

**ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ И
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ НАН КР И КРСУ им. Б. ЕЛЬЦИНА**

Диссертационный совет Д.01.12.041

На правах рукописи

УДК: 550.385

Погребной Валентин Николаевич

**ТОНКАЯ СТРУКТУРА СПОКОЙНЫХ СОЛНЕЧНО-
СУТОЧНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ
И ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИХ ИСТОЧНИКОВ**

Специальность 25.00.29 - Физика атмосферы и гидросферы

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Бишкек – 2012

Работа выполнена в Институте сейсмологии Национальной Академии Наук Кыргызской Республики

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор, заслуженный деятель науки КР
Каримов К.А.
(ИФТПиМ НАН КР)

доктор физико-математических наук
Токтосопиев А.М.
(КГЮА КР)

доктор физико-математических наук,
профессор Козин И.Д.
(АУЭС РК)

Ведущая организация: Дочернее товарищество с ограниченной ответственностью «Институт ионосферы» АО « Национальный центр космических исследований и технологий» Национального космического агентства Республики Казахстан (Алматы, РК).

Защита состоится « **16** » **марта 2012 г. в 14-00 ч.** на заседании диссертационного совета Д.01.12.041 по присуждению ученых степеней доктора и кандидата наук при Институте физико-технических проблем и материаловедения Национальной Академии Наук Кыргызской Республики и КРСУ им. Б. Ельцина по адресу: Кыргызстан, 720071, г. Бишкек, проспект Чуй, 265а. тел.: 39-20-35.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке Национальной академии наук Кыргызской Республики.

Автореферат разослан «08» февраля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физико-математических наук

Урусова Т.Э.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Изучение вариаций магнитного поля Земли и его закономерностей представляет большой научный и практический интерес: уточняет сведения о магнитном поле Земли как природном явлении, даёт возможность судить о различных динамических процессах, происходящих в атмосфере, ионосфере и околоземном космическом пространстве. К настоящему времени выделен широкий спектр геомагнитных вариаций, а именно: медленные (циклические, продолжительностью ~ 11 лет), спокойные периодические (годовые - 1 год, полугодовые - 0.5 года, солнечно-суточные - 24 часа, лунно-суточные - 24 часа 50 мин), возмущенные (апериодические $\sim 10 - 100$ часов, солнечно-суточные - 24 часа, бухтообразные $\sim 1-3$ часа, иррегулярные $\sim 0.1-60$ мин), короткопериодные (устойчивые $\sim 0.2-600$ с). Каждая из перечисленных групп вариаций составляет крупные разделы космической физики, изучающей, в частности, электродинамические процессы в ионосфере и магнитосфере. Особое место уделяется периодическим спокойным солнечно-суточным вариациям (обозначается S_q , где S -солнечные, q -спокойные), которые являются основанием для выделения спокойных в магнитном отношении периодов, для расчета электрических полей и токов в спокойной ионосфере и магнитосфере Земли и для корректного выделения магнитных возмущений.

Суточные вариации являются наиболее устойчивыми из всего спектра геомагнитных вариаций и изучены основательно многими исследователями. Однако тонкости в морфологии и их физические источники не выяснены до конца. Особое внимание обращается на выделение спокойных в магнитном отношении периодов.

Выделение действительно спокойных периодов остается до сих пор далеко не решенной проблемой. Известно, что основным регулярным полем переменного магнитного поля Земли являются спокойные солнечно-суточные вариации. Но регулярные солнечно-суточные вариации в большинстве случаев осложнены магнитными возмущениями, которые проявляются в одних случаях плавно, в других - с резкими колебаниями периодов, амплитуд и фаз. В общем случае суточные вариации состоят из суммы двух частей: спокойных вариаций (S_q -вариации) и иррегулярных вариаций (S_i -вариации). И основная задача состоит в том, чтобы разделить наблюдаемую суточную вариацию на части S_q и S_i .

Прежде всего, необходимо определиться с выбором нулевого уровня отсчета. В этом принципиально важном вопросе среди исследователей нет единого мнения. Существуют три варианта: первый - отсчет от среднесуточного значения; второй - отсчет от околополуденных значений;

третий – отсчет от значения поля в 20^h LT. Проблема состоит в выборе правильного, с физической точки зрения, нулевого уровня отсчета, поэтому её решение подробно рассмотрено в диссертационной работе.

До недавнего времени существовало мнение, что отделить невозмущенную часть вариаций от возмущенной возможно лишь методами статистической обработки. Известны среднемесячные суточные Sq-вариации по 5-ти международным спокойным дням месяца, среднемесячные Sq-вариации по всем дням месяца, средние суточные Sq-вариации по сезонам года (летние, весенне-осенние, зимние), средние за год, средние за несколько лет. Однако выяснилось, что осреднение за короткий промежуток времени не исключает поля возмущения полностью. Требуется осреднение данных за 20-30 и более лет. В этом случае вариации случайного характера S_i компенсируются и среднее значение Sq свободно от каких-либо других вариаций, имеющих другие периоды. В результате таких расчетов получают суточные вариации, состоящие только из Sq для каждой рассматриваемой магнитной обсерватории. Они отличаются друг от друга своими характерными особенностями как по форме, так и по интенсивности в зависимости от широтной зоны (полярная шапка, зона полярных сияний, среднеширотная, низкоширотная, экваториальная).

Суточные Sq-вариации, выделенные таким способом, всегда рассматривались исследователями как статистические, а не реально существующие, но для корректного выделения магнитных возмущений за какой-либо конкретный день необходимо знать суточные Sq-вариации именно за этот день. Способы разделения вариаций на Sq- и S_i -компоненты за отдельные конкретные дни до сих пор не разработаны. В данной работе вопрос о способах разделения вариаций на части по источникам рассмотрен достаточно подробно.

Поиск достоверно спокойных дней важен еще и потому, что, принимая численные значения параметров солнечного ветра и ММП (межпланетное магнитное поле) в спокойные дни, можно выяснить, какие изменения в параметрах солнечного ветра и ММП приводят к возбуждению магнитных возмущений. Это даст возможность лучше понять процессы взаимодействия солнечного ветра и ММП с магнитосферой Земли. В диссертационной работе одна из задач предусматривает выполнение, во-первых, расчетов среднестатистических (за много лет) суточных вариаций по обсерваториям мировой сети (95 обсерваторий) и, во-вторых, сопоставление их с наблюдаемыми суточными вариациями за конкретные даты с целью выявления эталонных спокойных дней.

До сих пор не рассмотрен вопрос относительно сохранения или видоизменения структуры поля Sq-вариаций во время проявления

магнитных возмущений. Решение этой задачи важно с точки зрения взаимосвязи между магнитосферными и ионосферными процессами.

Тонкая структура Sq-вариаций четко проявляется в низких широтах, в области протекания особой токовой системы – экваториальной электроструи. С экваториальной электроструей связаны многочисленные геофизические явления, для правильной интерпретации которых вопрос о её происхождении имеет первостепенное значение. В решении этого вопроса пока нет единого мнения. Одни исследователи считают, что экваториальная электроструя – это ток, возникающий обособленно от среднеширотных Sq-токовых систем. Другие, наоборот, высказывают мнение, что экваториальная электроструя вызвана сгущением токовых линий среднеширотных Sq-токов. Для однозначного решения этой проблемы нами исследованы свойства экваториальной электроструи с разных позиций: по наземным магнитным наблюдениям, по данным исследования экваториальной ионосферы при помощи ракетной и спутниковой съемок, электрического моделирования условий возникновения экваториальной электроструи, что позволило выяснить отношение экваториальной электроструи к планетарной Sq-токовой системе.

Приведенный перечень нерешенных вопросов в отношении тонкой структуры спокойных солнечно-суточных вариаций говорит о необходимости их исследования - это даст не только дополнительную информацию о структуре переменного магнитного поля Земли как о природном явлении, но и будет иметь практическое применение в смежных областях: метеорологии, физике ионосферы, солнечно-земных связей, производстве магнитовариационного зондирования Земли.

Связь темы диссертации с крупными научными программами. Настоящая диссертационная работа выполнена в рамках исследований, проводимых в Институте сейсмологии АН КР по госпроектам: «Сейсмический мониторинг и определение сейсмической опасности территории Кыргызской Республики». Рег. № 0000385, (1991-1995 гг.). Раздел: «Исследование геомагнитной активности, электропроводности глубинных зон и закономерности изменения электротеллурического поля с целью обнаружения предвестников землетрясения»; «Оценка сейсмической опасности и прогноз землетрясений на территории Кыргызстана». Рег. № 0000617, (1996-2000 гг.). Раздел: «Исследование изменчивости геофизических полей перед сильными землетрясениями»; «Разработка научных основ определения сейсмической опасности территории Кыргызской Республики». Рег. № 0002861, (2001-2006 гг.). Раздел: «Разработка научных основ среднесрочного прогноза сильных землетрясений по оценке геомагнитных и геодинамических процессов, сопровождающих

стадии подготовки землетрясения»; «Оценка вероятной сейсмической опасности территории Кыргызстана на период 10 лет (2012-2021 гг.) и 50 лет (2012-2061 гг.). Рег. № 004748, (2007-2011 гг.). Раздел «Оценка вероятной сейсмической опасности Кыргызстана на основе геомагнитных и электромагнитных исследований»; проекту Международного научно-технического центра (МНТЦ) KR-214 «Изучение параметров и механизма образования циркумполярной ионосферной токовой системы», (2001–2004 гг.); в рамках госпрограммы по реализации стратегии развития страны и активизации внедрения разработок в экономику Республики: «Разработка магнитовариационных станций и проведение геомагнитного мониторинга с целью оперативного прогноза землетрясений». Рег. № 0004748, (2009-2011 гг.). Раздел: «Исследование возможности оперативного прогноза землетрясений на основе изучения вариаций геомагнитного поля».

Целью работы являются:

- Разработка и совершенствование способов разделения суммарных вариаций магнитного поля на спокойную и возмущенную части для выделения спокойных в магнитном отношении периодов.

- Выявление морфологических особенностей изменчивости спокойных вариаций (S_q) ото дня ко дню, в сезонах года, цикле солнечной активности на средних и низких широтах (область протекания экваториальной электроструи), характеризующих тонкую структуру S_q -вариаций.

- Разработка моделей экваториальной электроструи, циркумполярной ионосферной токовой системы и механизмов их образования.

Основные задачи исследований:

1. Модификация существующих и разработка новых, в сочетании с совершенствованием вычислительных программ, способов разделения наблюдаемого на поверхности Земли суммарного поля геомагнитных вариаций на части по источникам.

2. Детальное установление пространственно-временных особенностей изменчивости во времени регулярных геомагнитных вариаций ото дня ко дню, в сезонах года, в цикле солнечной активности.

3. Проведение сферического гармонического анализа предварительно выделенной годовой вариации уровня геомагнитного поля с целью определения параметров и пространственного распределения интенсивности тока обуславливающей её циркумполярной токовой системы.

4. Анализ ракетных и спутниковых данных по распределению электронной концентрации, интенсивности ионосферных токов, параметров нейтральной верхней атмосферы и её ветрового режима.

5. Теоретический расчет распределения по высоте электронной и ионной концентрации, частот соударений, циклотронных частот, проводи-

мости, электрических полей

6. Разработка моделей экваториальной и циркумполярной токовых систем и механизмов их образования.

Экспериментальной базой для решения поставленных задач являются материалы наблюдений магнитных обсерваторий и ионосферных станций мировой сети, которые хранятся в мировых центрах данных: WDC-B1 (Боулдер, США), WDC-B2 (Москва, Россия), WDC Kyoto (Киото, Япония) и доступны для исследователей (Internet website Centers). Кроме того, использованы опубликованные в периодической печати результаты исследований с помощью ракет (34 запуска) и спутников с магнитометрами на борту: «Космос-49», «Космос-321», POGO (1965 - 1971 гг.), Magsat (1979 - 1990 гг.), Orsted (1999 г.), CHAMP (2000 - 2003 гг.). Собранные экспериментальные материалы позволили получить принципиально новую и многоплановую информацию, которая дала возможность изучить более детально широкий спектр геомагнитных вариаций и связанных с ними явлений, в частности, тонкую структуру регулярных спокойных суточных вариаций.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Усовершенствованы и доведены до практического использования методики выделения Sq-вариаций из наблюденного суммарного поля, в частности, по данным двух обсерваторий, разделённых по времени на 1 час и 12 часов, а также модифицирован способ разделения вариаций на спокойную и возмущённую части с помощью фильтра скользящего среднего по 31 дню. Показано, что Sq-вариации сохраняют свою структуру во время различного рода возмущений ото дня ко дню, в сезонах года, цикле солнечной активности.

