

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Захаров Иван Григорьевич

И. Захаров

РАЗВИТИЕ МОДЕЛЕЙ СПОКОЙНОЙ И ВОЗМУЩЕННОЙ ИОНОСФЕРЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ
РАДИОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

01.04.03 - радиофизика

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Харьков - 1993

АВ 27.242

Работа выполнена в Харьковском государственном университете

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, лауреат Государственной премии УССР, доцент Тирнов Олег Федорович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Солодовников Геннадий Константинович (Харьковский военный университет); доктор физико-математических наук Ямпольский Юрий Моисеевич (Радио-астрономический институт АН Украины)

Ведущая организация: Институт ионосферы АН Украины и ИКНОбразования Украины

Защита состоится "11" июня 1993 г. в 15³⁰ часов на заседании специализированного совета Д 053.06.04 Харьковского государственного университета по адресу: 310077, г. Харьков, пл. Свободы, 4 в ауд. № 3-9.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке Харьковского госуниверситета.

Автореферат разослан "23" апреля 1993 г.

Ученый секретарь специализированного совета к.ф.-м.н., доцент

В.И.Чеботарев

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00803012 (E)

ЛНБ ім. В. Стефаніка АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тем. Основными факторами, определяющими вариации параметров области $F2$ ионосферы и характеристик распространяющихся через нее радиоволн, являются коротковолновое и коротковолновое излучения Солнца. Кроме того, существенным часто может оказаться влияние внутренних атмосферных волн, вызванных землетрясениями, фронтами погоды, выбросами химических веществ и другими факторами естественного и искусственного происхождения. Первые два фактора, в основном, определяют долговременные (в 11-летнем цикле солнечной активности) и кратковременные (в течение 27-суточного оборота Солнца вокруг своей оси) вариации ионосферы, остальные же приводят к появлению возмущений в ионосфере. К настоящему времени выполнен большой объем исследований обсуждаемых вариаций, позволивших разработать модели и методики для решения широкого круга прикладных задач. В частности, для задач трансionoсферного распространения радиоволн разработаны модели полного электронного содержания N_o ионосферы; для прогнозирования условий связи на коротковолновых радиолиниях имеются методики прогноза критической частоты области $F2 - f_oF2$ - с различным набором входных параметров; выполнены теоретические и модельные расчеты влияния возмущений ионосферы на характеристики распространения радиоволн. Однако эти модели и методики прогноза имеют существенные недостатки. Так, модели N_o не позволяют проводить расчеты фазового запаздывания, рефракции и других характеристик распространения радиоволн для произвольных гелиогеофизических условий или не учитывают существенных для решения этих задач особенностей пространственно-временного распределения N_o ; модели разработаны на основе данных, относящихся к спокойным условиям в ионосфере. Используемая в ионосферно-магнитной службе методика прогноза f_oF2 не позволяет осуществлять автоматизированный выбор оптимальных рабочих частот и часто не удовлетворяет потребителей по точности прогноза; другие методики требуют для своей реализации непрерывно работающих в данном регионе ионосферных станций. Расчеты характеристик распространения, обусловленных ионосферными возмущениями, как правило, выполнены с использованием ряда существенных упрощений, что затрудняет их использова-

ние при интерпретации результатов ионосферных измерений радио-физическими методами.

Цель работы - развитие прогностических моделей полного электронного содержания и критической частоты области $F2$ среднеширотной ионосферы и оценка влияния волновых ионосферных возмущений и выбросов химических веществ на характеристики трансфоносферного распространения радиоволн.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- показано, что для корректного учета пространственно-временных вариаций параметров ионосферы, определяющих характеристики распространения радиоволн, целесообразно учитывать влияние на ионосферу как солнечной, так и геомагнитной активностей;

- выявлены особенности сезонных вариаций N_o на разных фазах солнечного цикла, предложена физическая интерпретация этого явления;

- установлены особенности кратковременных вариаций f_oF2 в различных гелиогеофизических условиях; показано, что эти особенности определяются, в основном, динамическим режимом верхней атмосферы;

