

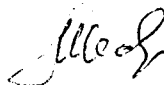
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ИНСТИТУТ КОСМОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И АЭРОНОМИИ

РГБ 04

1 2 1998

На правах рукописи



ШЕСТАКОВА Любовь Васильевна

УДК 550.388.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ  
ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В ОБЛАСТИ  
ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ**

04.00.23 - Физика атмосферы и гидросферы

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Якутск - 1998

Работа выполнена в Институте космофизических  
исследований и аэронавтики СО РАН

Научные руководители: доктор физико-математических  
наук, профессор Гальперин Ю.И.,  
кандидат физико-математических  
наук, с.н.с. Афонин В.В.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических  
наук, профессор Пономарев Е.А.  
кандидат физико-математических  
наук, доцент Соловьев Т.Н.

Ведущая организация: Институт земного магнетизма и  
распространения радиоволн РАН

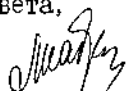
Защита диссертации состоится "22 апреля 1998 г. в  
10 часов на заседании Диссертационного Совета  
К200.40.01 в Институте космофизических исследований и аэронавтики СО РАН по адресу: 677891, г.Якутск, пр.Ленина, 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИКФИА СО  
РАН.

Автореферат разослан "20 марта 1998 г.

Ученый секретарь Диссертационного Совета,

кандидат физико-математических наук



Л.П. Шадрина

### Общая характеристика работы.

В диссертации представлены результаты исследования распределения электронной концентрации в области высокоширотной ионосферы по спутниковым измерениям и по данным цепочки ионозондов вдоль Якутского меридиана.

### Актуальность темы.

Интерес к исследованию высокоширотной авроральной ионосферы заключается в том, что эта область наибольшим образом отражает магнитосферно-ионосферное взаимодействие и содержит такие структуры как главный ионосферный провал (ГИП), поляризационный джет, касп, дневные провалы и т.д. Несмотря на то, что в настоящее время изучению этих структур посвящено множество работ отечественных и зарубежных авторов нельзя считать вопрос исследования высокоширотной ионосферы закрытым. С помощью спутников, имеющих удовлетворительную частоту измерений, и стационарных наземных станций зондирования ионосферы с многолетним непрерывным рядом данных предоставляется большая возможность более углубленного исследования пространственно-временных характеристик выше упомянутых структур. В практическом смысле этот вопрос тесно связан с освоением большого региона Крайнего Севера нашей страны, где прежде всего необходима надежная, устойчивая радиосвязь между отдаленными друг от друга пунктами временного и постоянного проживания людей, и для слежения за самолетной навигацией в условиях Арктики и Антарктики. Потому исследование поведения глобальных структур высокоширотной ионосферы является актуальным и в настоящее время.

Цель диссертационной работы состоит в следующем:

Исследование с помощью спутниковых и наземных измерений характеристик плазмы высокоширотной ионосферы, а именно: долготных

особенностей, эффекта ММП в положении главного ионосферного провала в северном и южном полушариях, проявления дневного провала ионизации, определения местоположения дневного полярного каспа, построение для Северо-Восточного региона страны эмпирической модели распределения критических частот слоев E и F субавроральной ионосферы.

#### Научная новизна.

Впервые для Северо-Восточного региона страны по 11-летнему солнечному циклу создана эмпирическая модель значения критических частот слоев E и F ионосферы.

По большому массиву данных измерений концентрации электронов на борту спутника "Космос-900" дано морфологическое описание дневных провалов: положение минимума дневных провалов в зависимости от сезона и условий магнитного возмущения.

Также при использовании этих данных исследованы долготные особенности вариаций минимума главного ионосферного провала в южном и северном полушариях для зимних условий как в освещенное, так и в неосвещенное время суток, а также зависимость положения этого минимума при тех же условиях от изменения азимутальной и горизонтальной составляющих межпланетного магнитного поля (ММП).

По данным измерений со спутников электронной температуры и сопоставления их с данными одновременных измерений характеристик вторгающихся электронов установлены характерные проявления дневного полярного каспа, которые могут быть использованы для мониторинга в интересах краткосрочного прогноза "космической погоды".

