

3.7.1. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ КОСМОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

На фазе спада 23-го цикла солнечной активности проведены измерения различных видов космических излучений на борту нескольких ИСЗ приборами, разработанными и созданными в НИИЯФ МГУ. Выполнены экспериментальные исследования на полярных ИСЗ «КОРОНАС-Ф» и «Метеор-3М». Проводился мониторинг радиационной обстановки в магнитосфере Земли на высокоапогейных ИСЗ «Экспресс-А2 и А3» (геостационарная орбита) и «Молния-3К» (эллиптическая орбита), на борту Международной Космической Станции. Получен большой объем новых экспериментальных данных. В декабре 2005 г. успешно запущен на орбиту ИСЗ серии «ГЛОНАСС» с аппаратурой НИИЯФ МГУ.

Проект «КОРОНАС-Ф»

30 июля 2001 г. был запущен Российский спутник «КОРОНАС-Ф» на орбиту с высотой ~ 520 км и наклоном орбиты к плоскости экватора 83° . Научная аппаратура была включена 14 августа, и она работала до 6 декабря 2005 г.

На спутнике «КОРОНАС-Ф» НИИЯФ МГУ была установлена аппаратура, которая измеряла потоки нейтрального излучения во время солнечных вспышек: рентгеновское и гамма излучения с энергией от 0,03 до 200 МэВ, нейтронов с энергией > 20 МэВ, а также потоки электронов 0,3–108 МэВ, протонов 1–90 МэВ и ядер 2–40 МэВ/нук. Детекторы заряженных частиц позволяли изучать потоки и спектры солнечных энергичных частиц (СЭЧ) в полярных шапках, изменение размеров полярных шапок во время прихода к Земле корональных выбросов массы (КВМ), изменение структуры радиационных поясов и потоков и спектров частиц в них в спокойное время и во время магнитных бурь.

Следует отметить, что в нынешнем цикле солнечной активности лишь на «КОРОНАС-Ф» измерялись потоки гамма-квантов с энергией около 100 МэВ, которые могут возникнуть от распада нейтральных пионов. За всю историю спутниковых измерений зарегистрировано всего 11 вспышек с таким излучением, из них 4 — на «КОРОНАС-Ф». Всего зарегистрировано 11 вспышек в нейтронах, из них 3 зарегистрировано на «КОРОНАС-Ф». Во вспышке 28 октября помимо потоков гамма-квантов от пионов и нейтронов были также зарегистрированы потоки позитронов, возникших в результате распада заряженных пионов. Интересной является вспышка 20 января 2005 г. Она была зарегистрирована, когда спутник находился вблизи экватора. Во время уменьшения потока энергичных гамма-квантов на фоне потока галактических космических лучей было измерено дополнительное возрастание потока энергичных заряженных частиц. Используя широтное геомагнитное обрезание, мы можем определить энергию этих частиц. На рис. 1 показана вспышка 20 января в жестком тормозном излучении 6–10 МэВ и в излучении пионов. Приведены также данные о потоках СЭЧ. Возрастание

потока СЭЧ началось на $L \sim 1,5$ в 6 ч 56 мин. Возрастание нейтронного монитора на станции South Pole началось в 6:49 UT. Регистрация протонов на $L \sim 1,5$ с пороговой энергией 6 ГэВ с запаздыванием говорит о предельной энергии ускоренных протонов.

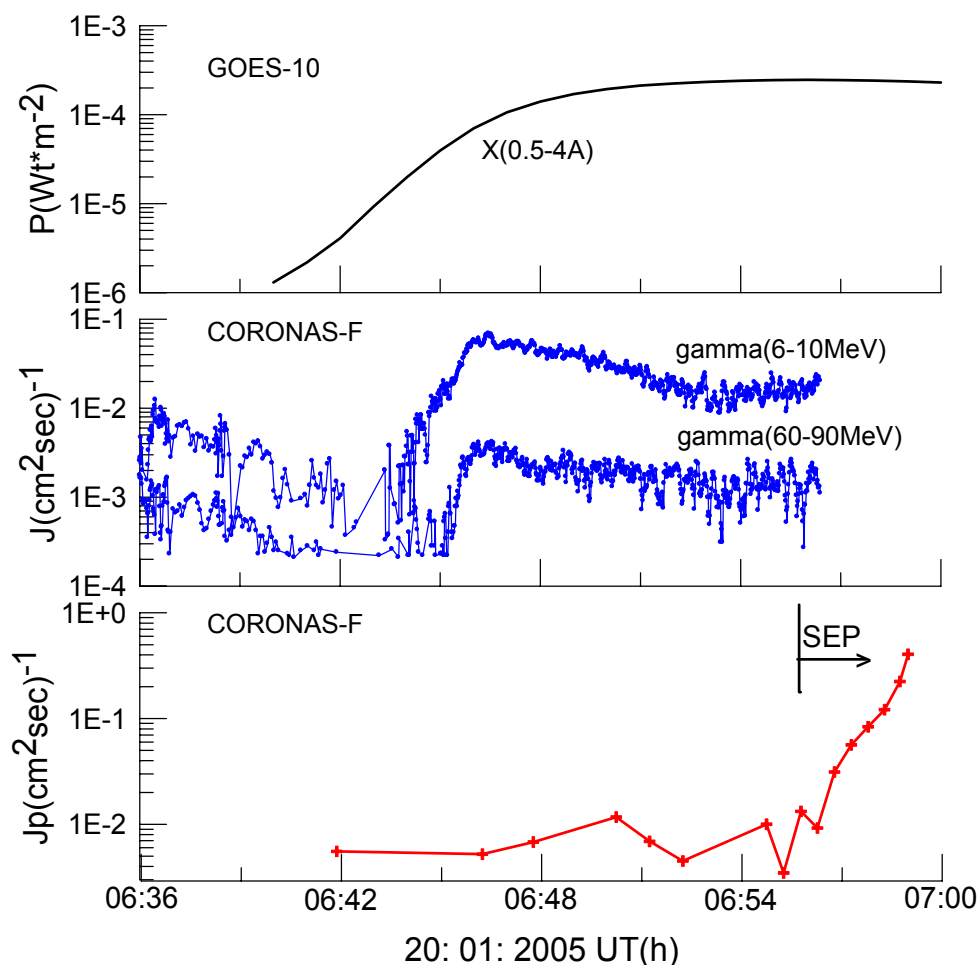


Рис. 1. Сравнение результатов наблюдений солнечной вспышки 20 января 2005 г. в тепловом рентгеновском излучении (GOES 10), жестком гамма-излучении и в релятивистских энергичных частицах (CORONAS-F)

Помимо СЭЧ солнечные вспышки сопровождаются КВМ, которые вызывают в магнитосфере Земли сильные геомагнитные бури. На «КОРОНАС-Ф» при этом наблюдалось два эффекта:

1. Граница проникновения протонов СЭЧ с энергией десятки МэВ перемещалась с геомагнитной инвариантной широты $\sim 63^\circ$ до $\sim 50^\circ$ и поглощенная доза на Международной космической станции (МКС) в таких условиях может определяться не протонами внутреннего пояса, а протонами СЭЧ. Такой эффект наблюдался после вспышек 28 и 29 октября 2003 г.