2. Разработан новый способ отбора спокойных в магнитном отношении дней. Способ признан изобретением, на который выдано Госкомизобретений СССР авторское свидетельство № 1626909 от 8 октября 1990 г.

3. Усовершенствован способ выделения годового уровня вариации геомагнитного поля по отдельно взятой обсерватории в любой час суток с исключением Sq-вариаций. Применение способа показало, что годовая вариация уровня геомагнитного поля сохраняет свою форму и интенсивность во все часы суток в одинаковой степени (вне зависимости от долготы), что позволяет изучать её структуру по полуночному часу, когда Sq-вариация отсутствует.

4. Впервые в мировой практике изучено пространственно-временное распределение в планетарном масштабе годовой вариации уровня геомагнитного поля по данным 95 магнитных обсерваторий мировой сети, расположенных на различных долготах в диапазоне широт $82.5^{\circ}\text{N} \div 90^{\circ}\text{S}$, и

получена целостная картина широтных и долготных особенностей годовой вариации.

5. Построена неизвестная ранее эквивалентная ионосферная циркумполярная токовая система, обуславливающая годовую вариацию уровня геомагнитного поля, и изучены её пространственно-временные особенности. Она носит глобальный характер, занимая все летнее полушарие в периоды летних солнцестояний и оба полушария одновременно в периоды равноденствий. Токовые линии этой системы направлены вдоль широт с запада на восток, охватывая полюс. Максимальная плотность тока имеет место в полярных областях и постепенно уменьшается до нуля на экваторе. Определено её высотное расположение.

6. Дано дальнейшее развитие способа изучения токовых систем в ионосфере с помощью электрического моделирования на электропроводной бумаге. С помощью такого моделирования удалось объяснить сложное распределение плотности тока в экваториальной электроструе и процесс её развития в течение суток, что позволило иметь дополнительные возможности по изучению тонкой структуры Sq-вариации в области развития экваториальной электроструи и сделать обоснованный вывод о том, что экваториальная электроструя формируется из среднеширотных Sq – токов, а не является самостоятельным явлением.

7. Установлено, что ионосферные процессы, проявляющиеся в диапазоне высот 150÷160 км, аналогичны процессам, происходящим в опытных установках дискового магнитогидродинамического генератора, поэтому есть все основания рассматривать циркумполярную токовую систему как ионосферный вариант дискового магнитогидродинамического генератора.

Практическая значимость научных результатов. Практическая значимость работы состоит в том, что полученные результаты могут быть использованы:

1. При построении моделей пространственно-временных особенностей геомагнитных вариаций для уточнения знаний о переменном магнитном поле Земли как о природном явлении.

2. При разработке моделей глобальной циркуляции и динамики верхней атмосферы.

3. При построении физических моделей ионосферно-магнитосферных связей.

4. Для целей глубинного магнитовариационного зондирования при оценке состояния земных недр (глубинная электропроводимость).

5. Для корректного выделения сейсмамагнитных эффектов, рассматриваемых в качестве прогностических признаков процесса

подготовки землетрясений.

6. Международной службой индексов геомагнитной активности в целях более надёжного их определения.

7. Для развития представлений и уточнения теорий о процессах в верхних слоях атмосферы.

Результаты исследований найдут широкое использование в соответствующих профильных научно-исследовательских организациях, занимающихся исследованиями процессов в околоземном космическом пространстве, таких, как: Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (Троицк, Россия), Институт солнечно-земной физики (Иркутск, Россия), Институт физики Санкт-Петербургского Государственного университета (Санкт-Петербург, Россия), Институт геофизики (Киев, Украина), Институт ионосферы (Алматы, Республика Казахстан), Институт геофизики СО РАН, Институт сейсмологии (Алматы, Республика Казахстан), Институт сейсмологии НАН КР (Бишкек, Кыргызская Республика) и др.

Применение разработанных и апробированных на большом экспериментальном материале способов разделения суммарного поля геомагнитных вариаций на спокойные и возмущенные части по данным двух обсерваторий, разнесенных по долготе на один час и двенадцать часов, способа выделения годовой вариации уровня геомагнитного поля; способа определения степени развития поля SD – вариаций в суммарных суточных вариациях позволит исследователям улучшать выявление пространственно-временной структуры поля геомагнитных возмущений и более надёжно определять спокойные в магнитном отношении дни.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Совокупность разработанных автором способов по выделению Sq -вариаций из суммарного поля геомагнитных вариаций. Установлено, что Sq -вариации слабо изменяются на средних широтах ото дня ко дню, но значительно - в сезонах года и в цикле солнечной активности. Полученные результаты будут использованы Международной службой для уточнения расчетов индексов геомагнитной активности, широко применяемых в геомагнетизме, метеорологии, здравоохранении, космонавтике при оценке состояния космической погоды и солнечно-земных связей.

2. Способ выделения годовой вариации уровня геомагнитного поля по отдельно взятой обсерватории в любой час суток с исключением Sq -вариаций, на основании которого выяснено, что годовая вариация уровня геомагнитного поля сохраняет свою форму и интенсивность во все часы суток в одинаковой степени. Способ расширяет возможности исследования тонкой структуры геомагнитных вариаций и их источников.

3. Особенности пространственно-временного распределения в планетарном масштабе годовой вариации уровня геомагнитного поля. Годовая вариация уровня геомагнитного поля обусловлена особой токовой системой, токовые линии которой направлены с запада на восток, охватывая полюс. Она поэтому названа циркумполярной. Максимальная плотность тока имеет место в полярных областях и постепенно уменьшается до нуля на экваторе. Выявленная вариация уровня геомагнитного поля годового периода увеличивает глубинность (более ~ 1000 км) магнитовариационного зондирования, используемого для определения одного из важнейших физических параметров Земли – электропроводности.

4. Сохранение основной структуры Sq-вариаций в периоды развития мировых магнитных бурь и локальных геомагнитных возмущений, что позволит уточнить теории по взаимодействию магнитосферных и ионосферных процессов.

5. Модель циркумполярной токовой системы, модифицированная модель экваториальной электроструи и механизмы их образования на основе математического и электрического моделирования. Предлагаемые модели положены, во-первых, в основу расчетов ожидаемых геомагнитных вариаций на поверхности Земли, во-вторых, помогают корректировать представления о реальных причинах наблюдаемых аномальных эффектов. Модель экваториальной электроструи определяет ее происхождение из среднеширотных Sq-токов. Модель неизвестной ранее циркумполярной токовой системы объясняет, во-первых, особенности годовой вариации уровня геомагнитного поля и, во-вторых, позволяет рассматривать ее как ионосферный вариант дискового магнитогидродинамического генератора.

Личный вклад соискателя. Основные результаты, представленные в диссертации, получены автором самостоятельно. Автор сформулировал цель работы и основные задачи исследования, включая разработку и поиск путей решения задач как единой цельной проблемы о вариациях магнитного поля Земли. Им предложены и доведены до практического использования: способ выделения Sq-вариаций из наблюдаемого на поверхности Земли суммарного поля геомагнитных вариаций, способ выделения годовой вариации уровня геомагнитного поля и обуславливающей её циркумполярной токовой системы, способ отбора спокойных в магнитном отношении дней, на который получено авторское свидетельство на изобретение (№1626909 от 08.10.1990). Автор систематизировал все доступные ракетные и спутниковые эксперименты по изучению параметров ионосферы, токовых систем в ионосфере, ветрового режима. Впервые предложил для изучения особенностей распределения токовых систем в ионосфере использовать

электрическое моделирование на электропроводной бумаге, что позволило разработать новые модели экваториальной электроструи и циркумполярной токовой системы, а также изучить механизмы их образования.

В совместных работах автор был либо научным руководителем, либо инициатором и активным исполнителем выполняемых исследований.

Апробация результатов исследований. Материалы диссертации докладывались на Всесоюзном симпозиуме по физике возмущенной магнитосферы (Мурманск, 1973), Международном симпозиуме по проекту «Геомагнитный меридиан» (Ленинград, 1976), Всесоюзных совещаниях работников магнитных обсерваторий (Звенигород, 1976; Тбилиси, 1978), Всесоюзном симпозиуме «Взаимодействие космического вещества с атмосферой Земли (Фрунзе, 1978), 3-ем Всесоюзном совещании по исследованию динамических процессов в верхней атмосфере (Обнинск, 1979), Всесоюзном совещании по проекту МАССА (Москва, 1982.), Всесоюзной конференции по взаимосвязи метеорологических явлений с процессами в околоземном космическом пространстве (Москва, 1985), Всесоюзном симпозиуме по солнечно-земной физике (Иркутск, 1986), 4-ом Всесоюзном съезде по геомагнетизму (Суздаль, 1991), Международном семинаре «Конверсионный потенциал Кыргызской Республики и проекты МНТЦ» (Иссык-Куль, 1998), 2-ом Международном симпозиуме «Геофизика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов» (Бишкек, 2000), Международной конференции «2-nd CHAMP Science Meeting» (Potsdam, 2003), 5-ой Международной конференции «Проблемы Геокосмоса» (Санкт-Петербург, май 24-28, 2004), Международной конференции «35th COSPAR Scientific Assembly» (Paris, 18-25 июля 2004), а также на научных семинарах Института сейсмологии НАН КР, Института ионосферы Республики Казахстан, Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия) в периоды 2001-2009 гг.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По теме диссертации опубликовано 40 работ, в том числе одна монография и получено одно авторское свидетельство на изобретение (№1626909 от 08.10.1990).

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав и выводов, изложенных на 242-х страницах машинописного текста, содержит 5 таблиц, 80 рисунков, список литературы из 193-х наименований, 2-х приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Во введении обосновывается актуальность работы, её

новизна, сформулированы цель и задачи исследований, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан развернутый анализ развития представлений о Sq-вариациях геомагнитного поля. Приведены сведения о достижениях и обозначены нерешенные проблемы в области изучения морфологической структуры и теоретических представлений об источниках Sq-вариаций. Обоснована необходимость постановки крупной научной проблемы – изучение тонкой структуры спокойных солнечно-суточных вариаций (Sq) геомагнитного поля и физических моделей их источников с целью дальнейшего развития знаний о Sq-вариациях как одного из крупных разделов науки о переменном геомагнитном поле.

Во второй главе приведены результаты исследования структуры изменчивости поля Sq-вариаций в сезонах года. Предложен способ изучения изменчивости Sq-вариаций в сезонах года по разностям абсолютных значений поля между месяцами года по каждому часу суток отдельно. Способ исключает произвольный выбор уровня отсчета.

Показано, что сезонные изменения абсолютного уровня поля проявляются не только в дневные часы, но и в ночные. Этот факт противоречит установившемуся мнению, что Sq-токовая система проявляется только в дневные часы. Автор данной работы предположил, что сезонная вариация уровня геомагнитного поля в ночные часы определяется особой токовой системой, не связанной с Sq-токами. В связи с этим была поставлена задача – изучить, во-первых, морфологические особенности обнаруженной сезонной вариации уровня геомагнитного поля и, во-вторых, определить её источник. Задача решалась поэтапно.

На первом этапе был изучен сезонный ход абсолютных значений H -составляющей по всем часам местных суток по данным среднеширотных обсерваторий: Алма-Ата ($43^{\circ}15' N$, $76^{\circ}15' E$) и Руде-Сков ($55^{\circ}50' N$, $12^{\circ}27' E$) за 1963-1970 и 1910-1962 гг. соответственно.

