

На правах рукописи

РГВ *Байшев* ОД

БАЙШЕВ Дмитрий Гаврильевич 10 МАЯ 2000

**ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ГЕОМАГНИТНЫМИ ПУЛЬСАЦИЯМИ  
И НЕСТАЦИОНАРНЫМИ АВРОРАЛЬНЫМИ СТРУКТУРАМИ**

Специальность 04.00.23 –  
“Физика атмосферы и гидросферы”

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Якутск – 2000

Работа выполнена в Институте космофизических исследований и аэронауки  
Сибирского отделения Российской Академии Наук (ИКФИА СО РАН)

Научный руководитель - доктор физико-математических наук С.И. Соловьев  
(ИКФИА СО РАН)

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук А.С. Потапов  
(Институт солнечно-земной физики СО РАН)  
кандидат физико-математических наук, старший  
научный сотрудник В.А. Муллаяров (ИКФИА СО  
РАН)

Ведущая организация - Объединенный институт физики Земли им.  
О.Ю.Шмидта

Защита диссертации состоится " 5 " мая 2000 г.  
в 15 часов на заседании Диссертационного совета К 200.40.01 в Институте  
космофизических исследований и аэронауки СО РАН по  
адресу: 677891, г.Якутск, пр.Ленина, 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИКФИА СО РАН

Автореферат разослан " 4 " апреля 2000 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета,  
кандидат физико-математических наук



Л.П. Шадрина

0244.62,0

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Исследование геомагнитных пульсаций – гидромагнитных волн ультранизкой частоты (ULF волн) – и нестационарных структур аврорального свечения является одним из актуальных направлений физики магнитосферы. Гидромагнитным волнам придается важное значение в процессах передачи энергии от солнечного ветра в магнитосферу Земли и диссипации этой энергии в ионосфере. Нестационарные структуры свечения с масштабами ~50-500 км, возникающие в дискретных и диффузных формах полярных сияний, являются визуальным проявлением быстропротекающих процессов в течение магнитосферной суббури и магнитной бури. Длительность и повторяемость таких процессов составляет ~1-15 мин и находится в диапазоне периодов геомагнитных пульсаций. Условия генерации и распространения геомагнитных пульсаций и нестационарных структур свечения тесно связаны с процессами взаимодействия ULF волн и частиц магнитосферной плазмы и, следовательно, содержат информацию о состоянии магнитосферы в периоды возмущений. Использование этой информации позволяет, во-первых, оценить роль нестационарных быстропротекающих процессов в развитии суббури и магнитной бури и, во-вторых, дает возможность дистанционной диагностики околоземного пространства по наземным данным.

В настоящее время, несмотря на многочисленные исследования, проблема генерации и локализации как источников геомагнитных пульсаций, так и авроральных структур, остается нерешенной. Одним из возможных способов решения этой проблемы является совместное исследование процессов генерации авроральных структур свечения и сопровождающих их геомагнитных пульсаций. Это может дать новую информацию о роли магнитосферных плазменных неустойчивостей и высылающихся частиц в возбуждении гидромагнитных колебаний и формировании их спектра. Однако такие исследования до сих пор не были проведены в должном объеме. Исключением являются лишь результаты о тесной связи между возбуждением геомагнитных пульсаций типа P<sub>sb</sub> и формированием авроральных факелов (омега полос).

Необходимые данные синхронных магнитных и оптических наблюдений на широтах авроральной и субавроральной зоны с достаточно высоким пространственно-временным разрешением, составившие основу диссертации, были получены в ходе эксперимента, проводившегося в течение ряда лет на территории Якутии и на глобальной цепочке цифровых магнитных станций, вытянутой от авроральной зоны до экватора, между 190° и 210° магнитными меридианами.

**Основной целью** работы является экспериментальное исследование физических условий возбуждения геомагнитных пульсаций и формирования нестационарных структур аврорального свечения в процессе развития магнитосферных возмущений.

**Научная новизна** работы состоит в том, что в ней впервые проведены экспериментальные исследования условий возбуждения геомагнитных пульсаций на ночной стороне Земли в связи с формированием и распространением нестационарных структур аврорального свечения с масштабами  $\geq 50$  км, возникающих в дугах сияний, на границах диффузной зоны сияний и в диффузном фоне в течение магнитосферных возмущений.

Впервые показано, что существует тесная связь между характеристиками всплесков пульсаций  $P_12$  и параметрами волнообразных и вихревых структур в уярчающейся дуге сияний во время псевдобурейкапов и многократных начал суббури.

Впервые установлены закономерности формирования и распространения N-S сияний (авроральных стримеров) в течение суббури и конвекционных возмущений. Найдено соответствие между параметрами N-S структур и сопровождающих их импульсных вариаций магнитного поля с периодами  $\sim 5-15$  мин, названных "поздне-вечерними  $P_5b$ ". Показано, что ионосферные токи, ответственные за  $P_5b$ , текут к северу (югу) для структур, дрейфующих по азимуту на запад (восток).

Обнаружено, что во время формирования крупномасштабных волн свечения на экваториальной границе диффузных сияний в течение магнитной бури наблюдается возбуждение геомагнитных пульсаций диапазона  $P_5$  и амплитудная модуляция геомагнитных пульсаций  $P_1-2$ , IPDP с периодами, равными периодом колебаний волн свечения.

