

ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ П.16.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АСТРОНОМИИ, АСТРОФИЗИКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА, В ТОМ ЧИСЛЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ, СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ, ПРИРОДА ТЕМНОЙ МАТЕРИИ И ТЕМНОЙ ЭНЕРГИИ, ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУНЫ И ПЛАНЕТ, СОЛНЦА И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ, ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКЗОПЛАНЕТ И ПОИСКИ ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ, РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И АППАРАТУРЫ ВНЕАТМОСФЕРНОЙ АСТРОНОМИИ И ИССЛЕДОВАНИЙ КОСМОСА, КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Программа П.16.1. Фундаментальные проблемы процессов космической погоды, включая процессы на Солнце, межпланетной среде, магнитосфере и атмосфере Земли. Контроль и экология околоземного космического пространства (координатор акад. Г. А. Жеребцов)

В азиатском регионе РФ сформирован пространственно разнесенный комплекс геофизических инструментов (когерентный ионосферный радар, сеть приемников GPS/ГЛО-НАСС, инфразвуковая станция, оптические комплексы для измерения свечения верхней атмосферы, сеть магнитных станций, ионозонды), обеспечивающий мониторинг околозем-

ного космического пространства, в том числе потенциально опасных явлений и объектов. Например, совместно с сетью сейсмических станций были зарегистрированы эффекты, сопровождавшие полет и взрыв Челябинского метеорита 15 февраля 2013 г. в геомагнитном поле, в ионосфере, атмосфере и литосфере Земли (рис. 56).