Исследования были продолжены с использованием данных 10 советских магнитных обсерваторий, затем с использованием материалов (многолетние данные) 22 обсерваторий мировой сети, расположенных последовательно через каждые 1-3 градуса в поясе широт $4-62^{\circ} N$, а также по материалам за 1964 год (год низкой солнечной активности) 20 магнитных обсерваторий и по материалам за 1958 год (год высокой солнечной активности) 18 магнитных обсерваторий мировой сети. На последнем этапе для изучения изменчивости уровня геомагнитного поля во времени исходными данными являлись таблицы среднечасовых значений составляющих H , Z и D геомагнитного поля по 95 магнитным обсерваториям мировой сети за 1964 г. По ним рассчитывались среднемесячные значения X ,

Y и Z по спокойным дням для каждого месяца года и часа суток, в которые вносились поправки за вековой ход. Исправленные значения использовались для расчета сезонного хода по формулам:

$$\begin{aligned}
 F_m^h(X) &= X_m^h - [Sq(X)]_m^h, \\
 F_m^h(Z) &= Z_m^h - [Sq(Z)]_m^h, \\
 F_m^h(Y) &= Y_m^h - [Sq(Y)]_m^h,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где m – месяцы года; h – часы суток; X_m^h , Y_m^h и Z_m^h – абсолютные значения горизонтальных и вертикальных компонент геомагнитного поля для соответствующих месяцев года и часов суток; $[Sq(X)]_m^h$, $[Sq(Z)]_m^h$, $[Sq(Y)]_m^h$ – значения Sq-вариации, отсчитываемой от околополуночных часов для соответствующих месяцев года и часов суток; $F_m^h(X)$, $F_m^h(Z)$ и $F_m^h(Y)$ – величины сезонного хода, отсчитанные от зимних значений.

Далее были составлены разности ΔX , ΔY и ΔZ между летними, осенними и зимними значениями уровня геомагнитного поля, которые приведены на рис. 1. Из рис. 1 видно, что широтная зависимость ΔX , ΔY и ΔZ для Северного и Южного полушарий по величине практически одинакова со сдвигом по времени на полгода (в июне наблюдаются максимальные значения X, Y и Z для Северного и минимальные для Южного полушарий соответственно; в декабре, наоборот, минимальные значения X, Y и Z отмечаются для обсерваторий Северного, а максимальные значения для обсерваторий Южного полушарий). Отметим, что ΔX , ΔY и ΔZ имеют свои характерные особенности. Так, амплитуды ΔX максимальны в высоких и средних широтах, достигая значений ~ 15 нТл с постепенным уменьшением до нуля на экваторе. Значения ΔY практически близки к нулю в широтном диапазоне $0-50^\circ$ и только в высоких широтах имеют отрицательные значения до -8 нТл. Максимальные отрицательные значения ΔZ до -35 нТл отмечаются в высоких широтах, уменьшаясь до нуля на широтах $\sim 45^\circ$, с незначительным увеличением (до ~ 5 нТл) на низких широтах. В периоды равноденствий (см. рис. 1в) картина аналогичная, т.е. максимальные амплитуды ΔX , ΔY и ΔZ наблюдаются в полярных областях с меньшей, приблизительно в 3.5 раза величиной, чем летние, с их дальнейшим постепенным уменьшением до нулевых значений по направлению к экватору, но проявляются в Северном и Южном полушариях одновременно с одинаковыми по величине амплитудами.

Таким образом, годовая вариация уровня геомагнитного поля имеет вполне определенные закономерные широтные особенности, которые, по нашему мнению, могут быть обусловлены полем одной эквивалентной ионосферной токовой системы.

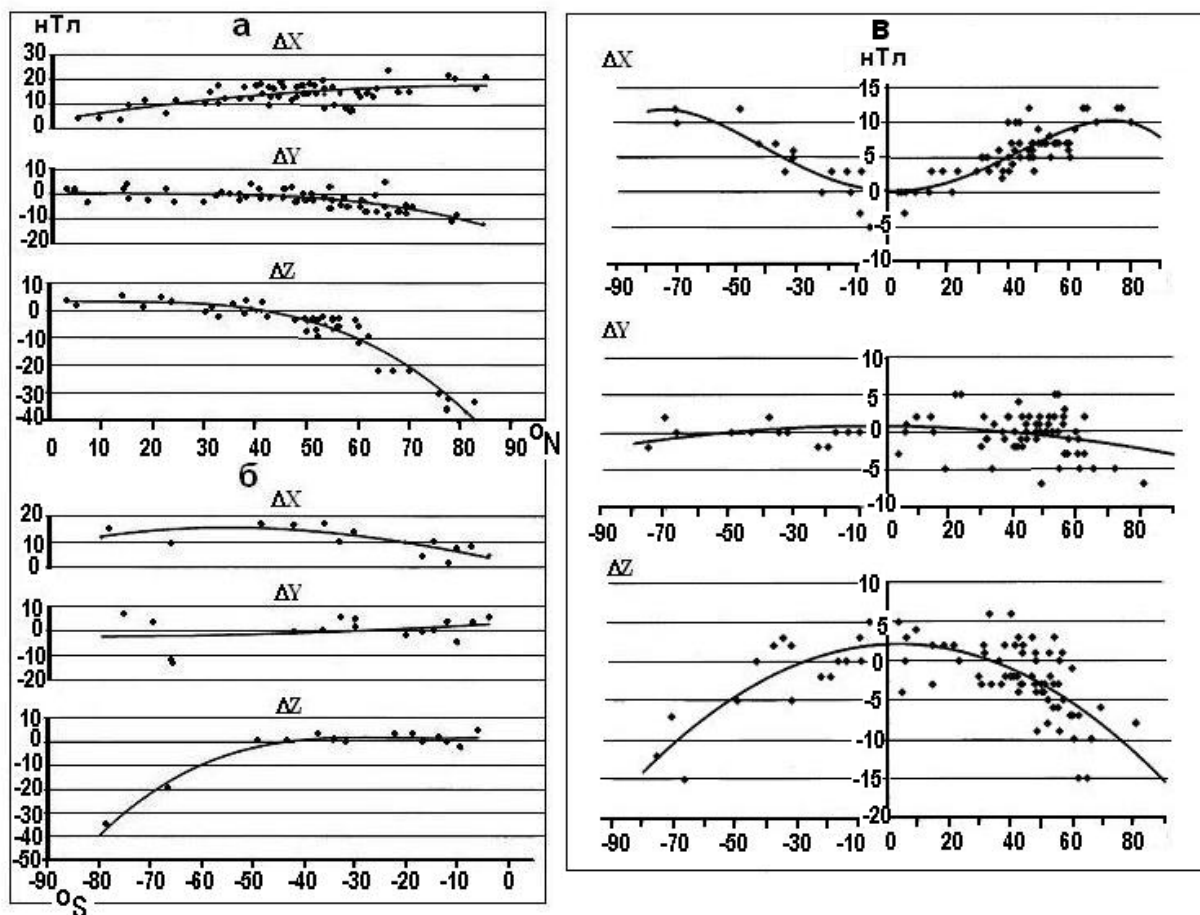


Рис. 1. Широтное распределение амплитуд (лето-зима) и (осень-зима) годовой вариации уровня геомагнитного поля в период летнего (местное лето) солнцестояния и в равноденствие по данным магнитных обсерваторий мировой сети за 1964 год: **а** - Северное полушарие, **б** - Южное полушарие, **в** - период равноденствия. Точками изображены значения ΔX , ΔY и ΔZ в обсерваториях, сплошная линия – аппроксимирующая кривая, построенная по методу наименьших квадратов.

Эквивалентная токовая система, соответствующая годовой вариации уровня геомагнитного поля, была построена следующим образом. Прежде всего был выполнен сферический гармонический анализ (СГА), используя полученные значения ΔX , ΔY и ΔZ , которые приведены на рис. 1. Сферические коэффициенты, полученные в результате выполненного СГА, были использованы для расчета эквивалентной токовой системы.

Известно, что потенциал внешнего поля суточной вариации Sq можно выразить в виде следующего ряда:

$$U(r, \theta, \varphi, t) = \sum_m \sum_n r^n P_n^m(\cos \theta) [\mathfrak{A}_n^m(t) \cos m\varphi + \mathfrak{B}_n^m(t) \sin m\varphi], \quad (2)$$

где r, θ, φ - сферические координаты: радиус, широта и долгота; t - время; P_n^m - функции Лежандра первого рода:

$$\begin{aligned} \mathfrak{A}_n^m(t) &= a_n^m \cos mt + b_n^m \sin mt, \\ \mathfrak{B}_n^m(t) &= b_n^m \cos mt - a_n^m \sin mt. \end{aligned}$$

Если предположить, что поле порождается токами, текущими по сферической поверхности радиуса R , охватывающей Землю, и концентричной со сферой r (радиус Земли), причем $R > r$, то токовая функция K будет определяться выражением:

$$K(R, \theta, \varphi, t) = -\frac{10r}{4\pi} \sum_m \sum_n (K_{n,c}^m \cos m\varphi + K_{n,s}^m \sin m\varphi) P_n^m(\cos \theta), \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} K_{n,c}^m &= \mathfrak{A}_n^m (2n+1)(n+1)^{-1} (R/r)^n, \\ K_{n,s}^m &= \mathfrak{B}_n^m (2n+1)(n+1)^{-1} (R/r)^n. \end{aligned}$$

Таким образом, с помощью формулы (3) можно для любого момента всемирного времени получить карту изолиний токовой функции K . Здесь K выражается в амперах, r и R - в сантиметрах, $K_{n,c}^m$ и $K_{n,s}^m$ - в единицах СГС, при этом полагалось, что $R = 1,0235 r$, т.е. принятая высота токов от поверхности Земли составляет 150 км.

При сделанном предположении о высоте слоя и при $K_{n,c}^m$ и $K_{n,s}^m$, выраженных в нТл, формула (4) преобразуется в:

$$K' = 10^{-3} K = -5,0707 \sum_m \sum_n (K_{n,c}^m \cos m\varphi + K_{n,s}^m \sin m\varphi) P_n^m(\cos \theta), \quad (4)$$

где K' выражается в тысячах ампер.

Формула (4) использована для расчета токовой функции по данным о годовой вариации уровня геомагнитного поля для летнего солнцестояния и

для периода равноденствия за 1964 г. Результаты расчета в виде карт токовой функции представлены на рис. 2.