2. Во время главной фазы магнитных бурь дневная граница магнитосферы смещается с расстояния $10\text{--}11R_z$ до $4\text{--}5R_z$. Ночная граница внешнего пояса при этом смещается с $L \sim 7\text{--}8$ до $L \sim 3\text{--}3,5$. То есть область замкнутых дрейфовых оболочек резко уменьшается. Можно сказать, что на малых высотах внешний пояс исчезает и после бури он восстанавливается.

На рис. 2 показаны линии равной инвариантной широты границы проникновения солнечных энергичных протонов с энергией 1–5 и 50–90 МэВ в поздние утренние и вечерние часы в зависимости от Dst Kp. Видно, что в поздние вечерние часы солнечные протоны проникают глубже, чем в утренние и могут представлять серьезную опасность для Международной космической станции (МКС).

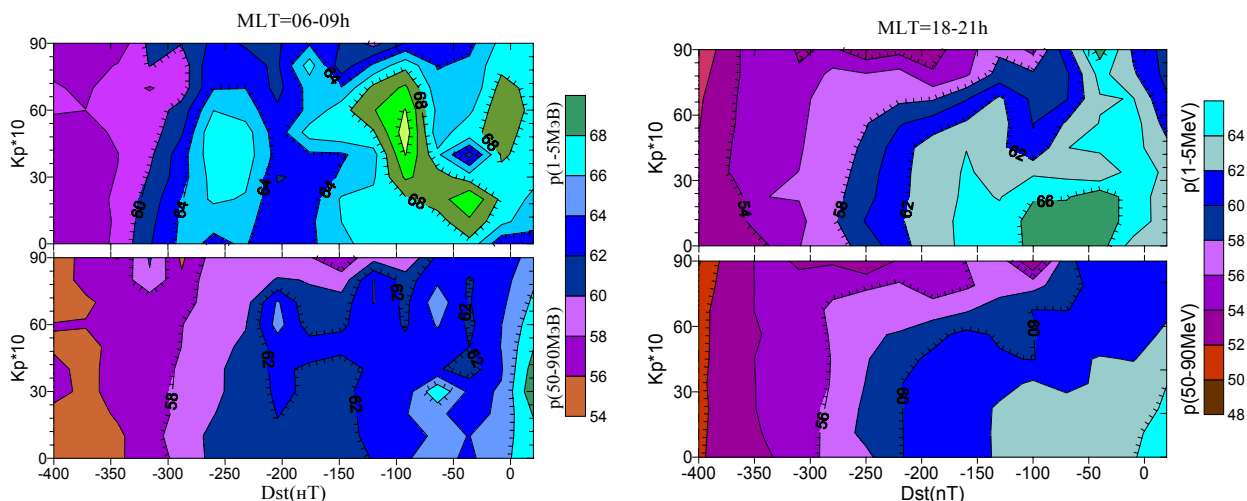


Рис. 2. Линии равной инвариантной широты границы проникновения солнечных энергичных протонов с энергией 1-5 и 50-90 МэВ в поздние утренние и вечерние часы в зависимости от Dst Kp

Проект «МЕТЕОР-3М»

Спутник «Метеор-3М» № 1 является многоцелевым аппаратом, одновременно решающим задачи изучения природных ресурсов, контроля состояния окружающей среды, гидрометеорологического и гелиогеофизического обеспечения. Он выводится на солнечно-синхронную орбиту ракетоносителем «Зенит» с космодрома Байконур 10.12.2002 г. на орбиту с высотой 1018 км и наклоном 99,63°. Таблица 1 содержит параметры орбиты и основные технические характеристики спутника.

Установленный на КА «Метеор-3М» № 1 комплект приборов по целевому назначению подразделяется на три функционально самостоятельные части:

1. Видеоинформационный природно-ресурсный комплекс (БИК-М1).
2. Комплекс научно-измерительной аппаратуры (БКНА).
3. Комплекс метеорологической аппаратуры (МР-700М).

Аппаратура гелиогеофизического обеспечения, созданная в НИИЯФ МГУ, КГИ-4С и МСГИ-5ЕИ предназначена для контроля состояния околоземного космического пространства (ОКП), включая: контроль и прогноз вспышечной активности Солнца; контроль и прогноз радиационной обстановки ОКП и состояния геомагнитного поля; прогноз условий распространения радиоволн; диагностику и контроль состояния магнитосферы и ионосферы. Одним из прикладных аспектов эксплуатации аппаратуры КГИ-4С и МСГИ-5ЕИ является обеспечение более надежного и

эффективного функционирования космических аппаратов за счет учета и оперативного прогноза гелиогеофизической обстановки в ОКП соответственно на этапах проектирования и управления КА.

Параметры орбиты и основные технические характеристики спутника «Метеор-3М» № 1

Местное солнечное время восходящего узла	9 ч 15 мин ± 15 мин
Высота над поверхностью Земли, км	1018,63–10,71
Наклонение, град	99,63
Период обращения, мин	105,33±0,06
Эксцентриситет	0,000806
Угловое расстояние между витками, град	–26,334
Суточное смещение долготы восходящего узла, град	–8,670
Период изомаршрутности	3 суток (41 виток)
Общая масса, кг	2600
Масса полезной нагрузки, кг	800–1000
Срок работы на орбите, год	не менее 3
Параметры трехосной ориентации:	
• точность, угл. мин	10
• точность стабилизации, град/с	0,005

Измерения потоков авроральных частиц проводилось спектрометром МСГИ-5ЕИ. Спектрометр МСГИ-5ЕИ включает в себя следующие четыре измерительных модуля: высокочувствительный спектрометрический модуль низкоэнергичных положительных ионов (протонов); высокочувствительный спектрометрический модуль низкоэнергичных электронов; низкочувствительный спектрометрический модуль низкоэнергичных электронов; модуль измерения интегрального потока заряженных частиц средних энергий (в основном, электроны с энергией выше 40 кэВ). Детектирование низкоэнергичных частиц, разделение их по заряду и энергии осуществляется двумя видами спектрометрических модулей, состоящих из цилиндрических электростатических анализаторов, вторичных электронных умножителей типа ВЭУ-6 (низкочувствительный модуль) или ВЭУ-7 (высокочувствительный модуль), зарядочувствительных усилителей и формирователей нормализованных импульсов. Указанные спектрометрические модули обеспечивают измерения дифференциальных энергетических спектров низкоэнергичных ионов (протонов) и электронов в диапазоне энергий $10^{-1} \dots 2 \cdot 10^1$ кэВ. Динамический диапазон измерений ионного канала составляет $10^3 \dots 10^8$ частиц/см²·ср·кэВ (для ионов единичной энергии). Динамический диапазон измерений низкоэнергичных электронов для спектрометра МСГИ-5ЕИ в целом составляет $10^3 \dots 2 \cdot 10^9$ частиц/см² с ср кэВ.

