

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

УДК [551.510.534+551.513](571.1/5)

**ГЕРАСИМОВА Нина Васильевна**

**ИЗМЕНЕНИЯ ОЗОНОСФЕРЫ В РАЙОНЕ СИБИРИ И ИХ КЛИМАТИЧЕСКОЕ  
ЗНАЧЕНИЕ**

25.00.30 – МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Санкт-Петербург 2006

Работа выполнена на кафедре ДАКЗ Российского Государственного гидрометеорологического университета.

Научный руководитель - доктор географических наук, профессор  
К.В. Кондратович

Официальные  
оппоненты - доктор географических наук, профессор Г.Н.  
Чичасов,  
- доктор физико - математических наук, профессор  
С.П.Смышляев.

Ведущая организация - Санкт-Петербургский государственный университет

Защита состоится 26 октября 2006 г. в 15.30 часов на заседании Специализированного совета Д212.197.01 Российского Государственного гидрометеорологического университета.

Адрес: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского Государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан 26 сентября 2006 г.

Ученый секретарь

Специализированного

совета РГГМУ

доктор физ.- мат. наук, профессор Кузнецов А.Д

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Изменения в озоносфере Земли, их климатическое значение относятся к наиболее актуальным глобальным проблемам метеорологии. Атмосферный озон, большая часть которого сосредоточена в стратосфере, является поглотителем солнечной радиации и обеспечивает защиту биосферы от жесткого ультрафиолетового излучения Солнца. Тропосферный озон участвует в формировании парникового эффекта и негативно влияет на экосистемы и здоровье.

Структура озоносферы характеризуется наличием в северном полушарии двух климатических очагов максимальных значений общего содержания озона (ОСО): в Канаде и Восточной Сибири.

Исследование региональных изменений климата в этих регионах, где зимой формируются основные тропосферные очаги холода, влияющие на локализацию и интенсивность сезонных центров действия атмосферы Сибирского и Канадского антициклонов, несомненно актуально.

Спутниковые наблюдения ОСО позволили достоверно установить ослабление озоносферы в течение нескольких десятилетий и обнаружить явление «озонных дыр».

Наличие пространственно-временной сопряженности очагов максимальных значений ОСО и напряженности геомагнитного поля позволяет использовать закономерность «западного дрейфа» Сибирской аномалии и движения магнитных полюсов для диагноза и прогноза региональных изменений климата.

По оценкам, приведенным в публикациях К.Я. Кондратьева и его соавторов, «происшедшее в период 1980-1990 гг. уменьшение содержания озона в стратосфере, привело к компенсации (примерно на 20 %) парникового вынуждающего воздействия». В районах максимальных значений ОСО должно иметь место акцентированное антипарниковое влияние озоносферы.

**Целью работы** является анализ наземных, авиационных и спутниковых озонметрических наблюдений XX века в районах максимальных значений ОСО для их сопоставления с региональными изменениями термического режима.

Для выполнения поставленной цели необходимо:

- создать банк данных озонметрических наблюдений, необходимых для выявления климатически значимых общих и региональных изменений озоносферы и явления озонных дыр;

- провести анализ изменений магнитного поля Земли в XX веке (движение магнитных полюсов и «западный дрейф» мировой Восточно-Сибирской магнитной аномалии);

- рассмотреть возможные механизмы формирования очагов максимальных значений ОСО в Канаде, Сибири и Южном полушарии;

- провести анализ межмесячных изменений температуры воздуха в Сибири в периоды осенне-зимнего охлаждения и весенне-летнего прогрева.

#### **Методы исследования.**

Информационной базой послужили результаты озонметрических наблюдений, полученных различными способами. Так, были проанализированы многолетние данные (1957-1998 гг.) географической локализации климатических очагов максимальных значений ОСО в северном полушарии по архивным данным НАСА. Проанализированы многолетние среднемесячные данные (1975-2005 гг.) географической локализации климатических очагов максимальных значений ОСО в Восточной Сибири и Канаде по результатам дистанционного зондирования спутниками «Nimbus-7» и TOMS, а также по спутниковым снимкам НАСА.

Использовался Каталог элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ), полученный специалистами Института географии РАН за 1899-2000 годы. Районы антициклонических арктических вторжений являются диагностическим признаком выделения ЭЦМ. Наряду с региональными особенностями парникового эффекта на термический режим Сибири могут влиять вторжения холодного воздуха Арктики.

Рассмотрены изменения геомагнитного поля по данным Национального центра геофизических данных (NGDC) при Национальном управлении США по исследованию океана и атмосферы (NOAA).

#### **Научная новизна.**

- показано, что локализация очагов максимальных значений ОСО в областях максимальной напряженности магнитного поля указывает на роль корпускулярной радиации в образовании озона, так как наблюдается рост ОСО в полярной области в течение полярной ночи;

- изложен новый подход влияния стратосферного озона на изменение температурного режима в Сибири и Канаде: «западный дрейф» Восточно-Сибирской магнитной аномалии и соответствующее климатическое изменение локализации тропической ложбины холода позволяет объяснить случаи необычайно сильных морозов в Западной Сибири и более частым появлениям макропроцессов с движением Сибирского

антициклона к западу; смещение магнитного полюса к северо-востоку сопровождалось возникновением области с отрицательным трендом температуры воздуха в Канаде;

- произведен комплексный анализ зависимости формирования тропосферных очагов холода в Сибири от структуры озоносферы, радиационных и макросиноптических процессов;

- проведен сравнительный анализ изменения озоносферы в XX веке в связи с движением магнитных полюсов и «западного дрейфа» Восточно-Сибирской магнитной аномалии.

#### **Теоретическая и практическая ценность.**

Предложенное в диссертации исследование может быть использовано для составления прогнозов изменения климата в Сибири и Канаде.

Полученные результаты рекомендуются к использованию в учебном процессе и при анализе современных изменений климата в ряде регионов.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- механизм образования очагов повышенного содержания озона в Северном и Южном полушариях в областях максимальной напряженности магнитного поля, что косвенно указывает на роль корпускулярной радиации в образовании озона;

- результаты анализа комплексных радиационных и макросиноптических процессов, определяющих более раннее и интенсивное охлаждение воздушных масс в Восточной Сибири. Антипарниковое воздействие очага максимальных в Северном полушарии значений ОСО;

- обнаружение существенных межмесячных изменений температуры воздуха в период осенне-зимнего охлаждения в XX веке по осредненным по двадцатилетиям периодам.

- отсутствие трендового снижения осеннего охлаждения и роста весеннего прогрева;

- выявлено сопряженное изменение магнитного поля («западный дрейф») озоносферы и термобарического поля тропосферы (о чем свидетельствует экстремального похолодания в Западной Сибири и рост температуры и атмосферных осадков в районах Дальнего Востока);

- установлено, что на режим увлажнения ЕТР в XX веке оказало влияние усиление повторяемости разновидностей восточной формы атмосферной циркуляции с «надвиганием сибирского антициклона».

**Апробация.** Отдельные положения и трактовка результатов исследования, заложенных в основу настоящей работы, докладывались и обсуждались на Всероссийской конференции «Атмосфера и здоровье человека» в Санкт-Петербурге в 1998 г., на

итоговых сессиях ученого совета РГГМУ в период 2001 –2005 гг., на Международной школе-конференции «Изменение климата и окружающая среда», 2005 г.

### **Публикации.**

Основные результаты диссертации опубликованы в 8 печатных работах, материалы использованы в научно-исследовательских отчетах.

### **Структура и объем.**

Диссертация состоит из 8 основных частей: введения, пяти глав, заключения и списка использованных источников, содержащего 165 источников, из них 68 англоязычных. Общий объем работы составляет 196 страниц текста, включая 46 рисунков и 14 таблиц.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, излагаются цели и задачи исследования, дана оценка научной новизны и практической ценности работы, приведен перечень поставленных и решенных в ходе исследования задач, а также защищаемые положения.

**В первой главе** дается обзор состояния озонметрических наблюдений.

Наземные озонметрические наблюдения сравнительно непродолжительны и сеть озонметрических станций крайне неравномерна, в основном она находится в странах Европы и Северной Америки.



Рисунок 1 - Сеть озонметрических станций по данным ВМО.

В 1925-1926 годах была создана первая озонметрическая сеть из 5 европейских (Ароза, Лервик и др.) станций с использованием спектрофотометров Добсона. Так было начато регулярное измерение атмосферного озона на наземных станциях. При благоприятных метеорологических условиях точность спектрофотометра Добсона составляет 1-3%.