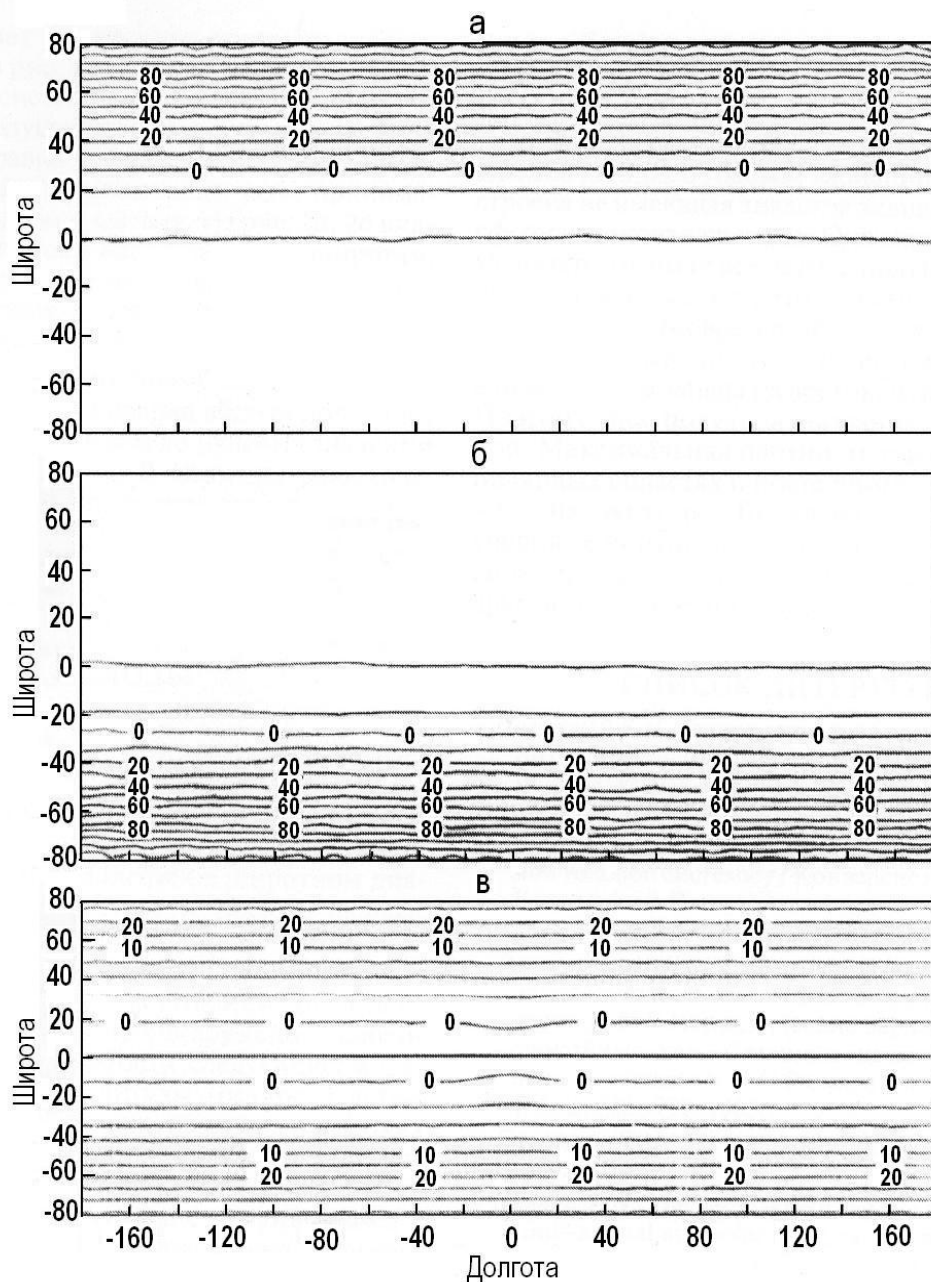


Рис. 2. Циркумполярная токовая система, соответствующая годовой вариации уровня геомагнитного поля в период летнего (местное лето) солнцестояния и равноденствия 1964 года: **а** – Северное полушарие, **б** – Южное полушарие, **в** – для периода равноденствия. По оси X – долгота в градусах, по оси Y – широта в градусах.

Сравнение рис. 2а и рис. 2б показывает, что карты идентичны с полугодовым запаздыванием. Отметим, что изолинии токовой функции

являются линиями тока. Густота изолиний пропорциональна поверхностной плотности тока. Интервал между изолиниями для карты летнего солнцестояния Северного и Южного полушарий составляет 10 кА, для карты равноденствия – 5 кА. Из рис. 2 видно, что изолинии тока направлены по широтам, охватывая полюс, поэтому токовая система, обуславливающая годовую вариацию уровня геомагнитного поля, была названа циркумполярной. Плотность тока наибольшая вблизи полюсов с постепенным уменьшением до нулевых значений в направлении экватора.

Как отмечалось выше, для вычисления токовой функции необходимо было задать высоту, на которой протекают токи циркумполярной токовой системы. В данном случае была принята высота, равная 150 км от поверхности Земли. Необходимо было обосновать этот выбор, тем более, что механизм генерации годовой вариации был неясен до сих пор.

Одни исследователи утверждали, что источником годовой вариации является кольцевой ток, располагающийся на высоте 4-6 земных радиусов, другие предполагали, что источником годовой вариации являются токи в магнитосфере (высота до ~ 14 земных радиусов). Автором было высказано мнение, что годовая вариация связана с особой ионосферной токовой системой, названной циркумполярной. Значительно сократить круг предположений удалось после запуска спутника СНАМР. Спутником СНАМР получены факты, которые свидетельствуют о том, что источник, обуславливающий годовую вариацию, находится ниже орбиты спутника. Поэтому предпочтение было отдано предположению, что источник годовой вариации уровня поля располагается в ионосфере в пределах высот 130 - 170 км (среднее - 150 км). Именно на этих высотах, по теоретическим расчетам, создаются самые благоприятные условия для возникновения дрейфовых движений электронов в западном направлении (восточный ток). Кроме того, на этих высотах ракетными экспериментами обнаружен второй токовый слой, направление токов в котором именно восточное.

Таким образом, получен новый экспериментальный результат, который является основополагающим для разработки механизма образования циркумполярной токовой системы как источника годовой вариации уровня геомагнитного поля.

В третьей главе рассмотрен принципиально важный вопрос: сохраняется или изменяется структура поля Sq-вариаций во время протеканий магнитных возмущений различной физической природы.

Для решения задачи о сохранении структуры Sq-вариаций во время проявления мировых магнитных бурь был предложен способ вычитания уровней поля двух обсерваторий, расположенных на долготах с разностью во

времени ~12 час, чтобы одна обсерватория находилась на дневной, а вторая – на ночной стороне.

В качестве примера на рис. 3 представлены суточные ходы, построенные по среднечасовым значениям Н-составляющей обсерваторий Уанкайо ($12^{\circ}02'S$, $75^{\circ}20'W$) и Кодайканал ($10^{\circ}14'N$, $77^{\circ}28'E$) за 6-12 июля 1958 г. Из рис. 3б видно, что в спокойные дни (6-7 июля, 10-11 июля) суточный ход проявляется четко, а 8-9 июля (время развития бури) о наличии суточного хода судить затруднительно. Применение способа вычитания полей с использованием данных обсерваторий Уанкайо и Кодайканал (разность во времени между ними составляет ~ 10 часов) показало, что в период мировой магнитной бури суточный ход Sq-поля сохраняет свою основную форму (см. рис. 3а), но последняя осложнена всплесками поля, интенсивность которых достигает $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ величины суточной амплитуды по спокойным дням.

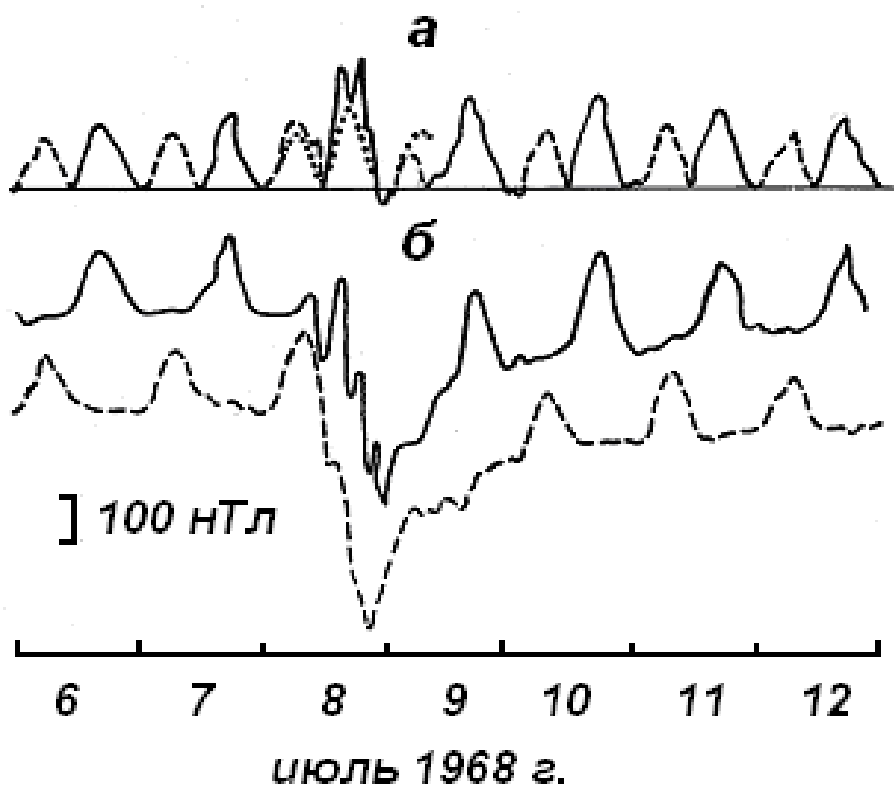


Рис. 3. Пример выделения Sq-вариаций во время мировой магнитной бури: а - Sq-вариации, б – суточные ходы Н-составляющей по обсерватории Уанкайо (сплошная линия) и Кодай-канал (пунктир).

Аналогичный результат получен по данным другой пары обсерваторий: Ча-па ($22^{\circ}21'N, 103^{\circ}30'E$) и Фугуене ($05^{\circ}28'N, 286^{\circ}16'E$). Обе расположены на низких широтах и имеют разность во времени ~ 12 час. Неоднократное применение данного способа привело к выводу, что Sq-поле сохраняет свою структуру во время проявления эффектов мировых магнитных бурь.

Для выделения Sq-вариаций во время проявления локальных магнитных возмущений был разработан способ разделения суммарного суточного хода магнитного поля на спокойную (Sq) и возмущенную (Si) части по данным двух обсерваторий, расположенных на одной широте и разнесенных по долготе на $\sim 15^{\circ}$ (один час по времени), у которых Sq и Si-вариации протекают одинаково. Способ апробирован на данных магнитных обсерваторий Алма-Ата и Новоказалинск, суточные ходы которых удовлетворяют этим условиям. Показано, что Sq-вариации сохраняют свою структуру во время локальных геомагнитных возмущений.

Модифицирован способ разделения суммарного поля на спокойную и возмущенную части по данным отдельно взятой обсерватории с использованием фильтра скользящего среднего по 31 дню. На большом статистическом материале показана возможность, используя этот способ обработки, при котором не выбрасывается ни один день из наблюдений, выделять Sq-вариации и характеризовать спокойные и возмущенные в геомагнитном отношении дни. Выявлено, что Sq-вариации слабо изменяются от дня ко дню, но значительно - в сезонах года.

Изучено проявление поля регулярной возмущенной суточной вариации SD в спокойные дни. Предложен способ определения степени развития SD-вариаций в спокойные в магнитном отношении дни. Он основан на различии в протекании суточных ходов элементов земного магнетизма, обусловленных развитием Sq- и SD-токовых систем. На рис. 4 приведены графики идеализированных суточных ходов восточной (Y), северной (X) и вертикальной (Z) составляющих геомагнитного поля, где **а,б** и **в** – графики суточных ходов, обусловленных Sq-, SD-токовыми системами и их суперпозицией соответственно. Из рис. 4**в** видно, что в случае одновременного развития Sq- и SD-токовых систем в форме суммарного хода Y-составляющей появляется асимметрия относительно полудня, а именно: ординаты уменьшаются в первой и увеличиваются во второй половине дня в Северном полушарии и, наоборот, для обсерваторий Южного полушария. Формы кривых суточных ходов X- и Z- составляющих также видоизменяются, но не так значительно, как в Y-составляющей. Наличие асимметрии в суточном ходе Y-составляющей и является признаком развития SD-токовой системы и, наоборот, отсутствие асимметрии означает, что суточный ход обусловлен только Sq-токовой системой.