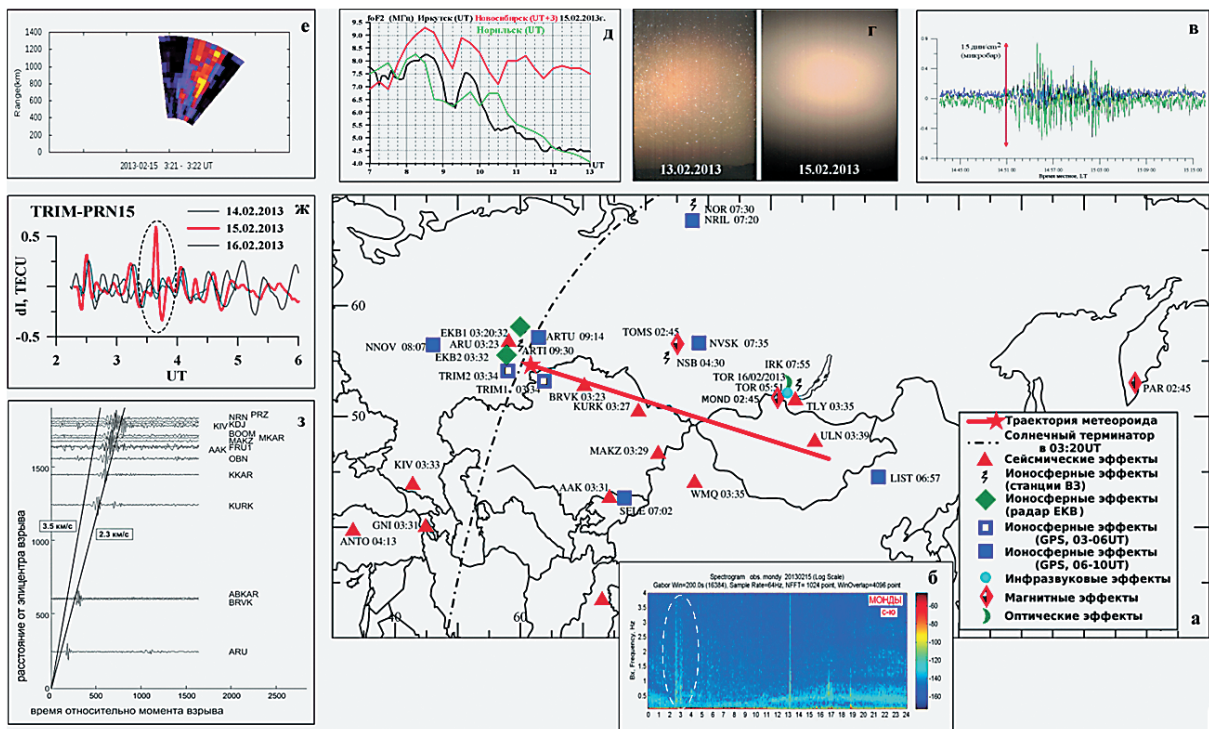


Рис. 56. Карта регистрации (а) и примеры (б–з) геофизических эффектов в азиатском регионе, сопровождавших падение Челябинского метеорита: шумовой всплеск в геомагнитном поле (б); инфразвуковой сигнал (в); свечение ночного неба (г); колебания критической частоты слоя F2 ионосферы (д); короткоживущая ионизованная область (е); колебания GPS-ППС (ж); сейсмические колебания (з). На карте показаны место и время (UT) начала регистрации эффектов. Время взрыва метеорита: 03:20:33 UT.

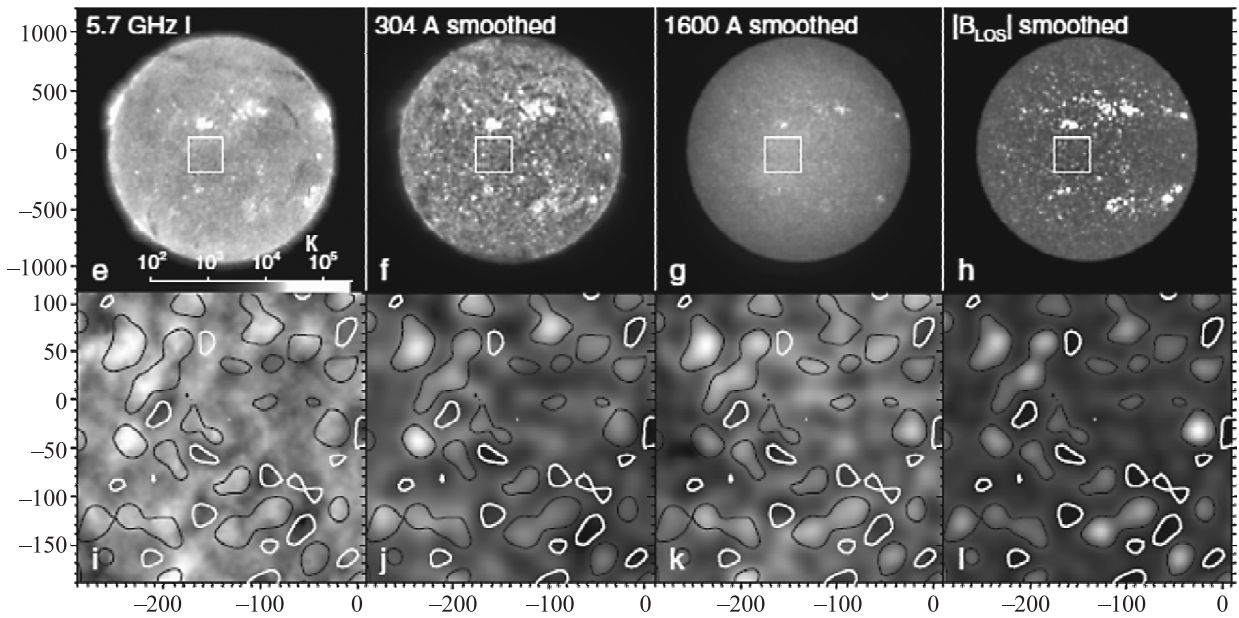


Рис. 57. Супергрануляционная сетка 7 июля 2010 г. в микроволновом излучении (ССРТ), крайнем ультрафиолете (SDO/AIA) и на магнитограмме (SDO/HMI). На нижних панелях показан увеличенный участок соответствующих изображений с нанесенной магнитной сеткой. Корреляция радиогрануляции с хромосферными супергрануляционными структурами составляет $\sim 0,7$.

