

В монографии приведены результаты многолетних регулярных экспериментальных исследований с помощью радиофизического метода частичных отражений высотно-временных изменений основных параметров среднеширотной D-области ионосферы в невозмущенных условиях и в периоды природных явлений (естественных возмущений), которые вызываются источниками на Солнце, в атмосфере, гидросфере и литосфере Земли. С целью повышения точности исследований выполнено развитие известных методик получения параметров нижней ионосферы и предложены новые возможности. Приведены результаты эмпирического моделирования высотно-временных вариаций концентрации и частот столкновений электронов с молекулами в этой области ионосферы. Выполнено сравнение отклика среднеширотной D-области ионосферы на природные явления и некоторые антропогенные воздействия (старты космических аппаратов).

Отклик среднеширотной D-области



Александр Гоков



Гоков Александр Михайлович (род. в 1955 г.), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, доцент. Автор более 230 научных и учебно-методических работ. Область научных интересов: космическая радиофизика, физика околоземной плазмы.

Отклик среднеширотной D- области ионосферы на природные явления



978-3-659-62182-6

Гоков

LAP LAMBERT
Academic Publishing

Impressum / Выходные данные

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Библиографическая информация, изданная Немецкой Национальной Библиотекой. Немецкая Национальная Библиотека включает данную публикацию в Немецкий Книжный Каталог; с подробными библиографическими данными можно ознакомиться в Интернете по адресу <http://dnb.d-nb.de>.

Любые названия марок и брендов, упомянутые в этой книге, принадлежат торговой марке, бренду или запатентованы и являются брендами соответствующих правообладателей. Использование названий брендов, названий товаров, торговых марок, описаний товаров, общих имён, и т.д. даже без точного упоминания в этой работе не является основанием того, что данные названия можно считать незарегистрированными под каким-либо брендом и не защищены законом о брендах и их можно использовать всем без ограничений.

Coverbild / Изображение на обложке предоставлено: www.ingimage.com

Verlag / Издатель:

LAP LAMBERT Academic Publishing

ist ein Imprint der / является торговой маркой

OmniScriptum GmbH & Co. KG

Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Deutschland / Германия

Email / электронная почта: info@lap-publishing.com

Herstellung: siehe letzte Seite /

Напечатано: см. последнюю страницу

ISBN: 978-3-659-62182-6

Copyright / АВТОРСКОЕ ПРАВО © 2014 OmniScriptum GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. / Все права защищены. Saarbrücken 2014

Содержание

Введение	6
Список основных принятых сокращений	10
Список основных обозначений	11
1. Среднеширотная D-область ионосферы. Характеристика результатов исследований и сведения об основных источниках ионосферных возмущений	14
1.1. Структура нижней ионосферы и терминология	14
1.2. Моделирование высотно-временных вариаций основных параметров невозмущенной среднеширотной D-области ионосферы	18
1.2.1. Основные особенности моделирования вариаций концентрации электронов	18
1.2.2. Особенности моделирования вариаций частот столкновений электронов с нейтральными молекулами	23
1.3. Основные естественные источники возмущений ионосферной плазмы среднеширотной D-области	25
1.3.1. Общие сведения	26
1.3.2. Влияние Солнца	28
1.3.3. Солнечный терминатор	33
1.3.4. Затмение Солнца	36
1.3.5. Пожары	38
1.3.6. Землетрясения	41
1.3.7. Атмосферное электричество	44
Выводы к разделу 1	49
2. Основные сведения о технических средствах, метод и методики исследований	51
2.1. Сведения о радиотехнической системе Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина для диагностики параметров среднеширотной D-области ионосферы	51
2.2. Методики измерений и обработки данных	57
3. Развитие методик определения высотных профилей концентрации и частот столкновений электронов с нейтральными молекулами	58
3.1. Методики одновременного получения концентрации и частот столкновений электронов с нейтральными молекулами	59

