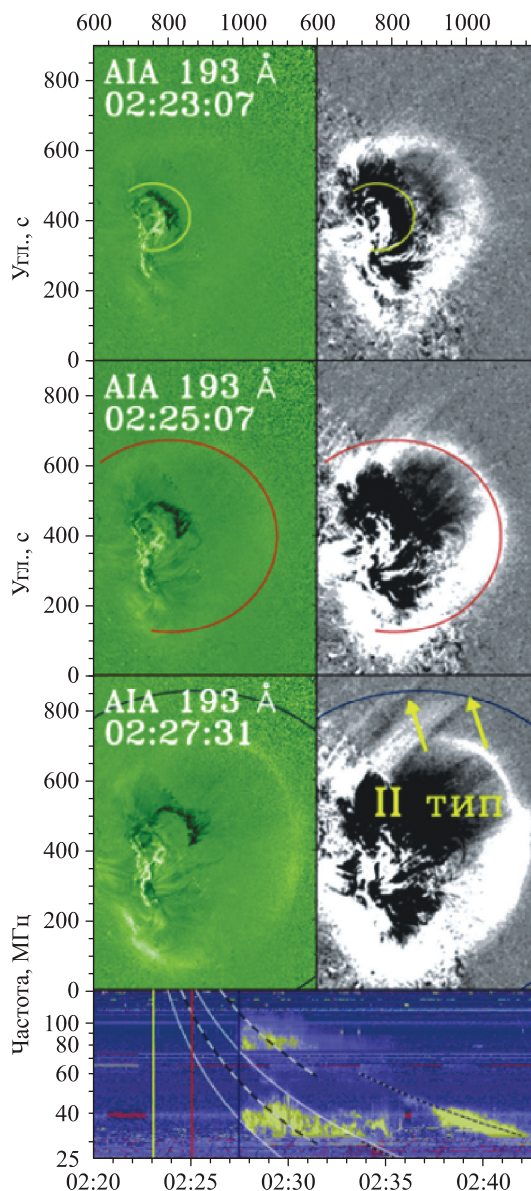


**ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ П.14.  
 СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АСТРОНОМИИ, АСТРОФИЗИКИ  
 И ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА, В ТОМ ЧИСЛЕ  
 ПРОИСХОЖДЕНИЕ, СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ, ПРИРОДА  
 ТЕМНОЙ МАТЕРИИ И ТЕМНОЙ ЭНЕРГИИ, ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУНЫ И ПЛАНЕТ,  
 СОЛНЦА И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ, ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКЗОПЛАНЕТ И  
 ПОИСКИ ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ, РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И АППАРАТУРЫ  
 ВНЕАТМОСФЕРНОЙ АСТРОНОМИИ И ИССЛЕДОВАНИЙ КОСМОСА,  
 КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
 ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

**Программа П.14.1. Физические процессы на Солнце, в околоземном космическом пространстве и солнечно-земные связи (координатор акад. Г. А. Жеребцов)**

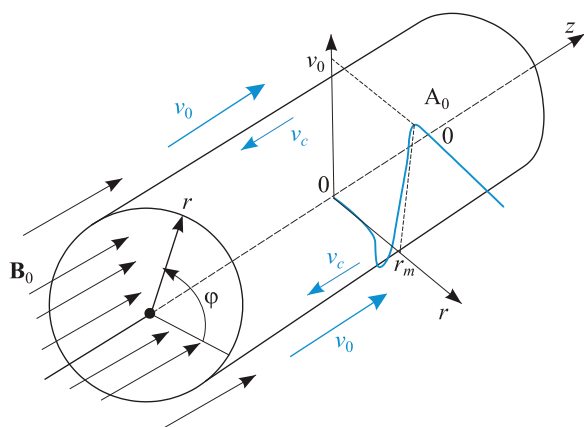
Анализ наблюдений многих солнечных событий, проведенный в Институте солнечно-земной физики, привел к обобщенной картине процессов, происходящих во время коронарных выбросов плазмы, основанной на новом подходе к процессу формирования и распространения ударной волны. Выведены аналитические выражения, описывающие распространение ударного возмущения от момента его зарождения ускорением эруптивного волокна до трансформации в поршневую волну в солнечном ветре (рис. 55). Результаты важны для понимания природы коронарных выбросов массы (КВМ) и прогноза мощности и времени прихода возмущений солнечного ветра на орбиту Земли.

