

РГБ ОА

24 июл 2000

На правах рукописи

НИКОЛАШКИН Семен Викторович



**ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СУБАВРОРАЛЬНОЙ
НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЫ**

04.00.23 – Физика атмосферы и гидросферы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Якутск, 2000 г.

На правах рукописи

НИКОЛАШКИН Семен Викторович



**ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СУБАВРОРАЛЬНОЙ
НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЫ**

04.00.23 – Физика атмосферы и гидросферы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Якутск, 2000 г.

Работа выполнена в Институте космофизических исследований и астрономии Сибирского отделения Российской Академии Наук (ИКФИА СО РАН)

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник **В.М. Игнатьев**

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор **Е.А. Пономарев** (Институт солнечно-земной физики СО РАН,
доктор физико-математических наук,
профессор **Ю.А. Ромащенко** (ИКФИА СО РАН)

Ведущая организация – Институт физики атмосферы РАН
им. А.М.Обухова

Защита состоится « 12 » июль 2000 г.
в 10 часов на заседании Диссертационного совета К 200.40.01 в Институте космофизических исследований и астрономии СО РАН по адресу:
677891, г. Якутск, пр. Ленина, 31

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИКФИА СО РАН

Автореферат разослан « 9 » июль 2000 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук



Л.П. Шадрина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Результаты теоретических и экспериментальных работ последних лет показывают, что атмосферу необходимо рассматривать как единую сложную термодинамическую систему, в которой наблюдается широкий пространственно-временной спектр движений. Установлено, что процессы, происходящие в какой-либо атмосферной области, связаны, а иногда и определяются влиянием процессов, происходящих в нижележащих областях, которые сводятся к эффектам меридионального и конвективного переноса атмосферных масс из одного атмосферного слоя в другой. Особенно эффективны процессы переноса энергии и количества движения вертикально распространяющимися из тропосферы крупномасштабными волнами планетарного масштаба, генерируемыми крупными орографическими неоднородностями земной поверхности и температурными контрастами, обусловленными планетарным распределением материков и океанов.

Существует предположение, что меридиональные потоки и перенос энергии и количества движения вертикально распространяющимися вверх волновыми возмущениями могут приводить к вариациям температурного режима нижней термосферы.

К сожалению, до сих пор сведения о поведении температуры нижней термосферы крайне ограничены и имеют отрывочный характер. В то же время они имеют очень важное значение для установления закономерностей и роли динамических факторов в формировании теплового режима нижней термосферы и для развития модели средней атмосферы. Таким образом, актуальность настоящей работы обусловлена потребностью получения сведений о поведении температуры нижней термосферы.

Цель работы. 1. Разработка и создание светосильного автоматизированного спектрометра Фабри-Перо с компьютерным управлением и сбором данных для измерения температуры и скорости нейтрального ветра по тепловому уширению и доплеровскому сдвигу контуров кислородных эмиссий в свечении ночного неба.

2. Исследование вариаций температуры ночной нижней термосферы на субавроральных широтах.

3. Физическое обоснование результатов экспериментальных исследований циклических и возмущенных вариаций температуры нижней термосферы динамическими процессами.

Научная новизна. На основании многолетнего статистически обеспеченного экспериментального материала исследованы регулярные вариации температуры нижней термосферы и ее возмущенные вариации, связанные с геомагнитной активностью и стратосферными потеплениями. Исследования проведены с помощью разработанных в ИКФИА высокочувствительных интерферометрических приборов, позволяющих регистрировать вариации температуры нижней термосферы по излучению ночного неба с высоким временным разрешением. На основе накопленного статистического материала наблюдений впервые изучены ночные, сезонные и многолетние вариации доплеровской температуры эмиссии 557,7 нм, а также ее связь со стратосферными потеплениями и с фазами квазидвухлетних колебаний (КДК) экваториального стратосферного зонального ветра. Подтверждена обратная зависимость температуры зимней нижней термосферы от уровня солнечной активности и показан противоположный ход среднегодовых температур с фазой 11-летнего цикла солнечной активности. Показано, что основную роль в вариациях температуры на высотах нижней термосферы играют динамические процессы, связанные с распространением планетарных волн, генерируемые на высотах тропосферы и стратосферы в зимнее время.