**Научная и практическая ценность.** Полученные результаты способствуют более глубокому пониманию нестационарных процессов, характеризующих развитие суббури и магнитной бури. Они могут использоваться для построения модели суббури и возбуждения геомагнитных пульсаций, а также для разработки более надежных методов диагностики параметров внутримангнитосферной плазмы. Ряд результатов (например, по  $P_12$ ) может стимулировать развитие новых подходов в исследовании геомагнитных пульсаций.

Диссертация написана по результатам работ автора, выполненных в рамках тем отдела аэронавтики ИКФИА. Часть работ выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований в рамках проектов №96-05-64304 и №97-05-65404.

**Достоверность** полученных автором результатов определяется статистической обеспеченностью выводов данными синхронных магнитных и оп-

тических наблюдений с высоким пространственным и временным разрешением, а также использованием адекватных методов анализа и физической интерпретации. Результаты, приведенные в диссертации, согласуются и подтверждаются результатами исследований других авторов.

#### **Автор выносит на защиту:**

1. Результаты, свидетельствующие о том, что возбуждение высокоширотных пульсаций  $Pi2$  тесно связано с процессами образования волнообразных и вихревых структур с масштабами  $\sim 50$ - $200$  км в уярчающейся дуге сияний в течение псевдобурейкапов и начал суббури.

2. Установленные закономерности формирования и распространения N-S сияний и их связь с импульсными вариациями магнитного поля с периодами  $\sim 5$ - $15$  мин во время суббуревых и конвекционных возмущений.

3. Экспериментальные свидетельства, что в вечерние часы в течение магнитных бурь возбуждение геомагнитных пульсаций  $Pc5$  и модуляция амплитуды пульсаций  $Pc1-2$ ,  $IPDP$  связаны с формированием крупномасштабных волн свечения на экваториальной границе диффузной зоны.

4. Пространственно-временную схему распределения и динамики нестационарных структур аврорального свечения на ночной стороне Земли, а также результаты анализа связи между параметрами этих структур и характеристиками сопровождающих их геомагнитных пульсаций.

**Личный вклад автора.** Диссертант активно участвовал в проведении экспериментальных работ на станциях Чокурдах, Зырянка и Якутск. Руководил работами по программному обеспечению цифровой обработки и представлению данных. Вклад автора в получении новых экспериментальных закономерностей, анализе и интерпретации данных является определяющим.

**Апробация работы.** Результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на следующих международных научных конференциях и отечественных семинарах: 8 Международном симпозиуме по солнечно-земной физике (Сендай, Япония, 1994), 21 Генеральной Ассамблее МСГГ (Боулдер, США, 1995), 7 и 8 Научных Ассамблеях МАГА (Буэнос-Айрес, Аргентина, 1993 и Упсала, Швеция, 1997), Международной конференции по суббурям ICS-4 (Хаманако, Япония, 1998), на Осенних собраниях Американского Геофизического Союза (Сан-Франциско, 1997, 1998), на ежегодных Апатитских семинарах "Физика авроральных явлений" и научных семинарах в ИКФИА.

**Публикации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 15 работах, список которых приведен в конце автореферата.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем - 182 страницы: текстовая часть - 102

страницы, рисунков - 58, таблиц - 4, список используемой литературы включает 174 наименования.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** даны обоснование работы, ее актуальность и научная новизна, сформулирована цель диссертации. Кратко изложено содержание диссертации и представлены положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** дано описание развития авроральной суббури и типов нестационарных структур аврорального свечения, регистрируемых в течение суббури и магнитной бури. Рассмотрена схема возбуждения геомагнитных пульсаций во время магнитосферных возмущений. Приведены схемы пространственно-временного распределения аврорального свечения и проекций областей с различным типом свечения в магнитосферу в околополуночном секторе.

Описана действующая в настоящее время цепочка из шести магнитометрических станций: о.Котельный ( $L=8,3$ ), б.Тикси ( $L=5,6$ ), Чокурдах ( $L=5,5$ ), Жиганск ( $L=4,1$ ), Зырянка ( $L=4,0$ ) и Якутск ( $L=3,2$ ), которые являются частью глобальной цепочки "210° магнитный меридиан" (рис.1). Все пункты оснащены идентичными цифровыми магнитометрами с 1-секундным разрешением. На станциях Тикси, Жиганск и Якутск регистрация быстрых вариаций магнитного поля ведется также с помощью индукционных магнитометров. В Тикси и Жиганске установлены телевизионные камеры всего неба с 4-секундным разрешением с записью информации на видеокассеты. Результаты анализа экспериментальных данных, полученных на цепочке "210° магнитный меридиан", составили основу диссертационной работы.

**Во второй главе** изучены свойства всплесков геомагнитных пульсаций  $Pi2$  в связи с уярчением дуги сияний и формированием в ней волнообразных и вихревых структур в течение псевдобрейкапов и начал суббури.

Дан краткий обзор механизмов возбуждения высокоширотных и низкоширотных пульсаций  $Pi2$ . Наиболее распространенным представлением о генерации высокоширотных  $Pi2$  является модель, получившая название "transient response model". Согласно этой модели, резкое усиление продольного тока в начале суббури приводит к генерации МГД-импульса, который, распространяясь вдоль силовой линии и многократно отражаясь от ионосферы и плазменного слоя, формирует дуг колебаний с частотой, равной резонансной частоте силовых линий.