В Институте солнечно-земной физики получены уникальные радиокарты атмосферы Солнца с динамическим диапазоном ~ 30 дБ и температурной чувствительностью ≤ 500 К на частоте 5,7 ГГц (рис. 57). Радиокарты построены из первичных данных Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ) с помощью разработанного метода автоматической обработки наблюдений, позволяющего максимально полно использовать возможности инструмента. Высокий динамический диапазон новых радиокарт дает возможность исследовать физические явления как в мощных источниках радиоизлучения активных областей, так и в слабоизлучающих объектах – корональных дырах, эруптивных протуберанцах, корональных ярких точках и других. Полученные уникальные наблюдательные данные, дополняя измерения в других диапазонах электромагнитного спектра, существенно расширяют круг решаемых физических задач, в том числе позволяют разрабатывать новые радиофизические методы прогноза космической погоды.

В этом же Институте впервые получены результаты, подтверждающие важную роль ультранизкочастотных (УНЧ) колебаний в передаче волновой энергии от Солнца до магнитосферы Земли. Впервые найдены признаки переноса солнечным ветром УНЧ-колебаний, наблюдаемых телескопами в атмосфере Солнца, к земной орбите. В межпланетном магнитном поле наблюдаются волны того же

спектрального состава, что и колебания, зарегистрированные перед этим в атмосфере Солнца. Оказалось также, что аналогичные УНЧ-колебания способны генерироваться прямо на границе магнитосферы Земли – магнитопаузе – при ее взаимодействии с фронтами ударных волн, распространяющихся в солнечном ветре. Создана теоретическая модель, показывающая, что УНЧ-волны, проникающие в магнитосферу Земли, передают значительный импульс ионам и способны сформировать конвекционный поток магнитосферной плазмы.

Геоэффективность солнечных эрупций определяется направлением магнитного поля в межпланетном облаке, пришедшем к Земле. Его ориентация и спиральность обычно соответствуют протуберанцу до эрупции. В ИСЗФ СО РАН впервые установлено, что возможен аномальный ход эрупции, когда магнитное пересоединение эруптивного протуберанца с окружающими корональными структурами приводит к резкому, вплоть до смены знака, отличию спиральности и направления поля в межпланетном облаке от источника эрупции. Взаимодействующие магнитные структуры деформируются, а их спиральности и массы перераспределяются. Признаки аномальной эрупции – явления поглощения в ультрафиолетовом и микроволновом излучении, присутствие магнитной нулевой точки вблизи места эрупции. Сильнейшая магнитная буря 23-го цикла была вызвана аномальной эрупцией.

Программа П.16.2. Физика космических лучей и солнечно-земных связей (координатор член-корр. РАН Е. Г. Бережко)

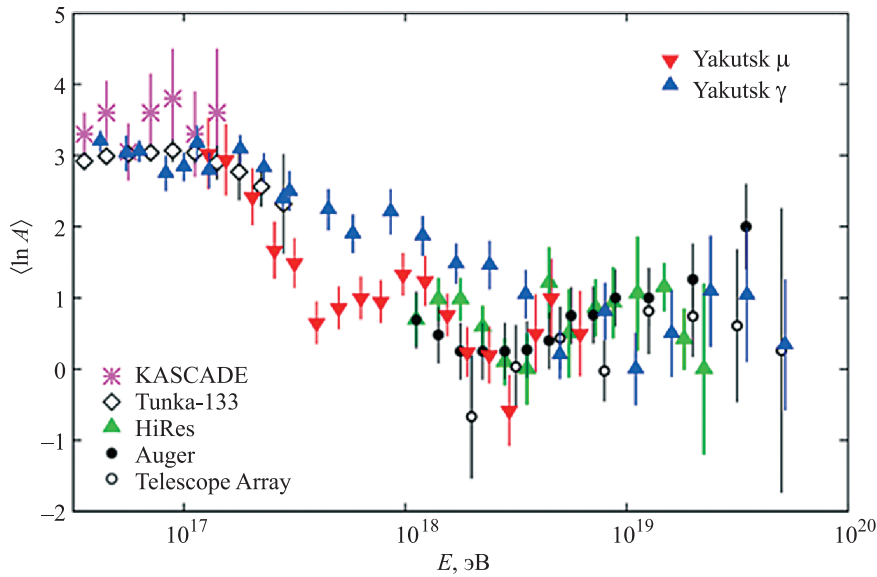


Рис. 58. Средний логарифм атомного числа космических лучей в зависимости от их энергии. Представлены данные Якутской установки ШАЛ, основанные на регистрации черенковского излучения (Yakutsk γ) и измерении содержания мюонов в ШАЛ (Yakutsk μ), а также данные других установок.

