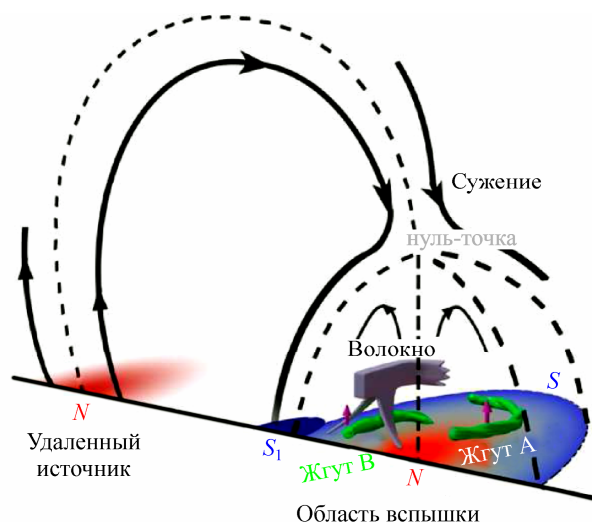


## ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ 2.9. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АСТРОНОМИИ, АСТРОФИЗИКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

### Программа 2.9.1. Физика Солнца и околоземного космического пространства (координатор акад. Г. А. Жеребцов)

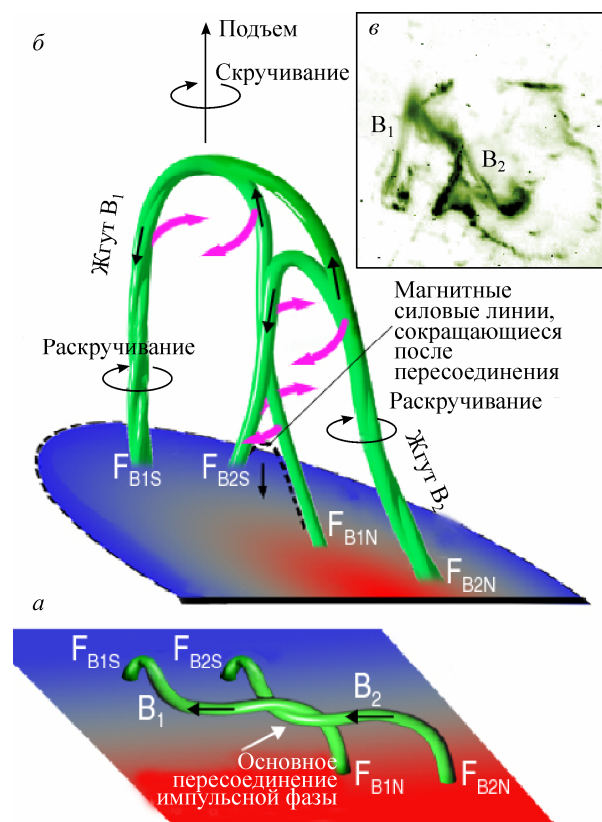
Для вспышек, которые не описываются существующими двумерными моделями, учеными Института солнечно-земной физики построен сценарий инициации и развития вспышки с выбросом волокна. Новизна предложенной модели состоит в использовании эффектов, возникающих при взаимодействии двух поднимающихся и раскручивающихся магнитных жгутов, расположенных в основании воронкообразного магнитного домена с нулевой точкой в его вершине (рис. 60). В рамках трехмерной модели удалось объяснить динамику вспышечного процесса, проявляющегося в излучении вспышки в различных диапазонах (рис. 61).

Учеными этого же Института впервые показано, что суточные, спектральные и динамические характеристики среднemasштабных перемещающихся ионосферных неоднородностей (СМ ПИВ) определяются динамикой солнечного терминатора (СТ) — но не только в пункте наблюдения, а одновременно и в магнитосопряженной области.



