

На правах рукописи

РУСАНОВ Алексей Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ВО ВНУТРЕННЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Специальность 01.03.03 – Физика Солнца

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва, 2005

Работа выполнена в Институте космических исследований
Российской академии наук

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук М.М. Могилевский
(ИКИ РАН)

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук П.А. Беспалов
(ИПФ РАН)

кандидат физико-математических наук: В.М. Урицкий
(НИИФ СПб ГУ)

Ведущая организация:

Полярный геофизический институт (ПГИ КНЦ РАН)

Защита диссертации состоится 27 октября 2005 г. в 11 часов на заседании Диссертационного совета Д 002.113.03 Института космических исследований РАН по адресу: 117997, Москва, Профсоюзная ул., 84/32, 2-ой подъезд, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться
в библиотеке ИКИ РАН.

Автореферат разослан 26 сентября 2005 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 002.113.03,
кандидат физико-математических наук

Т.М. Буринская

1 Общая характеристика работы

Актуальность темы

Изучение физических процессов во внутренних областях магнитосферы Земли является в настоящее время объектом пристального внимания исследователей. Эти области экранированы от прямого воздействия плазмы солнечного ветра, но их динамика во многом определяется именно энергией Солнца, накопленной и преобразованной в геомагнитном хвосте.

Воздействие солнечного ветра приводит к спорадическим вариациям магнитного поля Земли, которые регистрируются в геомагнитных обсерваториях и описываются геомагнитными индексами. Наиболее употребительные из них: K_p , AL и D_{st} . Индекс D_{st} характеризует амплитуду кольцевого тока в период магнитных бурь, AL – интенсивность авроральных токов, K_p – уровень флуктуаций магнитного поля. Исследованию зависимости геомагнитных индексов от состояния солнечного ветра, а именно его плотности, скорости и величины межпланетного магнитного поля (ММП), посвящено большое количество работ. Эти исследования важны для понимания процессов передачи энергии от плазмы солнечного ветра во внутренние области магнитосферы, однако они имеют и практический интерес, связанный с прогнозами «космической погоды». Известно, что во время повышенной солнечной активности амплитуда вариаций геомагнитного поля возрастает, что может приводить к наводкам в системах электроснабжения, повреждению телекоммуникационных систем и

сбоям в работе искусственных спутников Земли. Корректный прогноз «космической погоды», который невозможен без знания механизмов воздействия солнечного ветра на магнитосферу, позволит заранее предсказывать появление геомагнитных возмущений и таким образом снизить урон от многих из этих катастроф.

Для определения факторов, влияющих на генерацию и развитие геомагнитных возмущений, обычно используются два подхода. Первый основан на поиске явной зависимости значения одного из геомагнитных индексов от плотности, скорости солнечного ветра и ММП; второй подход – на моделировании искомой зависимости нейронными сетями. Нейронные сети позволяют строить модели для широкого класса зависимостей, в том числе и нелинейных, однако не дают возможности получить явные формы для этих зависимостей. В отсутствие исчерпывающей модели воздействия солнечного ветра на амплитуду геомагнитных вариаций применение второго подхода обычно дает лучшие результаты. Одним из критериев качества моделей выступает коэффициент корреляции между рядом наблюдаемых значений индексов и их модельными значениями. Исследования зависимостей K_p - и AL -индексов от параметров солнечного ветра и ММП показали, что планетарная геомагнитная активность, характеризуемая K_p -индексом, определяется, в основном, z -компонентной ММП, плотностью и скоростью солнечного ветра. Коэффициент корреляции для модели с такими параметрами составляет порядка 0,76. Амплитуда авроральных токов, характеризуемая AL -индексом, зависит не только от z -компоненты ММП, плотности и скорости солнечного ветра, но и от y -компоненты ММП. Коэффициент корреляции для модели с такими параметрами

составляет порядка 0,87. Таким образом, существует необходимость в создании моделей, которые более адекватно описывают поведение индексов.