Научная и практическая ценность. Полученные результаты могут быть использованы при построении модели средней атмосферы, учитывающей влияние солнечной активности и взаимодействие с метеорологическими процессами, протекающими в нижних слоях атмосферы, а также для разработки теории, описывающей формирование теплового режима нижней термосферы с учетом влияния крупномасштабных волновых возмущений, генерируемых в тропосфере.

Отдельные технические решения созданного спектрометра Фабри-Перо могут быть использованы при разработке новой аппаратуры для

изучения температурного режима термосферы по эмиссиям свечения ночного неба и полярных сияний. Диссертация написана по результатам работ автора, выполненными в рамках научной темы отдела аэронамики ИКФИА и по заданию 09.05.01.18 подпрограммы «Арктика» в ОКП «Мировой океан». Часть работ выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 96-05-64033).

Степень достоверности полученных автором результатов определяется статистической обеспеченностью выводов данными интерферометрических исследований температуры нижней термосферы за длительный период времени, а также использованием адекватных методов анализа и физической интерпретации. Результаты, приведенные в диссертации, согласуются и подтверждаются результатами исследований других авторов.

Личный вклад автора. Автор активно участвовал в разработке и создании комплекса спектрометра Фабри-Перо, проведении наблюдений на созданном приборе, обработке и научном анализе полученных экспериментальных данных, а также в интерпретации результатов исследований.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Впервые в России разработан и создан комплекс аппаратуры светосильного спектрометра Фабри-Перо с компьютерным управлением и сбором данных, работающий в режиме счета фотонов, предназначенный для исследования теплового и динамического режимов верхней атмосферы по излучению ночного неба.

2. Разработаны алгоритмы и написано программное обеспечение для управления спектрометром, пьезоэлектрического сканирования, счета, хранения фотоэлектрических импульсов, отображения наблюдаемой интерференционной картины в реальном времени и предварительной обработки получаемых данных.

3. Впервые получены экспериментальные результаты по регулярным вариациям температуры субавроральной нижней термосферы по интерферометрическим исследованиям эмиссии 557,7 нм:

- а. Ночной ход температуры;
 - б. Сезонные вариации температуры нижней термосферы;
 - в. Вариации в зависимости от цикла солнечной активности.
4. Исследованы возмущенные вариации температуры нижней термосферы:
- а. Эффект последействия магнитной бури в вариациях температуры субавроральной нижней термосферы;
 - б. Связь температуры нижней термосферы с потеплениями зимней стратосферы.

Апробация работы. Основные результаты исследований, изложенные в диссертации докладывались на научных семинарах ИКФИА СО РАН, конференциях Якутского госуниверситета «Наука–невыстроенный потенциал» (Якутск, 1996), в честь М.А. Алексеева (Якутск, 1997), XXI Ежегодном Апатитском семинаре «Физика авроральных явлений» (Апатиты, 1998), совещании рабочей группы CRISTA/MARSHI (Вупперталь, Германия, 1997), на XXI и XXII Генеральных Ассамблеях IUGG (Боулдер, США, 1995 и Бирмингем, Великобритания, 1999).

Публикации. Основные результаты опубликованы в 9 работах, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Общий объем – 167 страниц, включая 46 рисунков, 5 таблиц, 2 приложения и списка использованной литературы из 148 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится краткая характеристика современного состояния проблемы исследования температурного режима нижней термосферы, обоснованы актуальность и научная новизна исследования, сформулирована цель работы. Кратко изложено содержание диссертации и представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе дано описание разработанного комплекса аппаратуры светосильного спектрометра Фабри-Перо с компьютерным управлением и сбором данных (табл.1.). Отсутствие в России серийных высококачественных светосильных интерферометров Фабри-Перо с подходящими параметрами для исследования свечения ночного неба вынудило разработать и изготовить необходимый прибор. Для достижения высокой светосилы и спектральной разрешающей способности потребовалась разработка технического задания на изготовление интерферометрических пластин большого диаметра с многослойным диэлектрическим покрытием и линз объектива телескопа. Конструктивно прибор выполнен в виде отдельных функциональных узлов, состоящих из съемных блоков (рис.1).