В §2.3 приведены результаты исследований связи между характеристиками высокоширотных  $Pi2$  с параметрами авроральных структур с масштаба-

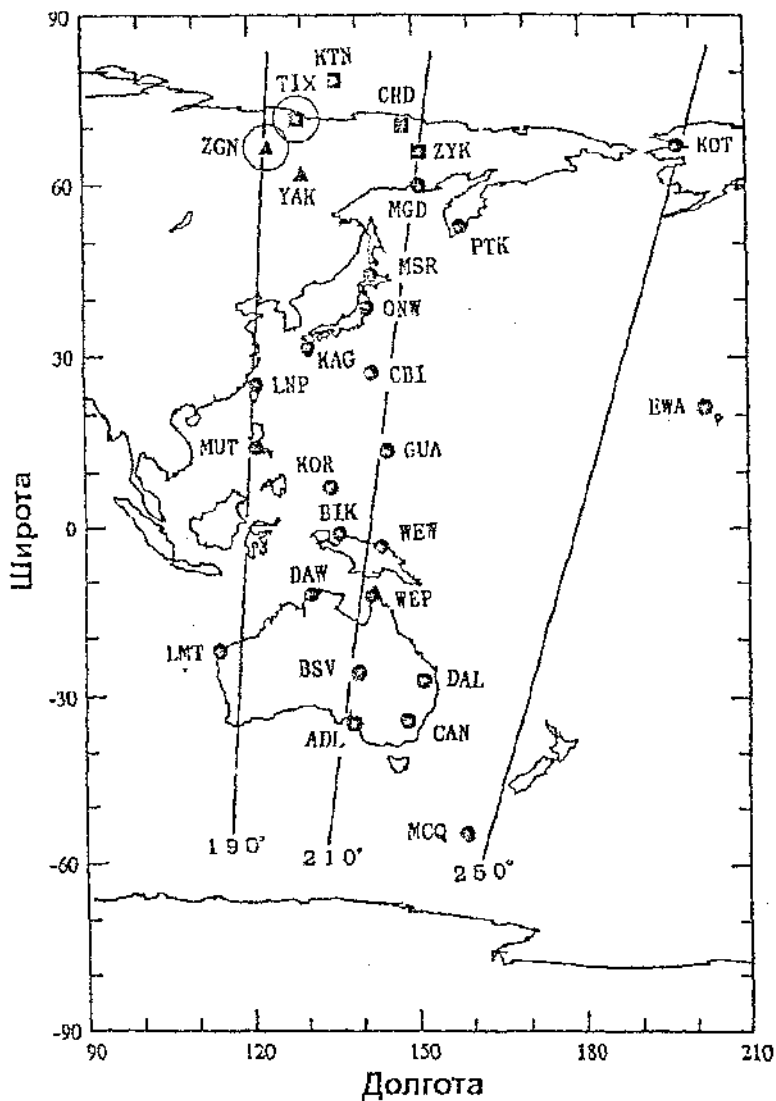


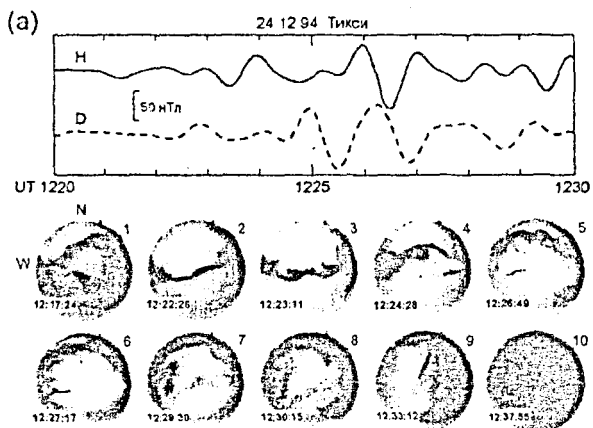
Рис.1. Карта расположения 26 станций, оснащенных цифровыми магнитометрами на 190-250° магнитных меридианах (темные кружки и прямоугольники), включая четыре станции на территории Якутии (прямоугольники). Круги - обзор телевизионных камер для регистрации полярных сияний на станциях Тикси и Жиганск

ми  $\sim 50-200$  км, распространяющихся вдоль дуг сияний со скоростью  $\sim 1-5$  км/с, по данным телевизионных наблюдений сияний на  $L=5,6$  и  $L=4,1$  и синхронным магнитным данным на цепочке станций. Установлено, что в течение псевдобурейкапов и взрывных активизаций суббури вслед за уярчением дуги сияний наблюдались пространственные волнообразные колебания дуги и образование в ней вихревых структур в виде ярких пятен свечения (рис.2а). Волны и пятна свечения распространялись со скоростями, близкими к скоростям конвекции, на восток в полуночном секторе и на запад в дополуночном секторе. Периоды пространственных колебаний дуги, определяемые как отношение длины волны свечения  $\lambda$  к скорости ее распространения  $V$  составляют  $\sim 30-200$  с и находятся в диапазоне периодов  $Pi2$  ( $T=40-150$  с). Сравнение конкретных событий показало, что преимущественные периоды пространственных колебаний дуги совпадали с периодами сопутствующих колебаний  $Pi2$ . Яркие пятна свечения дуги сияний с масштабами  $\sim 100$  км и временем жизни  $\sim 30-60$  с, кроме дрейфа вдоль дуги, часто испытывают вращение по часовой или против часовой стрелки. Показано, что направление вращения горизонтального вектора поляризации  $Pi2$  на широтах локализации дуги сияний совпадало с направлением вращения ярких пятен свечения. На станциях, расположенных на широтах южнее и севернее области локализации дуги, наблюдается смена направления вращения вектора поляризации пульсаций  $Pi2$ . На средних и низких широтах такое изменение направления вращения совпадает с изменением фазы  $H$ -компоненты  $Pi2$ .

