



МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
"ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ГЕОФИЗИКИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Е.К. ФЕДОРОВА"  
(ФГБУ "ИПГ")

129128, г. Москва, ул. Ростокинская, д. 9 тел: 8(499) 181-37-14 факс: 8(499) 187-81-86 <http://ipg.geospace.ru>  
ИНН 7716023812 КПП 771601001 ОГРН 1037739073536  
Исх. от *411-02-04/333* № *03.02.25* на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

В диссертационный совет  
ИСЗФ СО РАН

ФГБУ «ИПГ» направляет вам отзыв ведущей организации на диссертацию Дашкевич Жанны Владимировны «Моделирование и дистанционное зондирование ионосферы в области электронных высыпаний», представленную на соискание степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате».

Приложение: отзыв на 5 листах в 2 экз.

Директор

Репин А.Ю.



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГБУ «ИПГ»

Д.Ф. Мельников, доцент Репин А.Ю.



08 января 2025 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова» на диссертацию Дашкевич Жанны Владимировны «Моделирование и дистанционное зондирование ионосферы в области электронных высыпаний», представленную на соискание степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате»**

Хорошо известно, что в ионосфере при вторжении в нее потоков энергичных заряженных частиц происходит сложная система процессов. Она включает в себя реакции ионизации с образованием как атомных, так и молекулярных ионов, реакции рекомбинации, процессы возбуждения и деактивации как заряженных, так и нейтральных компонент, а также процессы взаимодействия атомов и молекул с химически активными составляющими (такими, как O и NO).

Наиболее ярко такая система процессов проявляет себя в авроральной зоне при вторжении туда потоков энергичных электронов. Проявлением действия этих процессов являются полярные сияния и возмущения распространения КВ радиоволн на субполярных радиотрассах (так называемое авроральное поглощение, или авроральный фейдаут).

Последнее обстоятельство определяет большую практическую значимость любых исследований, направленных на изучение указанной сложной системы процессов и создание моделей, описывающих эти процессы и позволяющих прогнозировать те, или иные эффекты в авроральной ионосфере при вторжении в нее потоков энергичных электронов.

Все сказанное в полной мере относится к диссертационной работе. Она направлена на всестороннее рассмотрение картины взаимодействия потоков энергичных электронов с атомами и молекулами атмосферы, образования и

трансформации ионов, образования активных нейтральных составляющих (прежде всего – NO) и возбуждения атомов и молекул, приводящего к авроральным эмиссиям.

В первой главе описывается физико-химическая модель авроральной ионосферы на высотах 90–160 км. Модель позволяет при заданном спектре потока вторгающихся электронов описать процессы возбуждения электронных и колебательных уровней нейтральных и заряженных составляющих атмосферного газа. Модель включает 56 физико-химических процессов и обеспечивает расчет высотных профилей концентраций 21-й ионной и нейтральной составляющей, включая и возбужденные компоненты ионосферной плазмы.

Тестирование разработанной модели описывается во второй главе. Тестирование проводится путем сравнения расчетов с результатами ракетных и спутниковых данных, полученных в известном комплексном эксперименте 10 марта 1974 г, который включал измерения на спутнике Atmospheric Explorer и на геофизической ракете, запущенной с полигона Fort Churchill.

Результаты указанного сравнения как для концентраций четырех ионов, так и для интенсивности пяти атмосферных эмиссий, дали удовлетворительные результаты, что говорит о правильности использованной модели.

В третьей главе рассматривается сложный комплекс вопросов, связанных с процессами, определяющими возбуждение основных авроральных эмиссий и характер изменения во времени указанных процессов.

Особое внимание уделено одной из основных авроральных эмиссий – красной линии атомного кислорода 630.0 нм. Показано, что кроме прямого возбуждения атома O электронным ударом в состояние  $^1D$  в свечение красной линии вносят заметный вклад и другие процессы, ранее считавшиеся малозначительными.

В той же главе рассматривается влияние концентраций O и NO на отношения основных авроральных эмиссий  $I_{557.7}/I_{427.8}$  и  $I_{630.0}/I_{427.8}$ . Получено, что второе отношение слабо зависит от обеих концентраций, а вот первое сильно чувствительно к концентрации окиси азота. По мнению автора наблюдаемые в полярных сияниях вариации отношения эмиссий  $I_{557.7}/I_{427.8}$  могут быть вызваны вариациями именно концентрации окиси азота в нижней термосфере.

Проведено исследование колебательной заселенности уровней молекулярного азота, переходы с которых дают излучения хорошо известной системы полос молекулярного азота в спектрах полярных сияний.

Построены высотные профили концентраций пяти основных ионосферных ионов в условиях полярных сияний. Получено, что эти профили существенно зависят от средней энергии вторгающихся электронов и концентрации NO в термосферном газе. Получено также, что для стабилизации концентраций ионов и интенсивности эмиссий требуется время около 1000 сек после начала высыпания электронов.