Динамика плазмы внутренней магнитосферы приводит к развитию большого числа волновых процессов, например таких, как шипения, свисты и ленгмюровские волны. Изучение ленгмюровских волн представляют особый интерес, поскольку они достаточно легко возбуждаются и поглощаются частицами плазмы. Одни из первых наблюдений ленгмюровских волн в авроральных областях были сделаны в ходе измерений на геофизических ракетах, которые проводились на высотах ~500 км. В этих экспериментах были зарегистрированы электростатические всплески с широким набором характеристик: от очень интенсивных (~500 мВ/м), но непродолжительных (<1 мс), до слабых (~1 мВ/м), но длительных (несколько секунд). Наблюдения ленгмюровских волн на низкоорбитальных искусственных спутниках Земли проводились во многих волновых экспериментах, например в проектах АРЕОЛ/АРКАД-3 и Freja. В результате наблюдений в проекте АРЕОЛ/АРКАД-3, проведенных в авроральной ионосфере на высотах от 400 до 2000 км, были зарегистрированы плазменные волны с амплитудами ~50 мВ/м. Измерения на борту спутника Freja также проводились в верхней ионосфере на высоте около 1700 км. Было зафиксировано два типа ленгмюровских сигналов: узкополосные всплески с амплитудами до 20 мВ/м, которые наблюдались в областях высыпания авроральных электронов, и интенсивные (~100 мВ/м) широкополосные сигналы, модулированные по частоте. Характерной особенностью результатов измерений является изменение амплитуды и

длительности в широком диапазоне. Ленгмюровские волны были зарегистрированы на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 на высотах порядка 2-3 радиусов Земли вблизи полярной границы авроральной области. Эти сигналы также обладают свойствами, типичными для ленгмюровских волн, наблюдаемых в других областях магнитосферы, а именно: наличием низкочастотной модуляции, вариаций амплитуды и длительности.

Для объяснения низкочастотной модуляции амплитуды ленгмюровских волн были рассмотрены различные механизмы нелинейного взаимодействия типа волна–волна и волна–частица. Однако в рамках предложенных моделей не удается объяснить в полной мере результаты измерений и поэтому дальнейшие исследования механизмов генерации и распространения ленгмюровских волн в этих областях представляются крайне важными.

Цель работы

- Анализ наблюдений ленгмюровских волн в полярной шапке и на полярной границе авроральной области, полученных в ходе измерений, выполненных на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 прибором НВК-ОНЧ. Сравнительный анализ волновых измерений с результатами измерений частиц. Разработка физической модели для описания генерации и распространения наблюдаемых волн в соответствии с экспериментальными результатами.
- Определение факторов из числа характеристик солнечного ветра, оказывающих наиболее значимое влияние на уровень геомагнитной активности, оцениваемый геомагнитными индексами K_p и AL. Оценка

влияния предыстории состояния солнечного ветра и динамики магнитосферы на величину геомагнитных индексов. Разработка модели зависимости индексов K_p и AL от наиболее значимых факторов и их предыстории.

Научная новизна работы

- Проведенный анализ волновых измерений показал, что генерация наблюдаемых ленгюмовских волн в полярной шапке и на полярной границе авроральной области коррелирует с распространением потоков горячей плазмы в этих регионах. Показано, что характерные статистические параметры ленгюмовских всплесков согласуются с оценками, полученными в предположении о нормально распределенных неоднородностях окружающей плазмы и распространяющегося потока. На основании этих оценок объяснены свойства наблюдаемых волн, в частности, нерегулярная структура и вариации амплитуд.
- Показано, что на текущий уровень геомагнитной активности, оцениваемый индексом K_p , наибольшее влияние оказывают плотность и скорость солнечного ветра и z-компонента ММП и предшествующие значения этих параметров, взятых с трехчасовым шагом. Для индекса AL важно влияние скорости солнечного ветра и z-компоненты ММП и предшествующих значений этих параметров, взятых с часовым шагом. Установлено, что характерное время «памяти» магнитосферы не превышает шести часов.

Практическая ценность работы

Результаты анализа и предложенная модель распространения и генерации ленгмюровских волн на полярной границе авроральной области могут быть использованы как основа для построения кинетических моделей волновых процессов в этих областях магнитосферы. Метод идентификации полезных сигналов, который был разработан и использован для анализа наблюдаемых ленгмюровских волн, может быть применен к данным других волновых измерений и также измерений частиц. Предложенная модель зависимости индексов K_p и AL от параметров солнечного ветра позволяет исследовать динамику магнитосферы; практическая реализация модели дает возможность делать прогнозы «космической погоды» в почти реальном времени.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались на международных симпозиумах по проекту ИНТЕРБОЛ (Звенигород, Россия, 1999; София, Болгария, 2002), на XXIV и XXVII Генеральных Ассамблеях Европейского геофизического сообщества (Гаага, Нидерланды, 1999; Ницца, Франция, 2002), на XXII ежегодном международном семинаре «Физика авроральных явлений» (Апатиты, Россия, 1999).