В этом же Институте была решена задача о переносе момента движения из солнечного ветра в геомагнитный хвост потоком магни-



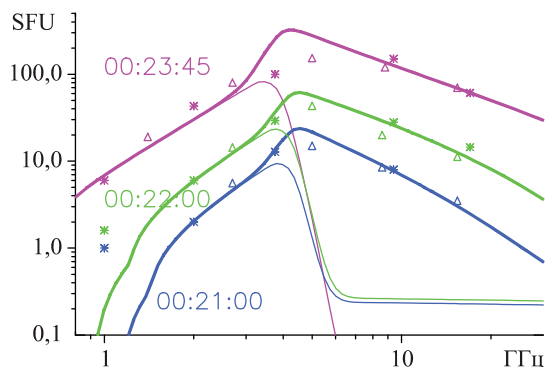
**Рис. 55.** Эрупция протуберанца на исходном (слева) и разностном (справа) изображениях.

Белая полусфера — магнитная оболочка будущего КВМ. Овал — фронт ударной волны (УВ), возбужденной эруптивным протуберанцем (вверху). УВ прошла через оболочку КВМ (второй кадр), скачком увеличив ее скорость на 150 км/с. Воздействуя на корональные лучи (третий кадр, желтые стрелки), УВ вызывает радиовсплеск II типа. Внизу — спектрограммы с расчетным частотным дрейфом.



**Рис. 56.** Модель геомагнитного хвоста, обтекаемого солнечным ветром, и распределение скорости движения плазмы, формируемого под действием магнитозвуковых волн.

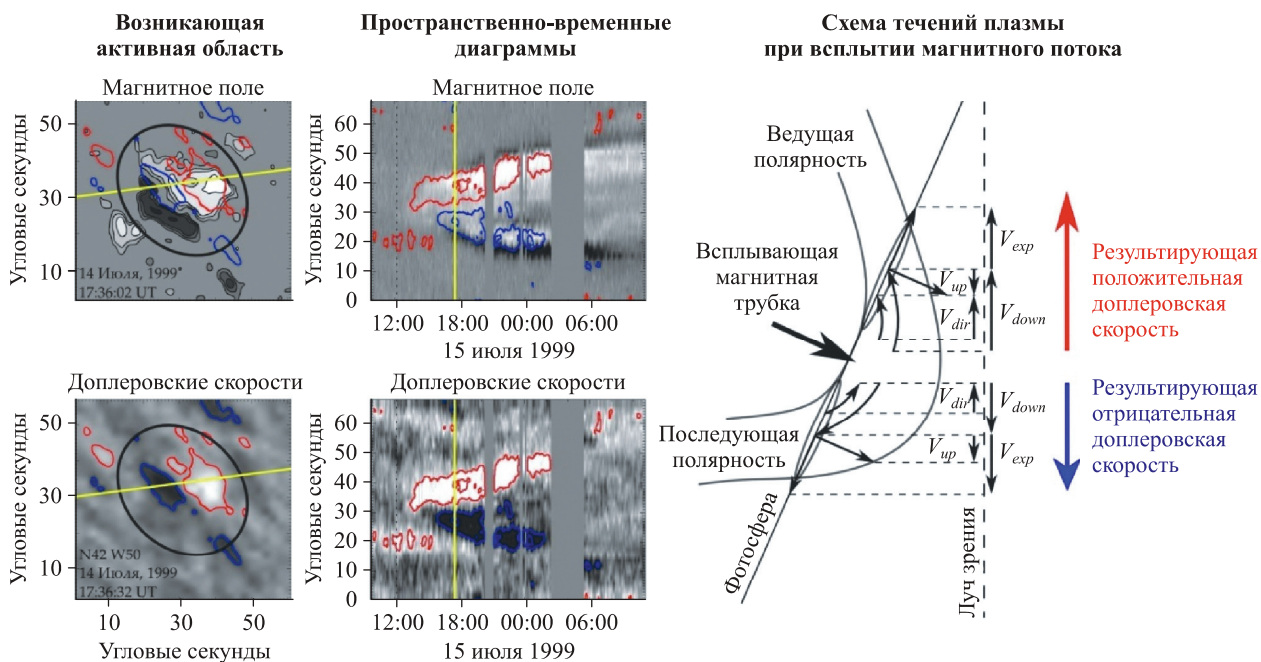
тозвучковых волн (рис. 56). Быстрые магнитозвуковые волны, проникающие в магнитосферу из магнитослоя, возбуждают внутри геомагнитного хвоста медленные магнитозвуковые волны на резонансных магнитных оболочках. Резонансные колебания взаимодействуют с фоновой плазмой, передавая ей момент движения. Показано, что в этом процессе в долях гео-