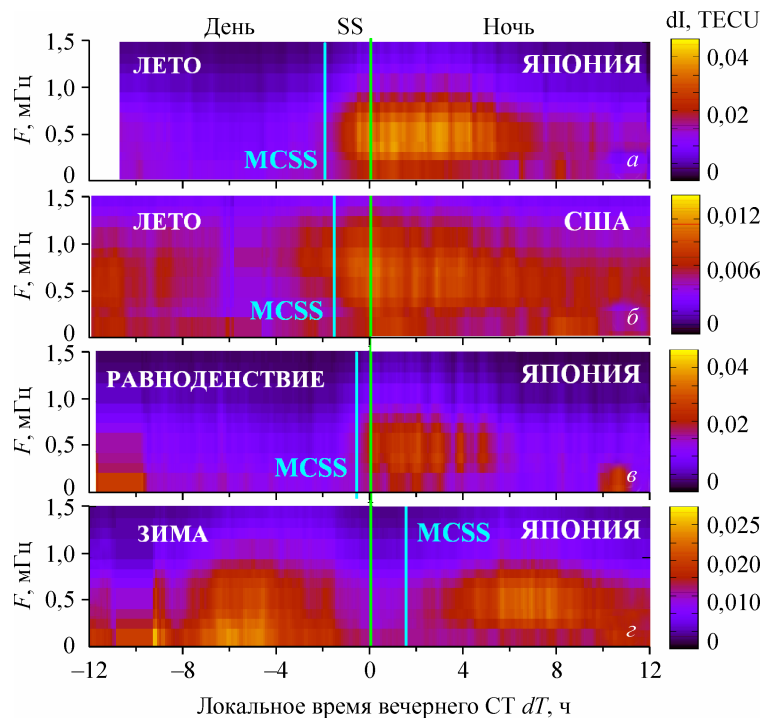
**Рис. 60.** Конфигурация перед вспышкой. Штриховые линии соответствуют сепаратрисам.

Зимой в Северном полушарии СМ ПИВ наблюдаются преимущественно спустя 3 ч после прохождения вечернего солнечного терминатора (рис. 62, з). В равноденствие регистрация СМ ПИВ начинается почти одновременно с приходом СТ (рис. 62, в). Летом СМ ПИВ регистрируются за 1,5—2 ч до появления ве-



**Рис. 61.** Схема развития вспышки, происходящей при частичном магнитном пересоединении двух жгутов. Раскручивание каждого из жгутов  $B_1$  и  $B_2$  приводит к скручиванию формирующегося при частичном пересоединении нового крупномасштабного жгута. Черные стрелки на жгутах показывают направления электрического тока.

*a* — начальные положения жгутов; *б* — ситуация после импульсной фазы вспышки; *в* — изображение вспышки в излучении 195 Å.



**Рис. 62.** Динамические спектры вариаций полного электронного содержания (РЭС). Вертикальными линиями отмечено положение вечернего солнечного терминатора в пункте наблюдения (SS) и в магнитосопряженной точке (MCSS).

Ост. поясн. см. в тексте.

черного СТ в пункте наблюдения, но в момент времени прохождения СТ в магнитосопряженной области (рис. 62, а, б).

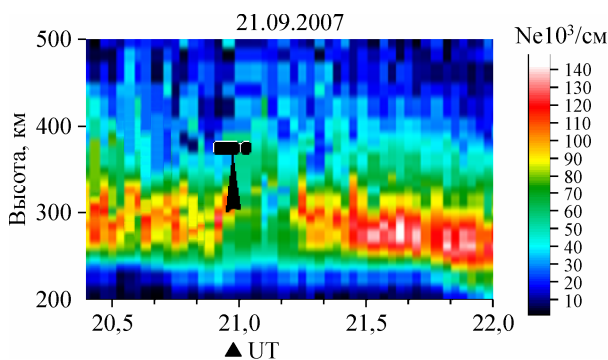
Синхронизация СМ ПИВ с прохождением СТ в пункте наблюдения и в магнитосопряженной области позволяет выдвинуть предположение о переносе возмущений магнитосферными МГД-волнами.

Периоды наблюдаемых колебаний соответствуют периодам первых гармоник стоячих

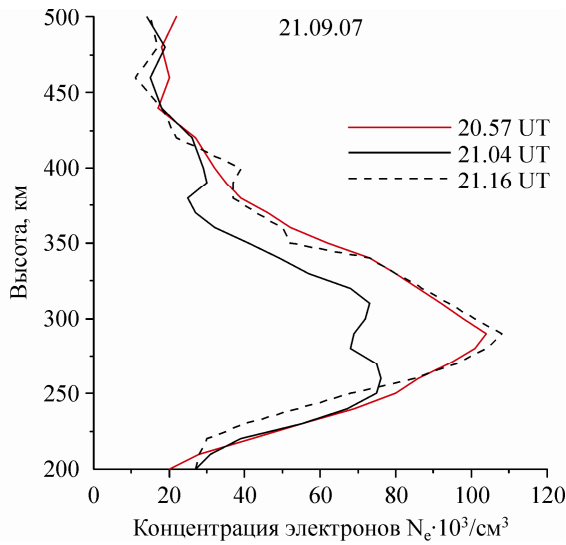
ММЗ-волн (медленный магнитный звук), распространяющихся вдоль силовых линий геомагнитного поля ( $\sim 10^3$ — $10^4$  с). Результаты подтверждают разработанную в ИСЗФ модель ММЗ-волн, распространяющихся во внутреннем магнитосферном резонаторе.