Уярчение дуги во время псевдобурейкапов и начал суббурь и формирование авроральных структур сопровождалось импульсными вариациями магнитного поля с амплитудой  $\Delta H=30-600$  нТл длительностью  $\Delta t=5-15$  мин, источником которых было усиление токов преимущественно западного направления в дуге сияний. Максимальная амплитуда  $Pi2$  наблюдается на широтах локализации дуги. В процессе движения дуги к полюсу на фазе экспансии суббури максимум амплитуды  $Pi2$  смещался на более высокие широты. Время запаздывания соответствует времени дрейфа дуги со скоростью  $\sim 1,0$  км/с. С переходом от фазы роста к взрывной фазе суббури амплитуда  $Pi2$  резко возрастает. Момент начала резкого роста интенсивности  $Pi2$  совпадает с ростом амплитуды волнообразных деформаций дуги (рис.2а).

По данным станций Тикси и Чокурдах, расположенных на близких авроральных широтах, но отстоящих по долготе на  $\sim 15^\circ$ , получено в согласии с результатами других авторов, что сигналы  $Pi2$  распространяются вдоль авроральной зоны по направлению конвекции, но с фазовой скоростью  $\sim 40$  км/с. Эта скорость значительно превышает скорость распространения авроральных структур вдоль дуги сияний, но близка к максимальной скорости продвиже-





(б) Последовательность процессов, ответственных за пульсации Pi2

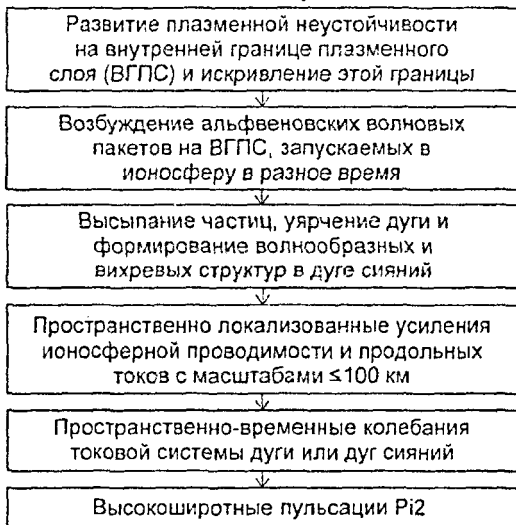


Рис.2. Возбуждение геомагнитных пульсаций типа Pi2, сопровождающихся динамикой дуги сияний и формированием в ней волнообразных и вихревых структур свечения (ТВ кадры 1-6) с последующим появлением N-S сияний (ТВ кадры 7-10) по данным Тикси 24.12.94 г. – (а). Последовательность процессов, ответственных за пульсации Pi2 – (б)

ния по азимуту градиента яркости дуги  $V \sim 30$  км/с.

На основании полученных результатов предлагается новый физический сценарий возбуждения высокоширотных  $Pi2$  (рис.26). Предполагается, что возбуждение пульсаций  $Pi2$  обусловлено генерацией альфвеновских волн из-за развития плазменной неустойчивости Кельвина-Гельмгольца и усиления пространственно локализованных продольных токов, ответственных за формирование волнообразных и вихревых авроральных структур в дуге сияний. Возбуждение волн связано с пространственной деформацией силовых линий магнитного поля и их скручивания, подобно магнитному жгуту. Пульсации  $Pi2$  представляют собой совокупность волновых пакетов, генерированных в разное время в ночной части плазменного слоя магнитосферы, которые распространяются от экватора к Земле и один раз (а не многократно) отражаются от ионосферы. Таким образом, согласно предложенному сценарию периоды колебаний  $Pi2$  определяются частотным спектром развивающейся неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, а не резонансными частотами силовых линий. Каждый волновой пакет сопровождается локальным усилением ионосферной проводимости и продольного тока. Флуктуации ионосферной проводимости, электрических полей, продольных токов при наличии стационарного электрического поля и повышенной проводимости в дуге сияний приводят к пространственно-временным колебаниям токовой системы дуги сияний, которые наблюдаются на поверхности Земли как пульсации  $Pi2$ . Сигналы  $Pi2$  распространяются в ионосфере как электромагнитная волна вдоль области повышенной проводимости или в виде гиротропных поверхностных волн с фазовой скоростью  $\geq 30$  км/с. Это может объяснить разницу в наблюдаемых значениях скорости распространения  $Pi2$  и авроральных структур свечения. Растекание азимутальных токов двухвихревой токовой системы, ответственной за  $Pi2$ , на более низкие широты приводит к изменению направления вращения и смене знака  $H$ -компоненты  $Pi2$ . Предлагаемый сценарий возбуждения высокоширотных  $Pi2$  существенно отличается от "transient response model"  $Pi2$  и может рассматриваться как альтернативная модель.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию авроральных структур, вытянутых по меридиану (N-S сияний и авроральных факелов), и сопровождающих их длиннопериодных геомагнитных пульсаций с периодами  $\sim 5$ -20 мин.