В Институте космофизических исследований и астрономии им. Ю. Г. Шафера на основе измерений содержания мюонов в широких атмосферных ливнях (ШАЛ), выполненных на Якутской установке ШАЛ, определен состав космических лучей (КЛ) в области энергий 10^{17} – 10^{19} эВ, который согласуется с составом КЛ, полученным ранее на основе регистрации черенковского излучения ШАЛ на Якутской установке (рис. 58). Согласно имеющимся экспериментальным данным основным источником КЛ с энергиями $E \leq 10^{17}$ эВ являются галактические остатки сверхновых звезд, а космические лучи предельно высоких энергий $E > 10^{19}$ эВ имеют внегалактическое происхождение. Полученные данные Якутской установки ШАЛ указывают на то, что в области энергий 10^{17} – 10^{18} эВ происходит переход от одной компоненты к другой.

В этом же Институте показано, что спектр гамма-излучения остатка сверхновой Тихо, измеренный в экспериментах Fermi и VERITAS, объясняется суперпозицией двух компонент: первая, простирающаяся вплоть до энергии 100 ТэВ, генерируется расширяющейся взрывной ударной волной в разреженной «теплой» фазе окружающей межзвездной среды; вторая компонента, с максимальной энергией фотонов 100 ГэВ, рождается в плотных облаках, вкрап-

ленных в эту «теплую» межзвездную среду (рис. 59).

В Институте космофизических исследований и астрономии им. Ю. Г. Шафера на приме-

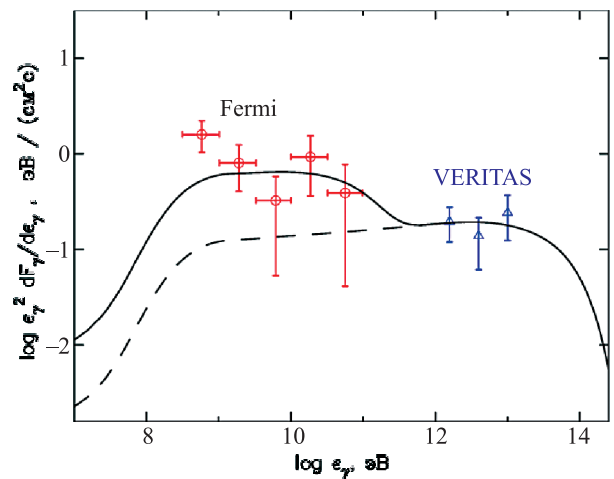


Рис. 59. Плотность потока энергии гамма-излучения остатка сверхновой Тихо как функция энергии фотона. Штриховая и сплошная линии представляют соответственно вклад «теплой» фазы межзвездной среды и полный спектр, который включает вклад излучения от облаков. Также приведены результаты измерений, выполненные космической обсерваторией Fermi и наземной системой гамма-телескопов VERITAS.