- на основе экспериментальных данных о полном электронном содержании, полученных методами радиопросвечивания ионосферы, разработана модель этого параметра в интервале широт $25 - 70^\circ N$; благодаря учету нелинейности связи N_o с индексами солнечной и геомагнитной активностей модель отражает все основные особенности пространственно-временного распределения N_o и может быть использована для расчета характеристик трансфоносферного распространения радиоволн не только в спокойных, но и магнитовозмущенных условиях (кроме периодов сильных магнитных бурь);

- с использованием банка данных, полученных методом вертикального зондирования, разработана методика количественного краткосрочного прогноза критической частоты области $F2$ в интервале широт $40 - 60^\circ N$ для произвольных гелиогеофизических условий по индексам солнечной и геомагнитной активностей; основное отличие данной методики от применяемых в настоящее время состоит в том, что вместо стандартных индексов геомагнитной активности в ней используется специально разработанный для прогностических целей индекс, позволяющий учитывать особенности отклика ионосферы на изменение уровня геомагнитной активности в раз-

личных условиях;

- получены численные оценки влияния волновых ионосферных возмущений и выбросов химических веществ на характеристики транс-ионосферного распространения радиоволн.

Научная и практическая значимость. Основные положения диссертации важны для лучшего понимания физических процессов, определяющих морфологию и динамику среды распространения радиоволн. Обобщенные в модели и методике прогноза особенности поведения области F_2 ионосферы создают предпосылки для дальнейшего развития теоретических моделей. Практическая значимость выполненной работы определяется возможностью ее использования для расчета характеристик распространения радиоволн, прогнозирования состояния ионосферы и повышения достоверности анализа измерений радиофизическими методами.

Использование и внедрение. Диссертационная работа выполнена на радиофизическом факультете Харьковского госуниверситета в рамках научного направления исследований кафедры космической радиофизики: "Связь параметров среды с эффектами, возникающими при распространении КВ и УКВ в околоземной космической плазме". Результаты работы использованы при выполнении 7 плановых НИР и НИР "Наземные исследования ионосферы радиофизическими методами" (номер гос. регистрации ОІ83.00033І2), "Исследование возмущений в нижней ионосфере, возникающих под действием естественных и искусственных факторов" (номер гос. регистрации ОІ87.00І6І42). Результаты НИР внедрены в народное хозяйство, а исполнители премированы; результаты НИР вошли также в цикл работ, удостоенный в 1989 г. Государственной премии УССР.

На защиту выносятся следующие положения работы.

1. Модель полного электронного содержания ионосферы в интервале широт $25 - 70^\circ \text{N}$.

2. Методика краткосрочного прогноза критической частоты области F_2 среднеширотной ионосферы по индексам солнечной и геомагнитной активностей.

3. Результаты исследования особенностей вариаций полного электронного содержания и критической частоты области F_2 среднеширотной ионосферы под воздействием солнечной и геомагнитной активностей.

4. Результаты расчета влияния волновых ионосферных возмущений

и выбросов в атмосферу химических веществ на характеристики трансионосферного распространения радиоволн.

Личный вклад. Автор принимал участие в постановке задачи и анализе полученных результатов. Сбор экспериментальных данных, разработка алгоритмов и программ расчетов, алгоритмов модели и методики и все расчеты выполнены автором, в основном, самостоятельно.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в II печатных работах.

Апробация работы. Результаты диссертации доложены и одобрены на 9 конференциях и семинарах: XIV Всесоюзной конференции по распространению радиоволн (Ленинград, 1984); VII, VIII и X Всесоюзных семинарах по ионосферному моделированию (Иркутск, 1984; Ростов-на-Дону, 1986; Казань, 1990); V и VII Всесоюзных семинарах по ионосферному прогнозированию (Суздаль, 1987; Иркутск, 1991); Всесоюзной конференции "Физика космической плазмы" (Бреван, 1989); Всесоюзном семинаре "Наблюдательные и физические аспекты гелиогеофизического прогнозирования" (Калуга, 1988); II Всесоюзной научно-технической конференции "Методы представления и обработки случайных сигналов и полей" (Харьков, 1991).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех частей, заключения и двух приложений, изложенных на 97 страницах текста, содержит 36 рисунков и 15 таблиц; список цитируемой литературы включает 157 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы ее цель и защищаемые положения, охарактеризованы новизна, научное и практическое значение, апробация работы.