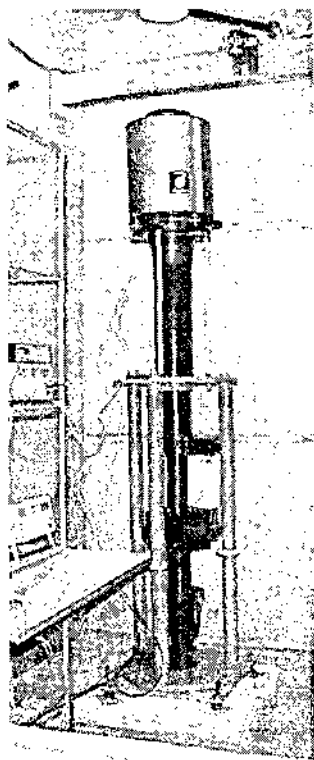


Рис.1. Общий вид спектрометра (в рабочих условиях)

Все управление и считывание данных с фотометра спектрометра осуществляются с помощью компьютера. Для этих целей были разработаны алгоритмы управления прибором, сбора, обработки и хранения данных и написано специализированное программное обеспечение с удобным пользовательским интерфейсом с выводом интерференционной картины на экран монитора в реальном времени. Применение компьютера позволило намного упростить управление прибором и сбором данных (Рис.2).

Во второй главе изложена разработанная автором методика количественной оценки относительной дисперсии измерения фотоэлектронов при детектировании слабого светового сигнала с помощью спектрометра Фабри-Перо, работающего в режиме счета фотонов с учетом реальных характеристик оптической системы и фотоприемника спектрометра.

Основные характеристики спектрометра Фабри-Перо

1. Интерференционные пластины	
Диаметр, мм	150
Коэффициент отражения зеркальных покрытий, R	85 %
Расстояние между пластинами, t , мм	15
Отражательная толщина, $N_r = \pi \sqrt{R} \cdot (1 - R)^{-1}$	19
Микроструктурная резкость, N_D	> 30
Коэффициент контрастности $C = ((1 + R)/(1 - R))^2$	152,1
Теоретическая разрешающая способность идеального интерферометра, $R_{ИФП} = 2\pi t \cdot \sqrt{R} \cdot [\lambda \cdot (1 - R)]^{-1}$	$4,023 \cdot 10^5$
Пропускание в максимуме интерференционного кольца, τ	0,934
2. Проектирующая линза (телескоп)	
Диаметр, мм	200
Фокусное расстояние, f , в мм	1200
3. Апертурная диафрагма	
Диаметр для $\lambda 557,7$ нм, в мм	4,2
Апертурная толщина, N_A	12
Апертурное поле зрения	$0,2^\circ$
4. Свободный спектральный интервал в нм, при $t=15$ мм для $\lambda 557,7$ нм, $\Delta\lambda = \lambda^2/2t$	0,01037
5. Реальная инструментальная толщина, N_E	9
6. Инструментальная ширина в нм, для $\lambda 557,7$ нм,	0,0015
7. Реальная разрешающая способность	$3,7 \cdot 10^5$
8. Полуширина интерференционного фильтра на 557,7 нм, нм, коэффициент пропускания, %	2,8 64,5
9. Количество шагов сканирования	255
10. Продолжительность сканирования одного контура, при $t=15$ с, мил.	15
11. Количество порядков сканирования за один цикл	4

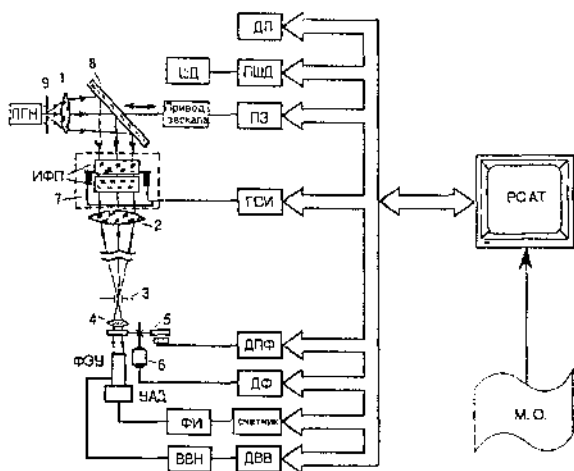


Рис.2. Блок-схема спектрометра Фабри-Перо.