3.1.1. Использование амплитудных измерений средней разности фаз и дифференциального поглощения магнитоионных компонент	59
3.1.2. Использование одновременных измерений дифференциального поглощения на двух частотах	63
3.1.3. Использование эталонных измерений концентрации электронов	66
3.1.4. Использование одновременных измерений $a(z)$ и $\rho_{\chi_1 \chi_2}(z)$ на двух частотах	67
3.1.5. Сравнение методик	69
3.2. Развитие методики определения высотных профилей частот столкновений электронов с нейтральными молекулами	70
Выводы к разделу 3	75
4. Особенности высотно-временного распределения концентрации и частот столкновений электронов с нейтральными молекулами в невозмущенной среднеширотной D-области ионосферы	76
4.1. Модель высотно-временных вариаций концентрации электронов в невозмущенной среднеширотной D-области ионосферы	76
4.1.1. Модель сезонных среднесуточных профилей концентрации электронов	76
4.1.2. Вариации концентрация электронов в зависимости от зенитного угла Солнца	82
4.1.3. Вариации концентрации электронов, обусловленные изменениями солнечной активности	85
4.1.4. Сезонные изменения концентрации электронов	85
4.1.5. Изменения концентрации электронов, обусловленные геомагнитной активностью и геомагнитной широтой	86
4.2. Моделирование характеристик ВЧ и ОВЧ радиоволн в среднеширотной нижней ионосфере при наклонном распространении	87
4.3. Модель высотно-временных вариаций частот столкновений электронов с нейтралами в невозмущенной D-области ионосферы	92
4.3.1. Дневные вариации	92
4.3.2. Сезонные вариации	96
4.3.3. Широтные вариации	97
4.3.4. Пример исследования возможных изменений частот столкновений электронов в среднеширотной D-области ионосферы во время сильной грозы	99
Выводы к разделу 4	100

5. Отклик среднеширотной D-области ионосферы на солнечные вспышки	102
5.1. Отклик среднеширотной D-области на вспышки рентгеновского излучения и оптические вспышки	102
5.1.1. Результаты наблюдений	103
5.1.2. Обсуждение результатов	109
5.2. Эффекты в среднеширотной D-области, обусловленные магнитными бурями	112
5.2.1. Основные экспериментальные результаты	114
5.2.2. Результаты расчетов и обсуждение	126
5.3. Отклик на внезапные начала магнитных бурь и высыпания протонов	130
5.3.1. Отклик на события <i>solar sudden commencements</i>	132
5.3.2. Особенности отклика на события <i>solar proton events</i>	135
5.3.3. Обсуждение	139
Выводы к разделу 5	141
6. Отклик среднеширотной D-области ионосферы на естественные возмущения	145
6.1. Отклик среднеширотной D-области на прохождение солнечного терминатора	145
6.1.1. Невозмущенные условия	146
6.1.2. Результаты расчетов и их обсуждение	150
6.1.3. Особенности отклика среднеширотной D-области, обусловленные солнечным терминатором во время магнитных бурь	153
6.1.4. Результаты расчетов и их обсуждение	158
6.2. Отклик среднеширотной D-области на солнечные затмения	166
6.2.1. Вариации температуры атмосферы	170
6.2.2. Вариации ЧО сигналов и шумов	171
6.2.3. Вариации концентрации электронов	175
6.2.4. Обсуждение результатов	180
6.3. Экспериментальные исследования влияния сильных гроз на параметры среднеширотной D-области ионосферы	183
6.3.1. Экспериментальные результаты	183
6.3.2. Обсуждение результатов	188
6.4. Отклик среднеширотной D-области ионосферы на прохождение мощного атмосферного фронта	189
Выводы к разделу 6	194

7. Особенности отклика среднеширотной D-области на отдаленные сильные землетрясения и изменения атмосферного электричества	197
7.1. Особенности зависимостей сейсмичности от геомагнитной и солнечной активностей	198
7.1.1. Связь сейсмичности с магнитными бурями	199
7.1.2. Связь сейсмичности с солнечными вспышками	201
7.2. Исследование отклика среднеширотной нижней ионосферы на удаленные сильные землетрясения	202
7.2.1. Особенности вариаций радиошумов в диапазоне 2 – 4 МГц ..	203
7.2.2. Возмущения в нижней ионосфере	205
7.2.3. Обсуждение	208
7.2.4. Вариации концентрации электронов	209
7.3. Электрические характеристики атмосферы в районах крупных пожаров и атмосферно-ионосферное электрическое взаимодействие ...	213
7.3.1. Модель атмосферно-ионосферного взаимодействия	214
7.3.2. Экологические эффекты	220
7.4. Атмосферное электричество мегаполисов и основные аспекты атмосферно-ионосферного электрического взаимодействия	223
7.4.1. Источники атмосферного электричества в мегаполисах	223
7.4.2. Возможности оценки изменений атмосферного электричества	225
7.4.3. Модели атмосферно-ионосферного электрического взаимодействия	228
7.4.4. Экологические аспекты	229
7.5. Отклик среднеширотной D-области ионосферы на удаленные старты и полеты космических аппаратов	235
7.5.1. Результаты экспериментальных исследований	237
7.5.2. Обсуждение	241
Выводы к разделу 7	245
8. О возможности генерации низкочастотных вистлеров в нижней ионосфере в периоды возмущений различной природы	248
8.1. Основные положения	248
8.1.1. Постановка задачи и теоретические положения	248
8.1.2. Результаты расчетов	252
8.2. Экспериментальные результаты	253
8.2.1. Постановка задачи	254
8.2.2. Техника и методика исследований	254