С 1957 по 1968 гг. в СССР была создана сеть озонметрических станций с методическим центром в ГГО, которая в 1966 г. состояла из 37 станций (30% мировой сети). В настоящее время в мире работают около 120 озонметрических станций, из них более 40 - на территории России. Результаты сравнений показали, что среднее отклонение данных с М-83 не превосходили 5,3 % от средних отклонений данных многочисленных станций Добсона и, таким образом, можно утверждать, что данные с М-83 являются вполне корректными.

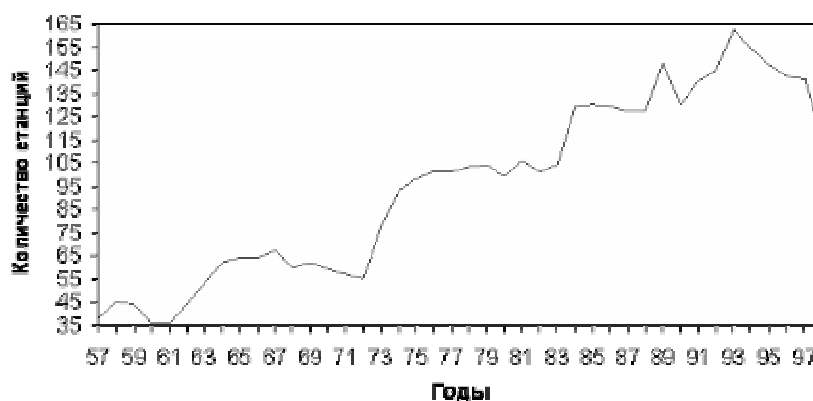


Рисунок 2 - Изменение роста количества озонметрических станций

В 1957 г. в ГГО был сконструирован самолетный озонметр, с помощью которого общее содержание озона измеряется с движущегося самолета.

Поскольку возникла проблема озоновой опасности в кабинах самолетов для экипажа, а также пассажиров сверхзвуковых транспортных самолетов (СТС), в 1971-1980 годы сотрудником ЛГМИ В.В. Осечкиным была впервые реализована обширная программа измерений концентрации озона на рейсовых самолетах гражданской авиации в полярных, умеренных и южных широтах и охватили практически всю территорию СССР, на которой и была исследована пространственно-временная структура поля концентрации озона в тропосфере и нижней стратосфере. В 1993-95 гг. специалисты ЦАО приняли активное участие в создании летающей лаборатории на базе высотного самолета-разведчика М-55 "Геофизика", с помощью которого были проведены исследования озонового слоя, полярных стратосферных облаков, газового и аэрозольного состава нижней стратосферы в экваториальной зоне, тропиках, Арктике и в Антарктиде.

Начиная с 1955 года в СССР для наблюдений за профилями и концентрацией озона используют ракеты, с установленными на них фотоэлектрическими датчиками, с помощью которых на основе методов фотоспектроскопии делают измерения от поверхности земли до высот 75 км. Ракеты позволяют успешно наблюдать распределение озона в слоях выше 35 км, а иногда и до 70 км, которые не доступны обычным озонозондам.

Появление спутниковой озонотрии в 70-х годах XX столетия коренным образом улучшило возможности синоптического анализа географической локализации и содержания стратосферного и тропосферного озона. Но непродолжительность спутниковых наблюдений ОСО ограничивает возможность климатологического обобщения и, особенно, климатических изменений озоносферы.

Сканер, работающий со спутника Нимбус-7 в 1978-1993 гг. позволил измерять озон с разрешением 3 км. Используя спектрометр общего содержания озона (Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS)) получают ежедневные карты глобального распределения озона.

В России первые метеорологические наблюдения были выполнены с борта Третьего ИСЗ. 28 февраля 1967 года запуском из "Плесецка" спутника "Космос-144" ("Метеор-1") началось создание низкоорбитальной метеорологической космической системы "Метеор". Спутники серии "Метеор" оперативно собирают и передают не только глобальную гидрометеорологическую информацию, но и данные о радиационной обстановке в околоземном космическом пространстве и о состоянии озоносферы. Тем не менее, в докладе ФИАН и СПбГТУ за 2002 г. отмечено, что особенно сильное отставание в аппаратурном аспекте наблюдается в области спутниковой метеорологии. За последние десять лет это отставание от зарубежных разработок и исследований достигло угрожающих размеров.

Проведенная в 1981 - 1983 годах сверка 78 спектрофотометров Добсона (из 81 установленного на мировой озонотрической сети) показала отклонения менее 2% в 57 случаях, в остальных случаях отклонения лежали в пределах от 2 до 11% (в среднем  $\pm 5\%$ ). В качестве стандарта использовался озонотрический прибор TOMS, установленный на спутнике "Нимбус-7".

Таким образом современная система озонотрических международных и отечественных наблюдений позволяют достоверно, с точностью 3 - 4 %, определить поле общего содержания озона и особенности его вертикального распределения в северном и южном полушариях.

**Во второй главе** рассмотрены географические и сезонные особенности распределения озона. В известном климатологическом справочнике «Атмосфера», опубликованном в 1991 г., представлены таблицы и карты общего содержания озона для всех календарных месяцев. Наряду с общим увеличением ОСО от низких значений в тропической зоне к более высоким значениям в полярных и субполярных районах пространственное распределение озона характеризуется наличием двух максимумов. Во



всех календарных месяцах эти максимумы находятся в Восточной Сибири и в Канаде. Сибирский максимум более интенсивен, чем Канадский.

Восточно-Сибирский озонный максимум (440—460 д.е., наибольшее значение зарегистрировано 17 апреля 1969 г. — 673 д.е.), который начинает формироваться в декабре, усиливается в феврале—марте и отчетливо прослеживается до мая, а затем ослабевает. Но с конца марта — начала апреля максимум ОСО наблюдается уже в умеренной ( $55^{\circ}$  —  $60^{\circ}$  с.ш) и полярной ( $60^{\circ}$  —  $75^{\circ}$  с.ш.) зонах и несколько позднее, в апреле — мае. Далее, по направлению к югу, начинается быстрое уменьшение максимальных значений ОСО.

Общей закономерностью годового хода ОСО в высоких широтах Северного полушария является рост количества озона от октября—ноября к марту—апрелю, после чего наблюдается понижение его до минимума, наблюдаемого с августа по декабрь.

Приводятся вариации месячных значений ОСО в Петербурге за 1973-1995 гг.

Анализируя ранжированный по возрастанию ряд месячных значений ОСО в Санкт-Петербурге, можно видеть, что низкое содержание озона приходится на 1985-95 гг., а 70-е годы, наоборот, отмечены высоким содержанием озона. Наиболее ярко эта особенность распределения ОСО прослеживается в период с максимальным содержанием озона, т.е. весной.

Рассматривая амплитуды среднемесячных значений ОСО за имеющийся ряд лет, можно заметить, что самые большие вариации ОСО происходят в зимне-весенний период (100-160 д.е.). В месяцы же минимального содержания озона амплитуды минимальны (30-70 д.е.).

При описании распределения ОСО в Южном полушарии отмечается его небольшой годовой ход, а также то, что тропическая зона в Южном полушарии, также как и в Северном полушарии, отличается сравнительно низким (200—270 д.е.) и равномерно распределенным содержанием озона, с возрастанием ОСО около  $30^{\circ}$  ю.ш. до зоны максимума.

Падение общего содержания озона начинается приблизительно от  $54^{\circ}$  ю.ш., а также в районе Южного полюса с марта по август. В течение же полярной ночи в области полюса рост ОСО не наблюдался, а общее содержание озона равно в среднем 282 д.е. Но весной (сентябрь—февраль) начинается резкое увеличение общего содержания озона, которое особенно заметно в ноябре, в среднем оно составляет 319 д.е. В ноябре 2004 года общее содержание озона в районе  $60-65^{\circ}$  ю.ш. составило 380 д.е..

Анализируя данные исследований стационарных станций, ученые пришли к выводу, что формирование годового максимума ОСО в Антарктиде происходит только весной.