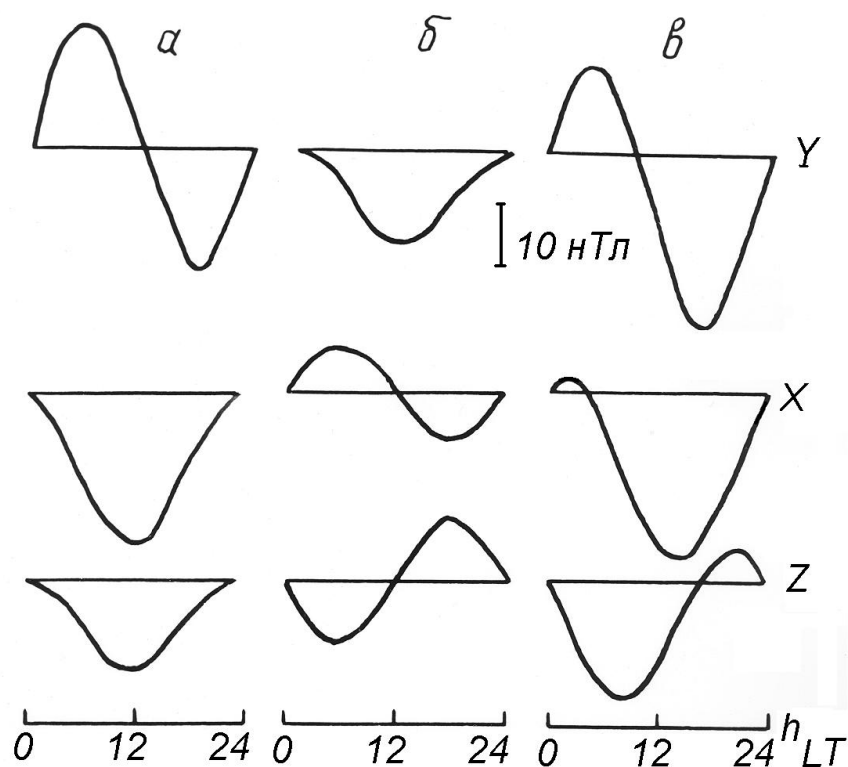


Рис. 4. Идеализированные суточные ходы Y-, X- и Z-составляющих геомагнитного поля по данным среднеширотных обсерваторий: **а**, **б** и **в** – суточные ходы, обусловленные Sq-, SD-токовыми системами и их суперпозицией соответственно.

Пример конкретной реализации предлагаемого способа определения степени развития поля SD-вариаций в спокойные в магнитном отношении дни представлен на рис. 5. На рис. 5а приведены наблюдаемые суточные ходы Y-составляющей геомагнитного поля по данным среднеширотной обсерватории Киев ($50^{\circ}43'N, 30^{\circ}18'E$) за 22.09., 26.09. и 05.10.1968 г., классифицируемых как международные спокойные дни.

На рис. 5б и 5в показаны суточные ходы Y-составляющей Sq- и SD-вариаций для этих же дней по отдельности. Визуально, по форме кривых суточных ходов, видно, что асимметрия проявилась 20.09.1968 г. и 5.10.1968 г., что указывает на развитие в эти дни SD-токовой системы по интенсивности, умеренной 20.09.1968 г. и значительной 5.10.1968 г. Эти дни следует отнести к возмущенным. Асимметрия в суточном ходе Y-составляющей не проявилась 22.09.1969 г. В этот день развита только Sq-токовая система и его следует считать действительно спокойным. Предложенный способ был признан изобретением (авторское свидетельство № 1626909 от 8 октября 1990 г.).

Таким образом, показано, что SD-вариации проявляются не только в возмущенные, но и в спокойные дни и легко могут быть выявлены по асимметрии суточного хода Y -составляющей геомагнитного поля.

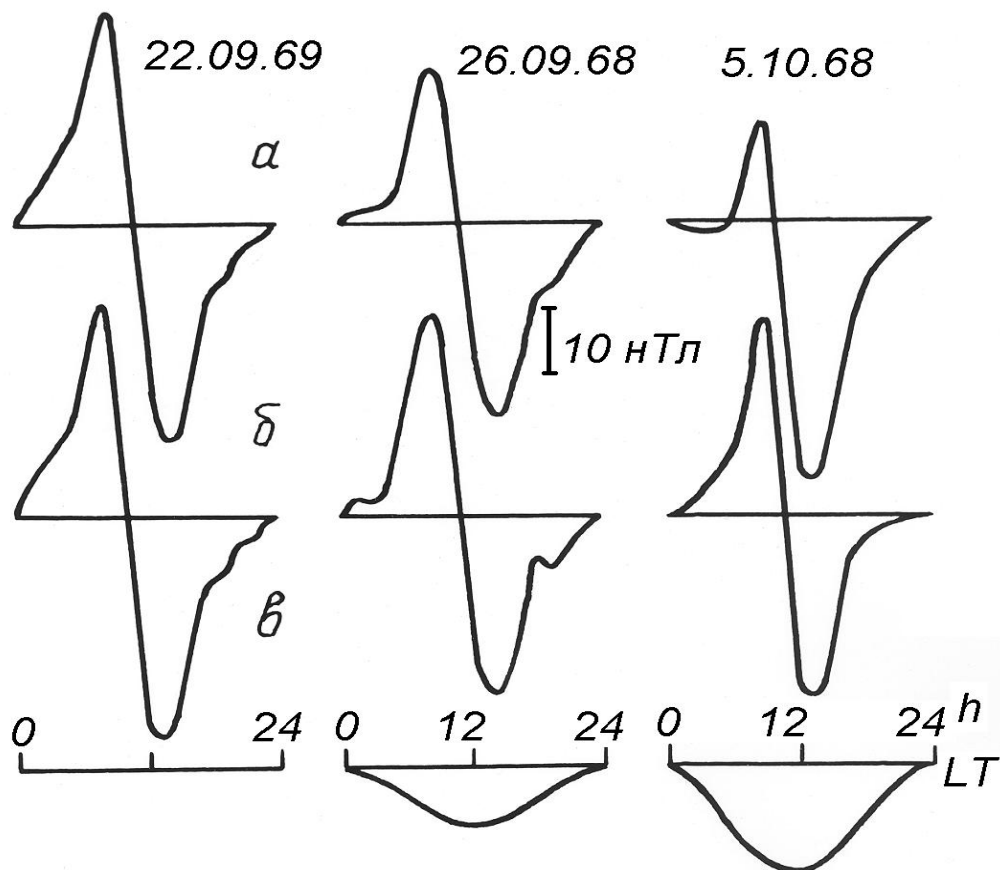


Рис. 5. Суточные ходы Y -составляющей геомагнитного поля в международные спокойные дни по данным обсерватории Киев: 1, 2 и 3 – суточные ходы за 22.09.1969 г., 26.09.1968 г. и 05.10.1968 г. соответственно; **а** – наблюдаемые суточные ходы; **б, в** – части наблюдаемых суточных ходов, обусловленных Sq- и SD-токовыми системами соответственно.

Использование предложенного способа позволит улучшать выявление пространственно-временной структуры поля геомагнитных возмущений и более надежно определять спокойные в магнитном отношении дни, что уточнит расчеты индексов геомагнитной активности, широко применяемых не только в геомагнетизме, но и в смежных областях: в метеорологии, физике ионосферы, солнечно-земных связей и физике космических лучей.

В четвёртой главе обобщены и изложены современные сведения об экваториальных Sq-вариациях в области протекания экваториальной электроструи. Уточнены параметры экваториальной электроструи: ширина полосы, интенсивность тока, положение и движение оси экваториальной

электроструи для различных зон: Индийской, Африканской и Американской. Показано, что ширина экваториальной электроструи контролируется величиной магнитного наклона (I) в пределах $\pm 10^\circ I$ относительно магнитного экватора.

Выполнен статистический анализ материалов широтных съёмок, проведенных ранее зарубежными исследователями. Показано, что вид кривых широтных зависимостей экваториальных Sq-вариаций зависит от времени суток. Выявлены и описаны наиболее характерные типы этих зависимостей, которые учтены при разработке новой модели экваториальной электроструи.

Изучена изменчивость экваториальных Sq-вариаций ото дня ко дню. Показано, что она, в отличие от среднеширотных Sq-вариаций, значительно изменяется (до 50% своей величины) даже в серии следующих один за другим спокойных дней.

Изучена изменчивость экваториальных Sq-вариаций в сезонах года и цикле солнечной активности. Показано, что она отличается от сезонной изменчивости среднеширотных Sq-вариаций четким проявлением полугодовой вариации (максимальные значения приходятся на эпохи равноденствия, минимальные – на эпохи солнцестояний). Отмечено, что величина полугодовой вариации в годы максимальной солнечной активности на 45% больше, чем в годы минимальной солнечной активности.

В пятой главе приведены результаты изучения электрических токов, протекающих на различных высотных уровнях ионосферы. В этом плане автором систематизированы и проанализированы данные всех доступных зарубежных ракетных исследований ионосферных токов на низких, средних и высоких широтах (всего 34 запуска). Показано, что ионосферные токи, протекающие в диапазоне высот 80-120 км, полностью аппроксимируют наблюдаемую на поверхности Земли вариацию Sq(H). В высоких широтах ракетными исследованиями четко зафиксировано два токовых слоя. Результаты этих экспериментов представлены на рис.6.

Из рис. 6 видно, что первый токовый слой протекает в диапазоне высот 80-130 км с максимальной интенсивностью тока на высоте 105 км, аналогично как на средних, так и на низких широтах. Ток этого слоя направлен с востока на запад. Он ассоциируется с током полярного электроджета. Второй токовый слой обнаружен в диапазоне высот 130-190 км с максимальной интенсивностью тока на высоте ~ 150 км, который ассоциируется нами с циркулярной токовой системой. Ток второго слоя направлен с запада на восток в противоположность току первого слоя.

По результатам ракетных и спутниковых наблюдений определено высотное распределение преобладающих нейтральных ветров в верхней

атмосфере. Показано, что на высотах 100÷200 км зональный ветер направлен с запада на восток со скоростью ~60 м/с, а меридиональный ветер направлен с севера на юг со скоростью ~10÷30 м/с. На высотах более 200 км по изменчивости наклона орбит спутников открыто сверхвращение верхней атмосферы, опережающее вращение Земли в широких пределах от 23 м/с до 200 м/с. Данные по сверхвращению верхней атмосферы использовались при разработке механизма образования циркумполярной токовой системы.

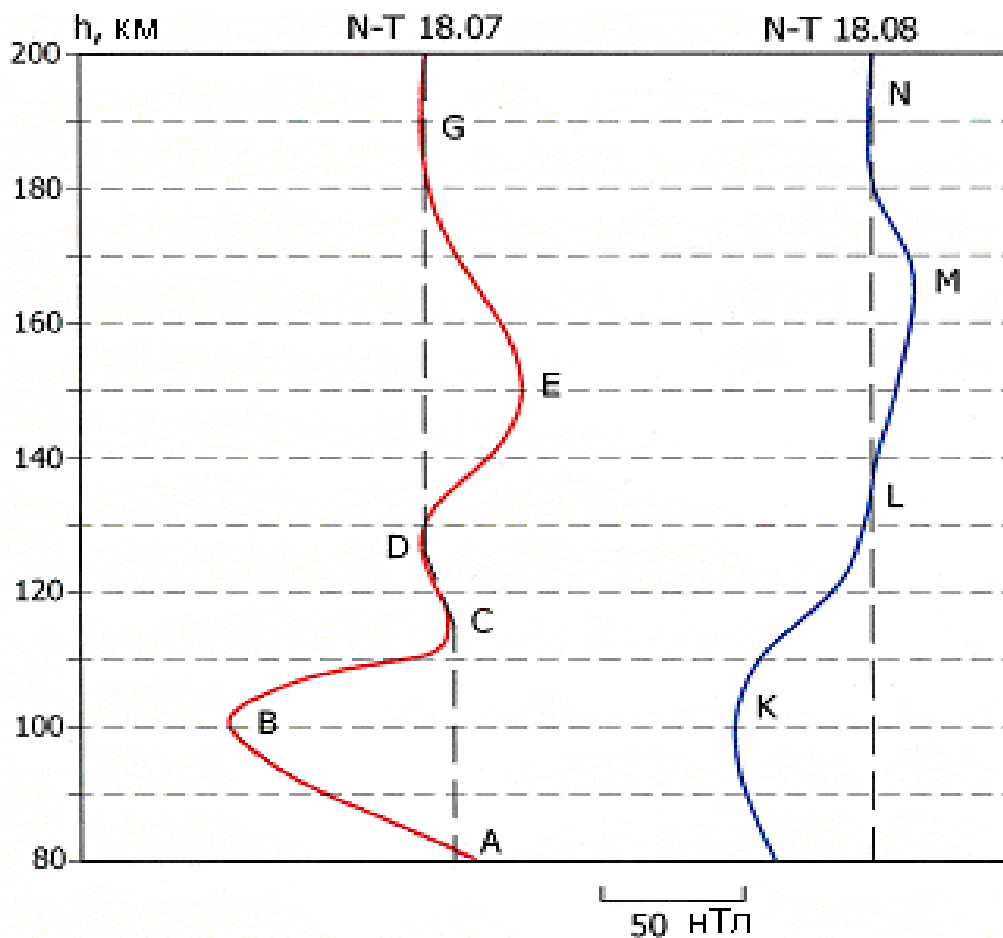


Рис. 6. Высотное распределение разности между измеренным и эталонным магнитным полем земли вдоль трасс ракет NT18.07 и NT18.08, запущенных с полигона Fort Churchill (Канада).