#### На защиту выносятся следующие:

1. Создание региональной эмпирической модели распределения критических частот ионосферных слоев F2 и E в зависимости от ши-

роты, местного времени, сезона и уровня солнечной активности.

2. Проявление дневного высокоширотного провала электронной концентрации во всех сезонах года и зависимость его положения от условий возмущенности по данным спутника "Космос-900".

3. Определение зависимости положения главного ионосферного провала от  $V_z$  и  $V_y$ -составляющих ММП в северном и южном полушариях как в ночном, так и в послеполуденном секторах по данным спутника "Космос-900".

4. Определение области дневного полярного каспа и возможности его мониторинга по наземным данным при помощи высокоширотного ионозонда.

#### Научная и практическая ценность.

1. Предложенная эмпирическая модель распределения критических частот слоев E и F уже нашла свое применение в задачах по прогнозированию самолетной радиосвязи в КВ-диапазоне в условиях Крайнего Севера и Дальнего Востока.

2. По экспериментальным данным спутника "Космос-900" более подробно исследованы характеристики и динамика таких высокоширотных ионосферных структур, как дневной провал, дневной полярный касп/клефт, и показана возможность их мониторинга с помощью наземных ионозондов.

3. Показано, что широтное положение главного ионосферного провала меняется в зависимости от ММП по-разному в северном и южном полушариях и дано объяснение этого различия.

#### Личный вклад автора.

Автор работы самостоятельно занималась разработкой региональной эмпирической модели критических слоев E и F, проводила все теоретические расчеты, необходимые для выполнения диссертаци-

онной темы, а также принимала непосредственное участие в создании банка данных по измерениям концентрации ионов и температуры электронов на борту спутника "Космос-900", в обобщении экспериментальных данных и в научном анализе всех результатов диссертации.

#### Апробация работы.

Научные результаты, изложенные в диссертации, докладывались на научных семинарах Института космических исследований и аэронавтики Сибирского отделения РАН, на Международном семинаре по высокоширотной ионосфере в ГДР (Гарцау, 1987), на симпозиуме КАИП (Самарканд, 1988), на международном симпозиуме COSPAR в Англии (Бермингем, 1996), на IV Русском семинаре (НИИФ, Москва, 1996).

#### Краткое содержание работы

**Во введении** кратко показана актуальность работы, описана научная новизна и практическая ценность работы. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** дано подробное описание цепочки ионосферных станций, расположенных вдоль Якутского меридиана, и преимущество многолетней работы такого наземного комплекса для измерения и исследования структуры высокоширотной ионосферы. Здесь же приведено описание характеристик орбиты спутника "Космос-900", на борту которого были проведены измерения характеристик плазмы в течение почти трех лет. Созданная база данных измерений тепловой плазмы с этого спутника легла в основу научного анализа представленной работы. Кроме того приведены характеристики орбиты спутника "Интеркосмос-19" и параметры работы ионосферного ионозонда, установленного на борту этого спутника. Ионограммы, полученные с помощью данного ионозонда использованы для построения высот-

но-частотных характеристик вдоль всей толщи ионосферы в регионе Якутии.

**Во второй главе** приведена региональная эмпирическая модель распределения критических частот слоев E и F ионосферы, построенная по большому непрерывному ряду измерений ионосферных параметров на Якутской меридиональной цепочке станций ионосферного зондирования. В этой же главе одна из подглав посвящена исследованию вертикального распределения электронной концентрации путем сопоставления данных Якутской цепочки ионозондов и синхронных данных зондирования верхней ионосферы со спутника "Интеркосмос-19" над цепочкой. Там же дано морфологическое описание наличия дневных провалов ионизации в разных сезонах года, зависимость положения этого дневного провала от уровня геомагнитной активности.

В результате проведенных исследований, описанных в этой главе, сформулированы следующие выводы:

1. На базе 11-летнего цикла измерений foF2 с помощью наземных ионозондов для невозмущенных условий создана эмпирическая модель распределения критических частот слоев F2 и E в зависимости от широты, местного времени, сезона и уровня солнечной активности. Модель может быть рекомендована для прогноза условий распространения КВ-радиоволн в Северо-Восточном регионе страны.

