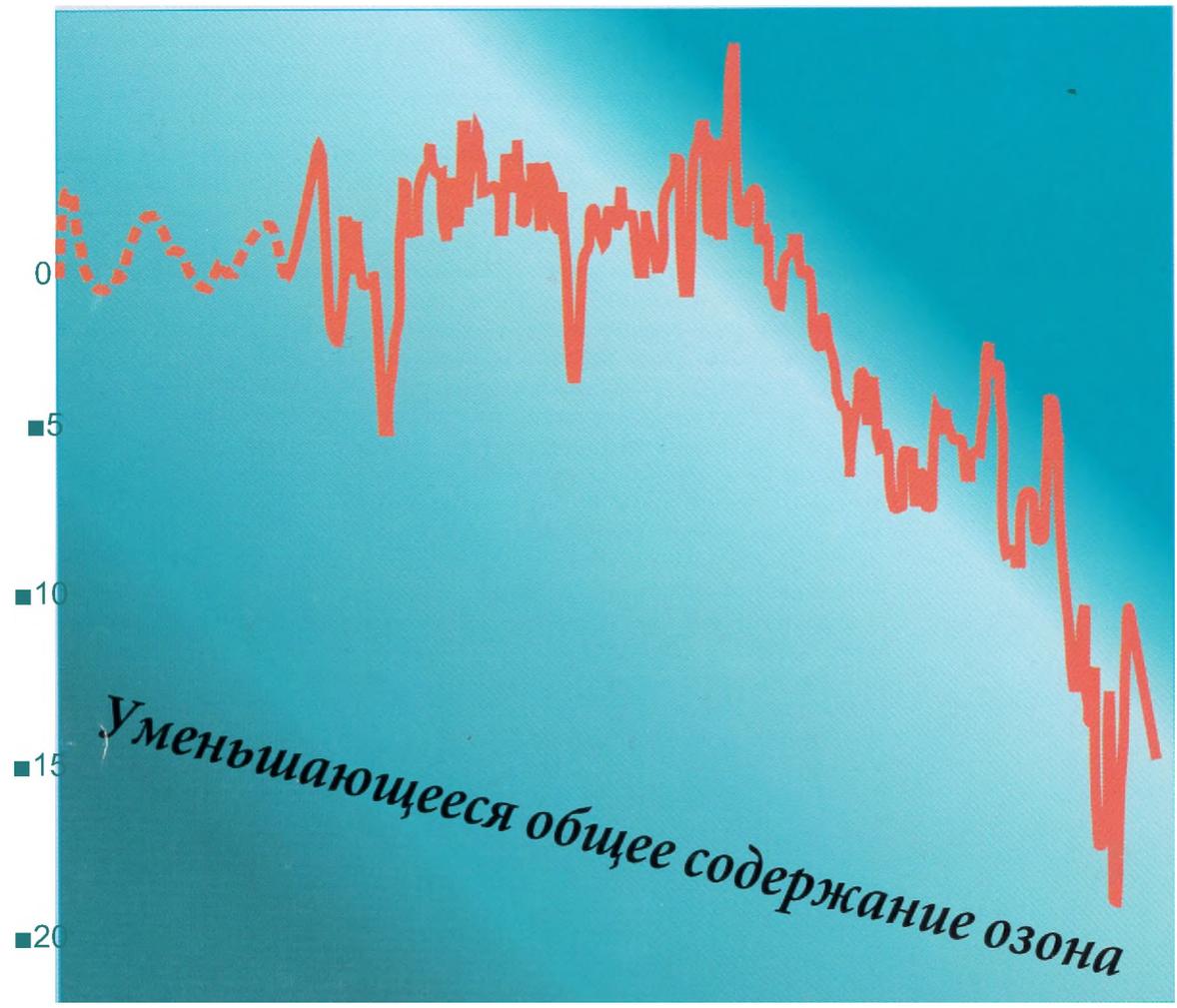
- Очевидно, что в результате мощных извержений вулканов в нижнюю часть атмосферы вбрасываются большие количества вулканических сульфатных аэрозолей, что способствует возникновению разнородных процессов на этих аэрозолях и ведет к дополнительному разрушению озона в аэрозольном слое, существующем обычно в течение года после извержения:

- Проведенная ранее оценка воздействия огромного воздушного флота сверхзвуковых самолетов на стратосферный озон позволяет считать, что увеличение количества выбрасываемых окислов азота способствует росту потерь озона. Однако проведенные в последнее время исследования показывают, что реакция на поверхности сульфатных аэрозолей может изменить распределение окислов азота и, таким образом, снизить интенсивность разрушения озона. Выбросы окислов азота с самолетов в коридоре 8-11 км могут способствовать возрастанию количества озона в тропосфере.

ОСНОВНЫЕ ДАТЫ В ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ОЗОНА (окончание)

- 1986 г. Анализ данных со станции Монтсури (Париж) о приземном озоне (1873-1910 гг.), показал, что уровни содержания озона в то время составляли менее половины наблюдаемых сейчас
- 1987 г. Принятие под эгидой ЮНЕП Монреальского протокола о веществах, разрушающих озоновый слой, и начало проведения базисной оценки состояния озона Международной группой экспертов по тенденциям сгхлония озона
- 1988 г. Отмечено по результатам наблюдений снижение содержания озона в нижней стратосфере на -10% за десятилетие; Антарктическая экспедиция НАСА получила доказательства того, что побочные продукты деятельности человека в виде активного хлора и брома являются причиной образования «озоновой дыры» в периоды антарктической весны
- 1990 г. Принятие Лондонского дополнения к Монреальскому протоколу о поэтапном прекращении производства и использования всех ХФУ к 2000 г.
- 1991 г. Оценка состояния озона, проведенная ВМО/ЮНЕП в 1991 г., показала, что уменьшение содержания озона происходит не только в зимний и весенний периоды, но и в течение всего года, и повсюду, за исключением пространства над тропиками; обнаружение над Арктикой очень больших концентраций СЮ подтвердило существование повода для беспокойства в связи с возможным в дальнейшем усилением процесса разрушения озона
- 1992 г. Принятие Копенгагенского дополнения к Монреальскому протоколу в целях его еще большего усиления путем поэтапного прекращения производства ХФУ к концу 1995 г., введение дополнительного контроля за другими соединениями
- 1992-94 гг. Зафиксированы экстремально низкие значения содержания озона (-100 магм · см) в период антарктической весны над самой большой площадью -24 млн. км²; получены также в результате измерений самые низкие за все время значения содержания озона в течение зимы-весны в северном полушарии, свидетельствующие об усилении разрушения озона в результате роста концентраций хлора и брома в стратосфере
- 1995 г. Зафиксированы рекордно низкие значения содержания озона (более чем на 25% ниже среднего значения за многолетний период) с января по март над Сибирью и значительной частью Европы

O₃
МАТМ СМ



1945 г.

1995 г.