Рассмотрены особенности распределения общего количества озона по широтным зонам в стратосфере. Показано, что существует разрыв распределения общего количества озона в тропической зоне. Рассматривая особенности распределение общего количества озона по широтным зонам в стратосфере можно видеть, что в высоких слоях стратосферы между 35°ю.ш. — 35°с.ш. сосредоточено около 57% всего количества озона атмосферы. Но общее содержание его в этой зоне понижено (среднее многолетнее — 264 д.е.) и сезонных колебаний не наблюдается, он малоизменчив. Вблизи экватора проходит линия минимума количества озона, так называемый «озонный экватор». Положение его колеблется от 15° — 25°с.ш. с мая по октябрь и в остальную часть года между 0° — 15° с.ш. Как видно из рисунка 3 отчетливо прослеживается разрыв между умеренной и тропической зонами.

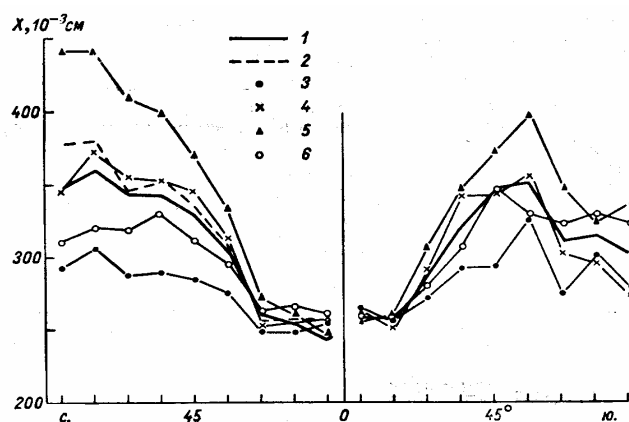


Рисунок 3 — Средний многолетний широтный ход общего содержания озона в северном и южном полушариях. (1957—1964 гг.)

1 — среднее многолетнее; 2 — средний за год (1958—1959 гг.); 3 — осень, 4 — зима; 5 — весна; 6 — лето.

Затем, к северу и к югу от «озонного экватора», высота озонового слоя снижается и наблюдаются его сезонные изменения. Здесь, т.е. между 35°- 90° широтных зон обоих полушарий, находится другая половина озона. На разрыв в тропической зоне указывают и карты, полученные в NASA по данным Nimbus 7/Toms за 1979-1992 годы (рисунок 4).

Обращено внимание на одну из важнейших характеристик озонового слоя, которой является его распределение по вертикали.

Было выяснено, что для Тромсё и Шпицбергена характерно нахождение максимума плотности  $O_3$  около 21 км, а высота центра тяжести озонового слоя зависит от общего содержания  $O_3$ . С увеличением ОСО от 160 до  $400 \cdot 10^{-3}$  см она понижалась от 27 до 21 км.

За период с 1979 по 1986 гг. были проведены спутниковые и наземные измерения в средних широтах среднегодовых вертикальных распределений  $O_3$ . Было установлено, что максимальное уменьшение концентрации  $O_3$  происходит около 40 км.

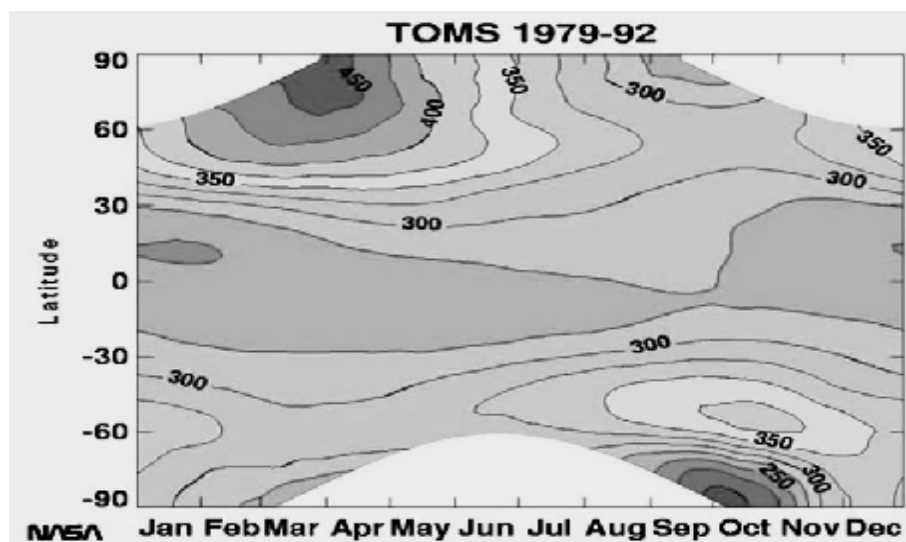


Рисунок 4. – Средний многолетний широтный ход общего содержания озона в северном и южном полушариях. (1979—1992 гг.).

В северном полушарии по данным наблюдения на 35 станциях было установлено, что уменьшение содержания  $O_3$  происходило в нижней стратосфере в 1983 г. на высоте 16—21 км, а в 1985 — на высоте 21—28 км.

В Южном полушарии до начала весеннего потепления стратосферы постоянный рост плотности наблюдался в слоях 10-16 км, а в сентябре происходит резкое ее увеличение в более высоких слоях. Ученые пришли к выводам, что весной в нижней стратосфере (15-20 км) максимум плотности  $O_3$  наблюдается от  $50^\circ$  до  $60^\circ$  ю.ш. Летом максимальная плотность  $O_3$  в нижней стратосфере наблюдается над южным полюсом.

Из рассмотренного далее распределения общего содержания озона в тропосфере, видно, что фазы колебания трендов озона совпадают с фазами роста и убывания солнечной активности и интенсивности ультрафиолетового излучения Солнца.

Обращено внимание на факт уменьшения концентрации  $O_3$  в тропосфере с высотой во все сезоны и резкого возрастания парциального давления озона, начиная от озонопаузы. Сейчас известно, что концентрация озона в тропосфере обычно колеблется в пределах  $0-70 \text{ мкг/м}^3$  с большой абсолютной изменчивостью  $S \sim 0 - 100 \text{ мкг/м}^3$ .

Как известно, в тропосфере содержится сравнительно мало озона – всего 8 - 15 % от его общего количества. В глобальном масштабе тропосфера является областью

разрушения озона. В обобщенном виде географическое распределение озона было описано А.М. Шаламянским, откуда следует, что смещение к югу среднемесячных границ АМ и УМ приводит к весеннему максимуму площадей этих масс. Осенью наблюдается обратное явление, которое приводит к увеличению сезонного колебания общей массы озона, находящейся в границах воздушной массы. А.С. Бритаев и др. показали, что 10-12 % ОСО находится в тропосфере высоких широт Северного полушария.

Однако в силу интенсивного турбулентного обмена в тропосфере средние значения концентрации  $O_3$  небольшие и составляют приблизительно  $50 \text{ мкг/м}^3$ . При стратосферных вторжениях концентрация  $O_3$  в тропосфере может увеличиваться до  $150\text{—}200 \text{ мкг/м}^3$ . (т.е. до значений, характерных для нижней стратосферы). В тропосфере на всех высотах хорошо выражены сезонные различия концентрации  $O_3$  с максимумом весной и минимумом осенью. Толщина тропосферных слоев с вредными концентрациями  $O_3$   $10\text{—}20 \text{ мкг/м}^3$  составляют  $1800\text{—}2000 \text{ м}$ , а с  $70\text{—}80 \text{ мкг/м}^3$  обычно  $300\text{—}400 \text{ м}$ . Т.е. слои с высокой концентрацией  $O_3$  достаточно тонкие. Наиболее значительные изменения ОСО связаны со слоями 5 - 20 км.

В тропосфере годовой ход концентрации озона прослеживается приблизительно до уровня 400 мб. Максимум наблюдается летом, обычно в июле, минимум - зимой, в декабре или январе.

Интересная особенность вертикального распределения концентрации  $O_3$  была выявлена В.В. Осечкиным. Относительная изменчивость концентрации  $O_3$  в нижней тропосфере и вблизи тропопаузы имеют близкие значения ( $80\text{—}100\%$ ). Также выявлено, что во все сезоны в тропосфере в среднем наблюдается уменьшение концентрации с высотой.

Уровень приземного озона в среднем на территории России возрастает в восточном направлении, например, в жаркое лето 1999 г. он увеличивается на  $1.9 \text{ ppb}$  на  $1000 \text{ км}$ . Причиной этого служит высокая освещенность, характерная для антициклонических условий в Восточной Сибири, и шлейф промышленных выбросов из Европы и Западной Сибири, вдоль которого идет окисление летучей органики и фотохимическое образование озона.