2. По проведенным сопоставлениям высотных профилей электронной концентрации для Якутского региона, полученных по измерениям ИСЗ "Интеркосмос-19" (N(h)-профиль внешней ионосферы) и на наземных ионосферных станциях Якутск-Жиганск-Тикси в период высокой солнечной активности (1979-80г.) выявлено, что стыковка верхнего и нижнего N(h)-профилей наиболее удовлетворительна в летний период. Результирующие N(h)-профили дают хорошее согласие

с общепланетарной моделью IRI для летнего периода. Для зимних условий при наличии ГИП на широтах Якутского региона такая стыковка была невозможна, поскольку наличие ГИП дает большую диффузность на ионограммах спутника "Интеркосмос-19" и делает их трудно интерпретируемыми.

3. По данным спутника "Космос-900" выявлена устойчивая структура дневного ионосферного провала в F-области, а именно:

а) дневной провал наблюдается во всех сезонах года;

б) широтный размер дневных провалов колеблется от 1 до 2.5 градусов;

в) инвариантная широта минимума дневного провала колеблется от 75 градусов в спокойных условиях до 70 в возмущенных.

**В третьей главе** по измерениям электронной концентрации на борту спутника "Космос-900" приведены исследования долготных особенностей главного ионосферного провала и влияния вертикальной и азимутальной составляющей ММП на положение провалов ионизации в высокоширотной ионосфере как в северном, так и в южном полушариях.

В результате исследования зависимости вариаций положения главного ионосферного провала от долготы и параметров ММП в северном и южном полушариях в этой главе получено следующее:

1. Показано, что долготные вариации положения провала в разных полушариях различны. В северном полушарии они имеют форму целой волны ( $180^\circ$ ) с полуамплитудой  $4-6^\circ$  по широте как в дневном, так и в ночном секторах; в южном полушарии одноволновая форма ( $360^\circ$ ) с амплитудой  $\sim 6^\circ$  ночью и  $10-12^\circ$  днем.

2. Положение провала зависит от направления  $B_z$  ММП. Зависимость одинакова для обоих полушарий и более выражена для  $B_z < 0$  в



северном полушарии и для  $V_y > 0$  в южном полушарии. В ночном секторе также как и в дневном, провал смещается к полюсу на  $\sim 0.7^\circ$  при увеличении  $V_z$  на  $1nT$ .

3. Влияние азимутальной составляющей ММП на положение провала наиболее выражено, когда имеется северная составляющая ММП ( $V_z > 0$ ). Эффект в разных полушариях местной зимой не одинаков. Провал смещается к полюсу (экватору) при  $V_y < 0$  ( $V_y > 0$ ) в северном полушарии и при  $V_y > 0$  ( $V_y < 0$ ) в южном полушарии. Таким образом, обе составляющие ММП как вертикальная, так и азимутальная влияют на смещение провала в одном и том же направлении в южном полушарии (июньское солнцестояние), но в противоположном направлении в северном полушарии (декабрьское солнцестояние).

4. Эти полученные результаты показывают на необходимость корректировки существующих моделей по динамике провала. Установленные вариации положения провала от долготы и параметров ММП сравнимы с дневными вариациями и с влиянием геомагнитной активности.

**В четвертой главе** по данным спутниковых измерений электронной температуры, спектра вторгающихся электронов и сопоставления их с одновременным зондированием ионосферы описана возможность установления проявления дневного полярного каспа ("автографа") по характерным следам на ионограммах высокоширотной станции наклонного зондирования.