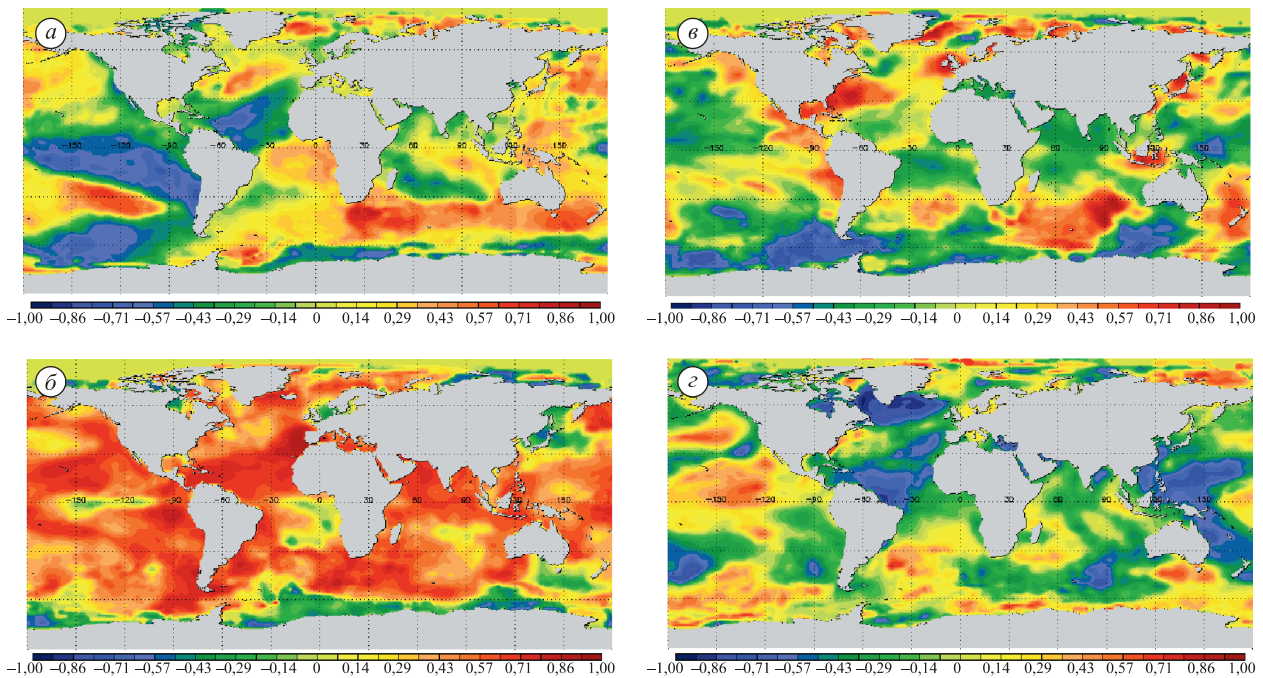
**Рис. 57.** Последовательность микроволновых спектров коронального источника в начале вспышки 23 июля 2002 г. Точками показаны данные наблюдений. Сплошные линии — результаты моделирования излучения. Тонкие линии показывают вклад излучения горячей тепловой плазмы.