ДП – датчик начального положения перископа; *ШД* – шаговый двигатель обзора неба; *ПЗ* – привод зеркала; *ГСИ* – генератор ступенчатых импульсов; *ДПФ* – датчик положения фильтров; *ДФ* – двигатель смены фильтров; *УАД* – усилитель-амплитудный дискриминатор; *ФИ* – формирователь импульсов; *ВВН* – источник высоковольтный; *ДВВ* – датчик включения высокого напряжения; *МО* – программное обеспечение.

Показано, что ошибка регистрации контура эмиссии 557,7 нм в ночном небе не превышает 4% при времени накопления одного спектрального элемента в 15 сек.

Наблюдения на спектрометре Фабри-Перо проводились в 1998–2000 гг. в зимнее время в безлунные периоды на оптическом полигоне ИКФИА СО РАН в п. Маймага, расположенной в 140 км севернее г. Якутска (геогр. коорд. 63° с.ш., 129,7° в.д.). В работе также использованы данные фотографического интерферометра Фабри-Перо с электронно-оптическим преобразователем, разработанным и созданным в ИКФИА и проработавшим в 1979–1991 гг.

При средних ночных уровнях интенсивности эмиссии 557,7 нм использовалось время накопления при одном шаге сканирования в 15 с. Таким образом, за ночь получалось 48–52 контура (значений температуры). При измерении температуры нижней термосферы по тепловому (доплеровскому) уширению контура эмиссии 557,7 нм [ОИ] проводился постоянный учет аппаратной функции спектрометра с помощью линии лазерного излучения. Средняя погрешность определения температуры не превышает 8%.

Показано, что статистическое распределение полученных температур после исключения случаев появления полярных сияний имеет вид

близкий к нормальному со средней температурой $195,7 \pm 1,06$ К, что примерно согласуется с модельными представлениями

В третьей главе приведены результаты исследований суточных и сезонных вариаций температуры субавроральной нижней термосферы. В большинстве ночей в зимнее время наблюдаются волнообразные вариации температур с амплитудой, достигающей иногда до 50 К и с периодом от одного до 4–5 часов. В спокойные ночи, когда не было короткопериодических волновых и авроральных возмущений, иногда наблюдалась слабое понижение температуры в течение ночи в среднем на 12–15 К. В весеннее время (в марте) волнообразные возмущения становились слабее.

Доплеровская температура заметно меняется от ночи к ночи, обнаруживая в среднем устойчивую регулярную зависимость от сезона. При отборе температурных данных были исключены те данные, которые были получены в присутствии видимых форм полярных сияний, поскольку наличие сияний, как правило, дает нереальные скачки значений измеренных температур, не соответствующих максимуму высотного профиля ночного излучения эмиссии 557,7 нм.

Описан сезонный ход температуры, максимум которого приходится на декабрь и январь месяцы. От сезона к сезону наблюдаются значительные вариации температуры. Так разность температуры в декабре для сезонов 1978–1979 гг. и 1985–1986 гг. составили ~34 К. Обнаруженная особенность сезонного хода температуры нижней термосферы объясняется распределением суммарного притока тепла, которое характеризуется резко выраженным сезонным ходом с максимальными скоростями нагрева и охлаждения соответственно над летним и зимним полюсами. Такая неравномерность нагрева порождает меридиональную циркуляцию, характеризующуюся восходящим движением на летнем полушарии и нисходящим – вблизи зимнего полюса.