По теме диссертации опубликовано пять научных работ.

Основные положения, выносимые на защиту

1. По результатам измерений волновой формы сигнала в эксперименте НВК-ОНЧ на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 установлено, что вблизи полярной границы авроральной области на высотах порядка 2-3 радиусов Земли наблюдаются ленгмюровские волны, которые обладают следующими свойствами: характерная длительность $\sim 0,01-1$ с, нерегулярные вариации амплитуд (значения амплитуд в пределах одного всплеска могут отличаться в несколько раз), наличие низкочастотной модуляции. Показано, что наблюдаемые волны возбуждаются пучками горячих электронов, которые распространяются из хвоста магнитосферы.
2. Показано, что в условиях предположения о нормально распределенных флуктуациях плотности окружающей плазмы и плазмы пучка распределение квадратов амплитуд электрического поля наблюдаемых волн должно иметь нормальный характер. На основе результатов эксперимента НВК-ОНЧ выполнены оценки статистических параметров распределения амплитуд, которые показали согласие с теоретическими оценками. Наблюдаемая нерегулярная структура волн объяснена наличием областей, в которых волны свободно нарастают, и областей, в которых волны затухают из-за рассеяния на флуктуациях плотности.
3. Разработан алгоритм идентификации мелкомасштабных ленгмюровских волн и шипений по измерениям волновой формы сигнала. Этот алгоритм позволяет автоматически выделять полезные сигналы на фоне помех и проводить классификацию выделенных сигналов.

4. Определены основные факторы влияния на уровень геомагнитной активности, оцениваемый K_p -индексом, и амплитуду авроральных токов, характеризуемую индексом AL. Показано, что на текущий уровень геомагнитной активности, оцениваемый индексом K_p , наиболее влияние оказывают плотность и скорость солнечного ветра и z-компонента ММП и предшествующие значения этих параметров, взятых с трехчасовым шагом. Для индекса AL важно влияние скорости солнечного ветра и z-компоненты ММП и предшествующих значений этих параметров, взятых с часовым интервалом. Получено, что характерное время «памяти» магнитосферы не превышает шести часов.
5. Разработаны модели зависимости индексов K_p и AL от характеристик солнечного ветра и предшествующих значений самих индексов. Создана методика для предсказания значения K_p -индекса в почти реальном времени.

Личный вклад

Личный вклад автора состоит в следующем:

- анализ результатов волновых измерений в эксперименте НВК-ОНЧ и оценка статистических характеристик ленгмюровских волн, в том числе их сравнение с теоретическими оценками;
- разработка схемы идентификации сигналов в данных волновых измерений и практической реализации схемы в виде набора программ в среде Matlab 6.0;

- разработка моделей зависимости K_p - и AL-индексов от параметров солнечного ветра;
- реализация данных моделей в виде программ на языке Си и в среде Matlab 6.0;
- проведение анализа и определение достоверности предложенных моделей.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем диссертации 97 страниц, включая 31 рисунок, 4 таблицы и список цитируемой литературы из 87 названий.

2 Содержание работы

Во **Введении** обосновывается актуальность темы диссертации, научная новизна, излагается краткое содержание и формулируется цель работы.

В **Главе 1** описываются основные методы анализа данных, используемые в работе. Настоящая работа основана на обработке и интерпретации данных геофизических измерений, в частности, измерений электромагнитных волн в авроральной области, параметров солнечного ветра и индексов геомагнитной активности, поэтому вопрос о выборе подходящих методов анализа и обработки данных является принципиально важным. Большие объемы информации требуют использования специальных алгоритмов обработки, которые позволяют выявлять и классифицировать сигналы с определенными

характеристиками. Задача выделения и классификации сигналов может быть решена с помощью нейронных сетей. Нейронные сети моделируют законы, которыми определяется состояние и динамика системы на основе наборов измерений некоторых характерных для этой системы параметров, поэтому нейронные сети могут быть также использованы для предсказания значений временных рядов. Анализ данных электромагнитных измерений требует применения методов разделения сигналов и оценки их спектральных характеристик. Сигналы с непересекающимися полосами частот могут быть разделены обычной фильтрацией; в других случаях может быть использован метод разложения сигнала по главным компонентам, который основан на представлении исходного сигнала в виде суммы линейно независимых сигналов. Для оценки динамического спектра сигналов удобен метод спектрограмм, основанный на разбиении исходного сигнала на интервалы и построении спектров для каждого интервала.