**В третьей главе** рассматриваются природные и антропогенные факторы изменения озоносферы.

Исследование процессов образования, разрушения и адвекции озона с помощью гидродинамических моделей атмосферной циркуляции последовательно осуществляется Каролом И.Л., Смышляевым С.П. К сожалению, наряду с удовлетворительным описанием зональных особенностей структуры озоносферы модели не описывают возникновения

Восточно-Сибирского и Канадского климатических максимумов ОСО.

Общее содержание озона в стратосфере является результатом одновременного прохождения большого количества озonoобразующих и озоноразрушающих реакций. Большинство из них происходит под воздействием квантов ультрафиолетовой радиации Солнца. Необходимый для этой реакции атомарный кислород выше уровня 20 км образуется при расщеплении кислорода под действием ультрафиолетового излучения с  $\lambda < 240$  нм. Ниже этого уровня такие фотоны почти не проникают, и атомы кислорода образуются, в основном, при фотодиссоциации двуокиси азота N фотоны мягкого ультрафиолета с  $\lambda < 400$  нм.

Во внетропических регионах наблюдается весенний максимум и осенний минимум, что свидетельствует о некотором преобладании озоноразрушающих факторов. В весенний период при очень значительном снижении температуры воздуха в полярной стратосфере южного полушария наблюдается явление «озонных дыр», связанное с высвобождением атомарного хлора и фреонов. Атомарный хлор действует как мощный катализатор в озоноразрушающих реакциях. Главный источник составов хлора на поверхности Земли находится в форме неорганического хлора ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ), испускаемый океанами и непрерывно испускающимися вулканическими газами, а единственный известный естественный источник хлора, имеющий значение для стратосферы, метилхлорид  $\text{CH}_3\text{Cl}$ , производится микроорганизмами океана (0,6 ppbv) с периодом жизни около 1,5 лет. Считается, что окислы хлора антропогенного происхождения в течение полярной ночи в условиях очень низких температур вмораживаются в льдинки, которые образуют так называемые полярные стратосферные облака и когда над Антарктидой всходит Солнце — а это происходит в сентябре-октябре — эти вещества начинают вновь переходить в газовую фазу и разрушать озон. Этому способствует циркумполярный вихрь (ЦПВ), который на длительное время изолирует значительный объем воздушных масс в условиях низких температур.

С начала 1970-ых предсказывалось увеличение составов хлора в стратосфере, связанных с непрерывным увеличением искусственного производства ХФУ, что должно было привести к уменьшению толщины озонового слоя. Однако предсказанные значительные уменьшения в озоновом слое за прошлые тридцать лет на самом деле имеют всего несколько процентов.

Предполагалось, что уменьшение концентрации  $\text{O}_3$  над Антарктидой связано с преобладанием экстремально низких температур, что приводит к конденсации воды и азотной кислоты и образованию полярных стратосферных облаков.

В настоящее время, по утверждению директора Лаборатории мониторинга и диагностики климата (CMDL) при Национальном управлении США по исследованиям океана и атмосферы (NOAA) Д. Хоффманна, многолетние наблюдения за изменениями географического размера области истощения озона и выбором сезона указывают больше на связь областей пониженного содержания озона с температурой и ветром, чем на связь с появлением химикалиев в атмосфере. Так установлено, что хлор в атмосфере достиг почти постоянных значений, но при этом географический размер озоновой дыры был самый большой, чем когда-либо, а уровень общего содержания озона в пределах области пониженного содержания озона такой же, как и в прошлые несколько лет.

Явление озонных дыр наблюдается с 1985 года.

В рамках международных соглашений (Монреальский протокол 1987 г.) выбросы озоноразрушающих газов ограничены, но время жизни молекул фреонов в атмосфере весьма значительно, время их пребывания в атмосфере измеряется десятилетиями. Поэтому явления озонных дыр полярной зоне южного полушария наблюдаются ежегодно. В отдельных районах ОСО снижается на 60 % (рис 5). Площадь некоторых из них превышает территорию Северной Америки. В 2000 г. площадь озонной дыры была близка к 26,5 млн. км<sup>2</sup>, в 2003 году она достигла 28,5 млн. км<sup>2</sup> (рис.6, 7).

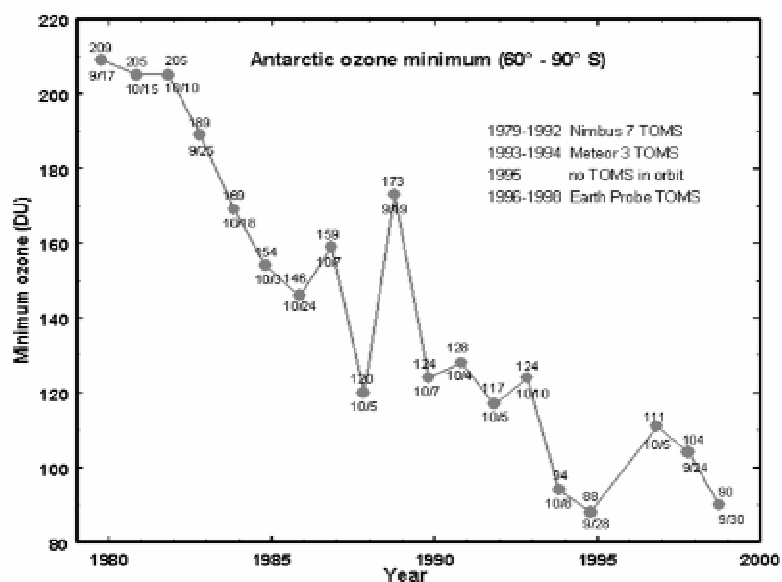


Рисунок 5 - Антарктическое истощение озона.  
1980-2005 гг.

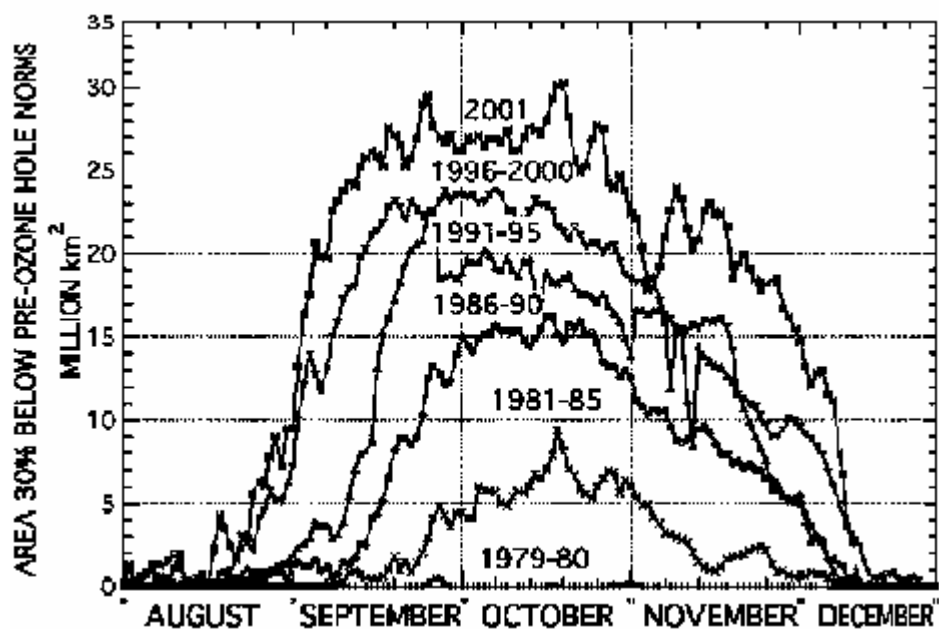


Рисунок 6 - Площадь озоновых дыр с 1979 по 2001 гг.