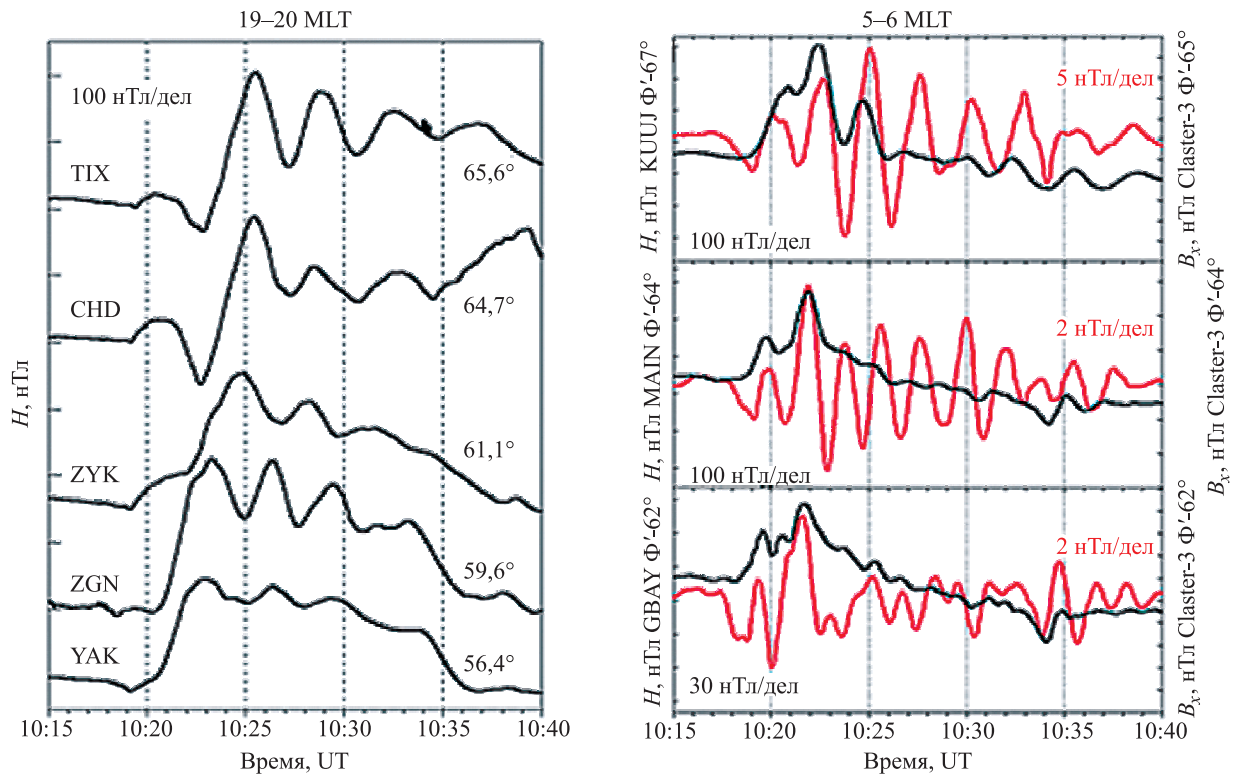


Рис. 60. Геомагнитные пульсации как вынужденные колебания (один период колебаний на всех широтах) в вариациях Н-компоненты геомагнитного поля в секторе 19–20 ч местного времени (а) и как резонансные альфвеновские колебания (период колебаний зависит от широты) в секторе 5–6 ч местного времени по данным наземных и спутниковых (B_x -компонента магнитного поля на спутниках Cluster 2, 3, 4) наблюдений (б).

ре развития геомагнитных пульсаций во время внезапного начала магнитной бури 04.08.2010, обусловленной приходом ударной волны солнечного ветра, показано, что возможна одновременная генерация геомагнитных пульса-

ций в магнитосфере Земли как в виде вынужденных колебаний под воздействием вариаций параметров межпланетной среды, так и виде альфвеновских резонансных колебаний, обусловленных резким сжатием магнитосферы (рис. 60).

Программа II.16.3. Физика Солнца и астрофизическое приборостроение (координатор член-корр. РАН В. М. Григорьев)

Завершено создание сооружений Астрономического комплекса Саянской солнечной обсерватории (ИСЗФ СО РАН) в составе двух астрономических башен телескопов АЗТ 33 ИК, АЗТ 33 ВМ и технического корпуса. Астрокомплекс предназначен для решения фундаментальных и прикладных задач в области контроля космического пространства, техногенного засорения и астероидно-кометной опасности.