Глава 2 посвящена описанию алгоритма идентификации полезных сигналов в волновых данных, которые были получены в результате измерений электрической компоненты электромагнитного поля в диапазоне частота от 8 Гц до 20 кГц. Для тестирования алгоритма рассматриваются полезные сигналы трех типов: локализованные всплески на частотах ~10 кГц длительностью <3 с, широкополосное излучение в диапазоне от 2 до 12 кГц и сигналы на низких частотах (<2 кГц) длительностью >3 с. Эти типы сигналов регистрировались, как одновременно, так и по отдельности.

Алгоритм обнаружения включает три этапа. На первом этапе данные предварительно обрабатываются: сигнал, который представляет собой

одномерный массив, разбивается на блоки фиксированной длины; каждый блок – на пересекающиеся интервалы и для каждого интервала вычисляется спектр, таким образом каждому блоку ставится в соответствие матрица-спектрограмма. Длина блока выбирается таким образом, чтобы ее порядок не превышал значительно длину стационарности сигнала (характерного времени, в течение которого изменением амплитуды и частотных характеристик полезных сигналов можно пренебречь). На втором этапе выделяются наиболее значимые параметры сигнала: для каждого блока к векторам матрицы, полученной на первом этапе, применяется преобразование Карунена-Лове, которое состоит в переходе к базису из собственных векторов данной матрицы. В новом базисе выделяются наиболее значимые векторы, т.е. векторы, которым соответствуют наибольшие собственные числа. Уровень значимости определяется как отношение данного собственного числа к сумме всех собственных чисел. Полученная из данных векторов матрица преобразуется в исходный базис. Данная процедура позволяет выделить наиболее значимые частотные диапазоны. Аналогично выделяются наиболее значимые диапазоны по временной шкале. На третьем этапе для каждого блока классифицируются наиболее значимые интервалы, выделенные на втором этапе, т.е. каждый интервал относится к одному из трех типов полезных сигналов. Пространство частотных и временных параметров наиболее значимых интервалов разбивается на классы с помощью нейронной сети с самоорганизацией. Параметры сети настраиваются на наборах данных, наличие или отсутствие полезных сигналов в каждом блоке которых заранее установлено. После определения параметров обнаружителя, любой поступающий на его

вход сигнал относится к одному или нескольким классам, в зависимости от того, какие типы полезных сигналов он содержит.

Тестирование алгоритма показало, что обнаружитель, использующий данный алгоритм, идентифицирует ~70% полезных сигналов, т.е. алгоритм можно использовать для выделения значимой информации и ее последующего анализа. Путем вариации параметров, таких как длина стационарности и уровень значимости, можно увеличить степень распознавания сигналов с небольшой амплитудой и длительностью. Использование вейвлет-преобразования вместо спектрограмм также позволит увеличить уровень идентификации локализованных сигналов. Создание комплексной системы, которая состоит из обнаружителей с различными параметрами, даст возможность идентифицировать еще более широкий класс сигналов.

В **Главе 3** представлены результаты анализа волновых измерений, выполненных на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 прибором НВК-ОНЧ, который в одном из режимов измерял волновую форму электромагнитных излучений в диапазоне частот от 8 Гц до 20 кГц. Благодаря высокому временному разрешению прибора были выявлены мелкомасштабные электростатические структуры, наблюдаемые в полярной шапке и на полярной границе авроральной области. Детальный анализ около 200 случаев показал, что для всех наблюдаемых структур характерны следующие свойства: небольшая длительность (~0,01-1 с), нерегулярные вариации амплитуд (значения амплитуд в пределах одного всплеска могут отличаться в несколько раз) и наличие низкочастотной модуляции. Всплески наблюдаются вблизи плазменной частоты и, поскольку соответствующего магнитного излучения не было

зарегистрировано, эти структуры, по-видимому, представляют собой ленгмюровские волны. Анализ данных по частицам, полученных в ходе измерений прибора ИОН, показал, что в большинстве случаев ленгмюровские всплески регистрируются одновременно с потоками горячей плазмы в полярных областях. Поскольку временное разрешение прибора ИОН значительно превышает длительность самых продолжительных ленгмюровских всплесков, было выполнено только качественное сравнение, однако оно позволяет заключить, что ленгмюровские волны возбуждаются именно этими потоками горячих электронов. По данным прибора ИОН было также установлено, что ленгмюровские волны регистрируются на границе полярной шапки и авроральной области.