Выполнены расчеты частот столкновений электронов (ν_e) и ионов (ν_i) с нейтральными частицами, высотного распределения электронной концентрации (n_e), и на этой основе произведен перерасчет анизотропной проводимости экваториальной ионосферы. Расчёты проводились по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \nu_e &= \nu(e, N_2) + \nu(e, O_2) + \nu(e, O), \\ \nu_i &= \nu(O_2^+, O_2) + \nu(N_2^+, N_2), \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \nu(e, N_2) &= 2.33 \cdot 10^{-11} n(N_2) \left[-1.21 \cdot 10^{-4} T_e \bar{T}_e \right], \\ \nu(e, O_2) &= 1.82 \cdot 10^{-10} n(O_2) \left[+3.6 \cdot 10^{-2} T_e^{1/2} \bar{T}_e^{1/2} \right], \\ \nu(e, O) &= 2.80 \cdot 10^{-10} \cdot n(O) T_e^{1/2}, \\ \nu(O_2^+, O_2) &= 3.40 \cdot 10^{-13} \cdot n(O_2) \cdot \Gamma^{1/2} (10.6 - 0.76 \lg \Gamma)^2, \quad \left(\begin{array}{l} \Gamma > 1600^\circ K \\ \Gamma < 1600^\circ K \end{array} \right), \\ \nu(O_2^+, O_2) &= 8.20 \cdot 10^{-10} \cdot n(O_2), \quad \left(\begin{array}{l} \Gamma > 1600^\circ K \\ \Gamma < 1600^\circ K \end{array} \right), \\ \nu(N_2^+, N_2) &= 3.60 \cdot 10^{-13} \cdot n(N_2) \cdot \Gamma^{1/2} (14.2 - 0.96 \lg \Gamma)^2, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $\nu(e, N_2)$, $\nu(e, O_2)$, $\nu(e, O)$ - частоты столкновений электронов с нейтральными молекулами N_2, O_2, O соответственно, $\nu(N_2^+, N_2)$, $\nu(O_2^+, O_2)$ - частоты столкновений положительных ионов с нейтральными молекулами N_2, O_2 ; T_e и T_i - электронная и ионная температуры; T_n - температура нейтрального газа; $\Gamma = T_e + T_i$; полагалось, что $T_e = T_i = T_n$.

Расчеты были произведены для высот 85-250 км с шагом 10 км. Отметим, что величины циклотронных частот составили для электронов $\omega_e = 1.4$ мГц, средняя для ионов - $\omega_i = 25$ Гц. Перечисленные сведения использованы при перерасчёте анизотропной проводимости ионосферы, как необходимого параметра для модификации модели экваториальной электроструи и разработки модели циркумполярной токовой системы по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\parallel} &= e^2 n_e \left[\frac{1}{m_e \nu_e} + \frac{1}{m_i \nu_i} \right], \\ \sigma_{\perp} &= e^2 n_e \left[\frac{\nu_e}{m_e (\omega_e^2 + \nu_e^2)} + \frac{\nu_i}{m_i (\omega_i^2 + \nu_i^2)} \right], \\ \sigma_H &= e^2 n_e \left[\frac{\omega_e}{m_e (\omega_e^2 + \nu_e^2)} - \frac{\omega_i}{m_i (\omega_i^2 + \nu_i^2)} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Произведены оценки и построены графики высотных распределений электрических полей в области магнитного экватора, величины которых, как оказалось, подвержены существенным временным изменениям. Приведен теоретический расчет по генерированию экваториального электрического поля меридиональной компонентой нейтрального ветра в динамо-области ионосферы.

В шестой главе приведены результаты ранее выполненного электрического моделирования, которые в совокупности с результатами изучения ионосферных параметров использованы для предложения модифицированной модели экваториальной электроструи. Определена зависимость величины электрического тока экваториальной электроструи от степени запрещения тока Холла, которая обуславливает увеличение или уменьшение интенсивности Sq-токов в области экваториальной электроструи. Это основная причина слабой корреляционной связи между вариациями магнитного поля, наблюдаемыми на экваториальных и внеэкваториальных обсерваториях, и она не может служить основанием для вывода о независимости экваториальной электроструи от мировой Sq - токовой системы.

Разработана модель неизвестной ранее циркумполярной токовой системы, обуславливающей годовую вариацию уровня геомагнитного поля. Модель представляется в виде сферической токовой оболочки, расположенной на высоте 150 км от поверхности Земли. Токи текут по сфере толщиной ~ 10 км с запада на восток, охватывая полюс. Распределение плотности тока зависит от широты: максимальная плотность имеет место в полярной области с постепенным уменьшением ее значений до нуля на экваторе. Для наглядности на рис. 7 показан один из вариантов модели. На данном рисунке приведено широтное распределение зональной плотности тока циркумполярной токовой системы для летнего солнцестояния Северного полушария за 1964 г. Из рис. 7. видно, что если плотность тока циркумполярной токовой системы в полярных областях составляет ~ 18 А·км⁻¹, то на средних широтах плотность тока уменьшается до ~ 8 А·км⁻¹ и стремится к нулевым значениям на экваторе.

Обоснование к выбору модели следующее. Ракетными исследованиями обнаружен токовый слой в полярной ионосфере на высотах 130-170 км (средняя высота - 150 км), протекание которого зависит от двух факторов: проводимости и электрического поля. В свою очередь, проводимость ионосферы в значительной степени определяется частотой соударений заряженных частиц электронов (v_e), ионов (v_i) с нейтральными частицами и соответствующими циклотронными частотами (ω_e - циклотронная частота электронов, ω_i - циклотронная частота ионов).

В зависимости от соотношения между частотой соударений заряженных частиц с нейтральными частицами и соответствующей циклотронной частотой ионосферу можно разделить на четыре области:

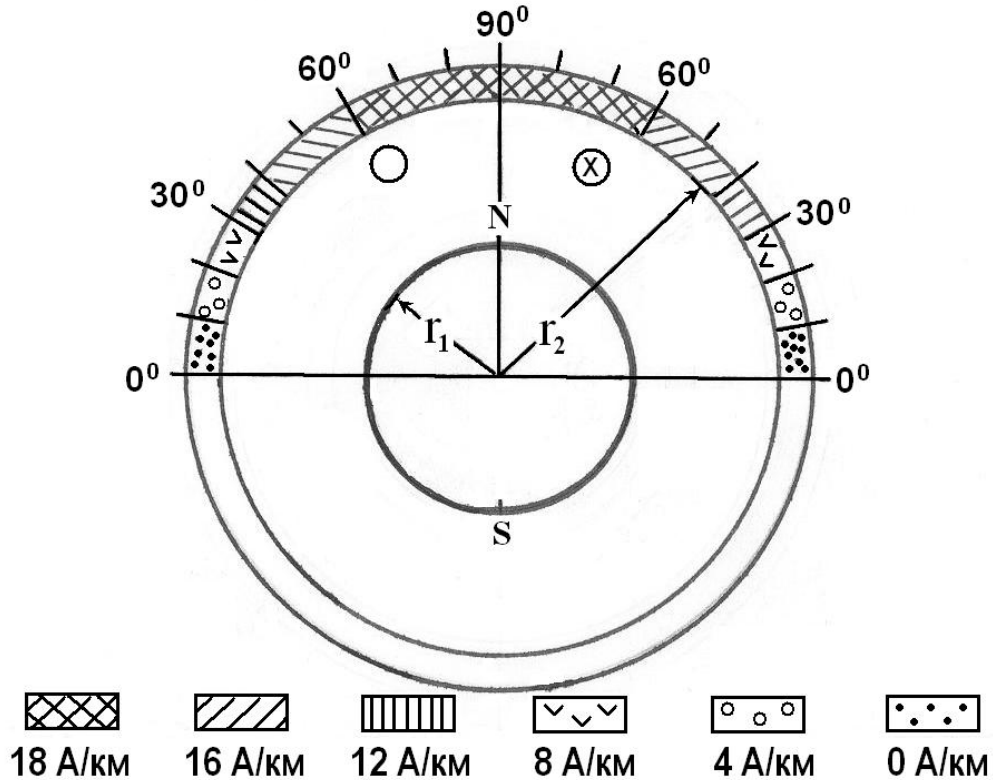


Рис. 7. Схема модели циркулярной токовой системы с распределением зональной плотности тока для летнего солнцестояния Северного полушария за 1964 г.: r_1 и r_2 – радиус Земли и радиус токовой оболочки циркулярной токовой системы соответственно (размеры не соблюдены), \bigcirc и \otimes – направление тока к читателю и от читателя соответственно.

1. В области ниже 80 км частоты соударений ν_e и ν_i очень велики, т.е. $\nu_e \gg \omega_e$ и $\nu_i \gg \omega_i$. Нижняя ионосфера является областью коротких пробегов как для ионов, так и для электронов. В этом случае магнитное поле на характер проводимости не влияет. Ток Холла не формируется.

2. В диапазоне высот 80-120 км $\nu_i \gg \omega_i$, но $\nu_e \ll \omega_e$. Для ионов этот слой является областью коротких пробегов, а для электронов – областью длинных пробегов. Эту область называют динамо-слоем. Здесь возникают индуцированные токи при наличии ветра.

3. Выше 190 км частоты соударений малы $\nu_e \ll \omega_e$ и $\nu_i \ll \omega_i$. В этой

области электроны и ионы дрейфуют в одном и том же направлении с одинаковой скоростью и тока не возникает.

4. На высотах 150-170 км выделяется особая промежуточная область, где $V_e \ll \omega_e$, а $V_i \sim \omega_i$. В этой области электроны полностью замагничены, а ионы нет, и при наличии ветра нейтральные частицы увлекают за собой ионы. Возбуждается электрическое поле поляризации. В скрещенных электрическом и магнитном полях электроны дрейфуют и возникает ток.

Наличие нейтрального ветра на высотах ионосферы подтверждено открытием сверхвращения верхней атмосферы, опережающее вращение Земли в среднем в 1.2-1.4 раза, то есть вдоль широт с запада на восток дует нейтральный ветер со скоростью $\sim 100-200 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. В этом случае, вследствие действия силы Кориолиса, должны возникнуть меридиональные ветры, направленные в Северном полушарии с севера на юг, а в Южном полушарии – с юга на север, дующие одинаково во все часы суток. Пусть \bar{V} - скорость меридионального ветра, \bar{B} - индукция магнитного поля. Поскольку на высотах ионосферы 150-160 км $V_i \sim \omega_i$, то ионы будут увлекаться нейтральными частицами, тогда как электроны будут оставаться на месте ($V_e \ll \omega_e$). В результате разделения зарядов образуется поляризационное поле \bar{E} , направленное на север в Северном полушарии и на юг в Южном полушарии, величина которого рассчитывается по формуле:

$$\bar{E} = [\bar{V} \cdot \bar{B}] . \quad (8)$$

Известно, что если электрическое поле приложено перпендикулярно к магнитному, то возникает дрейф заряженных частиц в направлении $\bar{E} \times \bar{B}$. В нашем случае дрейфовать будут только электроны в силу своей замагниченности. Скорость дрейфа определяется следующей формулой:

$$\bar{V}_{др} = \frac{\bar{E} \times \bar{B}}{B^2} . \quad (9)$$

В результате дрейфа возникает ток, направленный вдоль широт с запада на восток, плотность которого можно оценить по формуле:

$$j = en_e V_{др} , \quad (10)$$

где e - заряд электрона, n_e - количество электронов в единице объема,

$V_{др}$ - скорость дрейфа.