В четвертой главе рассмотрены вопросы, имеющие прямое отношение к решению прикладных задач, т. е. к диагностике и прогнозированию состояния авроральной ионосферы и интенсивности авроральных эмиссий. Обсуждаются различные аспекты проблемы определения характеристик потоков высыпающихся электронов (спектра, средней энергии, пространственного распределения) на основании наблюдений авроральных эмиссий. Разработан метод оценки содержания окиси азота в нижней термосфере авроральной области на основании данных об интенсивности трех авроральных эмиссий.

В рамках защищаемой модели рассмотрен вопрос о влиянии характеристик потока электронов на изменение величины эффективного коэффициента рекомбинации на высотах слоев E и F1. Получено, что эта величина не меняется существенно в слое E, но возрастает в 1.5–2 раза в зависимости от средней энергии потока.

Работа представляет собой существенный вклад в понимание физики полярной атмосферы и ионосферы и, прежде всего, процессов в авроральной зоне при вторжении туда потоков энергичных электронов. Результаты, касающиеся связи авроральных эмиссий с характеристиками потока электронов могут использоваться как для оценок параметров потока на основании наземных наблюдений эмиссий, так и для предсказания изменений в нижней ионосфере и интенсивностей авроральных эмиссий, если заданы параметры ожидаемого высыпания.

К работе имеются следующие замечания.

1. Схема фотохимических процессов ионизации и рекомбинации, которая является основой защищаемой модели, разумным образом согласуется с современными представлениями о фотохимии основной части ионосферы (областей E и F). Однако нижняя граница рассматриваемого интервала затрагивает уже область D, где в ионизационно-рекомбинационном цикле начинают играть роль совсем другие процессы. На 90 км в определенных условиях могут играть роль положительные ионы связки и даже отрицательные ионы совсем с другой фотохимией, в частности, с другими скоростями рекомбинации.

На рассматриваемых в работе высотах (главным образом, в интервале 100–120 км) существуют нейтральные атомы металлов (Na, Mg, Ca) и их ионы. Эти ионы регистрируются в ракетных масс-спектрометрических экспериментах и проявляются в наблюдениях методом вертикального зондирования в виде спорадических слоев. Их фотохимия также существенно отличается от таковой в схеме, заложенной в модель.

Поскольку модель является основным защищаемым элементом работы, нужно было бы оговорить указанную ситуацию и отметить существование указанных отклонений от схемы процессов, положенных в основу модели.

2. В главе 4 много раз встречается выражение «эффективный коэффициент диссоциативной рекомбинации». Но существует эффективный коэффициент рекомбинации, который используется для описания связи между скоростью ионизации и концентрацией электронов, и коэффициент диссоциативной рекомбинации, который представляет собой константу скорости реакции молекулярных ионов с электронами с образованием двух нейтральных атомов. Использовано неправильное выражение. Правильное название параметра, который рассматривается в главе 4 – это эффективный коэффициент рекомбинации.

3. В работе встречаются опечатки и неудачные выражения. Примеры приведены ниже.

Введение (стр. 11). Выражение «парциально незначительные» режет слух.

Введение (пункт 3 на стр. 14): «...оценки ...демонстрируют интервал концентрации...»

Стр. 238, последняя строка «...от то параметров...»

Стр. 241. «...приблизительно равен скорости дезактивации ионов  $O_2^+$  и  $NO^+$ .» Термин «дезактивации» здесь абсолютно неуместен. Обычно используются термины «рекомбинация» или «нейтрализация».

В целом диссертация Дашкевич Ж.В. представляет собой законченное исследование крупной научной проблемы, важной как в теоретическом, так и в прикладном аспекте. Актуальность и практическая значимости работы очевидны и связаны с важностью изучения ионосферы в авроральной области из-за ее сильного влияния на распространения КВ радиоволн на субполярных трассах.

Диссертация Дашкевич Ж.В. соответствует всем критериям, установленным пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней от 24.09.2013 г., а ее автор Дашкевич Жанна Владимировна

достойна присуждения ей степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате»

Отзыв Ведущей организации обсужден и одобрен на заседании Ученого совета ФГБУ «ИПГ» 29 января 2025 г. ( протокол №1).

Отзыв подготовил Данилов Алексей Дмитриевич, доктор физико-математических наук профессор главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова», отдел ионосферных исследований.

Диссертация защищена по специальности 25.00.29

Адрес: 129128, г. Москва, ул. Ростокинская, дом 9

Телефон: +74991878186

E-mail: [adanilov99@mail.ru](mailto:adanilov99@mail.ru)

Д.ф.-м.н.



Данилов А.Д.

Подпись Данилова А.Д. заверяю.

Ученый секретарь ФГБУ «ИПГ»

к.ф.-м.н.

Хотенко Е.Н.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова»

Адрес: 129128, г. Москва, ул. Ростокинская, дом 9

Телефон: +74991878186

E-mail: [director@ipg.geospace.ru](mailto:director@ipg.geospace.ru)

Сайт: <http://ipg.geospace.ru>