В Институте солнечно-земной физики предложен новый метод обнаружения позитронов, образующихся в ядерных реакциях во время солнечных вспышек, основанный на наблюдениях поляризации микроволнового излучения. Метод основывается на том, что электроны и позитроны генерируют излучение с противоположным знаком круговой поляризации (рис. 61). Метод апробирован на 20-летнем архиве пространственно-разрешен-

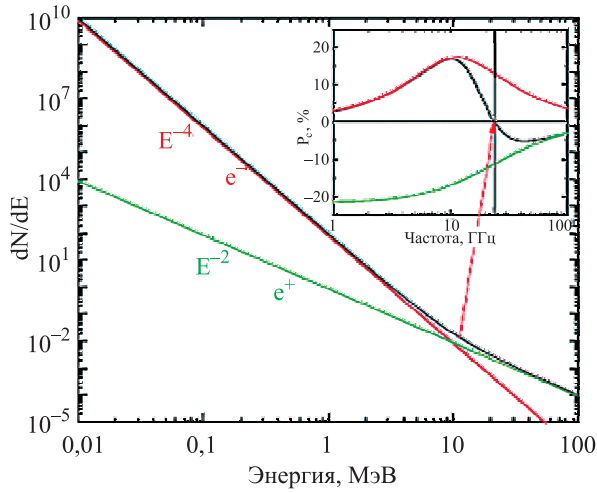


Рис. 61. Иллюстрация метода выделения позитронного вклада в микроволновое излучение вспышки. Черная линия показывает суммарный спектр частиц с превышением вклада позитронов на высоких энергиях. Полное количество позитронов в 10^5 раз меньше электронного, однако их достаточно для обращения знака поляризации на высоких частотах (врезка в рисунке).

ных микроволновых данных, дополненных измерениями магнитного поля. Обнаружено несколько солнечных вспышек со значимым вкладом в излучение релятивистских позитронов (рис. 62).

В этом же Институте установлены общие закономерности инверсии магнитных полей на полюсах Солнца. Подтверждено, что после распада комплексов активности образуются остаточные магнитные поля, которые переносятся меридиональной циркуляцией и диффузией в полярные зоны. Северо-южная асимметрия пятнообразовательной активности в текущем цикле (рис. 63, *a, в*) привела к асинхронности инверсии магнитного поля в северном и южном полушариях. В широтно-временном распределении магнитных полей (рис. 63, *б*) остаточные поля видны как наклонные структуры, выходящие из зон интенсивного пятнообразования. Номера циклов указаны на рис. 63 *a*.

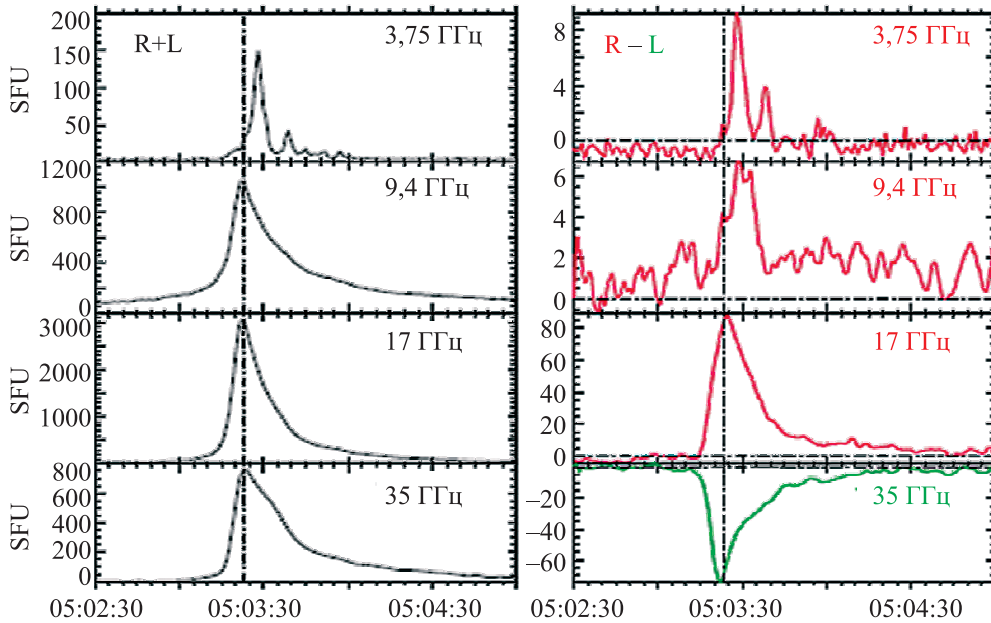


Рис. 62. Потoki микроволнового излучения во время вспышки 13 марта 2000 г. Слева: $(R + L)$ интенсивность, справа: $(R - L)$ круговая поляризация. Положение гиротронного источника не менялось с частотой и было близко к центру диска Солнца. Видно, что знак поляризации обращается на частоте 35 ГГц.