По данным телевизионных наблюдений около двухсот N-S структур впервые подробно исследованы их характеристики и условия формирования. Установлено, что N-S структуры наблюдаются, в основном, в поздневечерние часы (21-23 LT), генерируются на широтах овала дискретных сияний ( $L \geq 7$ -8) и дрейфуют со скоростью 1-5 км/с преимущественно на юго-

запад до полуночи, на юг – в околополуночные часы и на юго-восток после полуночи. N-S структуры могут проникать в процессе дрейфа в область диффузной зоны сияний и достигать её экваториальной границы ( $L=4$ ). Во время генерации N-S сияний экваториальная граница диффузного свечения также движется к югу, но в 5-20 раз медленнее.

N-S сияния часто наблюдаются через 3-8 мин после начала взрывных активизаций суббури (рис.2а, ТВ кадры 7-10), но также регистрируются в периоды конвекционных возмущений (рис.3).

Показано, что N-S сияния сопровождаются импульсными вариациями магнитного поля с периодами ~5-15 мин, в которых  $\Delta D$  и  $\Delta Z$  превышают  $\Delta H$  (рис.3а). Эти вариации были нами названы как “поздние-вечерние пульсации Ps6”. Ионосферные токи, ответственные за эти пульсации, локализованы в области N-S структур и текут преимущественно к северу (югу) для структур, дрейфующих на запад (восток) (рис.3). Магнитные вариации могут наблюдаться на широтах  $L \leq 4$ , но с запаздыванием по сравнению с более высокими широтами.

В §3.3 приведены результаты исследования авроральных факелов и распределения токов внутри этих структур. Показано, что факельные структуры могут наблюдаться в течение активной фазы суббури, в периоды устойчивой магнитосферной конвекции и наиболее часто регистрируются на восстановительной фазе. Фазовые задержки H-, D-, Z-компонент “утренних Ps6”, сопровождающих авроральные факелы, и их вариации в процессе пересечения факелом меридиана наблюдения показывают, что ионосферные токи, ответственные за Ps6, текут внутри факела преимущественно в южном направлении и являются скорее всего линейными, а не вихревыми токами, как это предполагалось во многих работах.

В §3.4 рассмотрены механизмы генерации авроральных структур, вытянутых по меридиану, приведены некоторые данные, свидетельствующие о возможной взаимосвязи процессов генерации N-S и факельных структур свечения и дана интерпретация полученных результатов.

Сравнение наземных оптических данных и результатов измерений электрического поля и скорости потоков частиц на спутнике Geotail за 22.11.95, когда спутник находился в ночном плазменном слое вблизи Якутского меридиана, показало, что появление N-S сияний сопровождалось флуктуациями электрического поля западного направления и потоками частиц со скоростью  $>400$  км/с (BBF-events) по направлению к Земле на экваторе магнитосферы. Квазипериоды ~5-15 мин появления BBF событий совпали с периодами повторений N-S сияний. Это подтвердили недавние результаты других авторов о возможной связи генерации N-S сияний и BBF событий: N-S

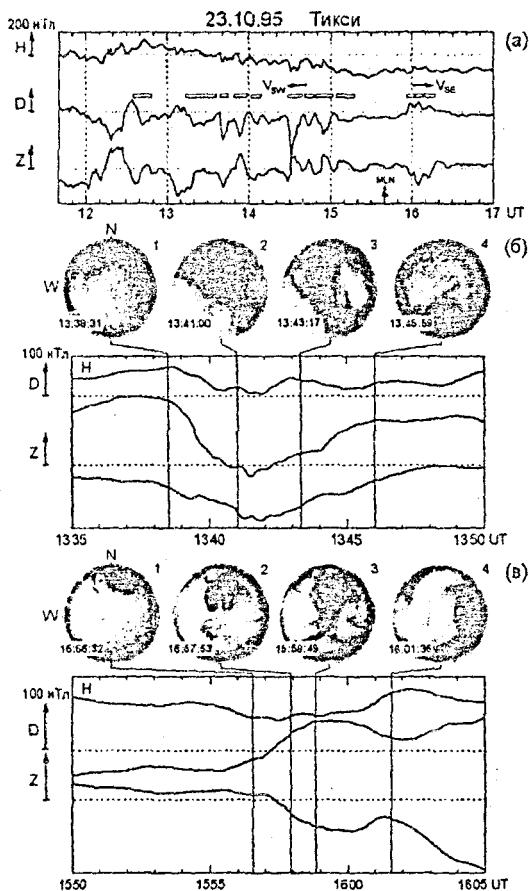


Рис.3. Импульсные вариации H-, D-, Z-компонент магнитного поля в периоды наблюдения N-S сияний (светлые прямоугольники), дрейфующих на юго-запад  $V_{SW}$  и юго-восток  $V_{SE}$  до и после полуночи (MLN) – (а). Пример смены преимущественного направления тока, локализованного внутри N-S структуры, с северного направления ( $-\Delta D$ ) на южное ( $+\Delta D$ ) в зависимости от ее азимутального дрейфа на запад (б) или на восток (в)

сияния могут быть ионосферным проявлением локализованных поперек хвоста магнитосферы ( $\sim 1-3 R_E$ ) высокоскоростных пучков плазмы, распространяющихся по направлению к Земле.