магнитного хвоста формируется поток плазмы, направленный к Земле, средняя скорость которого в прилегающей к магнитопаузе области составляет 50—150 км/с.

В результате совместных исследований Института солнечно-земной физики СО РАН и Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе было обнаружено, что в горячих корональ-



**Рис. 58.** Горизонтальные течения плазмы в активной области, возникающей на краю солнечного диска. Синяя изолиния (–500 м/с) — отрицательный доплеровский сдвиг, красная (+500 м/с) — положительный доплеровский сдвиг, желтая — положение разреза пространственно-временных диаграмм. Обозначения на схеме:  $V_{up}$  — скорость подъема магнитного потока,  $V_{down}$  — скорость стекания плазмы, выносимой в атмосферу Солнца всплывающим магнитным потоком,  $V_{exp}$  — скорость горизонтального расширения магнитного потока,  $V_{dir}$  — скорость направленных течений плазмы внутри всплывающей магнитной структуры.



**Рис. 59.** Карты корреляций между сглаженными значениями температуры поверхности океана и АА-индексом геомагнитной активности для климатических эпох:  
*а* — 1868—1910 гг.; *б* — 1910—1948 гг.; *в* — 1948—1976 гг.; *г* — 1976—2000 гг.

ных источниках, появляющихся за несколько минут до взрывной стадии роста жесткого рентгеновского излучения, уже реализуются условия для ускорения электронов до релятивистских энергий. Это обусловлено тем, что в начальной стадии таких вспышек идет преимущественно нагрев плазмы в корональных источниках до температур в десятки миллионов градусов, а эффективность ускорения электронов критически зависит от процесса инжекции частиц в режим ускорения (рис. 57).

В ИСЗФ СО РАН впервые измерены горизонтальные доплеровские скорости фотосферных течений плазмы в активных областях, возникающих на краю солнечного диска. На большом материале (54 активные области) обнаружена связь между значениями доплеровских скоростей и скоростью роста магнитного потока активных областей в первые часы их появления (рис. 58). Установлено, что основной вклад в наблюдаемые скоростные структуры дает стекание выносимой в атмосферу Солнца плазмы. Обнаружена асимметрия в значениях доплеровских скоростей, времени

жизни и размерах скоростных структур ведущей и последующей полярностей. Полученные результаты имеют важное значение для развития теоретических моделей выхода магнитного потока в атмосферу Солнца.

В этом же Институте получены новые доказательства влияния солнечной активности на климатические процессы в тропосфере и океане (рис. 59). Выявлен достоверный отклик в основных климатических характеристиках — приземной температуре воздуха, температуре поверхности океана и осадках на воздействие солнечной активности. Установлено, что климатический отклик на воздействие солнечной и геомагнитной активности характеризуется значительной пространственно-временной неоднородностью и носит региональный характер. Показано, что пространственная структура отклика зависит от климатической эпохи. Полученные результаты полностью подтверждают основные положения развиваемой в ИСЗФ СО РАН модели влияния солнечной активности на погодно-климатические характеристики.