Движение воздушной массы вверх в окрестности летней мезопаузы (возможно и на высотах нижней термосферы) вызывает наблюдаемые там низкие температуры из-за адиабатического охлаждения, тогда как движение её вниз в области зимней мезопаузы вызывает наблюдаемые там высокие температуры. Опускающийся воздух над высокоширотны-

ми районами земного шара в зимний период нагревается за счет адиабатического сжатия, а также за счет энергии, освобождающейся при тройном столкновении атомов кислорода, которые циркуляционным механизмом переносятся с низких широт. С другой стороны, коэффициент турбулентной теплопроводности в мезосфере и нижней термосфере испытывает характерную сезонно-широтную изменчивость. В мезосфере летом турбулентность более сильно развита, чем зимой, что связано с радиационным нагревом мезосферы. Т.е. турбулентная теплопроводность увеличивается от зимы к лету. Таким образом, несмотря на то, что радиационное нагревание летом значительно больше, чем зимой, большая интенсивность летних турбулентных мелкомасштабных вихрей производит сильный отвод тепла из мезосферы, в результате чего температура мезопаузы летом понижается. Зимой же турбулентность в мезопаузе в годы минимума солнечной активности меньше развита, и атмосфера на этих высотах оказывается теплее, чем летом.

Полученная нами закономерность изменчивости температурного режима нижней термосферы в цикле солнечной активности в зимнее время позволяет предположить, что те же процессы (циркуляция и турбулентная теплопроводность) определяют температурный режим нижней термосферы в минимуме солнечной активности.

Изучена вариация температуры нижней термосферы в зависимости от уровня солнечной активности (Рис.3).

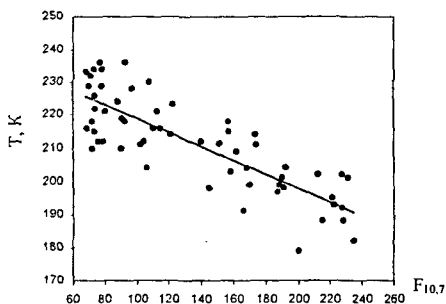


Рис.3. Зависимость среднемесячных температур нижней термосферы за 1979–1990 гг., от индекса $F_{10.7}$

Подтверждено наличие отрицательной корреляции между температурой нижней термосферы с солнечной активностью. В максимуме фазы солнечной активности наблюдаются минимальные температуры нижней термосферы и, наоборот, во время минимума фазы солнечной активности – температура нижней термосферы повышена. Хорошо прослеживаются

ся медленный подъем средних за зимний период температур, связанный с медленным спадом солнечной активности, и быстрое уменьшение температуры с резким повышением солнечной активности. Максимальная разность температуры в минимуме и максимуме солнечной активности составляет около 35 К.

Впервые показано, что зимой между температурой субавроральной нижней термосферы и плотностью потока излучения наблюдается отрицательная корреляция как в восточной, так и в западной фазах квазидвухлетних колебаний экваториального стратосферного зонального ветра (КДК). Сопоставления температуры стратосферы на уровне 30 гПа и мезопаузы с индексом $F_{10,7}$ показали, что зимой при западной фазе КДК наблюдается положительная корреляция в стратосфере и отрицательная – в мезопаузе. При восточной фазе КДК прослеживается антикорреляция в стратосфере и слабая положительная корреляция в мезопаузе (Рис.4).

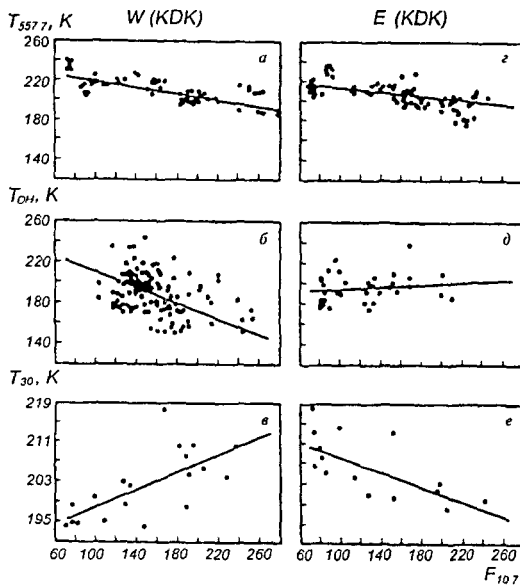


Рис.4. Сопоставление температур $T_{557,7}$, T_{Oh} , T_{30} с индексом $F_{10,7}$ в западной и восточной фазах КДК (сплошные линии – линейная регрессия)

Результаты измерений доплеровских температур эмиссии 557,7 нм [OI], которые проводились в декабре 1999 г. и в январе 2000 г. на оптическом полигоне Маймага ИКФИА СО РАН, позволили выявить вариации температуры нижней термосферы в зависимости от геомагнитной активности. В качестве индекса магнитной активности взята суточная сумма восьми трехчасовых индексов Кр. Для сопоставления с магнитными индексами Кр из накоплен-

ного наблюдательного материала были отобраны зенитные значения доплеровских температур эмиссии 557,7 нм, полученные в ночи с достаточно хорошей прозрачностью и в отсутствии визуально наблюдаемых форм сияний и вуали над горизонтом.