Этот ток автор рассматривает как ток циркумполярной токовой системы. Оценим величину циркумполярного тока количественно. Пусть V , скорость меридионального ветра, достигает $55 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а B , магнитная индукция, составляет $0,5 \text{ Э}$. Тогда поляризационное поле $\bar{E} = 2.75 \cdot 10^{-5} \text{ В}$. Расчет \dot{j} по формуле (10), если $n_e = 2 \cdot 10^5 \text{ электрон}\cdot\text{см}^{-3}$, а толщина токового слоя 10 км , дает величину плотности $\dot{j} = 17,6 \text{ А}\cdot\text{км}^{-1}$.

Известно, что сила Кориолиса убывает от полюса к экватору, как синус широты ($\sin\varphi$, где φ - широта), то по этому же закону будет изменяться скорость меридионального ветра и зависящие от нее параметры: \bar{E} и \dot{j} . Так, если в приполюсной области $\dot{j} = 17,6 \text{ А}\cdot\text{км}^{-1}$, то на средних широтах ($\varphi \sim 40^\circ$) $\dot{j} = 11,3 \text{ А}\cdot\text{км}^{-1}$, на низких широтах ($\varphi \sim 10\text{-}20^\circ$) $\dot{j} = 3,05 \text{ А}\cdot\text{км}^{-1}$, на экваторе $\dot{j} = 0$, что практически совпадает с плотностью тока, вычисленного по экспериментальным данным.

Предложен возможный механизм образования циркумполярной токовой системы. На основании данных модели атмосферы (*MSIS - 86*), модели ионосферы (*IRI -95*), сведений о системах нейтральных ветров в верхней атмосфере произведены расчёты частот столкновений, проводимости, электрического поля. Показано, что ионосферные процессы, проявляющиеся в диапазоне высот $150\div 160 \text{ км}$, аналогичны процессам, происходящим в опытных установках дискового магнитогидродинамического генератора, что дает основание рассматривать циркумполярную токовую систему как ионосферный вариант дискового магнитогидродинамического генератора.

Таким образом, предложенная выше модель циркумполярной токовой системы полностью описывает особенности планетарного распределения годовой вариации уровня геомагнитного поля и рекомендуется к практическому использованию.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что Sq-вариации геомагнитного поля слабо изменяются на средних широтах ото дня ко дню, но значительно (до 50 % величины) в экваториальной области даже в серии следующих один за другим спокойных дней. Сезонная изменчивость Sq-вариаций характеризуется монотонным уменьшением своей величины от максимальных значений летом до минимальных – зимой. Сезонная

изменчивость экваториальных Sq-вариаций характеризуется четким проявлением полугодовой вариации (максимальные значения поля Sq приходятся на эпохи равноденствия, минимальные – на эпохи солнцестояний), причем величина полугодовой вариации в годы максимальной солнечной активности на 45% больше, чем в годы минимальной солнечной активности.

2. Разработаны новые способы выделения Sq-вариаций по данным двух обсерваторий, разделённых по времени на 1 час и 12 часов, а также модифицирована методика разделения вариаций на спокойную и возмущённую части с помощью фильтра скользящего среднего по 31 дню, использование которых показало, что Sq-вариация сохраняет свою структуру во время различного рода возмущений ото дня ко дню, в сезонах года, цикле солнечной активности. Разработан способ определения степени развития SD-вариаций в спокойные в магнитном отношении дни, который уточняет расчеты индексов геомагнитной активности. Данный способ признан изобретением (№1626909 от 08.10.1990).

3. Впервые в мировой практике изучено пространственно-временное распределение в планетарном масштабе годовой вариации уровня геомагнитного поля по данным 95 магнитных обсерваторий мировой сети, расположенных на различных долготах в диапазоне широт $82.5^{\circ}\text{N} \div 90^{\circ}\text{S}$. Это позволило сделать вывод, что годовая вариация уровня геомагнитного поля сохраняет свою форму и интенсивность во все часы суток в одинаковой степени, плавно изменяясь в течение года приблизительно по параболической кривой от минимальных значений зимой до максимальных значений летом. Долготной зависимости не обнаружено. Особенности широтной зависимости следующие: в Северном полушарии амплитуды (разности лето-зима) годовой вариации для местного лета максимальны в высоких широтах, с плавным уменьшением до нулевых значений в направлении экватора. Для Южного полушария картина идентична с полугодовым запаздыванием. В периоды равноденствий распределение амплитуд (равноденствие - зима) симметрично относительно экватора, а именно: максимальные амплитуды годовой вариации отмечаются в полярных областях одновременно как в Южном, так и в Северном полушариях, с плавным уменьшением величин амплитуд до нулевых значений в направлении экватора.

4. Построена неизвестная ранее эквивалентная ионосферная циркумполярная токовая система по результатам сферического гармонического анализа данных о годовой вариации уровня геомагнитного поля за 1964 год (Международный год спокойного Солнца). Она носит глобальный характер, занимая все летнее полушарие в периоды летних

солнцестояний и оба полушария одновременно в периоды равноденствий. Токовые линии этой системы направлены вдоль широт, с запада на восток, охватывая полюс. На этой основе разработана модель циркумполярной токовой системы, обуславливающей годовую вариацию уровня геомагнитного поля в виде сферической токовой оболочки, расположенной на высоте ~ 150 км от земной поверхности, плотность тока которой изменяется от максимальных значений в полярной области до минимальных - в экваториальной области и зависит от сезона года. Параметры модели использованы при расчёте ожидаемого магнитного поля на поверхности Земли. Расчетные и экспериментальные величины ожидаемого магнитного поля совпадают удовлетворительно.

5. Предложен возможный механизм образования циркумполярной токовой системы. На основании данных модели атмосферы (MSIS - 86), модели ионосферы (IRI - 95), сведений о системах нейтральных ветров в верхней атмосфере произведены расчёты частот столкновений, проводимости, электрического поля, которые показали, что ионосферные процессы, проявляющиеся в диапазоне высот $150\div 160$ км, аналогичны процессам, происходящим в опытных установках дискового магнитогидродинамического генератора, что дает основание рассматривать циркумполярную токовую систему как ионосферный вариант дискового магнитогидродинамического генератора.

6. Определено (на основе ракетных данных), что ионосферные токи, протекающие в диапазоне высот 80-120 км, с максимальной плотностью токов на высоте 105 км, полностью аппроксимируют наблюдаемую на поверхности Земли вариацию $Sq(H)$ (величины $Sq(H)$ определялись как разность значений поля, наблюдаемых в момент запуска ракеты и в полночь). На высоких широтах, в диапазоне высот 130-190 км, обнаружен второй токовый слой, который мы ассоциируем с циркумполярной токовой системой. Ток второго слоя, в противоположность току первого слоя, направлен с запада на восток. С нашей точки зрения, это экспериментальное подтверждение существования предсказанной теоретически циркумполярной ионосферной токовой системы.

7. Модифицирована ранее предложенная автором модель экваториальной электроструи на основе математического и электрического моделирования, которая представлена в виде полосы тока с неравномерным распределением плотности тока от периода формирования (утренние часы) до полного распада (вечерние часы). С помощью модели удалось объяснить сложного вида экспериментальные кривые широтных профилей Sq -вариаций в области экваториальной электроструи в различные часы суток и показать, что среднеширотные Sq -токи образуют в экваториальной области струйный

ток, если вдоль экватора протягивается полоса с более высокой, чем в окружающей области, проводимостью.

8. Дальнейшие исследования Sq-вариаций геомагнитного поля и их тонкой структуры возможны при постоянном накоплении экспериментального материала (наземные, ракетные и спутниковые наблюдения), совершенствовании вычислительной техники и развитии теории Sq-вариаций. Такой комплексный подход позволит углубить знания о Sq-вариациях как крупном разделе науки о переменном магнитном поле Земли.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. **Погребной, В.Н.** Суточная амплитуда Sq-вариаций и её изменчивость ото дня ко дню и сезонах года [Текст] / В.Н. Погребной, Б.Т. Жумабаев // Физика ионосферы и распространение радиоволн: сб. науч. тр. – Алма-Ата: Наука, 1971. – С. 111-114.

2. **Погребной, В.Н.** Сезонный ход Sq(H)-вариаций на средних широтах в различные часы суток [Текст] / В.Н. Погребной // Геомагнетизм и аэрономия. – М.: Наука, 1972. –Т. 12, № 4. – С. 771-772.

3. **Погребной, В.Н.** Широтная зависимость сезонного хода Sq-вариаций по данным советских магнитных обсерваторий [Текст] / В.Н. Погребной // Ионосфера и солнечно-земные связи. Труды сектора ионосферы АН Каз. ССР: сб. науч. тр. – Алма-Ата: Наука, 1972. – Т. 3. – С. 107-110.

4. **Погребной, В.Н.** Альбом характерных геомагнитных бухт по данным обсерваторий Казахстана [Текст] / Б.Т. Жумабаев, В.Н. Погребной // Ионосфера и солнечно-земные связи. Труды сектора ионосферы АН Каз. ССР: сб. науч. тр. – Алма-Ата: Наука, 1972. – Т. 3. – С. 111-113.

5. **Погребной, В.Н.** Характерные особенности солнечно-суточной вариации по данным магнитных обсерваторий Казахстана [Текст] / М.П. Рудина, В.Н. Погребной, Б.Т. Жумабаев // Вестн. АН Каз. ССР. – 1973. – № 6. – С. 66-68.

6. **Погребной, В.Н.** Особенности сезонного хода Sq-вариаций в различные часы суток по данным магнитных обсерваторий Северного полушария [Текст] / В.Н. Погребной, Б.Т. Жумабаев, В.В. Казаков // Труды сектора ионосферы АН Каз. ССР. Т. 4. – М., 1973 – Деп. в ВИНТИ 11.07.1973, № 6461-73.

7. **Погребной, В.Н.** Высотные профили электронной концентрации по ракетным данным и проводимость нижней ионосферы [Текст] / Г.И. Гордиенко, В.Н. Погребной // Труды сектора ионосферы АН Каз. ССР, Т. 4. –

М., 1973. – С.119-128 – Деп. в ВИНТИ 11.07.1973, № 6461-73.

8. **Погребной, В.Н.** Модель распределения электронной концентрации в ионосфере для высот 80 км [Текст] / Г.И. Гордиенко, В.Н. Погребной, М.П. Рудина. – М. 1974.– Деп. в ВИНТИ, 29.01.1974. - № 176-74.

9. **Погребной, В.Н.** Разделение поля Sq(H)-вариаций на LT и UT-компоненты [Текст] / В.Н. Погребной // Геомагнетизм и аэрономия. – М.: Наука, 1974. – Т. 14, № 2. – С. 377-378.

10. **Погребной, В.Н.** О возможности применения корреляционного анализа для решения проблемы происхождения экваториальной электроструи / В.Н. Погребной // Геомагнитные исследования: сб. науч. тр. – М.: Наука, 1975. – № 14. – С. 119-121.

11. **Погребной, В.Н.** Сезонный ход Sq-вариаций по данным мировой сети станций в год минимума солнечной активности [Текст] / В.Н. Погребной, В.В. Казаков, Т.В. Кузнецова // Геомагнетизм и аэрономия. – М.: Наука, 1976. – Т. 16, № 4. – С. 740-742.

12. **Погребной, В.Н.** О возможной причине резких смещений фокуса Sq-токовой системы [Текст] / В.Н. Погребной, В.В. Казаков // Геомагнетизм и аэрономия. – М.: Наука, 1976. – Т. 16, № 4. – С. 743-744.

13. **Погребной, В.Н.** Изменчивость Sq-вариаций и экваториальной электроструи [Текст] / В.Н. Погребной // Международный симпозиум по проекту геомагнитный меридиан 145⁰. – Ленинград, 1976. – С. 70.