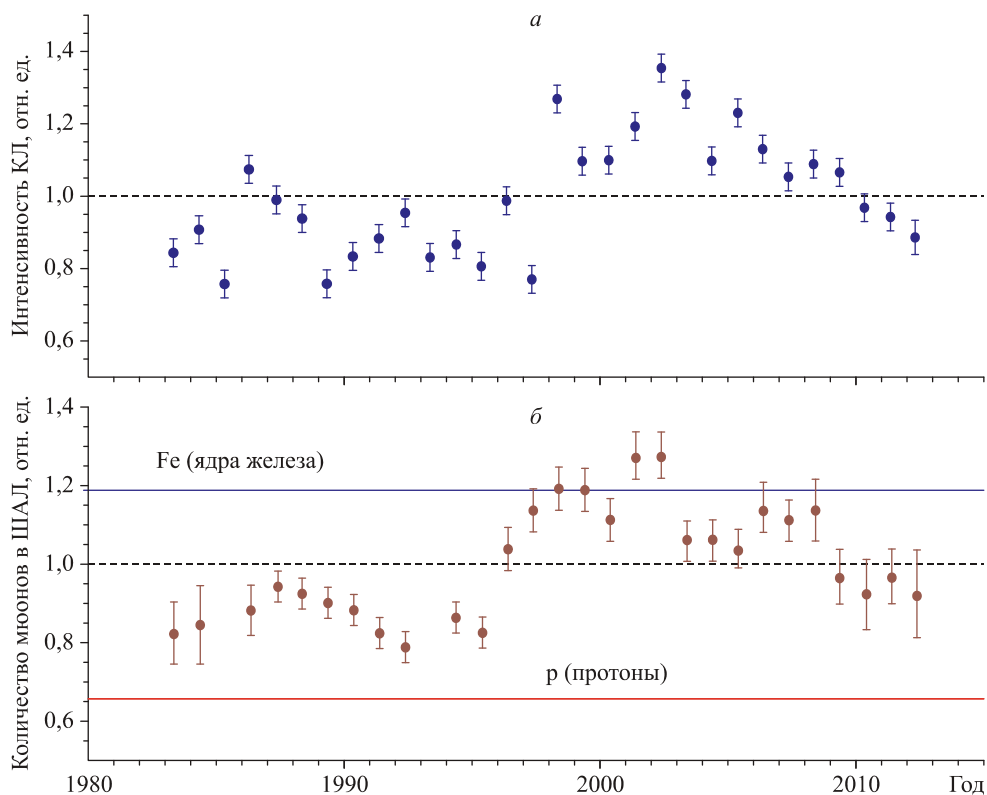
### Программа П.14.2. Актуальные проблемы физики космических лучей и гелиосферы (координатор член-корр. РАН Е. Г. Березко)

На основе измерений, выполненных на Якутской установке широких атмосферных ливней (ШАЛ) Института космофизических исследований и аэронауки СО РАН в период 1982—2012 гг., впервые установлено, что интенсивность космических лучей с энергией  $10^{17}$ — $10^{18}$  эВ, а также содержание мюонов в ШАЛ испытывают статистически значимые временные вариации (рис. 60): в период 1997—2006 гг. интенсивность космических лучей на  $36 \pm 3,5\%$ , а содержание мюонов на  $33 \pm 3\%$  выше по сравнению с периодом 1982—1995 гг.

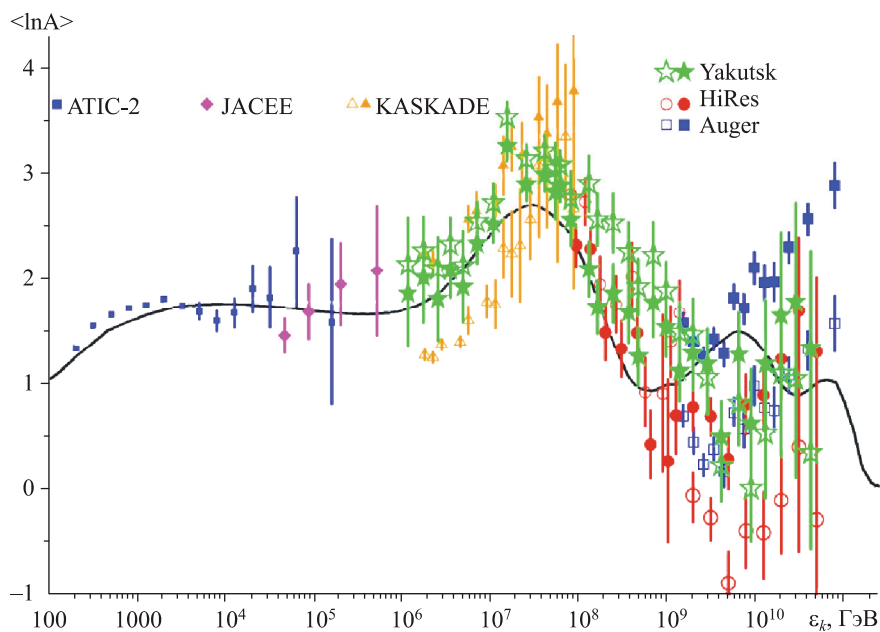
На основе измерений массового состава космических лучей с энергией  $E > 10^{15}$  эВ, выполненных на Якутской установке ШАЛ, получено свидетельство того, что переход от галактической к внегалактической компоненте в наблюдаемом спектре космических лучей происходит в области энергий  $10^{17}$ — $10^{18}$  эВ. На