Первая часть диссертации посвящена обзору результатов исследования и моделирования вариаций ионосферных параметров под воздействием солнечной и геомагнитной активностей. Кратко рассмотрены основные особенности и физическая природа ионосферных возмущений. При изложении вопросов моделирования основное внимание уделено моделям полного электронного содержания и сравнительному анализу методик краткосрочного прогноза. Выявлены ограничения применимос-

ти существующих в настоящее время моделей N_o , методик прогноза f_oF2 и расчетов характеристик распространения радиоволн через возмущенную ионосферу. Сформулированы задачи, которые необходимо решить для устранения этих ограничений.

Вторая часть посвящена изложению результатов исследования вариаций N_o и f_oF2 под воздействием солнечной и геомагнитной активностей. Необходимость такого исследования связана с недостатком корректным учетом уровня геомагнитной активности при исследовании долговременных вариаций и противоречивостью полученных ранее результатов об особенностях кратковременных вариаций обсуждаемых параметров. Полученные результаты важны как для моделирования ионосферы, так и для решения ряда задач в области физики ионосферы.

Анализ долговременных вариаций области $F2$ ионосферы (раздел 2.1) выполнен, в основном, с использованием экспериментальных данных о полном электронном содержании N_o ионосферы за 1958 - 1982 гг., полученных на большом числе станций в интервале широт $\sim 25 - 70^\circ N$ по регистрациям эффектов Доплера и Фарадея сигналов спутниковых радиомаяков. Показано, что для количественного описания вариаций N_o в 11-летнем солнечном цикле целесообразно использовать нелинейное соотношение между N_o и индексами солнечной и геомагнитной активностей, степень нелинейности которого зависит от сезона. Установлены также особенности сезонных вариаций N_o на разных фазах солнечного цикла. Для дневных условий эти особенности заключаются в изменении амплитуды и времени наступления осеннего и весеннего максимумов, а также в изменении амплитуды сезонной аномалии. Отмеченные особенности справедливы и для f_oF2 , хотя и проявляется не так отчетливо. Для ночных значений N_o зависимость от фазы солнечного цикла состоит в появлении на фазе спада солнечной активности двух максимумов вблизи равноденствий вместо одного летнего. Показано, что установленные особенности сезонных вариаций N_o определяются влиянием на N_o , кроме солнечной, уровня геомагнитной активности. Механизмом такого влияния является усиление направленного на юг нейтрального ветра при повышенном уровне геомагнитной активности.

Анализ кратковременных вариаций ионосферы (раздел 2.2) прове-

ден, в основном, с использованием значений критической частоты $\delta f_o F2$ (отклонения критической частоты от ее медианных значений) для ст. Москва за 1969 - 1987 гг. и других станций ВЗ за отдельные годы из этого периода. Так как известные из литературы результаты получены для разнородных рядов экспериментальных данных, этот анализ проведен в несколько этапов.

На первом этапе исследована устойчивость суточного хода $\delta f_o F2$ и взаимосвязь вариаций $\delta f_o F2$ ото дня ко дню в различные часы местного времени. Получено, что значения $\delta f_o F2$ в 03 и 15 LT., а также в 09 и 21 LT. значительно лучше подходят для исследования изменчивости ионосферы ото дня ко дню, чем обычно используемые полуденные и полуночные значения этой величины. Этот результат является следствием хорошо известной несимметричности суточных вариаций параметров как ионосферы, так и нейтральной атмосферы относительно полудня и полуночи и особенностей суточных вариаций $\delta f_o F2$ в утренние и вечерние часы. Показано также, что устойчивость суточного хода $\delta f_o F2$ (в целом высокая, за исключением характерного нарушения устойчивости суточного хода $\delta f_o F2$ в ~ 16 LT. для зимних условий), значительно зависит от уровня солнечной активности, сезона и времени суток, но слабо - от уровня геомагнитной активности.