14. **Погребной, В.Н.** Расчёт ожидаемого магнитного поля от полярной электроструи с учётом кривизны земной поверхности [Текст] / В.Н. Погребной, В.В. Казаков, Л.В. Помазная // Международный симпозиум по проекту геомагнитный меридиан 145⁰. – Ленинград, 1976. – С. 76.

15. **Погребной, В.Н.** Сезонный ход Sq-вариаций по данным мировой сети станций в год максимума солнечной активности [Текст] / В.Н. Погребной, В.В. Казаков, Б.Т. Жумабаев // Ионосфера и солнечно-земные связи: сб. науч. тр. – Алма-Ата: Наука, 1977. – С. 103 -108.

16. **Погребной, В.Н.** Сезонная модель суточной вариации геомагнитного поля [Текст] / В.В. Казаков, В.Н. Погребной, Л.В. Помазная // Геомагнетизм и аэрономия. – М.: Наука, 1979. Т.19. № 5. – С. 946-948.

17. **Погребной, В.Н.** Эффективная частота соударений электронов в среднеширотной ионосфере (сравнение расчётов с данными измерений) [Текст] / (Г.И. Гордиенко, В.Н. Погребной, М.П. Рудина и др.). – Москва, 1981. –19 с. (Препринт) ИЗМИРАН: № 44 (357).

18. **Погребной, В.Н.** Эффективный фильтр для разделения геомагнитных вариаций на спокойную и возмущенную части [Текст] / В.Н. Погребной // Известия АН Кирг. ССР. – Фрунзе: Илим, 1982. – № 4. – С. 36-38.

19. **Погребной, В.Н.** К вопросу зависимости спокойных солнечно-суточных вариаций геомагнитного поля от степени магнитной возмущенности [Текст] / В.Н. Погребной // Геофизическая характеристика и сейсмичность Киргизского Тянь-Шаня: сб. науч. тр. – Фрунзе: Илим, 1984. – С. 183-189.

20. **Погребной, В.Н.** Sq-вариации в международные спокойные дни [Текст] / Погребной В.Н. // Прогноз землетрясений: сб. науч. тр. – Душанбе: Дониш, 1986. – № 7. – С. 85-88.

21. **Погребной, В.Н.** Магнитосферная активность в международные спокойные в магнитном отношении дни [Текст] / В.Н. Погребной // Космос и мезосфера. Труды Всесоюзной конференции по взаимосвязи метеорологических явлений и процессов в околоземном и космическом пространстве. – М., 1987. – С. 135-136.

22. **Погребной, В.Н.** Тонкая структура регулярных геомагнитных вариаций на средних и низких широтах / В.Н. Погребной. – Фрунзе: Илим, 1988. – 150 с.

23. **Погребной, В.Н.** Алгоритм выделения квази- 27-дневных геомагнитных вариаций [Текст] / [В.Н.Погребной, К.М. Молдобеков, С.К. Молдобекова и др.] // Известия АН Кирг. ССР. – Фрунзе: Илим, 1989. – № 3. – С. 62-65.

24. **Погребной, В.Н.** Способ отбора спокойных в магнитном отношении дней [Текст] / В.Н. Погребной // Госкомизобретений СССР: Авторское свидетельство. № 1626909 от 08.10.1990 г.

25. **Погребной, В.Н.** Выделение Sq-вариаций во время геомагнитных возмущений суточного периода [Текст] / В.Н. Погребной, Е.П. Харин, Т.Н. Янкевич // Комплексные исследования по прогнозу землетрясений в Киргизии: сб. науч. тр. – Бишкек: Илим, 1991. – С. 119-122.

26. **Погребной, В.Н.** SD-вариации в международные спокойные дни [Текст] / В.Н.Погребной // Геомагнетизм и аэрномия. – М.: Наука, 1991. –Т. 31, № 4 – С. 729-731.

27. **Погребной, В.Н.** Выбор типа геомагнитных вариаций для корректного магнитовариационного зондирования в сейсмоопасных районах [Текст] / В.Н. Погребной // 1-й казахско-китайский симпозиум. – Алма-Ата, 1992. – С. 180.

28. **Погребной, В.Н.** Изучение параметров и механизма образования циркумполярной ионосферной токовой системы [Текст] / В.Н. Погребной // Конверсионный потенциал Киргизской республики и проекты МНТЦ: сб. науч. тр. – Бишкек, 1998. – Ч. 1. – С. 201-205.

29. **Погребной, В.Н.** Использование геомагнитных вариаций для оценки геодинамических процессов Северного Тянь-Шаня [Текст] / В.Н.

Погребной // Второй Международный симпозиум геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов. – Бишкек, 2002. – С. 202.

30. **Погребной, В.Н.** Пространственно-временные особенности годовой вариации уровня геомагнитного поля и его возможные источники [Текст] / В.Н. Погребной // Международная конференция 2-nd CHAMP Science Meeting.– Potsdam, 2003. – С. 11-12.

31. **Погребной, В.Н.** Электрическое поле в Е-слое над магнитным экватором [Текст] / В.Н. Погребной, Т.Р. Малосиев // Международная конференция 2-nd CHAMP Science Meeting. – Potsdam, 2003. – С. 23-24.

32. **Погребной, В.Н.** Широтные особенности годовой вариации по данным магнитных обсерваторий Северного полушария [Текст] / В.Н. Погребной, Е.Л. Мозолева, С. Молдобекова // 5-я Международная конференция «Проблемы геокосмоса». – Санкт-Петербург, Россия, май 24-28, 2004. – С.139.

33. **Погребной, В.Н.** Особенности изменения Sq-вариаций в цикле солнечной активности [Текст] / В.Н. Погребной, Т.Р. Малосиев // Международная конференция 35-th COSPAR Scientific Assembly. – Париж, 18-25 июля, 2004. – С. 31-32.

34. **Погребной, В.Н.** Полугодовая Sq(H) – вариация в цикле солнечной активности [Текст] / В.Н. Погребной, Т.Р. Малосиев // Международная конференция 35-th COSPAR Scientific Assembly. – Париж, 18-25 июля, 2004. – С.54-55.

35. **Погребной, В.Н.** Широтные особенности годовой вариации по данным магнитных обсерваторий Северного и Южного полушарий [Текст] / В.Н. Погребной, Е.Л. Мозолева, С. Молдобекова // Труды 5-ой Международной конференции «Проблемы геокосмоса» – Санкт-Петербург, 2004. – С. 113-116.

36. **Погребной, В.Н.** Сезонная изменчивость годовой вариации уровня геомагнитного поля и циркумполярной токовой системы в период низкой солнечной активности [Текст] / В.Н. Погребной, В.П. Головков, Т.И. Зверева, С. Молдобекова // Геолого-геофизические исследования в Институте сейсмологии НАН КР: сб. тр. – Бишкек, 2006. – С. 106-116.

37. **Погребной, В.Н.** Особенности векового хода магнитных вариаций в среднеазиатском регионе и их возможные причины [Текст] / В.Н. Погребной, Е.Л. Мозолева // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы. – Москва-Бишкек, 2009. – С. 133-136.

38. **Погребной, В.Н.** Особенности широтной зависимости годовой вариации уровня геомагнитного поля и циркумполярной токовой системы в сезонах 1964 г. [Текст] / В.Н. Погребной, В.П. Головков, Т.И. Зверева, Е.Л.

Мозолева // Геомагнетизм и аэрономия.– М.: Наука, 2010. – Т. 50, № 4. – С. 561-566.

39. **Погребной, В.Н.** О выборе месторасположения магнитных обсерваторий для выделения SD-вариаций [Текст] / В.Н. Погребной // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2011, № 4. – С. 7-10.

40. **Погребной, В.Н.** Модель циркумполярной токовой системы и возможный механизм её образования [Текст] / В.Н. Погребной // www.nakkr.kg Интернет-журнал ВАК КР, – Бишкек, 2011, № 2.

РЕЗЮМЕ

Погребной Валентин Николаевич

«Күндүн суткалык геомагниттик термелүүсүнүн тынч абалдагы жука структурасы жана алардын булактарынын физикалык модели» физика-математика илимдеринин докторлук даражасын алуу үчүн жазылган диссертация, адистиги 25.00.29 – атмосферанын жана гидросферанын физикасы

Ачкыч сөздөр: геомагниттик термелүүлөр, ионосфера, жогорку атмосфера, ионосфералык токтор, ракеталык изилдөөлөр, спутник изилдөөлөрү, ток моделдеринин системалары.

Диссертациялык иште күндүн суткалык геомагниттик S_q - термелүүсү жана алардын физикалык моделдеринин булактарынын изилдөөдөгү жыйынтыктары келтирилген. Байкоо жүргүзүлүп жаткан, суммардык геомагниттик талаадагы иштелип чыккан жана жаңыланган ыкмалардын булактарынын бөлүктөрү боюнча баяндама жазылган. Геомагниттик S_q -термелүүнүн мейкиндик-убакыт боюнча өзгөрүүсүнүн, өзгөчөлүк-төрүнүн күндүн активдүү циклындагы изилдөөлөрдүн жыйынтыктары келтирилген. Геомагниттик S_q -термелүүнүн ар түрдүү магниттик өзгөрүүлөрдөгү өзүнүн структурасын сактап калуусу көрсөтүлгөн. Бир жылдык геомагниттик термелүү талаасынын деңгээлинин бөлүнүп чыгуу ыкмаларынын мүнөздүү өзгөчөлүктөрүнүн планета боюнча таралуусу жазылган. Ионосферанын электрдик касиетинин шамал системасындагы жана жогорку атмосферанын өтө чоң ылдамдыктагы айлануусунун, ракеталык жана спутниктик тажыйрбаларынын натыйжалары боюнча маалымат келтирилген. Мурда белгисиз болгон циркумполярдык ток системаларынын модели жана жаңыланган экватордук электроагымдардын модели келтирилген.

РЕЗЮМЕ

диссертации Погребного Валентина Николаевича на тему: «Тонкая структура спокойных солнечно-суточных геомагнитных вариаций и физические модели их источников» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Ключевые слова: геомагнитные вариации, ионосфера, верхняя атмосфера, ионосферные токи, ракетные исследования, спутниковые исследования, модели токовых систем.

В диссертации приведены результаты исследований тонкой структуры спокойных солнечно-суточных геомагнитных Sq-вариаций и физических моделей их источников. Дано описание разработанных и модифицированных способов разделения наблюдаемого суммарного геомагнитного поля на части по источникам. Приведены результаты изучения пространственно-временных особенностей изменчивости Sq-вариаций ото дня ко дню, в сезонах года, цикле солнечной активности. Показано, что Sq-вариации сохраняют свою структуру во время различного рода магнитных возмущений. Описаны способы выделения годовой вариации уровня геомагнитного поля и характерные особенности её планетарного распределения. Приведены сведения об электрических свойствах ионосферы, системе ветров и сверхвращении верхней атмосферы по результатам ракетных и спутниковых экспериментов. Представлена модель неизвестной ранее циркумполярной токовой системы и модифицированная модель экваториальной электроструи.


THE RESUME

Pogrebnoy Valentin Nikolaevich dissertation on a theme: « Thin structure of quiet solar-daily of geomagnetic variation and physical models of their sources» on obtaining of the scientific degree of the doctor of physical and mathematical sciences on speciality 25.00.29 – Physics of atmosphere and hydrosphere.

Key words: geomagnetic variations, ionosphere, upper atmosphere, ionospheric currents, rocket researches, satellite researches, models current systems.

In the dissertation results of research of thin structure of quiet solar-daily of

geomagnetic Sq-variation and physical models of their sources are presented. The description of the developed and modified ways of separation of an observable total geomagnetic field on a part on sources is given. Results of studying of spatial-temporal peculiarities of variability of Sq-variations from day by day, in seasons of year, a solar activity cycle are presented. It is shown that Sq-variations keep the structure during any magnetic perturbations. The methods of allocation of an annual variation of level of a geomagnetic field and distinctive features of its planetary distribution are described. Data on electric properties of an ionosphere, system of winds and supertwirl of the upper atmosphere by results of rocket and satellite experiments are presented. The model earlier unknown circumpolar current systems and modified model of an equatorial electrojet are presented.

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'Jozef', is centered on the page.