В последнее время большой интерес среди исследователей вызывает дневной полярный касп и идентификация его положения с помощью имеющихся в наличии наземных экспериментальных установок. Это важно для текущего контроля состояния магнитосферы и краткосрочного прогноза так называемой "космической погоды". Наклонные

отражения возникают на резких широтных градиентах электронной концентрации  $N_e$  вблизи полярной стенки главного ионосферного провала и на экваториальной границе дневного каспа. Таким образом возникает возможность дистанционной локализации ионосферной структуры, обусловленной вторжением в ионосферу энергичных частиц магнитослоя и связанных с каспом структур продольного тока и конвекции плазмы. Эти результаты в принципе позволяют создать систему ионосферного зондирования для мониторинга положения каспа как элемента системы прогноза "космической погоды".

Основные выводы данной главы состоят в следующем:

1. По измерениям тепловой плазмы в ионосфере со спутника K-900 и вторгающихся электронов дневного каспа со спутников DMSP установлены характерные полярные пики в широтном распределении  $N_e$  и  $T_e$  протяженностью около 2-х градусов, которые являются ионосферным "автографом" дневного полярного каспа/клефта.

2. Используя ионозонд, расположенный на широте  $ILAT=65$  градусов и оснащенный горизонтальной ромбической антенной для наклонного зондирования, можно проводить систематический мониторинг области дневного полярного каспа/клефта с территории нашей страны в интересах краткосрочного прогноза "космической погоды".

3. Показано, что минимумы электронной концентрации дневного провала локализованы на 2-4 градуса экваториальнее каспа. Структура дневного провала в секторе 16.00 MLT примыкает к главному ионосферному провалу.

**В заключении** приводятся основные результаты и выводы диссертационной работы:

1. На базе 11-летнего цикла измерений электронной концентрации для невозмущенных условий создана эмпирическая модель распре-

деления критических частот слоев F2 и E в зависимости от широты, местного времени, сезона и уровня солнечной активности.

2. По данным "Космос-900" выявлено устойчивое проявление дневного провала во всех сезонах года; его широтный размер лежит в пределах от 1 до 2.5 градусов, а его положение зависит от уровня геомагнитной возмущенности.

3. По данным спутника "Космос-900" выявлена и объяснена зависимость положения главного ионосферного провала от  $B_z$ -составляющей ММП. Эта зависимость одинакова в обоих полушариях и лучше выражена при азимутальной составляющей  $B_y < 0$  в северном и при  $B_y > 0$  в южном полушариях. Ионосферный провал как в ночном, так и в послеполуденном секторах перемещается на 0.7 градуса на единицу  $B_z$ .

4. Влияние азимутальной составляющей  $B_y$  ММП на положение провала наиболее четко выражено при северной компоненте ММП ( $B_z > 0$ ). В отличие от эффекта  $B_z$ -составляющей оно различно в разных полушариях. Провал смещается к полюсу (экватору) при  $B_y < 0$  ( $B_y > 0$ ) в северном и при  $B_y > 0$  ( $B_y < 0$ ) в южном полушариях. То есть, обе компоненты ММП (и вертикальная, и азимутальная) действуют на провал в одном направлении в южном полушарии и в противофазе в северном.

5. По измерениям тепловой плазмы в ионосфере со спутника "Космос-900" и вторгающихся электронов дневного каспа со спутников DMSP установлено, что:

а) проявлением дневного полярного каспа в ионосфере являются характерные полярные пики в широтном распределении концентрации электронов  $N_e$  и температуры электронов  $T_e$  протяженностью около 2-х градусов;

б) используя наземный ионозонд, расположенный на широте

ILAT=65 градусов (например, с территории Якутии) и оснащенный горизонтальной ромбической антенной для наклонного зондирования, можно регистрировать положение каспа, что позволяет проводить систематический мониторинг области дневного полярного каспа/клеф-та;

в) дневные минимумы электронной концентрации локализованы на 2-4 градуса экваториальнее каспа и структура дневного провала около 16.00 MLT примыкает к главному ионосферному провалу.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Зикрач Э.К., Мамруков А.П., Филиппов Л.Д., Халипов В.Л., Шестакова Л.В. N(D)-профили по ионограммам ВЗ и ВНЗ и их интерпретация. // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. М.Наука, 1982, вып.59, с.44-47.