Оценки, выполненные с использованием характерных значений амплитуд наблюдаемых волн, показали, что нерегулярная структура волн может быть объяснена в рамках предположения о наличии в среде случайно распределенных флуктуаций плотности. С использованием данного предположения ранее была построена так называемая теория стохастического нарастания, которая позволила объяснить механизмы генерации и распространения ленгмюровских волн в солнечном ветре и электронном форшоке Земли. Установлено, что выводы этой теории могут быть применены и к полярной шапке, и к полярной границе аврорального региона. Ленгмюровские волны, генерируемые потоком горячих электронов, в некоторых областях рассеиваются на флуктуациях плотности и выходят из резонанса с частицами потока, а в других областях свободно нарастают (до тех пор, пока это нарастание не остановится под влиянием нелинейных эффектов). Поскольку в

предположении о нормальном распределении флуктуаций плотности числа областей первого и второго типа в среднем равны, то коэффициент усиления волн также флуктуирует около среднего нулевого значения. В этом случае распределение логарифма квадратов амплитуд поля должно носить нормальный характер. Для вычисления параметров распределения ленгмюровские волны выделялись на фоне других сигналов путем обычной фильтрации и в ряде случаев с применением разложения Карунена-Лове. Показано, что отличие наблюдаемого распределения от нормального невелико и, по-видимому, может быть объяснено незначительным отличием формы распределения флуктуаций плотности от нормального.

Оценки частоты модуляции, выполненные на основе предположения о взаимодействии первичных ленгмюровских волн (т.е. волн, генерируемых потоком горячих электронов) и волн, рассеянных на флуктуациях плотности, показали хорошее согласие с экспериментальными значениями. Поэтому наблюдаемая низкочастотная модуляция, вероятнее всего, является следствием взаимодействия первичных и рассеянных ленгмюровских волн. Таким образом, в рамках предположения о наличии в среде случайно распределенных флуктуаций плотности могут быть объяснены все характерные свойства ленгмюровских волн, наблюдаемых в полярной шапке и на полярной границе авроральной области.

В **Главе 4** представлен анализ зависимостей значений K_p - и AL-индексов от характеристик солнечного ветра, их предшествующих значений и предшествующих значений самих индексов, в результате которого установлено, что для K_p -индекса наиболее значимыми

параметрами являются: B_z (0, 1), V (0, 1), n (0, 1) и K_p (1), а для AL-индекса – B_z (0, 1), V (0, 1), AL (1), здесь в круглых скобках после названия параметра показывается временное упреждение любого из параметров по отношению к исследуемому значению индекса (для K_p -индекса упреждение в трехчасовых интервалах, для AL-индекса – в часовых). Установлено, что влияние других характеристик, таких как u -компонента ММП, скачки плотности и скорости, дисперсия ММП и параметры с шестичасовым упреждением по отношению к значению индекса, можно не принимать во внимание.

Значения K_p , полученные на основе модели с входными параметрами: B_z (0, 1), V (0, 1), n (0, 1) и K_p (1), – соответствуют реальным значениям индекса с коэффициентом корреляции 0,89 и максимальной относительной среднеквадратичной ошибкой ~15%. Таким образом, предлагаемая схема расчета K_p значительно лучше по своим характеристикам, чем ранее опубликованные варианты [Boberg et al., 1999]. Индекс AL определяется моделью: B_z (0, 1), V (0, 1), AL (1). Коэффициент корреляции для этой модели составляет ~0,86. Учет плотности и скорости солнечного ветра повышает качество модели AL на ~1%.

Незначительный вклад параметров с шестичасовой задержкой (для K_p -индекса) показывает, что характерное время «памяти» магнитосферы Земли не превышает шести часов, но развитие флуктуаций поля все же зависит от предыстории состояния магнитосферы, что проявляется в улучшении качества модели при учете предыдущих значений индексов. Так как разброс значений на выходе даже самых лучших моделей (по

обоим индексам) достаточно велик, то состояние магнитосферы не полностью определяется солнечным ветром. По-видимому, эта остающаяся неоднозначность состояния магнитосферы не может быть учтена каким-либо алгоритмическим способом и, скорее всего, объясняется, в частности, особенностями внутренней динамики магнитосферы и/или не всегда корректным отражением реальной геомагнитной активности в индексах, вычисляемых по достаточно редкой сети станций.