В серии экспериментов (сентябрь 2007, февраль и сентябрь 2008, февраль и сентябрь 2009 гг.) были проведены измерения параметров (отражательных характеристик, размеров, плотности и др.) крупномасштабных плазменных образований, возникающих при работе бортовых жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) транспортного грузового корабля (ТГК) «Прогресс» при различной направленности выхлопных струй относительно направления движения ТГК. С помощью радара некогерентного рассеяния (ИР НР ИСЗФ) установлено, что после кратковременного (5 с) включения ДУ в окружающей ионосфере образуется область пониженной концентрации электронов (на 20—40 % от фонового значения) с временем существования 10—15 мин. (рис 63, 64).

Учеными Института солнечно-земной физики обнаружено проявление мощных стратосферных потеплений в верхней атмосфере и



**Рис. 63.** Динамика формирования области пониженной концентрации электронов после включения двигательных установок (ДУ). Схематично показано положение ТГК и струи ДУ.



**Рис. 64.** Профили концентрации электронов: фоновой (—), возмущенной (—) и восстановившейся (- - -) ионосферы.



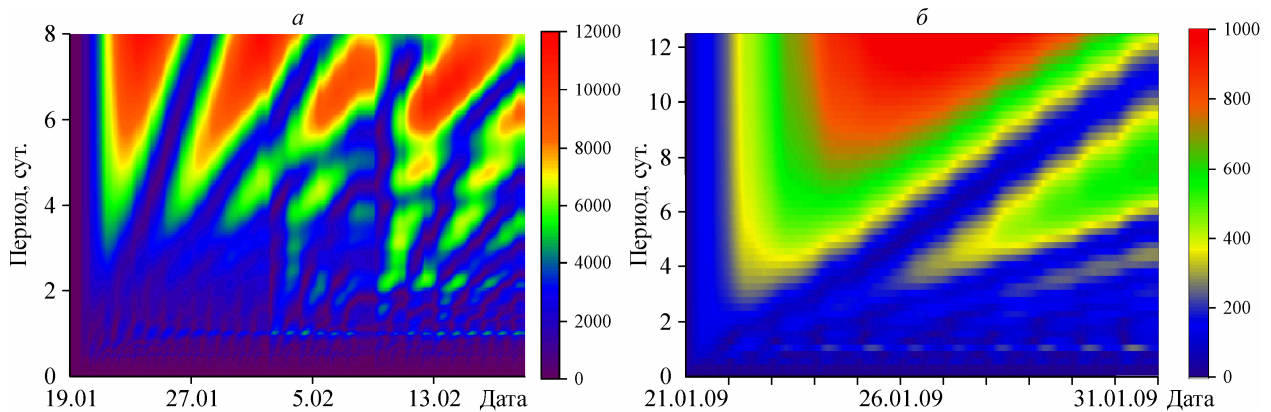
**Рис. 66.** Антенны макета в составе ССРТ.

ионосфере (по данным комплекса радиофизических и оптических инструментов ИСЗФ и спутниковых данных EOS Aura).

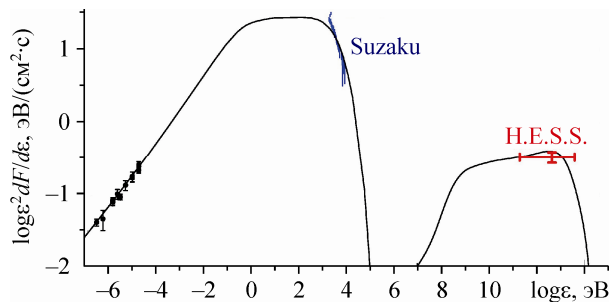
Также выявлено существенное различие в реакции ионосферных параметров на события, связанные с внезапными стратосферными потеплениями: мощное продолжительное стратосферное потепление в январе 2009 г. с экстремальными температурами на высотах стратосферы  $\sim 40$  км ( $T_{\max} \sim 307$  К) привело к меньшим на порядок возмущениям планетарного типа в межсуточных вариациях ионосферных параметров ( $f_0 F_2$  и др.), чем стратосферные потепления в январе—феврале 2008 г. на той же высоте  $h \sim 40$  км ( $T_{\max} \sim 278$  К), имевших квазипериодический характер с периодами  $\sim 6$ — $8$  суток.