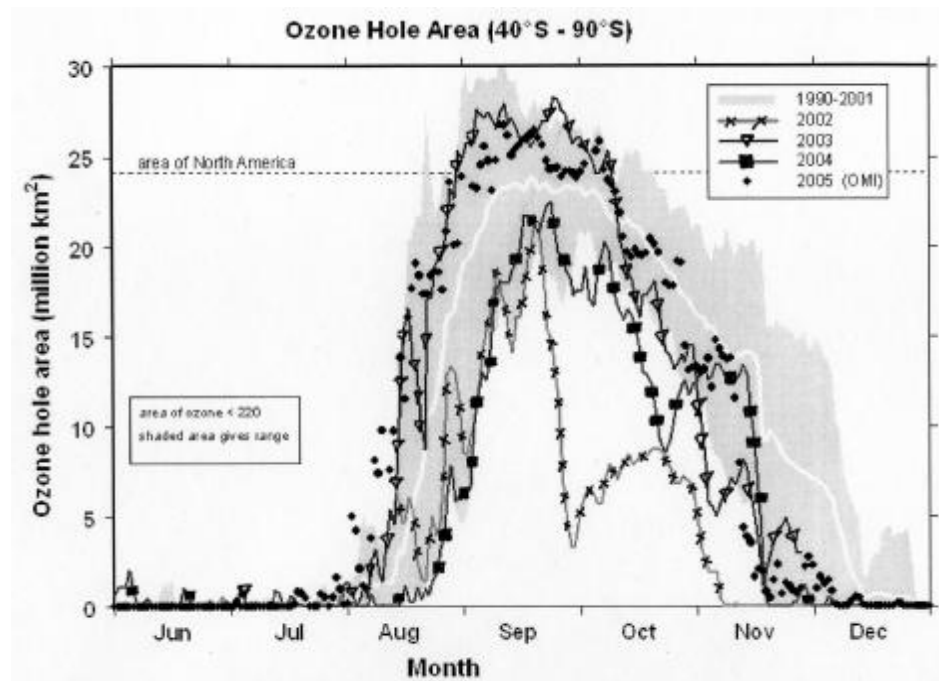


Рисунок 7 - Площадь озоновых дыр с 2002 по 2005 гг.

В Северном полушарии явление озоновых дыр наблюдается эпизодически и исследуется главным образом в синоптическом масштабе времени в связи с колебаниями солнечной активности и особенностями адвекции воздушных масс. В конце 80-х годов появились еще слабовыраженные - со снижением концентрации озона на 1,5-2,5% - дыры вблизи Северного полюса и южнее. Край одной из них зависал даже над Санкт-Петербургом.

Обычно ОСО в январе над Скандинавией и над Северо-Западом России бывает ниже, чем над Северо-Восточной Сибирью и Камчаткой на 20 - 25%. Однако в последние годы снижение ОСО стало наблюдаться и над другими областями России.

Следует отметить, что над территорией Европы в зимне-весенний период располагается климатологический (многолетний) минимум ОСО, а над Сибирью и Дальним Востоком - климатический максимум ОСО. Весной 1994 г. над регионом климатического максимума значения ОСО были на 20%, а весной 1995 г. - на 35-40% ниже средних многолетних

В 1997 году уже с конца марта до середины мая над Арктикой и значительной частью Восточной Сибири отмечалось аномально низкое (на 30% меньше обычного) содержание озона.

Неожиданно оказалось, что широкое использование фреонов в холодильной промышленности представляет опасность для озоносферы. В особых условиях охлаждения стратосферы до  $-80^{\circ}\text{C}$  и с момента появления весной солнечного излучения на кристаллах замерзших капель азотной кислоты происходит высвобождение из фреонов атомарного хлора. Атомарный хлор является мощным катализатором озоноразрушающих реакций. Появление озонных дыр весной Южного полушария свидетельствует об опасности антропогенного поступления в атмосферу озоноразрушающих веществ.

Правительства различных стран в связи с этим в 1985 г. приняли Венскую конвенцию по защите озонового слоя (Венская конвенция). Через два года после появления озонных дыр были приняты меры по ограничению производства фреонов (Монреальский протокол, 1987). В результате дальнейшего признания того, что истощение озонового слоя происходит быстрее, чем предполагалось вначале, правительства 92 стран пришли к соглашению о полном прекращении производства ХФУ к 2000 году, что привело к двум поправкам к Протоколу, которые включают дополнительные вещества и ускоряют сроки поэтапного сокращения ОРВ.

Под давлением этих аргументов многие страны начали принимать меры направленные на сокращение производства и использования ХФУ. С 1978 г. в США было запрещено использование ХФУ в аэрозолях. Но в других областях не было ограничено использование ХФУ. В сентябре 1987 г. 23 ведущих страны мира подписали в Монреале конвенцию, обязывающую их снизить потребление ХФУ. Согласно достигнутой договоренности развитые страны должны к 1999 г. снизить потребление ХФУ до половины уровня 1986 г. На рис. 8 показан мировой объем производства ХФУ.

Сложнее обстоит дело с холодильными установками - вторым по величине потребителем фреонов. Единовременная суммарная заправка ХФУ всего парка



действующего холодильного оборудования, по оценкам Российского научного центра Прикладная химия (РНЦ Прикладная химия), составляет 3035 тыс. т.



Рисунок 8 – Объем производства ХФУ.

На основе использования хладона-134а (вместо применяемого ХФУ-12) производятся бытовые холодильники фирмами США, Японии и ряда других стран.

**В четвертой главе** рассматривается влияние озоносферы на климат и биосферу. Приведены аргументированные доказательства антипарникового влияния стратосферного озона. В настоящее время в схемах радиационного режима атмосферы стратосферный озон считается антипарниковым газом, а тропосферный озон участвует в формировании парникового эффекта. Антипарниковый эффект стратосферного озона в целом не очень велик и большого внимания не привлекает (рис. 9). Основной интерес и большую тревогу вызвала общая тенденция ослабления озоносферы и явление «озонных дыр» в связи с ролью озона в защите биосферы и здоровья населения от жесткого ультрафиолетового излучения Солнца (УФ-В 290-320 нм, УФ-С 280-менее 200), которое является биологически активным.

Стратосферный озон в течение нескольких десятилетий включался в число парниковых газов поскольку его молекула имеет полосы поглощения в ИК-диапазоне. Но, как было впервые показано Л.Р. Ракиповой (ГГО), поглощение коротковолновой радиации превышает парниковый эффект и озон поэтому является антипарниковым газом.



Рисунок 9. – Схема распределения глобального радиационного воздействия.

Поскольку формируются климатические очаги максимальных значений ОСО в Восточной Сибири, в Канаде и над югом Индийского океана, следует ожидать более значительного поглощения солнечной радиации. По модельным оценкам канадских ученых озон и аэрозоль стратосферы поглощают  $12 \text{ Вт/м}^2$ , что существенно, т.к. подстилающая поверхность и облачность поглощают  $49 \text{ Вт/м}^2$

Сезонные преобразования холодного циклонического циркумполярного вихря в полярной стратосфере в теплый летний антициклонический циркумполярный вихрь ежегодно свидетельствует о масштабном влиянии озоносферы на атмосферную циркуляцию.

**Пятая глава** дает представления о сопряженности эволюции геомагнитного поля, озоносферы и региональных изменений климата, особенностях структуры магнитного поля и озоносферы.

В Северном полушарии существует две области повышенной магнитной напряженности – Канадский сектор и Сибирь. В южном полушарии находится один центр повышенной магнитной напряженности – в Австралийско - индоокеанском секторе, там, куда сместился Южный магнитный полюс. На рисунке 10 хорошо видны области повышенной магнитной напряженности.