Наблюдения сияний показали, что в околополуденном секторе в периоды усиления магнитосферной конвекции спустя  $\sim 10-20$  мин после начала экваториального дрейфа дуги сияний и распространения к югу N-S сияний происходит формирование аврорального факела. Анализ магнитных вариаций в различных временных секторах также показал, что во время регистрации N-S сияний и связанных с ними "поздне-вечерних Ps6" на ночной-утренней стороне Земли наблюдаются пульсации Ps6 с подобными периодами колебаний, но со свойствами, характерными для пульсаций, связанных с факельными структурами. Это свидетельствует, что процессы генерации N-S сияний и факельных структур могут быть взаимосвязанными. Сравнение наземных и спутниковых наблюдений позволило установить, что формирование факела происходит в виде расширения "языка" свечения к полюсу со скоростью  $\sim 2,0$  км/с, которая в несколько раз превышала скорость движения ВГДС в том же направлении восточнее области локализации факела.

На основании этих результатов высказано предположение, что вторжение высокоскоростных и пространственно локализованных потоков частиц во внутреннюю область магнитосферы из хвоста магнитосферы, проектирующуюся на диффузную зону сияний, приводит к образованию плазменных трубок повышенного по сравнению с фоновым давлением плазмы. Эти трубки затем "выталкиваются" от Земли в течение 2-5 мин и, дрейфуя на восток, регистрируются в ионосфере как "языки" диффузного свечения, вытянутые к полюсу (авроральные факелы).

В конце главы обсуждаются возможные источники ионосферных токов, ответственных за пульсации Ps6, сопровождающие N-S сияния и авроральные факелы. Предположено, что преимущественные направления токов в этих авроральных структурах определяются направлением крупномасштабного электрического поля конвекции к полюсу (югу) для структур, дрейфующих по азимуту на запад (восток).

В четвертой главе исследовано формирование крупномасштабных волн свечения на экваториальной границе диффузных сияний (ЭГДС) в вечернем секторе в течение магнитных бурь и их взаимосвязь с короткопериодными вариациями магнитного поля.

По данным ТВ камер станций Тикси и Жиганск определены основные параметры волн диффузного свечения. Показано, что волны диффузного свечения в основном регистрируются на ЭГДС на  $\Phi \sim 60^\circ$ , но могут наблюдаться и на экваториальном крае дискретной дуги сияний, расположенной на

$\Phi' \sim 65^\circ$ . Формирование волн свечения сопровождается усилением интенсивности восточного электроджета и перемещения его центра к экватору, вплоть до широт локализации ЭГДС. Волны свечения с длиной волны  $\lambda \sim 150-500$  км и амплитудой от  $\sim 50$  до 250 км распространяются в западном направлении со скоростью  $V_w \sim 1,0$  км/с (рис.4). Впервые обнаружено, что в периоды генерации волн свечения происходит возбуждение геомагнитных пульсаций типа Pc5 с периодами  $\sim 150-400$  с, равными величине отношения длины волны свечения  $\lambda$  к скорости их распространения  $V_w$  (рис.4). Ионосферные токи, ответственные за Pc5, текут вдоль волнообразной экваториальной границы диффузного свечения.

Сопоставление геомагнитных и оптических измерений показало, что во время генерации волн свечения на ЭГДС происходит возбуждение геомагнитных пульсаций Pc1-2, IPDP. Амплитуда этих колебаний была промодулирована пульсациями Pc5, периоды которых совпадали с отношением  $\lambda / V_w$  для волн свечения. Показано, что максимальная амплитуда Pc1-2, IPDP наблюдалась на широтах ЭГДС и максимальных потоков выпадающих протонов с энергией в несколько кэВ. Обнаружена зависимость между скоростью роста частоты излучения (IPDP) и скоростью экваториального перемещения ЭГДС и восточного электроджета.

Анализ опубликованных механизмов генерации волн диффузного свечения и причин амплитудной модуляции Pc1-2, IPDP показал, что наиболее вероятной причиной формирования волн свечения и возбуждения Pc5 являются дрейфовые волны, генерированные неустойчивостями Кельвина-Гельмгольца и баллонной на широтах плазмоспаузы. Неустойчивости развиваются в периоды интенсивной инжекции энергичных частиц плазменного слоя в кольцевой ток в вечернем секторе, которые достигли широт плазмоспаузы. На широтах контакта энергичных частиц кольцевого тока с холодной плазмой плазмосферы возникают термоэлектрическое поле северного направления ("поляризационный джет") и резкий градиент давления, которые благоприятствуют развитию сдвиговой и баллонной неустойчивостей плазмы. Контакт горячих частиц с холодной плазмой приводит также к развитию много-циклотронной неустойчивости (ИЦН), ответственной за пульсации Pc1-2, IPDP. Причиной амплитудной модуляции этих пульсаций с периодами Pc5 может быть модуляция инкремента ИЦН как симметричной, так и асимметричной модами низкочастотных колебаний. Для проверки этого предположения были рассмотрены эффекты модуляции амплитуды Pc1-2 волнами Pc5 по данным цепочки станций  $210^\circ$  магнитного меридиана (рис.1). Показано, что максимальная амплитуда Pc1-2 соответствовала отрицательным полу-периодам D- и H-компонент поля Pc5 на L- $\sim 5-6$  и наблюдалась либо одновре-