В этом же Институте завершен этап тестирования 10-антенного прототипа многоволнового радиогелиографа, создаваемого в процессе модернизации Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ) на диапазоне частот 4—8 ГГц. Результаты тестирования показали, что использованные технические решения обеспечивают достижение запланированных параметров радиогелиографа (рис. 66).

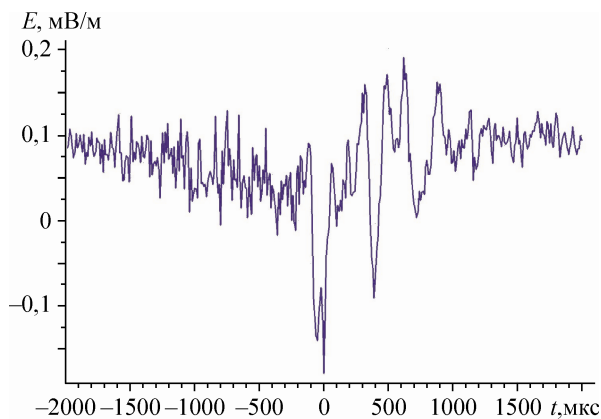
Учеными Института космофизических исследований и аэронавтики им. Ю. Г. Шафера по содержанию мюонов в широких атмосферных ливнях, измеренному Якутской установкой ШАЛ, получены наиболее строгий верхний предел интегрального потока фотонов  $F_\gamma$  (рис. 67, а) и их доли  $N_\gamma/N_{CR}$  (рис. 67, б) в составе космических лучей с энергией выше  $10^{18}$  эВ.



**Рис. 65.** Высотное распределение температуры над Иркутском в январе—феврале 2008 г. (а) и в январе 2009 г. (б).



**Рис. 68.** Дифференциальный поток энергии нетеплового излучения остатка сверхновой SN 1006 как функция энергии фотона. Сплошными линиями показаны результаты расчета, выполненного на основе нелинейной теории ускорения космических лучей в остатках сверхновых. Приведены также результаты измерений в радио, рентгеновском (Suzaku) и гамма-диапазоне (H.E.S.S.).



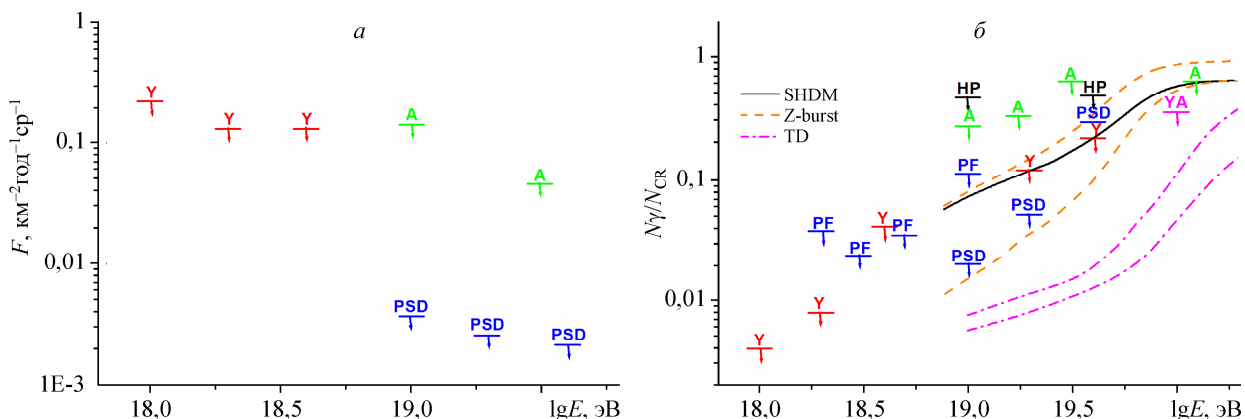
**Рис. 69.** Электрическая компонента радиосигнала ШАЛ в ОНЧ-диапазоне. Время  $t=0$  соответствует времени прихода ливня на уровень наблюдения.

Учеными этого же Института показано, что нелинейная теория ускорения космических лучей в остатках сверхновых хорошо объясняет все наблюдаемые свойства нетеплового излучения исторического остатка SN 1006 (рис. 68). При этом величина потока тераэлектронвольтового гамма-излучения, измеренная недавно системой гамма-телескопов H.E.S.S., подтвердила предсказания теории, что является решающим экспериментальным подтверждением эффективного ускорения космических лучей в остатках сверхновых вплоть до энергии  $\sim 10^{17}$  эВ.