В **Заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы, которые состоят в следующем:

1. Проведен анализ ленгмюровских волн, наблюдаемых на спутнике ИНТЕРБОЛ-2 в полярной шапке и на полярной границе авроральной области на высотах порядка 2-3 радиусов Земли. Установлено, что во всех случаях, длительность наблюдаемых волн невелика ($\sim 0,01-1$ с) и наблюдаются нерегулярные вариации амплитуд (значения амплитуд в пределах одного всплеска могут отличаться в несколько раз) и низкочастотная модуляция. Сравнение данных волновых измерений с данными измерений по частицам показало, что наблюдаемые волны возбуждаются потоками горячих электронов, распространяющимися из хвоста магнитосферы.
2. Выполнены оценки статических параметров распределений амплитуд электрического поля в наблюдаемых волнах. Это позволило установить, что распределение логарифма квадратов амплитуд поля близко к нормальному закону. Показано, что, согласно теоретическим оценкам, такая зависимость наблюдается в том случае, если в окружающей плазме присутствуют нормально

распределенные флуктуации плотности, что создает баланс между областями, в которых волны могут эффективно нарастать (пока нарастание не остановится под влиянием нелинейных механизмов), и областями, в которых волны эффективно затухают (рассеиваются на флуктуациях плотности и выводятся из резонанса с пучком).

3. В предположении о наличии нормально распределенных флуктуаций плотности сделаны спектральные оценки регистрируемых волн, что дало возможность объяснить наблюдаемую низкочастотную модуляцию как результат наложения волн, возбуждаемых потоком электронов, и волн, рассеянных на флуктуациях плотности.
4. Разработан и реализован алгоритм автоматической идентификации полезных сигналов в данных волновых измерений. Алгоритм использован для выделения и анализа ленгмюровских волн в данных измерений прибора НВК-ОНЧ. Показано, что алгоритм может быть также применен к данным других волновых измерений.
5. Определены факторы из числа характеристик солнечного ветра, оказывающие наиболее значимое влияние на уровень геомагнитной активности, оцениваемый геомагнитными индексами K_p и AL . Оценено влияние предыстории солнечного ветра и динамики магнитосферы на величину этих индексов, в результате чего были разработаны модели зависимости индексов K_p и AL от параметров солнечного ветра и предшествующих значений самих индексов. Значения K_p , полученные на основе модели с входными параметрами B_z (0, 1), V (0, 1), n (0, 1) и K_p (1), – соответствуют

реальным значениям индекса с коэффициентом корреляции 0,89. Индекс AL определяется моделью: B_z (0, 1), V (0, 1), AL (1), коэффициент корреляции для которой составляет $\sim 0,86$.

6. Реализована модель зависимости K_p -индекса от характеристик солнечного ветра. Разработанная программа может быть использована для предсказания значений индекса в почти реальном времени.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Могилевский М.М., Голявин А.М., Александрова Т.В., Русанов А.А., Иржичек Ф., Триска П., Пуарье Б. Измерения низкочастотных электромагнитных полей на спутнике «Авроральный зонд» проекта ИНТЕРБОЛ: эксперимент НВК-ОНЧ. // Космические исследования. 1998. Т. 36. №6. С. 630.
2. Rusanov A.A., Mogilevsky M.M., Rauch J.-L. Signal detection in wave data. // Препринт ИКИ РАН. Пр-2101. 2004. 34 с.
3. Буринская Т.М., Русанов А.А., Могилевский М.М. Мелкомасштабные всплески ленгмюровских волн в полярной шапке. // Космические исследования. 2000. Т. 38. №5. С. 507.
4. Burinskaya T.M., Rusanov A.A., Rauch J.-L., Miles A., Mogilevsky M.M., Trotignon J.G., Lefeuvre F. Sauvaud J. A. Small-scale bursts of Langmuir waves in the polar cap. // Advances in Space Research. 2003. V.31. I. 5. P. 1247.

5. Русанов А.А., Петрукович А.А. Влияние параметров солнечного ветра на уровень флуктуаций геомагнитного поля. // Космические исследования. 2004. Т. 42. № 4. С. 368.

055(02)2

Ротап rint ИКИ РАН
Москва, 117997, Профсоюзная, 84/32

	Подписано к печати	31.08.2005	
Заказ	Формат 70x108/32	Тираж 100	1,0 уч.-изд.л.