Измерения энергетических спектров электронов и ионов (протонов) могут производиться в двух режимах: режим изучения пространственно-временных вариаций в периоды гелиогеомагнитных возмущений (режим 1), при этом полное время измерения энергетического спектра составляет 2 с, число энергетических интервалов 10; режим диагностики (режим 2), при этом полное время измерения энергетического спектра равно 10 с, число

энергетических интервалов составляет 50. Режимы работы определяются конкретными условиями проведения измерений и задаются внешними командами. Измерения интегральной интенсивности заряженных частиц средней энергии осуществляются с помощью торцевых газоразрядных детекторов. Динамический диапазон интегрального канала $10^0 \dots 10^3$ имп/с. Измерения осуществляются в мониторинговом режиме независимо от режима работы спектрометра. На рис. 3 показан пример пересечения аврорального овала.

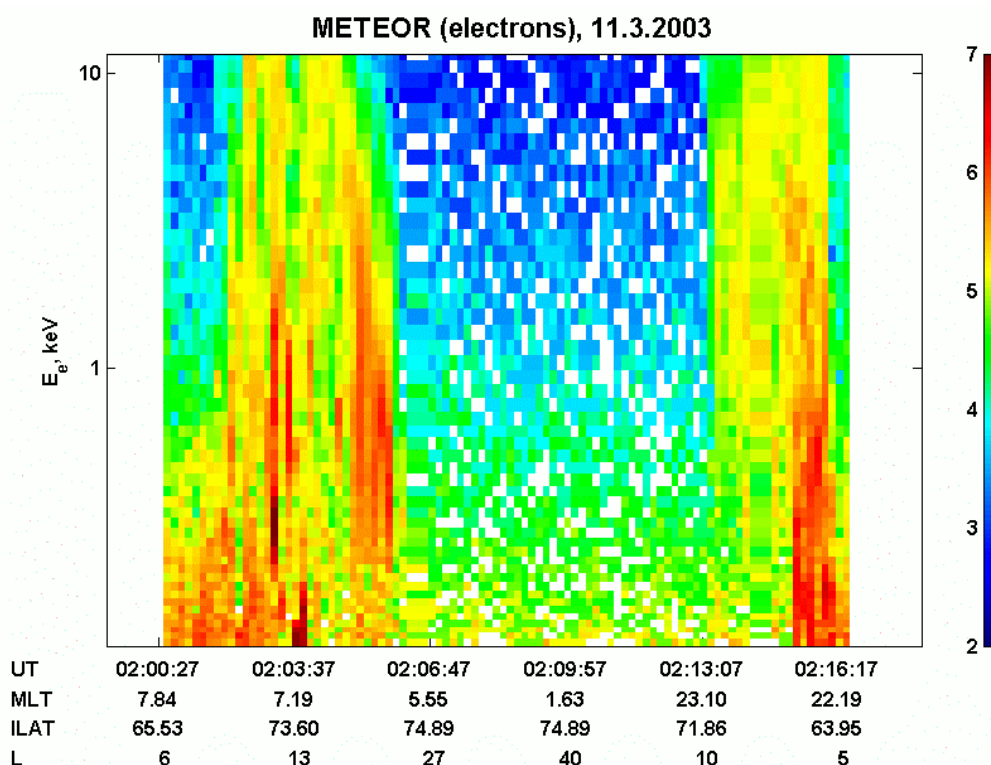


Рис. 3. Спектрограмма потоков электронов, измеренная спутником «Метеор-3М» 11.03.2003 г.

Проект Татьяна

К 250-летию юбилею МГУ, 20 января 2005 г., был запущен на полярную круговую орбиту с наклоном 82° , высотой 950 км малый спутник «Университетский-Татьяна», оснащенный научной аппаратурой, созданной в НИИЯФ при активном участии аспирантов и студентов физического факультета МГУ. За год успешной работы был получен большой объем экспериментальной космофизической информации, которая легла в основу создания базы данных космических экспериментов НИИЯФ. Разработан универсальный интерфейс доступа к данным через Интернет (cosmos.msu.ru). Для студентов физического факультета МГУ, а также других ВУЗов (в частности Ульяновского государственного университета) на базе экспериментальной информации с ИСЗ «Университетский-Татьяна» создан космофизический практикум. Созданы средства для дистанционного выполнения задания практикума в среде Интернет.

В состав научной аппаратуры микроспутника МГУ «Университетский-Татьяна» входит прибор для регистрации ультрафиолетового излучения (УФ) в диапазоне длин волн 300–400 нм. Прибор предназначен для регистрации флюоресценции атмосферы, вызванной различными источниками: влетающими в атмосферу заряженными частицами космических лучей и радиационных поясов Земли, метеорами, электрическими разрядами в атмосфере. Детектором прибора является фотоэлектронный умножитель типа R1463. Диаграмма направленности с углом обзора 14° формируется с помощью многоканального коллиматора. Поле зрения прибора ориентировано в нади́р. Прибор позволяет регистрировать поток УФ в двух типах измерений. В первом типе измерений проводится мониторинг УФ фонового свечения атмосферы через каждые 4 с при времени интегрирования 64 мс. Во втором типе измерений регистрация начинается по команде системы управления, отбирающей световые сигналы выше заданного порога, которые регистрируются с высоким временным разрешением. В этом случае применяются два варианта измерений: а) с длительностью развертки 4 м и шагом измерения 16 мс и (б) с длительностью развертки 64 мс с шагом измерения 256 мс; в каждом из вариантов измеряется по 256 точек. Такой тип измерений позволяет получить временной профиль вспышки в атмосфере в диапазоне 0,1–64 мс. Ограниченные возможности телеметрии спутника позволяют передать на Землю только одну, самую яркую вспышку за виток. На рис. 4 представлено распределение вспышек по географическим координатам.