рис. 61 представлены результаты расчета, соответствующие предположению о том, что галактическая компонента, произведенная галактическими остатками сверхновых, вплоть до энергии  $E \sim 10^{17}$  эВ, а внегалактическая компонента преобладает при энергиях  $E \gg 10^{17}$  эВ. Приведены также результаты измерений, выполненных в экспериментах ATIC-2, JACEE, KASCADE, HiRes, Auger, Yakutsk.

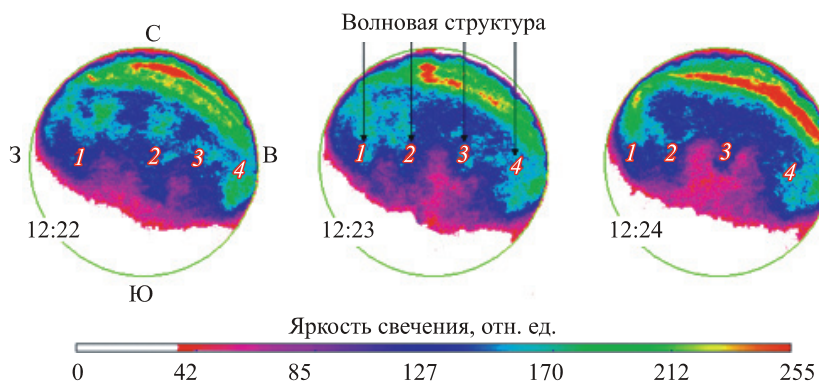
На основе анализа измерений интенсивности свечения ночного неба, выполненных сотрудниками Института космофизических исследований и аэронауки в 1994—2008 гг. в авроральных широтах (Жиганск, Тикси), впервые установлено, что крупномасштабные волны диффузного свечения атмосферы наблюдаются не только во время магнитных бурь, как считалось ранее, но и в периоды их отсутствия (рис. 62).



**Рис. 60.** Интенсивность космических лучей с энергией  $E_0 = 10^{17}$ — $10^{18}$  эВ (а) и содержание мюонов с энергией  $E > 1$  ГэВ (б) в зависимости от времени. Плотность мюонов  $\mu$  измерена на расстоянии 300 м от оси ШАЛ; сплошные горизонтальные линии — результаты расчетов по модели QGSJET содержания мюонов в ливнях, порожденных протонами (p) и ядрами железа (Fe).