Исследование связи вариации температуры с магнитной активностью показало, что при прямом сопоставлении хода температуры и суммы Кр четкая корреляционная связь между температурой и геомагнитной активностью не обнаруживается. При сдвиге температур на 2–3 суток назад относительно суточной суммы Кр-индекса обнаруживается наличие корреляционной связи между ними с коэффициентом корреляции более 0,7. Обнаруженное запаздывание повышения температуры нижней термосферы после магнитных возмущений подтверждает существование эффекта последствия магнитной бури, который впоследствии получил название «композиционные волны».

В четвертой главе рассмотрено поведение доплеровской температуры субавроральной нижней термосферы во время стратосферных потеплений.

В первом параграфе сделан анализ стратосферного потепления в январе–феврале 2000 г. Данное потепление относится к классу малых и по данным мировой сети стратосферного зондирования NOAA распространилось сверху вниз. Вначале оно регистрировалось на уровне высот 2 гПа, затем с некоторым запаздыванием по времени на уровнях 10 гПа и 50 гПа. Проведенные в это время наблюдения температуры нижней термосферы (за исключением лунных периодов) показывают, что до потепления (декабрь и январь) температуры держались на уровне модельных значений, а в феврале наблюдались повышенные уровни температур в среднем на 30 К. Высокие значения температур держались до конца февраля – начала марта. С начала марта до конца сезона наблюдений температура нижней термосферы монотонно упала до уровня ~140 К со скоростью 7–8 К/сут. На основании этой последовательности распространения потепления делается вывод, что оно началось на уровне нижней термосферы, а затем распространилось вниз. В это же время в стратосфере началась вторая волна потепления одновременно на всех трех уровнях измерений. Рядом теоретических и экспериментальных

работ было установлено, что динамическая связь средней атмосферы с тропосферой осуществляется вертикально распространяющимися волновыми возмущениями планетарного масштаба. На основе проведенного здесь анализа второй волны потепления показано, что вихревая энергия распространившейся вверх планетарной волны диссипировала на высотах стратосферы, что привело к разогреву стратосферы. В результате возникла ситуация, при которой квазистационарные волны, идущие снизу вверх, запираются на высотах стратосферы, в то время как нижняя термосфера оказалась блокированной, и ее температура стала понижаться вследствие радиационного выхолаживания со скоростью 8 К/сут. Такая скорость охлаждения нижней термосферы обеспечивается инфракрасным излучением в полосе CO_2 с $\lambda=12$ мкм, которое дает охлаждение около 11 К/сут на широте $\varphi=60^\circ$.

Таким образом, результаты измерений температуры нижней термосферы, полученные нами вблизи Якутска, показывают, что в зимнее время существует динамическая связь между тропосферой и средней атмосферой вплоть до нижней термосферы. Для подтверждения этого заключения был проведен статистический анализ связи вариаций температуры субавроральной нижней термосферы с сильными зимними стратосферными потеплениями.

Измерения температуры в мезопаузе (~87 км) проводились в 1965–1970 гг. в Якутске по регистрации линий гидроксильной полосы (6,1) в ночном излучении неба в безлунные периоды на светосильных спектрографах СП-48. В нижней термосфере (~97 км) температурные измерения были проведены в Маймаге в 1979–1991 гг. на интерферометрах Фабри-Перо по линии 557,7 нм. Сведения о сильных зимних потеплениях на уровне 30 гПа (~27 км) в полярной стратосфере взяты из синоптических бюллетеней ГУГМС за период 1961–1991 гг. В анализе использованы данные о температурах на вышеуказанных уровнях высот, усредненные за два зимних месяца: январь и февраль.