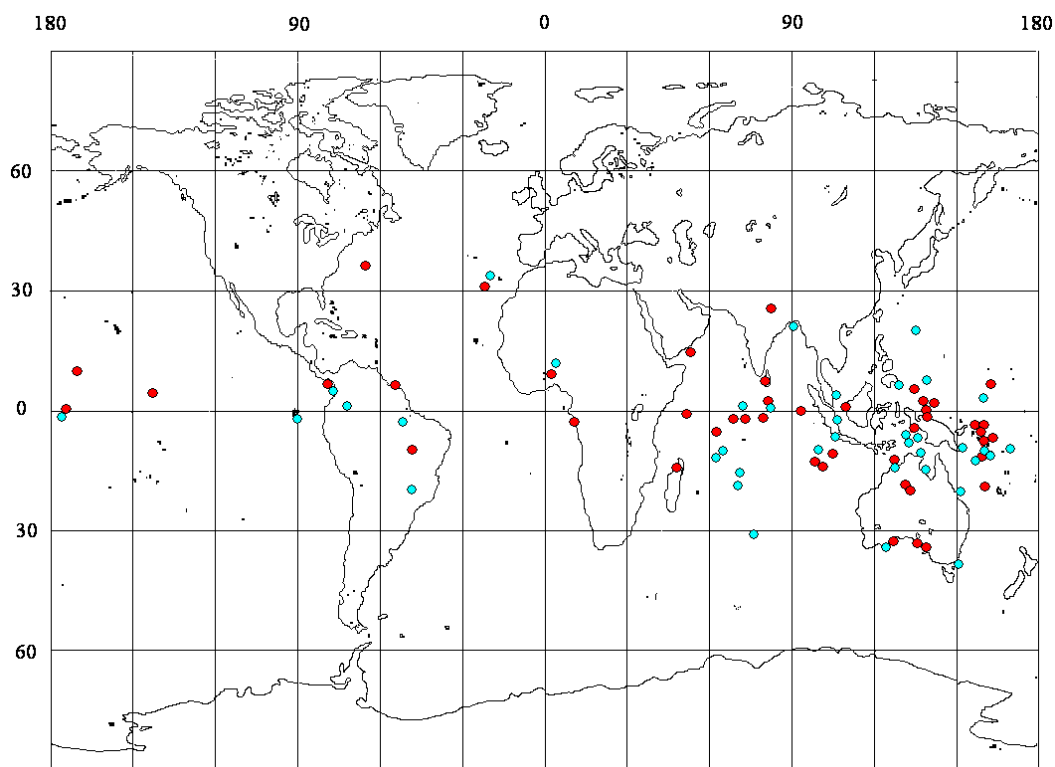


Рис. 4. Распределение вспышек УФ длительностью 1–4 мс (красные точки) и длительностью 10–64 мс (синие точки) по координатам на Земле

Среди 83 зарегистрированных в январе–апреле 2005 г. вспышек 50 оказались в экваториальном районе Земли 10° сш – 10° юш.

Параметры зарегистрированных УФ вспышек: длительность порядка миллисекунд, их временные профили, энергия, выделенная во флуоресцентное УФ свечение порядка $10^{12} \dots 10^{13}$ эрг позволяют связать их с интенсивно обсуждаемыми в настоящее время электрическими разрядами между облаками и ионосферой (спрайты, голубые струи) (*Sprite, blue jet*). Для определения типа разряда, вызвавшего вспышку в атмосфере, необходимы знания спектральных характеристик свечения. Работа в этом направлении ведется.

3.7.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ НА СОЛНЦЕ, В МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЕ И В МАГНИТОСФЕРАХ ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Математическое моделирование конвективных процессов на Солнце

Исследована роль ячеечных конвективных течений и эффекта Холла в усилении и структурировании солнечных магнитных полей и в действии механизма глобального динамо. Основная идея применяемого подхода состоит в индивидуализированном («детерминистском») описании структур, возникающих в поле скорости и магнитном поле. Исследуемый конвективный механизм формирования характерных магнитных конфигураций может служить элементарным «кирпичиком» глобального динамо-механизма.

Основные итоги исследования:

1. Численное моделирование ячейечной магнитогидродинамической конвекции в горизонтальном слое жидкости (см. рис. 5) перенесено на сжимаемые среды, а область допустимых условий задачи расширена — включены в рассмотрение случаи наклонного начального магнитного поля. Показано, что в исследованной области пространства параметров качественные черты процесса, выявленные в расчетах для несжимаемой жидкости, сохраняются. Если начальное магнитное поле горизонтально, то шестиугольная конвективная ячейка формирует из него структуру усиленного поля, которая в целом является биполярной и на которую наложены мелкие детали. Принципиально новыми являются результаты для случая наклонного начального магнитного поля. А именно, формируемое усиленное поле представляет собой суперпозицию биполярной и униполярной компоненты, и доля последней тем больше, чем больше угол наклона начального поля к горизонтали.

В целом результаты показывают, что в рассматриваемом конвективном механизме усиления и структурирования магнитного поля заложены большие возможности для формирования *in situ* магнитных конфигураций типа солнечных. Они следуют из самой топологии ячейечного течения.

Данный механизм представляет собой альтернативу широко известной модели всплывающей трубки; его важным преимуществом являются лучшая согласуемость с наблюдениями и отсутствие надобности в каких-либо предположениях о механизме возникновения самой трубки.

2. Получены первые результаты в решении задачи о глобальном «ячеечном» гидромагнитном динамо, действующем во вращающейся сферической оболочке благодаря происходящей там ячейечной тепловой конвекции. Показана возможность действия такого механизма динамо, который в глобальном масштабе поддерживает знакопеременное «общее» магнитное поле, а в локальном — систематически вырабатывает новые и новые магнитные структуры (преимущественно биполярные), каждая из которых связана с той или иной конвективной ячейкой. Найден режим, в котором конвекция, несмотря на вращение, образует устойчивые, мало меняющие свой вид многоугольные ячейки (т.е. не происходит перехода к меридионально вытянутым конвективным валам — «бананам»; см. рис. 6).

3. Получено решение МГД уравнений с учетом эффекта Холла и магнитной вязкости для достаточно разреженной плазмы при наличии градиента плотности. Показано, что на Солнце и в атмосферах звезд на высотах, где плазма разрежена и эффект Холла может управлять изменениями магнитного поля, этот эффект способен порождать тонкие стационарные токовые слои. Они имеют вид вертикальных «занавесок», плотность которых повышена и которые удерживаются магнитным полем с боков. Ток в них направлен против локального градиента плотности плазмы (вверх), а плазма ускоренно движется вниз.