На втором этапе для выбранных моментов времени в 03, 09, 15 и 21 LT. проведен анализ связи между вариациями $\delta f_o F2$ и трехчасовыми α -индексами геомагнитной активности в данный и два предшествующих дня. Результаты расчетов свидетельствуют о существенной изменчивости характера связи вариаций $\delta f_o F2$ и α -индексов в зависимости от гелиогеофизических условий, что проявляется прежде всего в изменении запаздывания отклика ионосферы на вариации геомагнитной активности. Величина этого запаздывания изменяется от 0 - 3 часов ночью в максимуме солнечной активности до ~ 24 и более часов зимней ночью - в минимуме солнечной активности. Следует отметить, что в большинстве случаев (~ 80 %) максимальное влияние на ионосферу оказывает вариации геомагнитной активности в вечерние и ночные часы, соответствующие максимуму поступления энергии в авроральную зону ионосферы за счет джоулева нагрева. Полученные результаты позволили выделить для различных условий интервалы местного времени, вариации геомагнитной активности внутри которых оказывают максимальное воздействие на ионосферу.

Средний уровень геомагнитной активности внутри этих интервалов принят в качестве индекса геомагнитной активности α^* , характеризующегося коэффициентами корреляции $r \approx (-0,80)$ ночью и $r \approx (-0,65)$ днем между вариациями $\delta f_o F2$ и вариациями геомагнитного поля. Использование этого индекса позволяет повысить точность краткосрочного прогноза по сравнению с использованием как среднесуточных, так и трехчасовых индексов.

На третьем этапе с использованием индексов солнечной ($F_{10,7}$) и геомагнитной (α^*) активностей методом наложения эпох исследованы вариации $\delta f_o F2$ в течение 27-суточного оборота Солнца вокруг своей оси. Анализ результатов расчетов показал, что квазигармонический характер 27-суточных вариаций $\delta f_o F2$, обусловленный коротковолновым излучением Солнца, сохраняется почти без искажений лишь в 15 LT для зимних условий. Во всех остальных случаях существенно влияние геомагнитной активности, которое в 03 LT зимой становится определяющим. Эти результаты свидетельствуют о том, что запаздывание отклика ионосферы на изменения солнечной активности определяется прежде всего влиянием на ионосферу геомагнитной возмущенности. На основе сравнительного анализа вариаций $\delta f_o F2$ (после исключения влияния солнечной активности) и α^* получено также, что различие спокойных и магнитовозмущенных условий в ионосфере носит скорее количественный, чем качественный характер. Из этого следует возможность и предпочтительность подхода к краткосрочному прогнозированию, при котором условия в ионосфере не разделяются на спокойные и магнитовозмущенные.

Особо исследованы 27-суточные вариации $\delta f_o F2$ для послеполюденных зимних условий. Для этого случая привлекались также данные о ветрах в нейтральной атмосфере. Получено, что характерное для этих условий нарушение стабильности суточного хода $\delta f_o F2$ связано с быстрыми изменениями степени влияния на ионосферу геомагнитной возмущенности. Как для данных условий, так и для других сезонов и часов суток эта изменчивость определяется фоновыми значениями (т.е. определяемыми только солнечным нагревом) меридиональной составляющей скорости нейтрального ветра на высотах области

В третьей части представлены модель полного электронного содержания N_o ионосферы (раздел 3.1) и методика краткосрочного

прогноза критической частоты области F_2 (раздел 3.2). При их разработке в полной мере учтены результаты исследования вариаций ионосферы под воздействием солнечной и геомагнитной активностей. Приведены основные особенности и структура модели и методики.

Модель полного электронного содержания N_o ионосферы в интервале широт $25 - 70^\circ N$ разработана на основе экспериментальных данных об этом параметре, полученных по регистрациям сигналов спутниковых радиомаяков. Входные параметры модели: географические координаты, местное время, индексы солнечной ($F_{10,7}$) и геомагнитной (A_p) активностей. Использование в модели нелинейного соотношения между N_o и индексами солнечной и геомагнитной активностей позволяет без использования какой-либо дополнительной информации описывать все основные особенности пространственно-временного распределения N_o , включая сезонную аномалию и особенности поведения N_o на разных фазах солнечного цикла. В указанном интервале широт модель позволяет рассчитывать значения N_o для произвольных гелиогеофизических условий, кроме периодов сильных магнитных бурь. Сравнение модели с экспериментальными данными в различных условиях показало, что среднеквадратическая погрешность расчета N_o составляет $\sim 11\%$ днем и $\sim 14\%$ ночью, что ниже, чем по другим моделям N_o и при расчете N_o по моделям $N(z, \varphi, \lambda, t)$. Как правило, погрешность расчета N_o на высоких широтах выше, чем на средних и низких, при высоком уровне солнечной активности - выше, чем при среднем и низком, зимой - несколько выше, чем в другие сезоны. Таким образом, простота алгоритма модели и высокая точность расчета N_o позволяют использовать модель для расчета характеристик транс-ионосферного распространения радиоволн, в том числе в реальном масштабе времени. В диссертационной работе приведены примеры такого расчета.