Экспериментально зарегистрированы сигналы в ОНЧ-диапазоне (4—100 кГц) от широких атмосферных ливней (ШАЛ), порожден-

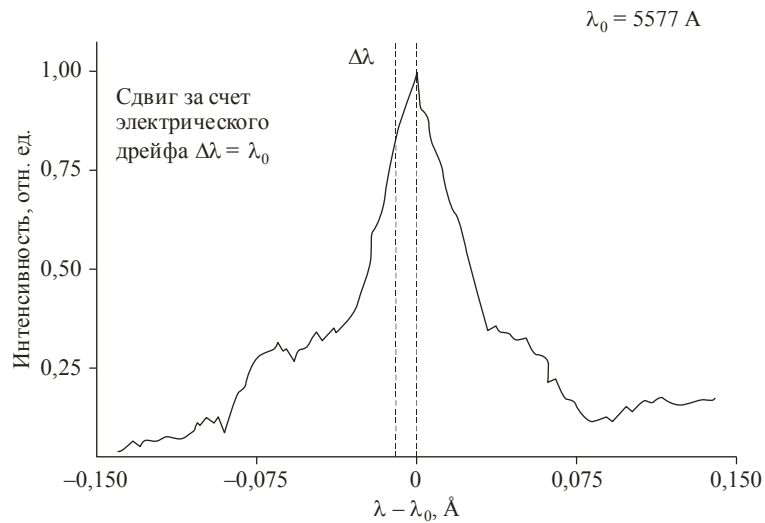
ных космическими лучами с энергией более  $10^{14}$  эВ (рис. 69). Длительность усредненного ОНЧ-радиосигнала, полученного методом наложения эпох 5329 событий ШАЛ относительно момента прихода ливня на уровень наблюдения, составляет  $\Delta t \approx 1$  мс.

С помощью сканирующего интерферометра Фабри—Перо обнаружены появления смешанных контуров эмиссии 557,7 нм [01] в полярных сияниях, где диссоциативные их компоненты, излучаемые быстрыми атомами  $O(^1S)$ , образованными при диссоциативной рекомбинации молекулярного иона  $O_2^+$  с фоновыми электронами авроральной ионосферы на высотах выше 220 км, сдвинуты относительно



**Рис. 67.** Верхний предел (95%-й уровень согласия) интегрального потока  $F_\gamma$  (а) и доли фотонов  $N_\gamma/N_{CR}$  (б) в зависимости от энергии  $E$ .

Y — наш результат, YA — по совместным данным Якутска и AGASA (Япония), A — установки AGASA (Япония), PSD — обсерватории Пьера Оже (Аргентина) по данным наземных детекторов, PF — обсерватории Пьера Оже по флуоресцентным, HP — установка Haverah Park (Англия). Ожидаемые значения в рамках моделей происхождения космических лучей сверхвысоких энергий: распад топологических дефектов (TD), распад сверхтяжелых частиц темной материи (SHDM), взаимодействие нейтрино сверхвысоких энергий с реликтовыми нейтрино (Z-burst).



**Рис. 70.** Контур эмиссии атомарного кислорода  $\lambda_0 = 5577 \text{ \AA}$ , зарегистрированный в диффузных формах полярных сияний (б. Тикси) с помощью сканирующего интерферометра Фабри—Перо. Центральная узкая часть контура обусловлена возбуждением нейтральных атомов кислорода тепловыми электронами на высотах  $h = 97\text{—}100 \text{ км}$ . Широкая часть контура — диссоциативная компонента — генерируется в результате диссоциативной рекомбинации молекулярных ионов кислорода:  $\text{O}_2^+ + e \rightarrow \text{O}(^1\text{S}) + \text{O}(^3\text{P}) + 2,79 \text{ эВ}$ .

максимума контура излучения тепловых атомов авроральной ионосферы  $\text{O}(^1\text{S})$  на уровне  $97\text{—}100 \text{ км}$  (рис. 70). Сдвиг диссоциативной компоненты обусловлен электрическим дрейфом молекулярных ионов  $\text{O}_2^+$  на высотах  $h >$

$> 200 \text{ км}$  со скоростью  $V = cE/B$ . Анализ таких контуров эмиссии  $557,7 \text{ нм}$  [01] позволяет оценить величину компоненты электрического поля и его направления на высотах F2-области ионосферы.