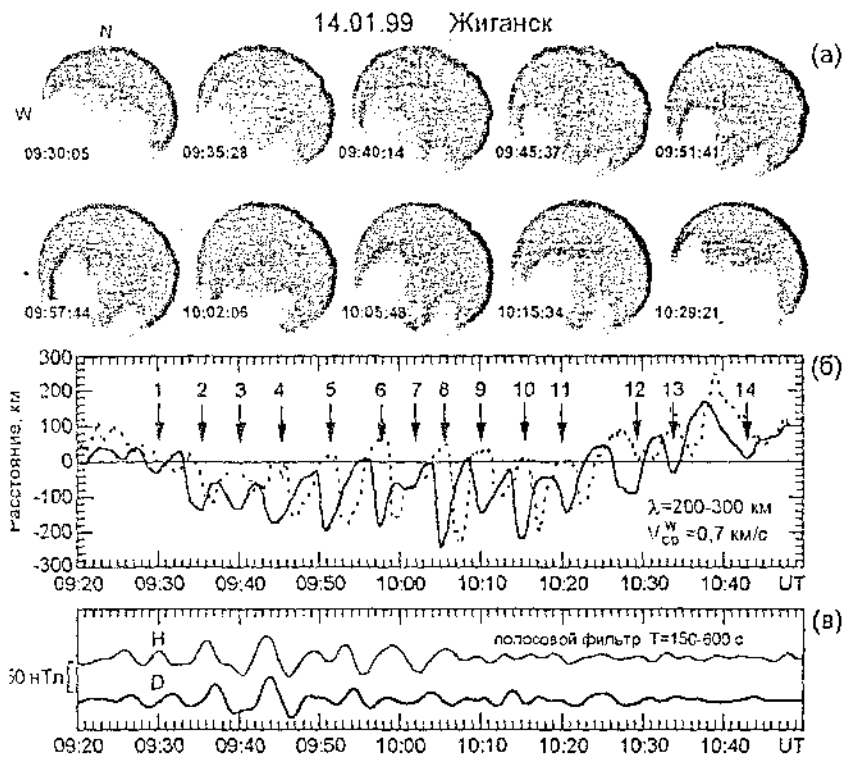


Рис.4. Пример формирования крупномасштабных волн свечения на ЭГДС с  $\lambda \sim 200-300$  км (а), состоящих из 14 "языков" свечения (обозначенных цифрами), распространяющихся на запад со средней скоростью  $\sim 0,7$  км/с (б) и сопровождающиеся возбуждением пульсирующей Pc5 (в) по данным Жиганска в течение магнитной бури 14.01.99 г. Сплошной и штриховыми линиями (б) показаны временные вариации положения ЭГДС на меридиане наблюдения и на расстоянии 100 км западнее него, соответственно

менно (симметричная мода), либо попеременно (асимметричная мода) в противоположных полушариях. В конце главы приведены результаты, свидетельствующие о тесной связи характеристик P<sub>c1-2</sub>, IPDP с параметрами свечения верхней атмосферы на субавроральных широтах (L~3-4), которые интерпретируются как эффекты высыпания частиц при их взаимодействии с ионно-циклотронными волнами.

В заключении приведены схемы пространственно-временного распределения и распространения различных типов авроральных структур и обнаруженной связи между параметрами структур и характеристиками сопровождающих их геомагнитных пульсаций. Перечислены основные результаты, которые состоят в следующем:

1. Впервые установлено, что существует тесная связь между характеристиками высокоширотных геомагнитных пульсаций P<sub>i2</sub> и параметрами волнообразных и вихревых структур свечения в урчающей дуге сияний в течение псевдобрейкапов и многократных начал суббури. Показано, что

- максимальная амплитуда P<sub>i2</sub> регистрируется на широтах локализации дуги сияний;
- период колебаний P<sub>i2</sub> совпадает с величиной отношения длины волн структур свечения в дуге к скорости их распространения;
- время жизни ярких пятен свечения соответствует длительности импульса P<sub>i2</sub>;
- направление вращения горизонтального вектора эллипса поляризации P<sub>i2</sub> совпадает с направлением вращения ярких пятен свечения дуги и зависит от положения станции наблюдения относительно дуги сияний;

2. Впервые подробно исследованы характеристики N-S сияний и условия их формирования. Установлено, что N-S сияния генерируются на широтах овала дискретных сияний (L≥7-8), дрейфуют со скоростью ~1-5 км/с преимущественно на юго-запад до полуночи и юго-восток после полуночи и могут достигать экваториальной границы диффузных сияний (L=4). Генерация N-S сияний чаще всего происходит через несколько минут после начала главных активизаций суббури, но они также наблюдаются в течение конвекционных возмущений.

3. Показано, что N-S сияния сопровождаются импульсными вариациями магнитного поля с периодами ~5-15 мин с D- и Z-компонентами поля, превышающими H-компоненту. Токи, ответственные за эти пульсации, локализованы в области N-S структур и текут к северу (югу) для структур, дрейфующих по азимуту на запад (восток).