Показано также, что модель адекватно отражает горизонтальные градиенты N_o , что позволяет использовать ее для коррекции моделей трехмерного распределения электронной концентрации $N(z, \varphi, \lambda, t)$. Такая процедура способствует повышению точности расчета интегральных параметров ионосферы и характеристик транс-ионосферного распространения радиоволн.

Методика количественного краткосрочного прогноза критической частоты области F_2 предназначена для полусуточного прогноза

этого параметра в интервале широт $40 - 60^{\circ} N$ для произвольных гелиогеофизических условий. Входные параметры методики: географические координаты, местное время составления прогноза, индексы солнечной ($F_{10,7}$) и геомагнитной (a -индексы или K -индексы, по которым производится расчет индекса a^*) активностей, при этом используются только текущие измерения индексов без их прогноза. Учитывая, что в методике используются локальные индексы геомагнитной активности, с использованием метода статистических испытаний получены оценки случайных погрешностей прогноза, обусловленных отсутствием измерений магнитного поля Земли в регионе, для которого ведется прогноз. Проверка методики по экспериментальным данным для января, апреля и июля 1983 г. показала, что погрешность прогноза в $\sim 1,4$ раза ниже, чем по методике, используемой в ионосферно-магнитной службе в настоящее время, составление прогноза при этом полностью автоматизировано. Следует также отметить, что для прогноза по предложенной методике не требуется текущих ионосферных измерений, что позволяет использовать методику в регионах, где такие измерения не проводятся.

Четвертая часть посвящена расчету влияния волновых ионосферных возмущений и выбросов химических веществ на характеристики трансionoсферного распространения радиоволн. Расчеты выполнены в приближении геометрической оптики с высокой точностью воспроизведения условий численного эксперимента для низкоорбитных и среднеорбитных спутников.

Получено, что эффект локализации влияния волновых возмущений на характеристики распространения радиоволн в зоне, где волновой вектор возмущения перпендикулярен волновому вектору радиоволны, наблюдается лишь в случае, когда возмущение охватывает всю толщину ионосферы (отношение амплитуды возмущения к фоновому значению электронной концентрации не зависит от высоты). При толщине возмущенной области ~ 50 км влияние волнового возмущения проявляется почти равномерно в течение всего пролета спутника, а при меньшей толщине - вдали от указанной зоны. Полученные результаты позволяют повысить достоверность анализа результатов ионосферных измерений радиофизическими методами.

Возмущения ионосферы, вызванные выбросами химических веществ, способны вызвать отклонения доплеровского смещения частоты от фонового значения этой величины по крайней мере на $\sim 0,5$ Гц в тече-

ние ~ 40 с для спутника, угол места которого превышает 25° . Приведенные оценки даны для центрального пролета низкоорбитного спутника с частотой излучения 150 МГц. Полученные результаты свидетельствуют о возможности регистрации этого явления по сигналам спутников, хотя и требуют при этом тщательного учета геометрии эксперимента и оценки возможного одновременного влияния других возмущений.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

В приложении № 1 приведен алгоритм расчета полного электронного содержания по разработанной модели.