Сопоставления температур на уровнях нижней термосферы, мезопаузы и стратосферы показало, что в периоды, когда на уровне 30 гПа появляются сильные зимние потепления, на высотах мезопаузы и нижней термосферы наблюдались понижения температуры.

Для оценки величины похолоданий нижней термосферы и мезопаузы предложены эмпирические уравнения, отражающие зависимость $\Delta T_{\text{Он}}$ и $\Delta T_{557,7}$ вблизи широты Якутска от ΔT_{30} во время сильных зимних потеплений полярной стратосферы. Таким образом, зная температуру максимума потепления на уровне 30 гПа, можно вычислить температуру максимума похолодания в мезопаузе и нижней термосфере с точностью не хуже 4%.

Исследования показали, что максимумы похолодания в мезопаузе и нижней термосфере запаздывают на несколько дней относительно максимумов сильных зимних потеплений в стратосфере. На основании приведенных результатов следует, что температура и время наступления похолодания зависит от интенсивности потепления в стратосфере. В мезопаузе и нижней термосфере температура понижается в среднем на 13 К (доверительная вероятность $p \geq 0,95$, коэффициент корреляции $r \geq 0,65$ в диапазоне ΔT от 4 до 23 К). Оценка показывает, что среднее время запаздывания похолодания на широте Якутска относительно дня максимального сильного потепления в полярной стратосфере составляет $\sim 16(\pm 1,2)$ сутки. Отсюда можно оценить среднюю скорость распространения метеорологического возмущения в направлении север-юг 7,7 км/час, принимая во внимание, что один градус по долготе равен 110 км.

В заключении приведены основные результаты полученные в ходе выполнения работы, которые сводятся к следующему.

1. Создан и введен в действие комплекс аппаратуры автоматизированного светосильного спектрометра Фабри-Перо, предназначенного для исследования теплового и динамического режимов термосферы по измерениям тепловых уширений и доплеровских сдвигов контуров запрещенных атмосферных эмиссий.

2. Разработана методика количественной оценки предельной чувствительности спектрометра Фабри-Перо, работающего в режиме счета фотонов, к обнаружению слабого ночного свечения. С учетом характеристик реального прибора и его приемно-регистрирующего блока показано, что в ночном небе ошибка регистрации контура эмиссии 557,7 нм не превышает 4% при времени накопления 15 сек.

3. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для управления спектрометром, для контроля его важнейших параметров, сбора, предварительной обработки и хранения данных.

4. Впервые исследованы особенности ночных, сезонных, длиннопериодных и возмущенных вариаций температуры субавроральной нижней термосферы по тепловому уширению контура кислородной эмиссии 557,7 нм [О1].

а. Показано, что ночной ход температуры нижней термосферы испытывает короткопериодические вариации, проявляющиеся преимущественно в зимние месяцы, которые становятся менее заметными к весенним месяцам. Сделан вывод, что наблюдаемые короткопериодические вариации температуры ночной нижней термосферы зимой могут быть обусловлены проникновением в термосферу волн различного масштаба из нижних слоев атмосферы.

б. Изучен многолетний сезонный ход температуры нижней термосферы, который имеет устойчивый максимум, приходящийся на декабрь и январь месяцы, обусловленный сезонным изменением характера меридиональной составляющей глобальной циркуляции верхней атмосферы и переносом из летнего полушария в зимнее значительного количества кислорода, рекомбинирующего в тройных столкновениях. Последнее приводит к выделению химической энергии, вызывающей повышение температуры на высотах зимней нижней термосферы.

5. Исследована зависимость температуры субавроральной нижней термосферы от уровня солнечной активности при разбиении данных по фазам квазидвухлетних колебаний (КДК) экваториального стратосферного зонального ветра.

а. Подтверждена отрицательная корреляционная зависимость температуры нижней термосферы от уровня солнечной активности в ее 11-летнем цикле – изменение температуры нижней термосферы происходит в противофазе с изменениями индекса солнечной активности $F_{10,7}$: повышение температуры наблюдается в периоды минимума, а ее понижение в периоды максимума солнечной активности. Полученный результат показывает существенную роль изменения меридиональной

компоненты циркуляции и турбулентной диффузии в вариациях температурного режима нижней термосферы и мезосферы в цикле солнечной активности.