2. Филиппов В.М., Шестакова Л.В. Гальперин Ю.И., Полоса быстрого дрейфа ионов в субавроральной F-области и ее проявление в структуре высокоширотной ионосферы. // Космические исследования, 1984, т. XXII, N 4, с.557-564.

3. Benkova N.P., Fedjakina N.I., Zikrach E.K., Schestakova L.V., Strod N.S. Post-storm variations of the ELF-VLF emissions and ionospheric parameters. // Phys. Solariterr., Potsdam, 1984, v.24.

4. Мамруков А.П., Шестакова Л.В., Зикрич Э.К., Строд Н.С., Филиппов Л.Д. Эмпирическая модель распределение ионизации в E- и F-слоях на широтах главного провала. В кн.: Геофизические исследования на широтах авроральной зоны. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1986, с.67-74.

5. Афонин В.В., Беспрованная А.С., Бенькова Н.П., Зикрач

Э.К., Мамруков А.П., Строд Н.С., Шестакова Л.В. Влияние ММП на положение дневного каспа. // Ионосферные проявления солнечного ветра. Прага, 1988.

6. Бенькова Н.П., Зикрач Э.К., Коченова Н.А., Кушнеревский М.Д., Мамруков А.П., Строд Н.С., Флигель М.Д., Шестакова Л.В. Вертикальное распределение электронной концентрации в Якутском регионе. // Препринт N11(765), Москва, ИЗМИРАН, 1988, 12 с.

7. Афонин В.В., Беспрозванная А.С., Бенькова Н.П., Зикрач Э.К., Мамруков А.П., Строд Н.С., Шестакова Л.В., Шука Т.И. Влияние ММП на дневной провал по данным ИСЗ "Космос-900" // Геомагнетизм и аэрономия, 1989, т. XXIX, с. 865-867.

8. Афонин В.В., Бенькова Н.П., Зикрач Э.К., Шестакова Л.В., Мамруков А.П., Строд Н.С. Долготные проявления главного ионосферного провала по данным ИСЗ "Космос-900" // Геомагнетизм и аэрономия, 1988, N2, с. 311-313.

9. Беспрозванная А.С., Бенькова Н.П., Зикрач Э.К., Шестакова Л.В., Шука Т.И., Козлов Е.Ф., Саморокин Н.И., Афонин В.В. Влияние ММП на динамику главного ионосферного провала в ночные и дневные часы. // Геофизические явления на авроральных широтах. Сб. научных трудов. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1990, с. 53-58.

10. Голиков И.А., Зикрач Э.К., Шестакова Л.В. Суточные изменения широтных профилей электронной концентрации в субавроральной ионосфере. // Геомагнетизм и аэрономия, 1990, т. 30 с. 678-679.

11. Afonin V.V., Benkova N.P., Besprozvannay A.S., Shchuka T.I., Zikrach E.K., Schestakova L.V. The ionospheric trough dynamics in the northern and southern hemispheres: the longitudinal and IMF effects. // J. of Atm. and Terr. Phys., 1995, v. 57, N 9,

pp. 1057-1062.

12.Афонин В.В., Деминов М.Г., Карпачев А.Т.; Бенькова Н.П., Беспрозванная А.С., Шестакова Л.В., Шмилауэр Я., Шука Т.И. Долготные вариации положения главного ионосферного провала в условиях зимней ночи по данным спутников "Космос-900" и "Интеркосмос-19" // Геомагнетизм и аэрномия, 1992, т.34, N 2, с.75-78.

13.Шестакова Л.В., Афонин В.В., Халипов В.Л., Степанов А.Е., Зикрач Э.К. Особенности высокоширотной ионосферы в полуденные часы во время возмущения 29 августа 1979 г. // Геомагнетизм и аэрномия, 1997 (сдана в печать)

14.Shestakova L.V., Stepanov A.E., Khalipov V.L., Mamrukov A.P., Filippov L.D., Zikrach E.K., Afonin V.V. High-latitude ionosphere structure in dayside sector on ground-based and satellite measurements // Adv. Space Res., Vol.20, No.3, pp.415-418, 1997.

Соискатель диссертационной работы



Л.В.Шестакова