В приложении № 2 приведен алгоритм прогноза критической частоты области F_2 ионосферы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе проведено исследование вариаций полного электронного содержания N_o и критической частоты области F_2 среднеширотной ионосферы, обусловленных влиянием солнечной и геомагнитной активностей. На основе полученных результатов определены основные соотношения и структура модели N_o и методики прогноза f_oF_2 . С использованием многолетних рядов экспериментальных данных рассчитаны коэффициенты модели и методики, рассмотрена возможность их использования для расчета и прогнозирования характеристик распространения радиоволн. Выполнены оценки влияния волновых ионосферных возмущений и выбросов химических веществ на характеристики трансionoсферного распространения радиоволн. Результаты проведенных исследований и расчетов позволили сделать следующие выводы.

1. Вариации N_o в II-летнем солнечном цикле определяются влиянием не только солнечной, но в значительной степени - и геомагнитной активностей. В частности, это влияние приводит к зависимости сезонных вариаций N_o от фазы солнечного цикла.

2. Для количественного описания вариаций N_o в II-летнем солнечном цикле целесообразно использовать нелинейное соотношение между N_o и индексами солнечной и геомагнитной активностей; степень нелинейности зависит от сезона.

3. Особенности кратковременных вариаций f_oF_2 в различные сезоны и время суток вызваны изменением относительного вклада сол-

нечной и геомагнитной активностей в эти вариации. Физическим механизмом установленных закономерностей являются сезонно-суточные вариации скорости и направления нейтрального ветра на высотах области F_2 .

4. Запаздывание отклика ионосферы на изменение уровня солнечной активности составляет в среднем 1 сутки летом и 2 суток зимой. Изменчивость времени запаздывания для конкретных условий определяется, в основном, влиянием геомагнитной активности.

5. Запаздывание отклика ионосферы на изменение уровня геомагнитной активности увеличивается от 0 - 3 ч летней ночью в максимуме солнечной активности до ~ 24 ч зимней ночью в минимуме солнечной активности. Соответствующие изменения запаздывания для дневных условий составляют, как правило, 3 - 12 ч.

6. Различие спокойных и магнитовозмущенных условий в ионосфере носит скорее количественный, чем качественный характер. Из этого следует возможность и предпочтительность подхода к краткосрочному прогнозированию, при котором условия в ионосфере не разделяются на спокойные и магнитовозмущенные.

7. Для исследования и прогнозирования вариаций критической частоты области F_2 целесообразно использовать значения f_oF_2 в 03, 09, 15 и 21 LT, которые наилучшим образом отражают несимметричность суточного хода f_oF_2 относительно полудня и полуночи и особенности вариаций этого параметра в утренние и вечерние часы.

8. Для исследования и прогнозирования вариаций критической частоты области F_2 вместо среднесуточных или трехчасовых индексов геомагнитной активности целесообразно использовать индекс, характеризующий средний уровень геомагнитной активности в интервале местного времени $\Delta t \geq 9$ ч, внутри которого вариации геомагнитной активности оказывают максимальное воздействие на ионосферу. В большинстве случаев эти интервалы приходятся на вечерние и ночные часы, соответствующие времени максимального нагрева авроральной атмосферы за счет джоулевой диссипации.

9. Разработанная модель полного электронного содержания N_o ионосферы в интервале широт 25 - 70° N отражает все основные особенности пространственно-временного распределения этого параметра и может быть использована для расчета характеристик транс-ионосферного распространения радиоволн не только в спокойных, но и магнитовозмущенных условиях (кроме периодов сильных магнитных

бурь). Погрешность расчета N_0 по модели, как правило, составляет $\sim 11\%$ днем и $\sim 14\%$ ночью. Адекватное отражение моделью горизонтальных градиентов N_0 позволяет использовать ее для коррекции моделей $N(z, \varphi, \lambda, t)$ с целью повышения точности расчета характеристик трансionoсферного распространения радиоволн.

10. Разработанная методика краткосрочного прогноза критической частоты области F2 по индексам солнечной и геомагнитной активностей позволяет осуществлять прогноз в интервале широт $40 - 60^\circ N$ для произвольных гелиогеофизических условий и в $\sim 1,4$ раза точнее, чем по используемой в настоящее время методике, в том числе для регионов, где отсутствуют ионосферные измерения.

11. Эффект локализации влияния волновых возмущений на характеристики трансionoсферного распространения радиоволн в зоне, где волновой вектор возмущения перпендикулярен волновому вектору радиоволны, наблюдается лишь в случае, когда возмущение охватывает всю толщу ионосферы. Если толщина возмущенной области составляет 50 км, эффект локализации не наблюдается; при меньшей толщине влияние возмущения более выражено вдали от указанной зоны.