8.2.3. Результаты экспериментальных исследований	256
Выводы к разделу 8	265
Выводы	266
Список литературы	271

Введение

Исследование процессов в атмосферной электрической макросистеме и ее отклик на процессы естественного происхождения, влияющие на нее, является одним из актуальных направлений развития геофизики. Это обуславливается как существенным влиянием этих процессов на работу систем радиосвязи, радиолокации, радионавигации, радиометеорология, аэрокосмических систем и электрических сетей энергоснабжения, так и их связями с крупномасштабными и глобальными погодными и климатическими изменениями.

Важность и актуальность этих исследований подтверждается созданием глобальных систем мониторинга «космической погоды», куда входят наблюдения за изменениями условий на Солнце, в солнечном ветре, магнитосфере, ионосфере и атмосфере Земли, за процессами на ее поверхности и в литосфере.

Ионосферные возмущения является неотъемлемой частью процессов в околоземном пространстве. Значительное усложнение проблемы заключается в том, что ионосферные возмущения развиваются как неотъемлемое звено природных возмущений, охватывают магнитосферу и все слои атмосферы. Исследование отклика на различные процессы естественного происхождения является важным элементом разработки принципов и методик прогнозирования ионосферных возмущений и поэтому выступает актуальной задачей.

Хорошо известно, что нижняя ионосфера и соответствующая ей по высотами расположения область D играет важную роль во взаимодействии слоев атмосферы и оказывает значительное влияние на распространение радиоволн. Поведение ее в естественных условиях зависит от вариаций ионизирующих источников и целого ряда метеорологических параметров, которые включают в себя температуру, состав нейтрального газа и динамические процессы. Наиболее сложным и мало изученным является вопрос о влиянии динамических процессов. Спектр динамических процессов на высоте нижней ионосферы очень широк. Обусловлено это большим количеством и разнообразием различных природных факторов, влияющих на динамический режим этой части ионосферной плазмы. В настоящее время понятны лишь некоторые аспекты динамического контроля нижней ионосферы. Традиционно считалось, что состояние нижней ионосферы контролируется главным образом процессами на Солнце. Экспериментальные исследования, выполненные в последние годы, показали, что состояние D-области часто существенно контролируется мощными природными источниками возмущений в тропосфере (грозы, циклоны и антициклоны, большие пожары, мощные атмосферные фронты и т. д.), в мировом океане

(тайфуны, цунами и др.) и в литосфере (извержения вулканов, землетрясения), которые, к тому же, часто имеют место на фоне солнечных и геомагнитных вариаций, включая солнечные вспышки и геомагнитные бури. Есть основания утверждать, что наряду с природными источниками, антропогенные возмущения в ряде случаев также заметно влияют на динамику нижней ионосферы. Учет этих факторов существенно затрудняет моделирование в D-области. Поэтому в настоящее время к числу актуальных задач ионосферных исследований и геофизики принадлежит исследование влияния и создание эмпирической модели пространственно-временного отклика нижней ионосферы на мощные природные источники возмущений.

Следует отметить, что вариации параметров D-области зависят также от региональных особенностей: рельефа и типа местности, наличия мегаполисов и крупных промышленных объектов, погодных и климатических особенностей, наличия различных источников возмущений естественного и техногенного характера. Наличие многих особенностей, формирующих ионосферу в отдельных регионах, свидетельствует о необходимости исследования, в первую очередь, отклика и разработки моделей региональной нижней ионосферы, которые затем могут входить в глобальные как неотъемлемая часть.

Решение многих научных и практических задач требует знания сведений о вариациях ионосферных параметров, прежде всего, электронной концентрации N и частот столкновений электронов с нейтральными молекулами ν на этих высотах. Высотные профили $N(z)$ и $\nu(z)$ (z – высота над поверхностью Земли) склонны к разного рода изменениям, часть которых носит систематический характер (сезонные и суточные вариации), а другая – характер случайных изменений, обусловленных метеорологическими факторами и воздействием источников различной природы, в первую очередь природного характера.