б. Впервые показано, что зимой между температурой субавроральной нижней термосферы и плотностью потока излучения наблюдается отрицательная корреляция в обеих фазах КДК. Анतिकорреляция во время западной несколько выше, чем в период восточной фаз КДК. Весной отрицательная корреляция наблюдается в период восточной и практически отсутствует в период западной фазы КДК. Осенью также наблюдается отрицательная корреляция во время западной и восточной фаз КДК.

в. Сопоставления температуры стратосферы на уровне 30 гПа и мезопаузы с индексом $F_{10,7}$ показали, что зимой при западной фазе КДК наблюдается положительная корреляция в стратосфере и отрицательная – на высотах мезопаузы. При восточной фазе КДК антикорреляция прослеживается в стратосфере и слабая положительная корреляция в мезопаузе.

г. Средняя за зимний период антикорреляция наиболее сильно выражена в мезопаузе и в нижней термосфере при западной фазе КДК.

б. Впервые экспериментально обнаружен эффект последствия магнитной бури в вариациях температуры ночной нижней термосферы над Якутском с задержкой на 2–3 дня от начала магнитного возмущения.

7. Впервые произведен статистический анализ связи вариаций температуры субавроральной нижней термосферы с зимними сильными стратосферными потеплениями. Подтверждено, что основным механизмом передачи энергии из нижних слоев атмосферы в верхние являются крупномасштабные волновые процессы типа планетарных волн.

В приложении приведены характеристики использованных интерференционных светофильтров, а также листинг программы управления и сбора данных, составленный на языке программирования Borland C++ 3.1 и библиотеки классов Turbo vision.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Югов В.А., Николашкин С.В., Игнатъев В.М. Связь температуры субавроральной нижней термосферы с солнечной активностью и фазами квазидвухлетних колебаний // Геомагнетизм и аэронавигация. – 1997. – Т.37. – №6. – С.108–112.
2. Югов В.А., Николашкин С.В., Игнатъев В.М. Связь температуры средней атмосферы с солнечной активностью и фазами КДК на субавроральных широтах // Геомагнетизм и Аэронавигация. – 1998. – Т.38. – №1. – С.141–146.
3. Югов В.А., Николашкин С.В., Игнатъев В.М. Связь температуры субавроральной мезопаузы и нижней термосферы с температурой полярной стратосферы во время зимних сильных потеплений // Геомагнетизм и аэронавигация. – 1998. – Т.38. – №1. – С.115–121.
4. Игнатъев В.М., Николашкин С. В., Югов В.А., Авксентьев А.Г., Аммосов П.П. Светосильный спектрометр Фабри-Перо // Приборы и техника эксперимента. – 1998. – № 4. – С. 107–110.
5. Ignatyev V.M., Nikolashkin S.V. High Luminosity Fabry-Perot Spectrometer for Study the Upper Atmosphere Temperature and Dynamics // Physics of Auroral Phenomena. Proc. of the 21st Annual Seminar. Apatity. 24–27 March 1998. Apatity. 1998. – P. 45–47.
6. Nikolashkin S.V., Ignatyev V.M., and Yugov V.A. Behaviour of Subauroral Lower Thermosphere and Mesopause Temperature During Polar Stratosphere Winter Strong Warmings (JSA20/W/31-A4 1200-19) // Abstracts IUGG 99, week A, 19–24 July 1999, Birmingham. – 1999. – P. A106.
7. Nikolashkin S. V., Ignatyev V. M., and Yugov V. A. Relationship the Subauroral Middle Atmosphere Temperature with Solar Activity and QBO Phases (JSA20/W/43- A4 1200-23) // Abstracts IUGG 99, week A, 19–24 July 1999, Birmingham. – 1999. –P.A106.
8. Ignatyev V.M., Nikolashkin S.V. Response of the Subauroral Lower Thermosphere and Mesopause Temperature on Polar Stratospheric Strong Winter Warming // J.Atmos.Solar.Terr.Phys. – V.62. 2000. (в печати)
9. Ignatyev V.M., Nikolashkin S.V. Solar Activity and QBO Influence on the Temperature Regime of Subauroral Middle Atmosphere // J.Atmos.Solar. Terr.Phys. – V.62. 2000. (в печати).