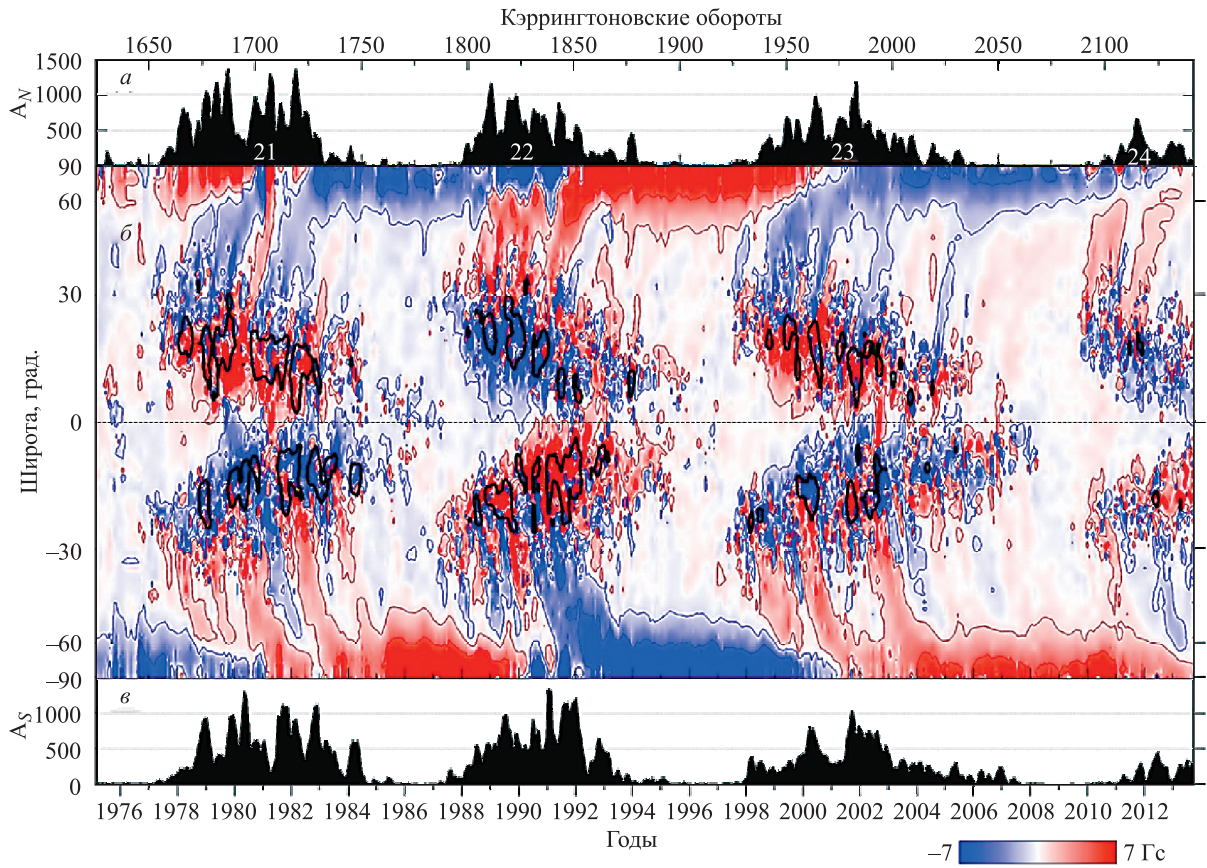


Рис. 63. Изменения площадей солнечных пятен в северном (а) и южном (б) полушариях Солнца (A_N , A_S); б – широтно-временное распределение магнитных полей (красно-синяя шкала) и зоны интенсивного пятнообразования (черные контуры).