12. Возмущения электронной концентрации, вызванные выбросами химических веществ, приводят (при использовании сигналов низкоорбитных спутников с частотой излучения 150 МГц и высоте выбросов ~ 150 км) к вариациям доплеровского смещения частоты не менее $\sim 0,5$ Гц в течение ~ 40 с при условии, что угол места спутника превышает 25° . Полученные результаты свидетельствуют о возможности исследования модификации ионосферы такой природы с использованием сигналов низкоорбитных спутников.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Захаров И.Г., Тырнов О.Ф., Чмыга Т.В. Эмпирическая модель планетарного распределения интегрального электронного содержания ионосферы для прогнозирования характеристик распространения УКВ от искусственных спутников // XIV Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Ленинград, 1984. Тезисы докладов. Ч. I. -М., 1984.-С. 236 - 238.

2. Захаров И.Г., Тырнов О.Ф. О модели планетарного распределения интегрального электронного содержания ионосферы // Геомагнетизм и аэронавтика. -1984.-Т. 24, № 6.-С. 1009 - 1011.

3. Захаров И.Г., Тырнов О.Ф. О возможности повышения точности

моделей пространственного распределения электронной концентрации ионосферы // Геомагнетизм и аэрономия. -1985.-Т. 25, № 2.-С. 313 - 314.

4. Захаров И.Г., Тырнов О.Ф. Влияние фазы солнечной активности на сезонные изменения электронной концентрации области F_2 ионосферы // Геомагнетизм и аэрономия. -1986.-Т.26, № 5.-С. 847 - 849.

5. Захаров И.Г., Тырнов О.Ф. Связь межсуточных изменений f_oF_2 ионосферы с солнечной и геомагнитной активностями // Геомагнетизм и аэрономия. -1988.-Т. 28, № 5.-С. 850 - 852.

6. Захаров И.Г., Тырнов О.Ф. Модель полного электронного содержания ионосферы в интервале широт $25 - 70^\circ N$ // Аннотированный перечень новых поступлений / Государственный фонд алгоритмов и программ.-М., 1988.-Вып. 3 - 4.-С. 40.

7. Захаров И.Г., Тырнов О.Ф. О некоторых особенностях связи солнечной и геомагнитной активности с изменениями параметров ионосферы // Всесоюзная конференция "Физика космической плазмы". Бриван, 1989. Тезисы докладов.-Бриван, 1989.-С. 142 - 143.

8. Захаров И.Г., Тырнов О.Ф. Эмпирическая модель ионосферного отклика на изменения солнечной и геомагнитной активностей // Десятый семинар по моделированию ионосферы. Казань, 1990. Тезисы докладов.-М., 1990.-С. 57.

9. Краткосрочный прогноз критических частот области F_2 среднеширотной ионосферы / И.Г.Захаров, А.Н.Казаков, Л.В.Мигунова, О.Ф.Тырнов.-Харьк. ун-т.-Харьков, 1990.-Деп. в ВИНТИ 10.08.90, № 4571-В90.-24 с.

10. Захаров И.Г., Тырнов О.Ф. Корреляционный анализ инерционных свойств области F_2 ионосферы // II Всесоюзная конференция "Методы представления и обработки случайных сигналов и полей". -Харьков, 1991. Тезисы докладов.-Харьков, 1991.-С. 190.

11. Захаров И.Г., Тырнов О.Ф. Некоторые особенности суточных вариаций δf_oF_2 среднеширотной ионосферы // Геомагнетизм и аэрономия.-1992.-Т. 32, № 5.-С. 182 - 185.

Ав. 07.242
АВ 27.242

Ответственный за выпуск *Д.Ф. Тюрков*

Подп. к печ. *Л.В. А. 93*. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага тип. Печать офсетная. Усл. печ. л. 10
Уч.-изд. л. 10 Тираж *15* экз. Зак. № *657*. Бесплатно.

Харьковское межвузовское арендное полиграфическое предприятие.
310093, Харьков, ул. Свердлова, 115.