В настоящее время, несмотря на относительно многочисленные экспериментальные исследования, не существует глобальных моделей высотно-временных вариаций основных параметров области D ионосферы. Вызвано это, прежде всего, сложностью и дороговизной проведения длительных экспериментальных исследований, отсутствием на планете даже минимально необходимой сети экспериментальных установок для проведения исследований. На существующих в мире экспериментальных установках до сих пор не осуществляется координированных исследований D-области для целей моделирования. Относительно длительные наблюдения проводятся в 2 – 3 пунктах в разных регионах планеты лишь эпизодически и в основном направлены на решение других задач. Поэтому исключительную ценность имеют длительные систематиче-

ские экспериментальные наблюдения, на основе которых возможно построение моделей области D ионосферы.

К настоящему времени отклик среднеширотной нижней ионосферы на мощные природные явления исследован мало и лишь в эпизодических наблюдениях. Поэтому является актуальным развитие пространственно-временных моделей параметров нижней ионосферы под воздействием возмущающих факторов различной природы и анализ особенностей их влияния. Это и обусловило необходимость проведения целенаправленных экспериментальных исследований и определения основных черт отклика среднеширотной нижней ионосферы, а также региональных особенностей. Накопление экспериментальных сведений об особенностях отклика среднеширотной нижней ионосферы на природные явления вместе с развитием моделей детерминированных связей между основными электродинамическими параметрами среды создает условия для разработки статистических моделей характеристик пространственно-временных изменений параметров ионосферной плазмы и соответствующих возмущений. Наличие таких моделей является необходимым условием для решения актуальных задач прогнозирования влияния мощных природных явлений на работу различных радиотехнических систем. Результаты исследований этих вопросов в региональной среднеширотной D-области, представлены в основных научных статьях автора и его коллег. В связи с актуальностью развития указанных исследований в данной работе на основе основных публикаций автора и его коллег [1 – 57] изложены основные результаты исследований, посвященных изучению высотно-временных вариаций основных параметров в среднеширотной области D ионосферы и их моделированию. Приведенные исследования относятся к фундаментальной проблеме современной геофизики – электродинамические взаимодействия и геофизические процессы в околоземной среде. Тематика исследований была связана с приоритетными направлениями развития науки и техники в рамках координационного плана Министерства образования и науки Украины. Материалы, изложенные в монографии, являются составными частями научных проектов и НИР, выполненных в Харьковском национальном университете имени В. Н. Каразина.

Разработанные в работе эмпирические статистические модели высотно-временных изменений основных параметров среднеширотной нижней ионосферы, основанные на самом большом в настоящее время в Украине банке экспериментальных данных, являются важным и необходимым шагом для создания методов прогнозирования состояния ионосферы Земли с целью учета ее влияния на промышленную деятельность человека. Результаты приведенных

исследований могут быть использованы для дальнейшего развития представлений о влиянии мощных нестационарных источников энерговыделения природного характера в околоземном космическом пространстве. Для исследований использован банк данных наблюдений в радиофизической обсерватории Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина, включающий как систематические фоновые наблюдения, так и наблюдения во время отдельных ионосферных явлений с применением метода дистанционного радиозондирования D-области ионосферы - метода частичных отражений. Используются также данные глобальной сети геофизических наблюдений за состоянием космической погоды, в том числе с применением измерений *in-situ* на спутниках.

Данная работа посвящена экспериментальным исследованиям региональной среднеширотной D-области ионосферы на основе регулярных наблюдений вариаций ионосферных параметров. Работа является промежуточной и дальнейшая цель исследований – разработка ионосферных моделей с учетом особенностей развития ионосферных возмущений под влиянием природных факторов. Это позволит уточнить и изучить основные особенности физических процессов в ионосфере под воздействием возмущений естественного происхождения; оценить роль процессов, рассматриваемых в общей цепи процессов в околоземном пространстве; выделить экологически значимые процессы; разработать рекомендации по совершенствованию системы оповещения о возмущении и разработать мероприятия по предупреждению неблагоприятного влияния окружающей среды на человека и на технические средства связи и навигации. Важно, что исследования закономерностей развития ионосферных возмущений проводятся в регионе, в котором сейчас количество наблюдений значительно меньше, чем в американском секторе. Поэтому эти исследования способствуют исследованию возмущений в целом, поскольку значительная часть возмущений в верхней атмосфере развиваются в планетарном масштабе.

Автор монографии выражает благодарность сотрудникам Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина, а именно: канд. физ.-мат. наук, профессору Тырнову О. Ф., канд. физ.-мат., старшему научному сотруднику Подносу В. А., канд. физ.-мат., старшему научному сотруднику Гармашу К. П., научному сотруднику Гритчину А. И., за помощь в организации и проведении экспериментальных измерений с помощью радиофизического комплекса частичных отражений и постоянный интерес к этим исследованиям.