4. Установлено, что процессы генерации N-S сияний и факельных структур могут быть взаимосвязаны. Показано, что в течение конвекционных



возмущений происходило формирование N-S структур в предполуночном секторе и авроральных факелов на ночной-утренней стороне. За ~10-20 мин до появления факелов наблюдался экваториальный дрейф авроральных дискретных дуг и распространение к югу N-S сияний.

5. Впервые обнаружено, что формирование волн свечения на ЭГДС в вечернем секторе, распространяющихся на запад, сопровождается возбуждением геомагнитных пульсаций Pc5 с периодами ~150-400 с, равными отношению длины волны свечения  $\lambda$  к скорости  $V_w$  распространения волн. Одновременно наблюдается амплитудная модуляция пульсаций Pc1-2, IPDP колебаниями Pc5.

6. Предложены физические сценарии возбуждения геомагнитных пульсаций на ночной стороне Земли в течение суббури и магнитной бури процессами импульсной инжекции частиц и генерацией крупномасштабных волн свечения на плазменных границах внутренней магнитосферы.

### Публикации по теме диссертации

1. Соловьев С.И., Баишев Д.Г., Баркова Е.С. и др. О связи геомагнитных пульсаций типа КУП и Pc1 с вариациями интенсивности аврорального свечения и плотности ионизации верхней атмосферы // Геомагнетизм и аэронавтика. 1992. Т.32, № 4. С.122-128.

2. Yumoto K., Solovyev S., Baishev D. et al. Variations of geomagnetic pulsation parameters of Pc1-2 and IPDP and their relation with Pi2 and Pc5 during magnetic substorms // Proc. 8<sup>th</sup> International Symposium on Solar Terrestrial Physics. Sendai, Japan, June 5-10, 1994. Part-I. P.112.

3. Baishev D.G., Solovyev S.I. Characteristics of Pc1-2 and IPDP geomagnetic pulsations during large-scale undulations on the evening diffuse auroral boundary // J. Geomag. Geoelectr. 1994. V.46, No.11. P.945-952.

4. Баишев Д.Г., Соловьев С.И. Характеристики геомагнитных пульсаций Pc1-2, КУП во время формирования волн свечения на экваториальной границе диффузных сияний в вечернем секторе // Геомагнетизм и аэронавтика. 1995. Т.35, № 2. С.23-31.

5. Yumoto K., Solovyev S.I., Molochushkin N.E., Baishev D.G. Pi2 excitation and arc brightening at substorm onset // XXI General Assembly. Boulder, Colorado, July 2-14, 1995. P.B101.

6. Yumoto K., Solovyev S.I., Baishev D.G., Barkova E.S. Pc1-2 and IPDP modulation effects by Pc5 waves during substorms and magnetic storms // XXI General Assembly. Boulder, Colorado, July 2-14, 1995. P.B128.

7. Соловьев С.И., Юмото К., Баишев Д.Г., Молочушкин Н.Е. О причине

возбуждения и формирования спектра высокоширотных геомагнитных пульсаций Pi2 в течение псевдобурейкапов и многократных начал суббури // Геомагнетизм и аэронавтика. 1997. Т.37, № 5. С.60-69.

8. Бaishev Д.Г., Юмото К., Соловьев С.И. и др. Вариации геомагнитного поля во время появления крупномасштабных волн диффузного свечения в вечернем секторе в течение магнитной бури // Геомагнетизм и аэронавтика. 1997. Т.37, № 6. С.39-46.

9. Solovyev S.I., Baishev D.G., Barkova E.S. et al. Excitation of Ps6 geomagnetic pulsations relative to north-south aurora structures in the evening-premidnight sector of the auroral zone // SUBSTORMS-4, ed. S. Kokubun and Y. Kamide. Tokyo: Terra Sci. 1998. P.563-566.

10. Baishev D.G., Barkova E.S., Solovyev S.I., Yumoto K. Response of eastward electrojet and IPDP geomagnetic pulsations to the substorm expansion phase // SUBSTORMS-4, ed. S. Kokubun and Y. Kamide. Tokyo: Terra Sci. 1998. P.577-580.

11. Solovyev S.I., Baishev D.G., Molochushkin N.E. et al. Variations of Pi2 pulsation spectrum and excitation of Pi1B bursts in connection with spatial deformations of auroral arc during auroral activations // 2-nd International Conference on Problems of Geocosmos. June 29 - July 3, 1998. St.Petersburg. Book of Abstracts. P.79.

12. Solovyev S.I., Baishev D.G., Barkova E.S. et al. Structure of disturbances in the dayside and nightside ionosphere during periods of negative interplanetary magnetic field Bz // J. Geophys. Res. 1999. V.104, No.A12. P.28019-28039.

13. Solovyev S.I., Baishev D.G., Molochushkin N.E. et al. Excitation of Ps6 pulsations and formation of auroral structures stretched along the meridian during disturbances // IUGG XXII General Assembly. Birmingham, UK. 1999. Abstracts. P.B350.

14. Baishev D.G., Barkova E.S., Solovyev S.I. et al. Frequency growth of IPDP, Pc1 hydromagnetic emissions during a substorm – as reflection of equatorward expansion of particle precipitation and current region // International Journal of Geomagnetism and Aeronomy. 1999 (in press).

15. Solovyev S.I., Baishev D.G., Barkova E.S. et al. Pi2 magnetic pulsations as response on spatio-temporal oscillations of auroral arc current system // Geophys. Res. Lett. 2000 (in press).