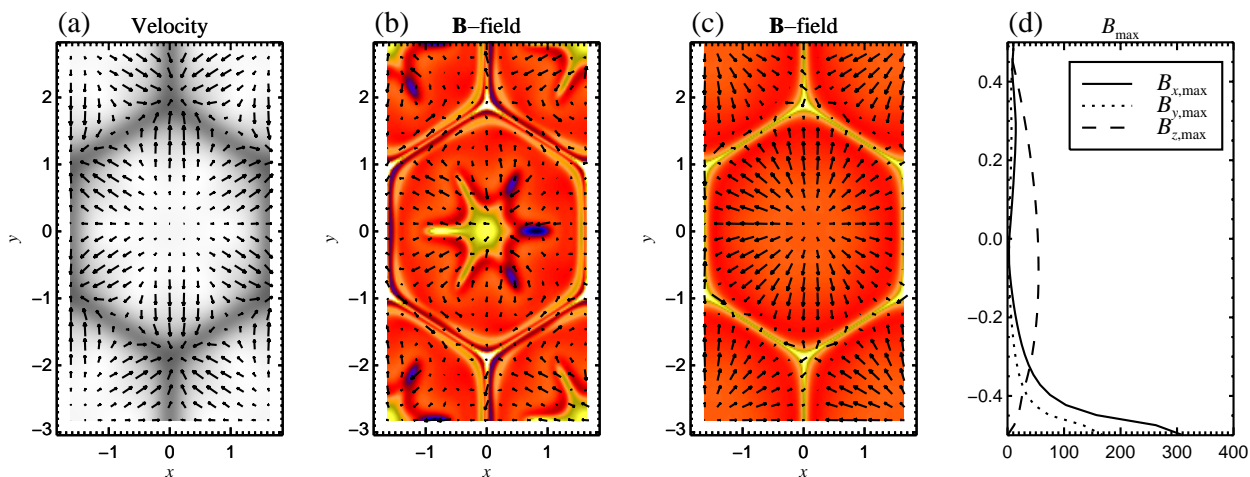


Рис. 5. Действие конвективного механизма усиления и структурирования магнитного поля в случае начального магнитного поля, наклоненного к горизонту под углом 45° . Показаны поле скоростей в средней горизонтальной плоскости слоя (a), магнитное поле вблизи нижней границы слоя (b) и в его средней горизонтальной плоскости (c), а также вертикальное распределение максимальных по ячейке значений трех компонент магнитного поля (c). Положительные значения вертикальных (z) компонент векторов представлены светлыми тонами, отрицательные — темными, горизонтальные компоненты — стрелками

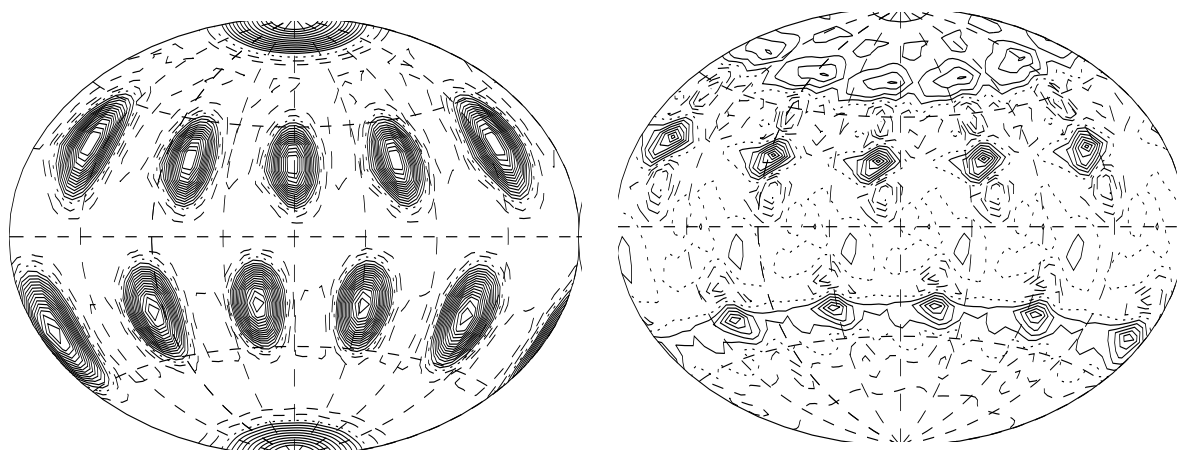


Рис. 6. Характерные черты структуры течения (слева) и магнитного поля (справа) в задаче о ячеечном динамо, найденные для некоторого момента времени: сплошные линии — изолинии положительной радиальной компоненты вектора; штриховые — отрицательной; пунктирные — нулевой

Динамика магнитосферных процессов

Разработана динамическая модель магнитосферы Земли (рис. 7). Гибкая структура модели дает возможность определять структуру и динамику магнитосферного магнитного поля, используя данные измерений параметров солнечного ветра и уровня геомагнитной активности. Одним из основных результатов исследования является развитие предположения о роли токового слоя геомагнитного хвоста в динамике магнитной бури. Разработанные подходы позволяют успешно развивать модели магнитосфер планет-гигантов, т. е. Юпитера и Сатурна. Международная организация по стандартам одобрила динамическую модель магнитосферы в качестве базиса для развития международного стандарта магнитосферного магнитного поля.