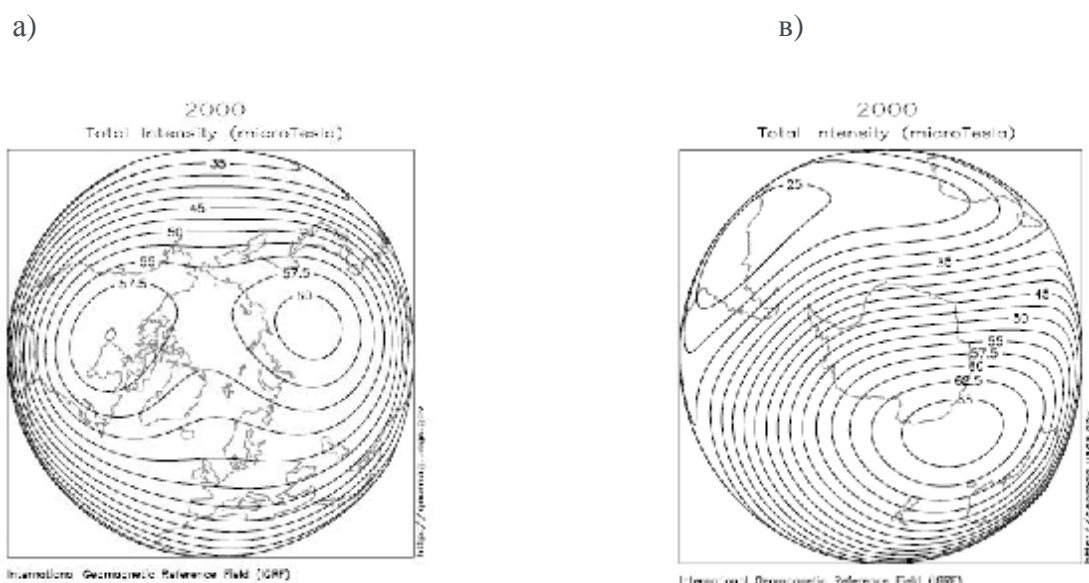
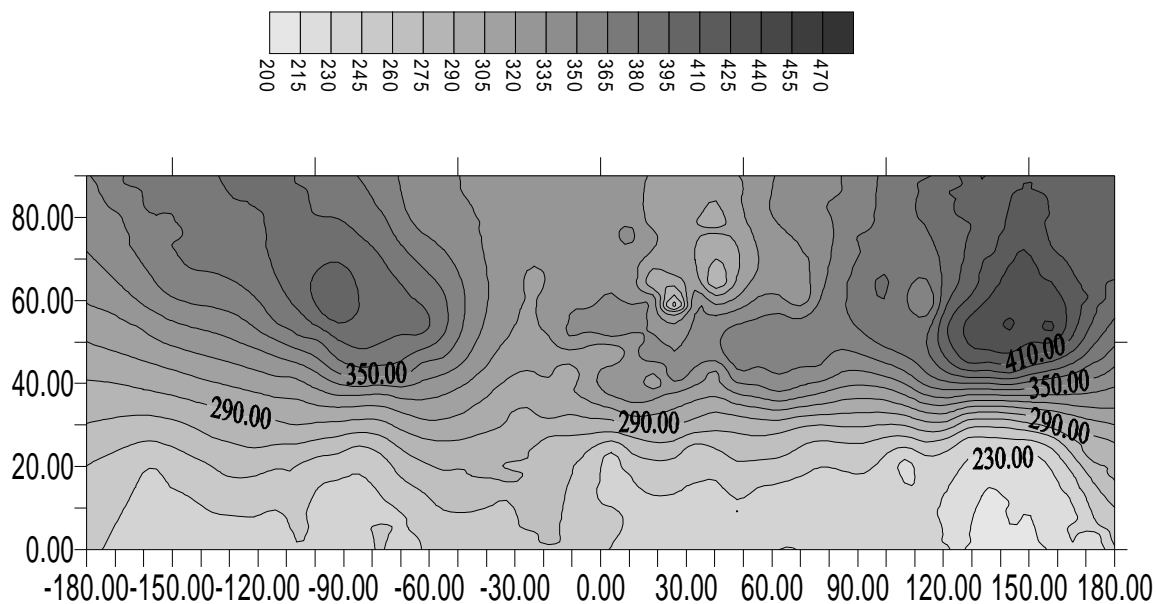


Рисунок 10. – Основные центры геомагнитной напряженности: в Северном (а) и Южном (в) полушариях.

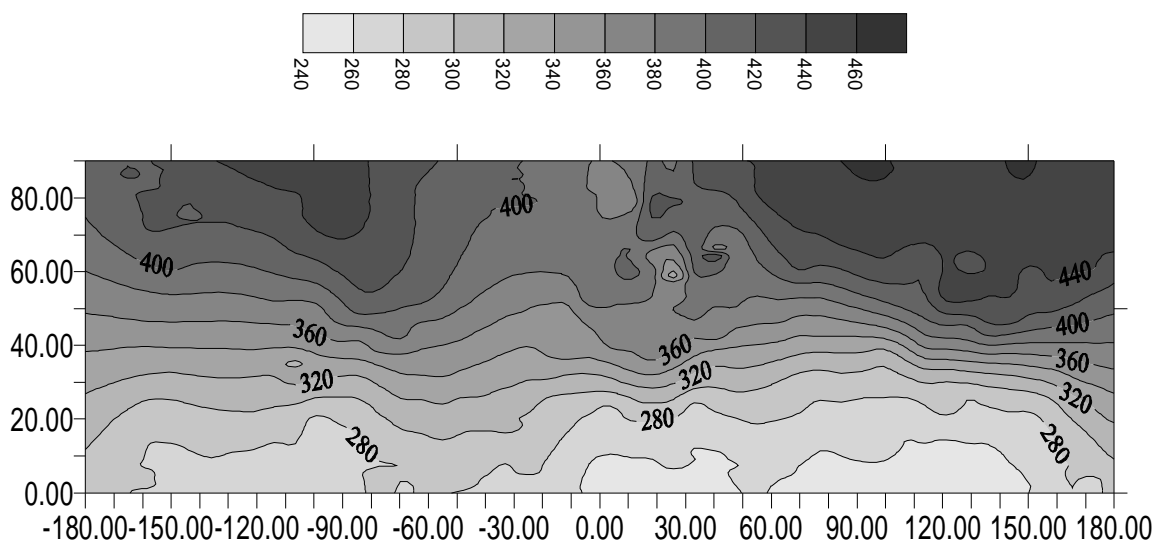
Аналогичную структуру имеет и озоносфера. Общее содержание озона максимально в трех регионах, два из которых находятся в северном полушарии. Нами были построены по данным наземных наблюдениям средние многолетние карты (1957-1998 гг.) распределения ОСО над Северным полушарием. Такие карты за указанный период были построены для каждого календарного месяца. На рисунках 11, 12 и 13, приведенных в качестве примера, хорошо видны эти очаги, расположенные в Канадском секторе и Восточной Сибири.

Изложен новый подход влияния стратосферного озона на изменение температурного режима в Сибири и Канаде. Сейчас достоверно установлены так называемые вековые вариации всех элементов магнитного поля Земли. Все магнитные материковые аномалии медленно, со скоростью 22 км в год (0,2% в год), смещаются в западном направлении (западный дрейф), что объясняется разной угловой скоростью относительного вращения ядра и мантии Земли.



Среднее многолетнее распределение общего содержания озона над Северным полушарием. Январь.

Рисунок 11 - Среднее многолетнее распределение общего содержания озона. 1957-1998 гг. Январь.



Среднее многолетнее распределение общего содержания озона над Северным полушарием. Апрель.

Рисунок 12 - Среднее многолетнее распределение общего содержания озона. 1957-1998 гг. Апрель.

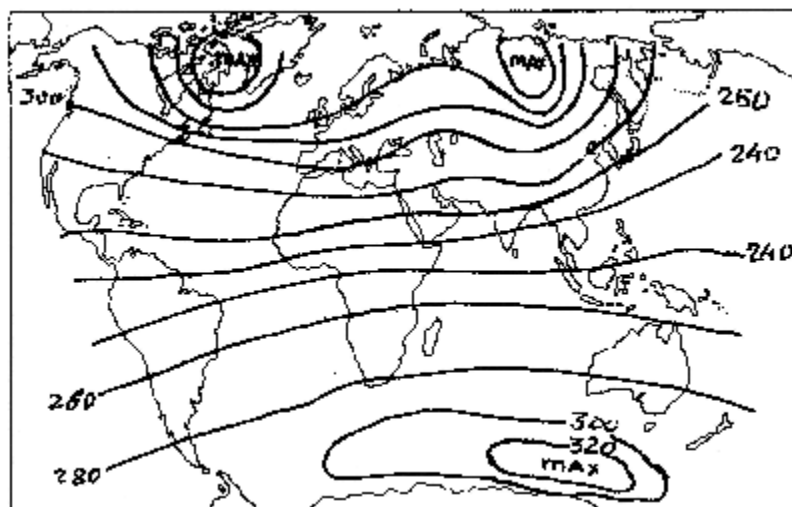


Рисунок 13 – Расположение очагов с максимальной концентрацией ОСО по наблюдениям 1978-1982 гг. (д.е.) в Северном полушарии.

Смещение магнитных полюсов регистрируется с 1885 г. За последние 100 лет магнитный полюс в южном полушарии переместился почти на 900 км и вышел в Индийский океан. Новейшие данные по состоянию арктического магнитного полюса (движущегося по направлению к Восточно-Сибирской мировой магнитной аномалии через Ледовитый океан) показали, что с 1973 по 1984 гг. его смещение составило 120 км, с 1984 по 1994 гг. - более 150 км (рис. 14).

Показано, что западный дрейф Восточно-Сибирской магнитной аномалии должен сопровождаться климатическим смещением очага максимальной концентрации озона и зимней ложбины холода к западу, что позволяет объяснить случаи необычайно сильных морозов в Западной Сибири и более частым появлениям макропроцессов с движением Сибирского антициклона к западу.