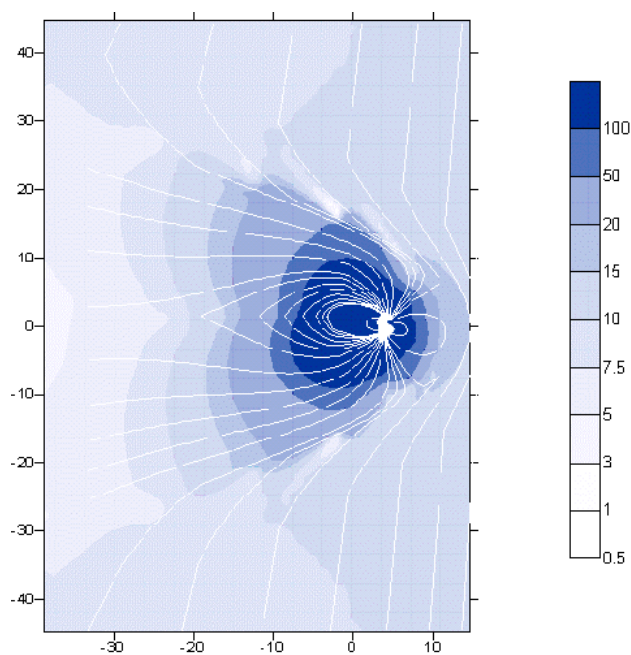


Рис. 7. Конфигурация магнитных силовых линий в модели

Построена модель процесса быстрой перестройки, происходящей в магнитосферной конфигурации после катастрофы потери равновесия — модель суббуревой активизации. При численном моделировании методом частиц обнаружено, что эта перестройка включает в себя существенные элементы самоорганизации: происходит спонтанное формирование в геомагнитном хвосте предельно тонких токовых слоев (ТС) с масштабом порядка ларморовского радиуса ионов. Эти структуры играют определяющую роль в трансформации электромагнитной энергии в энергию плазменных потоков — важнейшем для солнечно-земной физики процессе. Выявлен ряд специфических особенностей стационарных тонких ТС в различных режимах: возникновение колебательных структур и стабилизация колебаний, возникновение «раздвоенных» ТС, возможность дестабилизации дрейфовых возмущений, влияние тяжелой ионной компоненты — ионов кислорода. Эти особенности реально наблюдаются в ТС в спутниковых экспериментах.

Исследована устойчивость распределения плазмы в магнитосфере Земли с целью выявления природы магнитосферных бурь и суббурь. Предложена новая концепция формирования плазменного слоя магнитосферы Земли в качестве турбулентного следа за обтекаемым препятствием. Выделены основные неустойчивости, приводящие к формированию спектра турбулентности. Проведено сравнение теоретических предсказаний теории магнитосферной суббури с данными экспериментальных наблюдений. Выделены причины, приводящие к локализации начала взрывной фазы суббури на экваториальном краю дискретного аврорального овала. В качестве основных причин такой локализации рассмотрены турбулизация плазменного слоя и возникновение асимметричного по широте распределения вытекающего из ионосферы продольного тока. Проведен анализ данных наблюдений возмущений электрического поля перед началом взрывной фазы суббури. Получены подтверждения развиваемых теоретических подходов, связывающих начало взрывной фазы суббури с генерацией локальных электрических полей в области максимального продольного тока, с проникновением холодных электронов ионосферного происхождения в область продольного ускоряющего потенциала и формированием мощного тонкого листа продольного тока. Получено экспериментальное подтверждение выводов теории горячего расслоения магнитосферной плазмы во время геомагнитных возмущений. Показано, что кольцевой ток, отвечающий за развитие аксиально-симметричных наземных возмущений во время магнитных бурь, имеет высокоширотное продолжение, проецирующееся на основную часть аврорального овала, и что в магнитосфере Земли могут действовать процессы, ограничивающие рост давления во время магнитной бури. Разработана теория формирования профиля давления во время бури в магнитосфере Земли, учитывающая как процессы переноса плазмы из внешних областей внутрь магнитосферы, так и заполнение внутренней магнитосферы ускоренными ионами ионосферного происхождения. Развита

методика определения давления в экваториальной плоскости по данным низколетящих спутников. Методика позволяет восстанавливать практически мгновенный профиль давления (с временным разрешением \sim мин) в областях почти изотропного давления плазмы.

3.7.3. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Исследования радиационных поясов Земли и магнитных бурь

По данным измерений ИСЗ «Электрон-1–4», «Explorer-45», «Молния-1, 2», и ISEE-1 и модели AP-8 построена зависимость положения максимумов поясов протонов, ионов He , C , N и O от энергии (рис. 8). Прямые линии 1–4 для каждого сорта ионов соответствуют теории Б.А. Тверского (для ионов C и O среднее зарядовое состояние $5+$ и $6+$, соответственно). Показано, что в широком диапазоне энергий протонов (от $\sim 0,3$ до 30 МэВ) теория хорошо описывает структуру протонного пояса.

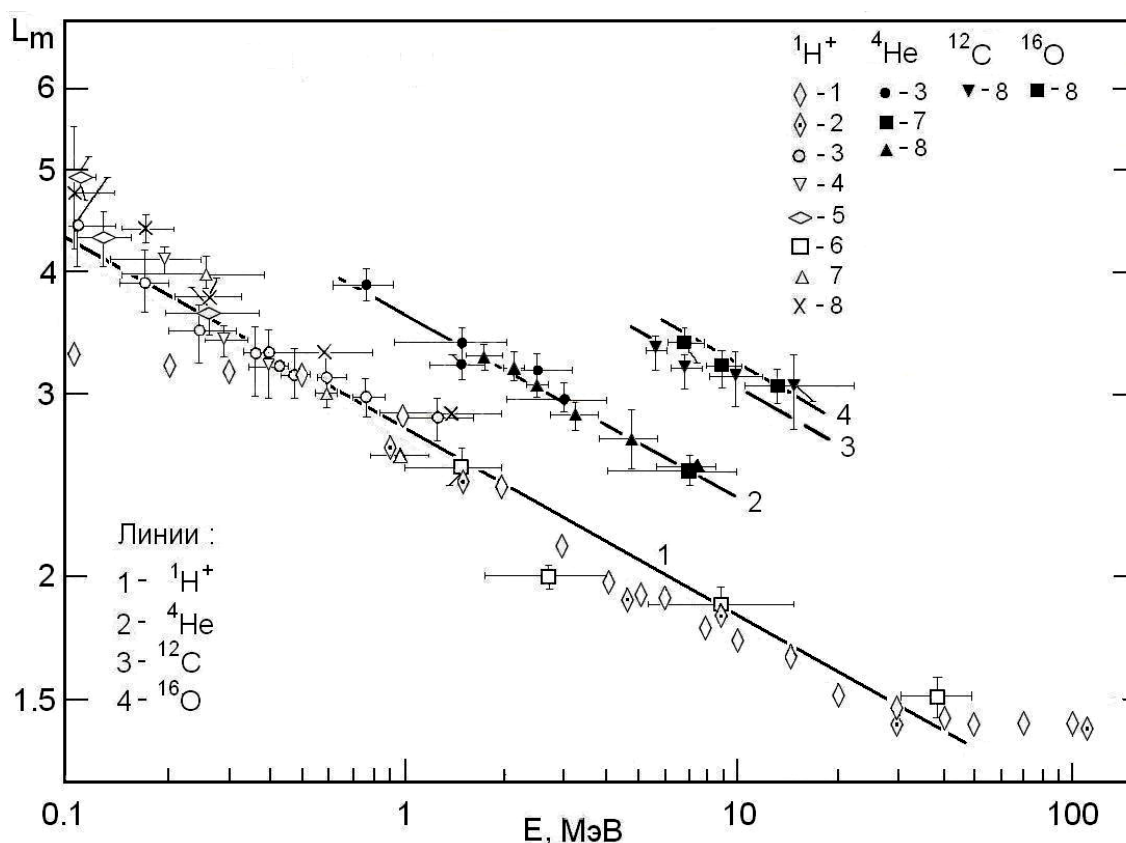


Рис. 8. Зависимость положения максимума радиационных поясов протонов, ионов He , C и O от энергии: 1 — модель AP-8; 2 — «Электрон-1–4»; 3 — «Explorer-45»; 4 — «Молния-1» (1970); 5 — «Молния-1» (1974); 6 — «Молния-2» (1974); 7 — «Молния-2» (1975); 8 — ISEE-1

Исследованы процессы, влияющие на процесс ускорения релятивистских электронов на фазе восстановления магнитной бури. Показано, что

определяющим фактором возрастания потоков электронов является наличие высокой суббуревой активности на фазе восстановления магнитной бури. На рис. 9 приводится зависимость положения максимума возрастания релятивистских электронов L_{\max} от максимального за время бури значения Dst-вариации $|Dst|_{\max}$, построенная во всем диапазоне известных амплитуд магнитных бурь, включая самую сильную бурю за всю историю космических исследований 13–14 марта 1989 г. Показано, что многочисленные данные спутниковых наблюдений хорошо соответствуют зависимости $|Dst|_{\max} \sim (L_{\max})^{-4}$.

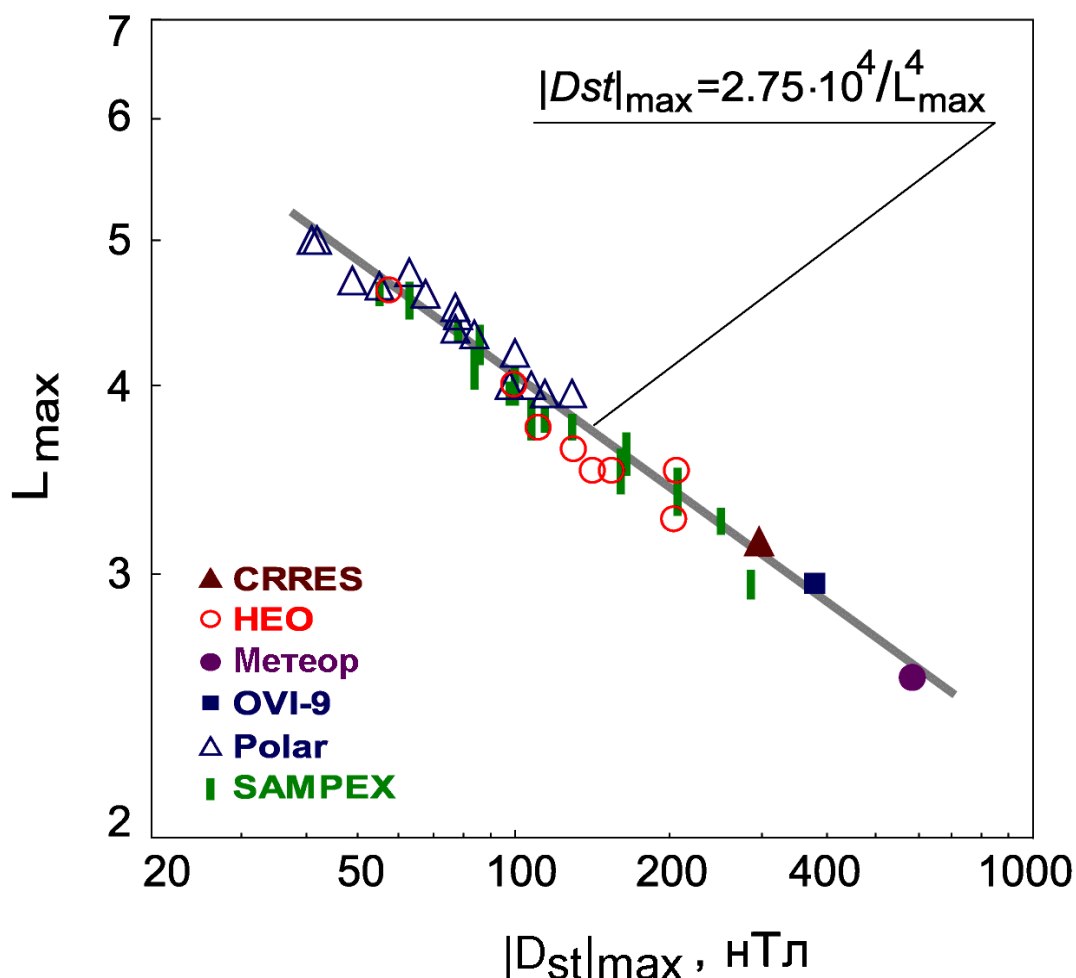


Рис. 9. Зависимость положения максимума пояса инжектированных во время магнитных бурь релятивистских электронов (L_{\max}) от амплитуды магнитной бури ($|Dst|_{\max}$)

Выполнен анализ экспериментальных данных, полученных во время экстремальных солнечных событий октября-ноября 2003 г., инициировавших исключительно большую серию мощных геомагнитных бурь. Отечественные экспериментальные ресурсы представляют на данный момент большой комплекс наземных и космических приборов, достаточных для серьезного исследования процессов солнечно-земной активности: в октябре–ноябре 2003 г., когда Солнце «проработало» в экстремальном режиме, в околоземном пространстве находилось сразу пять космических аппаратов, изготовленных в России, на борту которых находилась аппаратура НИИЯФ

МГУ: «КОРОНАС-Ф», «Метеор», «Экспресс-А2», «Экспресс-А3» и МКС. Наряду с этим были задействованы также российские наземные станции. На базе НИИЯФ МГУ создана коллаборация из нескольких ведущих научных организаций РФ (<http://www.kosmofizika.ru/buri/buri.htm>) и проведены две международные конференции «Солнечные экстремальные события: фундаментальная наука и прикладные аспекты» (НИИЯФ МГУ, 12–14 июля 2004 г. и Армения, 26–30 сентября 2005) (<http://see.magnetospere.ru>).

На основе разработанных моделей солнечных космических лучей и проникновения частиц космических лучей на орбиты и за защиту космических аппаратов исследована корреляция значений поглощенной дозы, зарегистрированной штатными дозиметрами на геостационарном спутнике «Экспресс-А3», орбитальной станции «Мир» и Международной космической станции во время больших солнечных событий. Установлено хорошее согласие расчетных и экспериментальных данных.