Во внетропической зоне Евразии особый интерес вызывает район Сибири, существенно изолированный горными цепями с юга, но открытый арктическим вторжениям с севера. Зимой в Восточной Сибири находится основной очаг тропосферного холода. Воздушные массы в этой области содержат ничтожное количество водяного пара, роль которого в парниковом эффекте не менее значительна, чем роль CO<sub>2</sub>



Рисунок 14 – Дрейф Северного магнитного полюса с 1831 по 2001гг

Смещение магнитного полюса к северо-востоку сопровождалось возникновением области с отрицательным трендом температуры воздуха в Канаде; произведен анализ зависимости формирования тропосферных очагов холода в Сибири от структуры озоносферы, проведен сравнительный анализ изменения озоносферы и очагов ее максимальной концентрации от структуры геомагнитного поля и «западного дрейфа» Восточно-Сибирской магнитной аномалии,

Как известно, в последние годы в отдельных пунктах Западной Сибири зимой наблюдались экстремальные, ранее не представленные в рядах наблюдений, морозы.

Данный эффект свидетельствует в пользу предположения о климатическом смещении к западу тропосферной ложбины холода. Соответствующий механизм связан с сопряженным изменением геомагнитного поля («западный дрейф» Восточно-Сибирской аномалии) и очага максимальной концентрации озона. Чаше наблюдается и распространение на запад гребня Сибирского антициклона с преобладанием во второй половине XX века процессов восточной формы циркуляции.

Наиболее значительное похолодание в большинстве случаев наблюдается в широтной зоне 65-70° с.ш., причем тенденция уменьшения межмесячных изменений отсутствует, а она должна иметь место по сценариям антропогенного потепления.

В таблице 1 представлены экстремальные межмесячные понижения температуры воздуха  $\Delta t_a$  в каждом 20-лети.

Таблица 1

Экстремальные межмесячные значения  $\Delta t_a$  с 1896 по 1995 гг. по двадцатилетиям

$\Delta t_a$	1896-1915	1916-1935	1936-1955	1956-1975	1976-1995
VIII-IX	-10,1	-7,9	-10,8	-9,8	-11,7
IX-X	-16,4	-17,8	-17,0	-14,9	-16,4
X-XI	-17,8	-18,8	-22,5	-19,9	-23,6
XI-XII	-14,7	-12,1	-19,1	-21,6	-17,0

В районе Сибири в холодное время года содержание водяного пара в атмосфере понижено, о чем говорят соответствующие оценки О.А.Дроздова. Должно иметь место ослабление парникового эффекта.

Зимой структура термобарического поля северного полушария характеризуется климатической локализацией ложбины холода в Восточной Сибири и в том секторе Канады, где находится магнитный полюс. Там же в течение всех сезонов чаще всего наблюдается очаг максимальных значений общего содержания озона. На рисунке 15 показано среднее за 1971-1980 гг распределение ОСО и положение меридианов и широтной зоны 65-70° с.ш., в которых имело место максимальное снижение температуры воздуха в период осенне-зимнего охлаждения в Сибири (табл. 2 а,б).

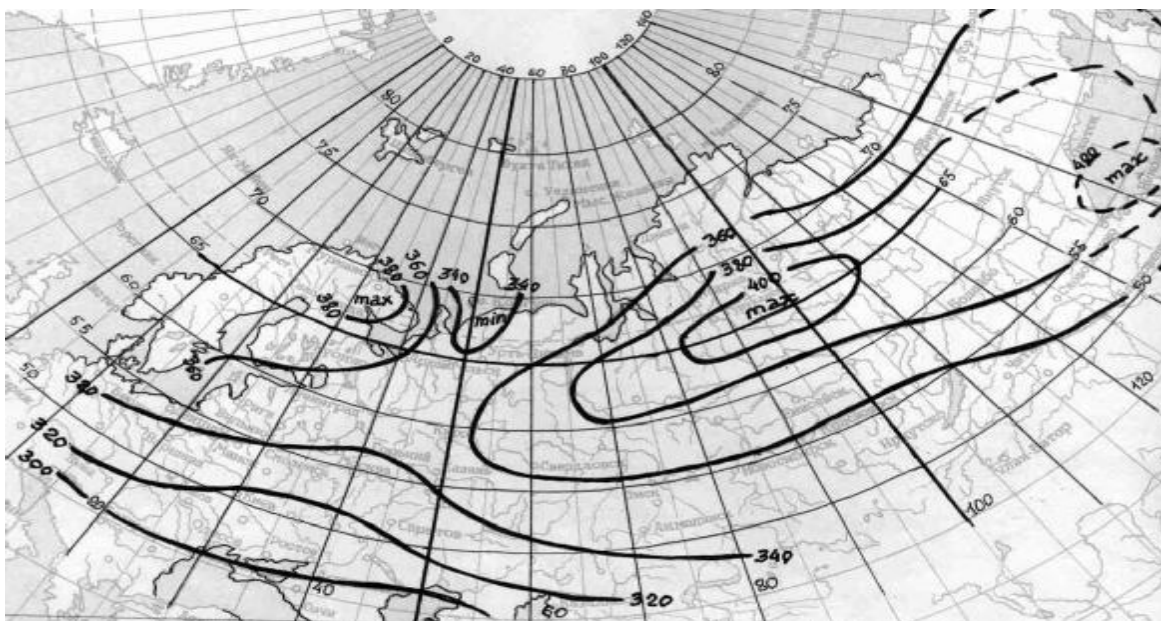


Рисунок 15. - Среднее распределение общего содержания озона (Д.е.) за период с 1971 по 1980 гг.

Таблица 2

Средние межмесячные значения температуры на меридианах

а) 50° в.д.

Годы	VIII-XI	IX-X	X-XI	XI-XII	Сумма
1896-1915	-5.0	-6.8	-7.3	-8.2	-27.3
1916-1935	-5.0	-4.9	-7.6	-5.0	-22.5
1936-1955	-3.1	-4.5	-11.7	-9.4	-28.7
1956-1975	-2.1	-10.7	-5.4	-1.3	-19.5
1976-1995	-4.0	-6.5	-8.3	-6.0	-24.8
Сумма	-19.2	-33.4	-40.3	-29.9	-122.8

б) 100° в.д.

Годы	VIII-XI	IX-X	X-XI	XI-XII	Сумма
1896-1915	-7.8	-11.8	-9.8	-8.0	-37.4
1916-1935	-6.1	-12.0	-14.3	-7.5	-39.9
1936-1955	-8.2	-8.4	-12.0	-9.6	-38.2
1956-1975	-6.5	-10.1	-12.6	-5.1	-34.3
1976-1995	-9.1	-8.2	-11.5	-7.7	-36.5
Сумма	-37.7	-50.5	-60.2	-37.9	-186.3



Таким образом, локализация зимних тропосферных ложбин холода под очагами высокой концентрации озона вполне объяснима. Конвергенция воздушных потоков, северного в тыловой части высотной ложбины и западного струйного течения к северу от горной системы Азии, обеспечивает рост давления и формирование Сибирского антициклона.

Наряду с региональными изменениями климата в Восточной Сибири и смежных районах представляют интерес и связанные с изменениями магнитного поля, озоносферы и атмосферной циркуляции климатические тенденции в районе Канады и в секторе Индийского океана Южного полушария.

Согласно нашему предположению о сопряженности изменений магнитного поля, озоносферы и тропосферной ложбины холода в зимние месяцы, следует ожидать уменьшения меридиональности термобарического поля и усиление западного переноса. Повышение температуры воздуха на территории Канады хорошо выражено лишь в заключительной декаде (1980 – 1989 гг.), но на северо-востоке, куда сместился магнитный полюс, имело место похолодание. Полученные на кафедре ДАКЗ индексы зональной циркуляции  $J_3$  по району 40-60° с.ш. 50° з.д. – 150° в.д. (здесь приведены только месяцы холодного полугодия, таблица 3) свидетельствуют, что в последнем двадцатилетии XX века интенсивность западного переноса умеренных широт возросла, в том числе в американском и северо-атлантическом секторе во всех месяцах холодного полугодия.

Таблица 3

Индексы зональной циркуляции по двадцатилетиям холодного полугодия по району 50-60° с.ш., 50° з.д.-150° в.д

Месяцы	10	11	12	1	2	3
Период С.ш.	1896-1915					
60-55	0,45	0,52	0,46	0,60	0,47	0,33
55-50	0,42	0,53	0,55	0,56	0,40	0,30
	1916-1935					
60-55	0,50	0,46	0,44	0,56	0,29	0,23
55-50	0,45	0,49	0,46	0,49	0,21	0,20
	1936-1955					
60-55	0,53	0,44	0,47	0,35	0,25	0,22
55-50	0,47	0,47	0,53	0,36	0,24	0,20

	1956-1975					
60-55	0,59	0,52	0,56	0,45	0,21	0,26
55-50	0,58	0,65	0,63	0,50	0,31	0,18
	1976-1995					
60-55	0,54	0,59	0,59	0,61	0,33	0,53
55-50	0,55	0,73	0,72	0,75	0,44	0,39

Пониженная концентрация основных парниковых газов  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  является фактором регионального снижения парникового эффекта. Экстремальное в северном полушарии осенне-зимнее выхолаживание Сибири является фактором, определяющим макроструктуру термобарического поля над Евразией, локализации и интенсивности Сибирского антициклона.

Одним из наиболее надежно диагностируемых признаков меридиональных процессов являются антициклонические арктические вторжения, блокирующие преобладающий в умеренной зоне западно-восточный перенос.

С помощью Каталога ЭЦМ, полученного специалистами Института географии РАН за 1899-2000 годы было подсчитано число арктических вторжений в каждом календарном месяце многолетнего ряда отдельно по секторам: Атлантика, Европа, Сибирь, Тихий океан, Америка.

Годовой ход повторяемости вторжений на акваторию океанов и Европу характеризуется весенним максимумом (рис. 16)

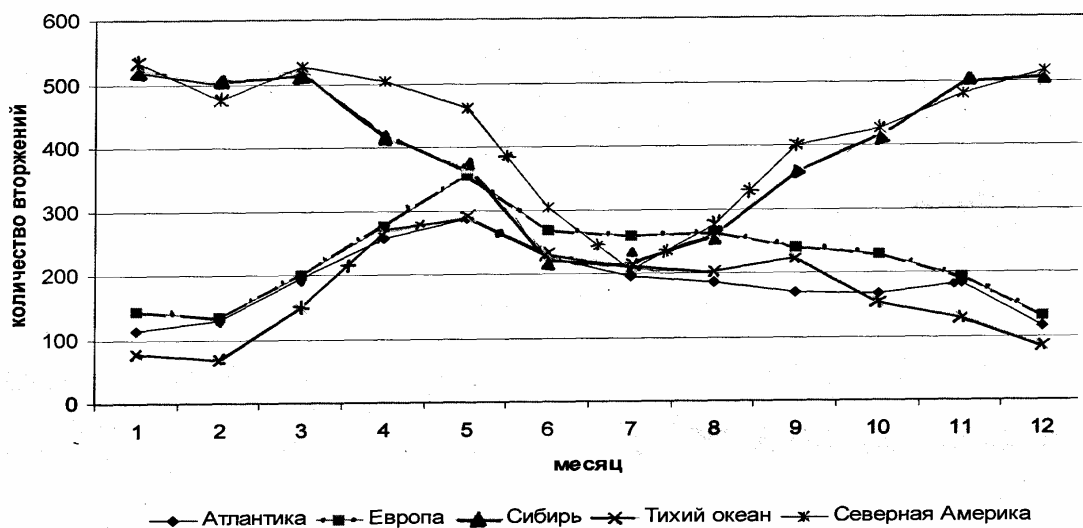


Рисунок 16 - Количество вторжений в каждом месяце за сто лет по всем секторам.

На рисунке 17 приведена гистограмма арктических вторжений по двадцатилетиям для декабря, января и февраля. Обращает на себя внимание рост повторяемости арктических вторжений во второй половине XX века.

Изменение магнитного момента Земли и следующее за этим изменение перемещения воздушных масс влечет за собой перераспределение градиента температуры и давления в магнитосфере и атмосфере, следующее за этим изменение перемещения циклонов, а значит, региональные изменения климата.

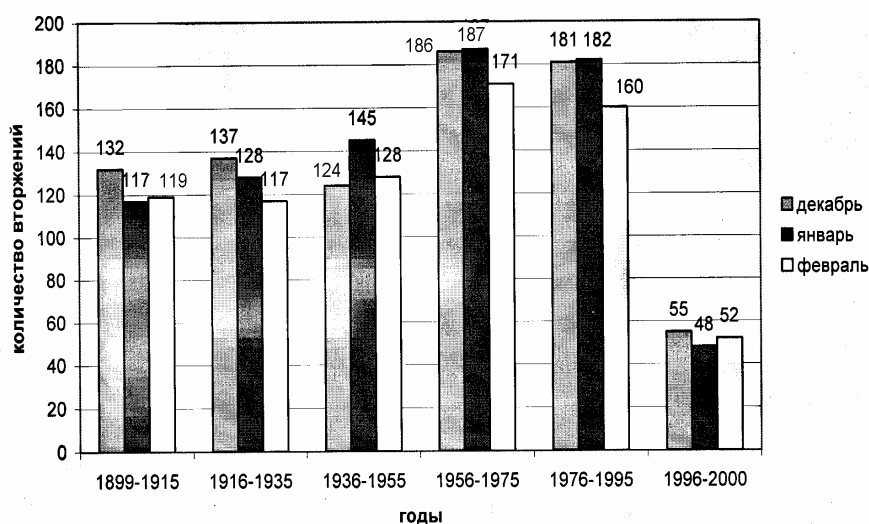


Рисунок 17 — Количество арктических вторжений по 20-летиям за зимние месяцы.

Как уже говорилось, над Восточной Сибирью в образовании климатического максимума ОСО, скорее всего, участвуют СКЛ, фокусируемые на области максимальной напряженности магнитного поля или изменение высоты ионизированных радикалов, участвующих в ассоциации и диссоциации молекул озона. Для канадского сектора и южного полушария имеет значение направление и скорость движения магнитных полюсов. Как факторы региональных особенностей атмосферной циркуляции и климата интерес представляет эволюция геомагнитного поля и так называемый «западный дрейф» мировой Восточно—Сибирской магнитной аномалии, ее смещение к западу.

### **Основные публикации по теме диссертации.**

1. Герасимова Н.В. Озонная защита биосферы//Тезисы докладов Всероссийской конференции "Атмосфера и здоровье человека", 1998 г. СПб.: Гидрометеоиздат, 1998. – С. 16 – 17.
2. Кондратович К.В., Герасимова Н.В., Федосеева Н.В.. Об антипарниковом влиянии озносферы //Материалы итоговой сессии ученого совета 2001 г. СПб.: Изд. РГГМУ, 2001. – С. 29 – 30.
3. Герасимова Н.В. К вопросу об условиях формирования очагов повышенного и пониженного содержания озона//Материалы итоговой сессии ученого совета 2002 г. СПб.: Изд. РГГМУ, 2002. – С. 13 – 14.
4. Кондратович К.В., Куликова Л.А. Федосеева Н.В. Герасимова Н.В. Глобальные и региональные факторы изменений климата и появление экстремальных аномалий погоды на территории России//Материалы итоговой сессии ученого совета 2002 г. СПб.: Изд. РГГМУ, 2002. – С. 33 – 34.
5. Кондратович К.В., Герасимова Н.В. Озонные дыры и современное изменение климата//Материалы итоговой сессии ученого совета 2003 г. СПб.: Изд. РГГМУ, 2003. – С. 3 – 5.
6. Кондратович К.В., Герасимова Н.В. Региональные особенности парникового эффекта в районе Сибири//Материалы итоговой сессии ученого совета 2004 г. СПб.: Изд. РГГМУ, 2004. – С. 28 – 29.
7. Герасимова Н.В. Озонные "дыры" над территориями Европы и Российской Федерации//Материалы итоговой сессии ученого совета 2005 г. СПб.: Изд. РГГМУ, 2005. – С. 39 – 41.
8. Герасимова Н.В. Пространственно - временные изменения озоносферы в XX веке// Сб.тр. Международной школы-конференции «Изменение климата и окружающая среда», 2005 г. СПб.: Изд. РГГМУ, 2005. - С.31-36.
9. Кондратович К.В., Герасимова Н.В. Региональные особенности изменений термического режима Балтики и Сибири в XX веке (в печ.).

Герасимова Н.В.

Отпечатано в типографии «Алая буква»

Тираж 100 экз.

Санкт-Петербург, Петроградская наб., 34, оф.400

тел. 335-34-33