Временные и спектральные характеристики жесткого излучения рентгеновских пульсаров в двойных системах

Данные рентгеновских измерений на спутнике «Прогноз-9» и орбитальной станции «Мир» (аппаратура ГРИФ) были проанализированы с целью исследования динамики жесткого излучения транзиентных пульсаров. В поле зрения рентгеновских приборов в этих экспериментах находились следующие транзиентные (Be) пульсары: A0535+262, GS1722-36, 4U1145-619, A1118-615, EXO2030+37, Sct X-1, SAX J2103.5+4545, IGR 16320-4751, IGR 16465-4507. Пульсирующие компоненты излучения источников A0535+26 и GS1722-36 были выделены на достоверном уровне значимости. Для остальных пульсаров получены верхние пределы интенсивности периодических пульсаций. Периодический компонент излучения A0535+26, связанный с пульсациями, наблюдался на фазе спада вспышки этого источника. Средние фазовые профили пульсаций были построены для различных энергетических диапазонов на разных стадиях спада вспышки. Форма этих профилей типична для «обычных» вспышек Be пульсаров. Были получены энергетические спектры пульсирующего компонента для разных временных интервалов. Эти зависимости подтверждают известную корреляцию между скоростью изменения частоты пульсаций и величиной рентгеновского потока: на фазе спада вспышки имеет место замедление вращения нейтронной звезды и соответственно некоторое увеличение периода пульсаций.

Средние фазовые профили пульсаций и энергетические спектры были получены для одного временного интервала наблюдений пульсара GS 1722-36. Наилучшую аппроксимацию спектра дает степенная зависимость с показателем $\sim 1,2$. Такой спектр несколько жестче типичного энергетического спектра пульсирующего компонента излучения транзиентного пульсара. Таблица 1 содержит потоки энергии и верхние пределы на поток энергии периодического излучения пульсаров в диапазоне 25–50 кэВ по данным эксперимента ГРИФ.

Таблица 1

Пульсар	Интервал поиска, с		Период наиболее значимого пика, с	Интервал наблюдения, TJD		Поток 25–50 кэВ, эрг/(см ² ·с)
	начало	конец		начало	конец	
4U1538-52	528,54	529,80	528,6585	10611,5	10615,2	1.86E-10
GX301-2	670	682	681,0352	10072	10581	1.50E-09
A0535+26	102,7	103,8	103,3563	10614,4	10614,6	3.71E-10
4U1145-619	291	296	291,319	10092,76	10095,67	7.83E-10
A1118-615	405	408	405,54	10385	10454	1.12E-09
GX1+4	120	128	123,2421	10102,46	10103,582	<u>2.86E-10</u>
OAO1657-41	37,40	37,75	37,716	10072,661	10087,781	8.70E-10
Vela X-1	283,00	283,55	283,122	10612,063	10612,333	2.81E-10
GS1843-02	94,1	94,6	94,5337	10604,659	10610,175	2.03E-10
4U1907+09	439,6	441,4	440,2933	10380	10500	2.31E-10
Sct X-1	110	112	110,4524	10604,659	10614,978	1.76E-10
GPS1722-36	410	420	415,8096	10604	10616	2.18E-10
EXO2030+37	41,632	41,667	41,6434	10102,396	10105,378	3.41E-10

Исследование экстремальных состояний солнечной и гелиосферной активности на спаде 23-го солнечного цикла

Выполнен сравнительный анализ данных о нестационарных процессах в солнечной атмосфере и гелиосфере для периодов времени в октябре–ноябре 2003 г. и ноябре 2004 г. – январе 2005 г. Спутниковые данные позволили лучше понять возможные причины экстремально сильных возмущений на Солнце и в гелиосфере, связав их происхождение с процессами в недрах Солнца. Явления переноса энергии, импульса и массы в различных пространственно-временных масштабах на Солнце организованы в иерархию взаимосвязанных нелинейных процессов. Подтверждается вывод о том, что корональные выбросы массы и солнечные вспышки не связаны между собой причинно-следственными отношениями, а представляют лишь проявления двух каналов диссипации свободной энергии в атмосфере Солнца в виде движений плазмы и ее излучения, относительную роль которых можно охарактеризовать соответствующим безразмерным параметром. Получены сведения о глобальной асимметрии излучения Солнца и процессов солнечной активности. Установлено, что геометрия эруптивных событий отличается большим разнообразием, которое не сводится только лишь к «магнитному пересоединению».

Обнаружено новое явление в атмосфере Солнца - образование, рост и исчезновение грибовидных облаков вследствие эруптивных процессов, что

позволяет понять многие наблюдаемые геометрические и физические особенности корональных выбросов массы. Предложен и реализован способ визуализации магнитного поля в короне Солнца. Установлено, что геометрия эруптивных событий отличается большим разнообразием масштабов и структур, которые не связаны изменением топологии магнитного поля.

Исследована динамика отдельного петельного протуберанца, наблюдавшегося на Солнце и сопровождающегося эруптивной вспышкой. В процессе подъема петель протуберанца происходило ускорение и быстрый нагрев. Предложена схема явления, указывающая на принципиально важную роль действия подфотосферных процессов формирования глобальной токовой цепи.

Подтверждён полученный в 1990-е гг. результат, свидетельствующий о том, что большая часть жесткого рентгеновского излучения импульсных вспышек генерируется в низких слоях солнечной атмосферы. В результате анализа временного хода гамма-излучения 2,2 МэВ для вспышечных событий 22.03.1991 г. и 06.11.1997 г. установлено, что распределение плотности солнечного вещества в период вспышки отличается от стандартной модели Солнца. Установлено, что вероятность генерации событий солнечных космических лучей, в том числе и во время экстремальных геоактивных событий, в любой произвольно взятый период времени зависит только от суммы чисел среднемесячных солнечных пятен за этот период. предложено модельное описание генерации релятивистских частиц в мощных солнечных вспышках. Показано, что такие вспышки имеют две фазы. На первой наблюдается тормозное гамма-излучение до энергий 60 МэВ включительно, гамма-излучение с энергией, превышающей 100 МэВ, появляется лишь во второй фазе и обладает характерным спектром с максимумом в области энергий 70 МэВ. Зарегистрировано высокоэнергичное (>100 МэВ) гамма-излучение и потоки нейтронов от солнечных вспышек 28.10.2003 г. и 04.11.2003 г., что при сопоставлении с другими наблюдениями позволило определить времена и высоты ускорения частиц до релятивистских энергий и время их выхода в межпланетное пространство. Создана база данных, объединяющая численную и графическую информацию о протонных возрастаниях у Земли и их возможных солнечных источниках (1144 протонных события с энергией >10 МэВ за период с 1975 по 2003).