**Рис. 61.** Среднее значение логарифма массового числа космических лучей как функция их энергии.

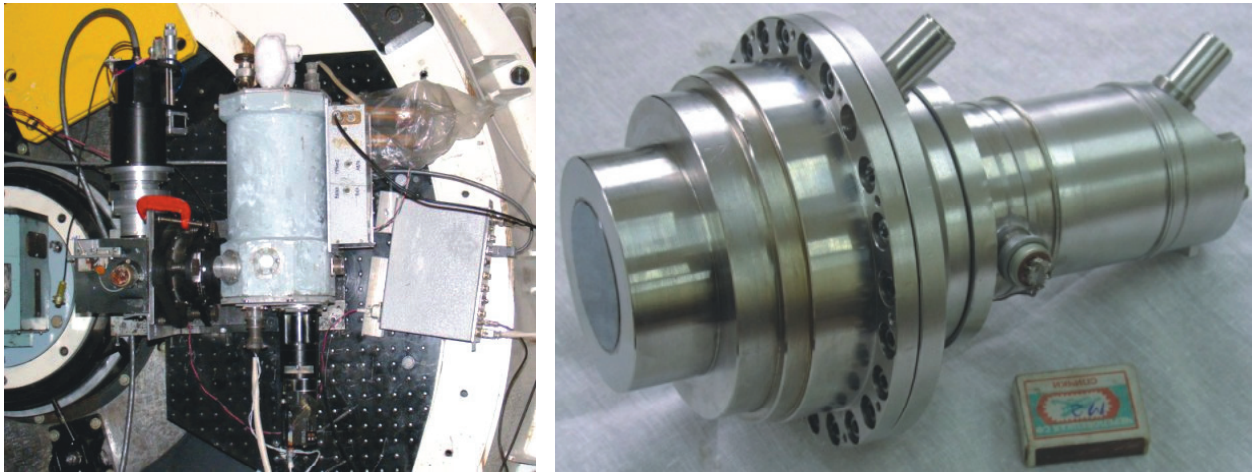


**Рис. 62.** Псевдоцветные изображения распределения яркости свечения ночного неба над Жиганском, выполненные камерой всего неба, для трех последовательных моментов времени в событии 09.03.1999 г.

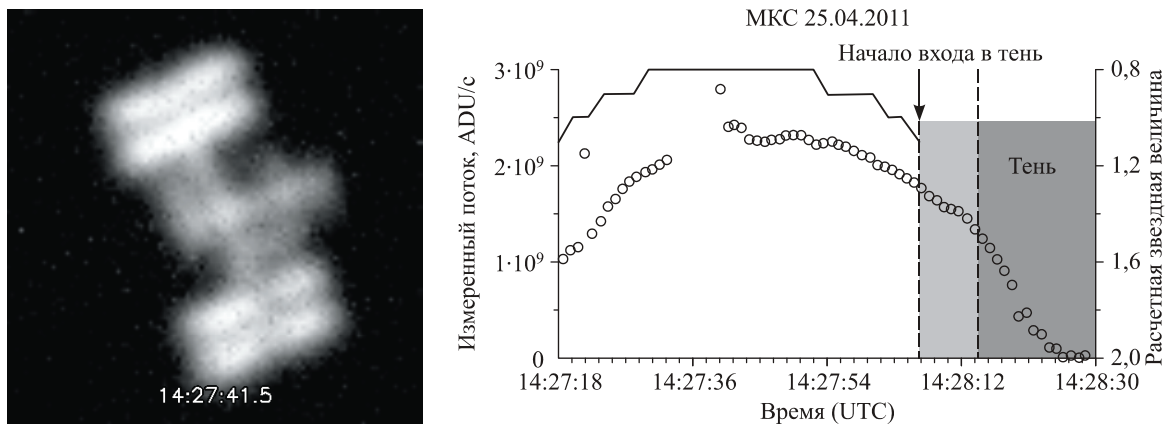
Узкая полоса красного цвета на северном горизонте камеры — дискретная дуга сияний. В зените станции наблюдения видно наличие волновой структуры свечения (четыре «языка», помеченных цифрами 1—4, вытянутых в меридиональном направлении), окрашенной в синий цвет, и ее перемещение в направлении на запад со скоростью  $V \sim 800$  м/с.

Для экспериментальных исследований методов фотометрии в ИК-диапазоне на телескопе АЗТ-33ИК Саянской обсерватории Института космофизических исследований и аэронавтики разработан комплекс аппаратно-программных средств в составе ИК-фотометра на спектральный диапазон 1—5 мкм и ИК-камеры на спектральный диапазон 8—10 мкм (рис. 63). При измерении с ИК-фотометром

предельной проникающей способности системы показано, что чувствительность фотометра близка к предельной для телескопов 1,5-метрового класса. С использованием доработанной ИК-камеры были проведены фотометрические измерения звезд, а также наблюдения тел солнечной системы и космических аппаратов на низких орбитах (рис. 64).



**Рис. 63.** Фотометр диапазона 1—5 мкм (слева) и камера диапазона 8—10 мкм (справа) (совместно с КТИ ПМ ИФП СО РАН).



**Рис. 64.** Наблюдения с камерой диапазона 8—10 мкм на телескопе АЗТ-33ИК.

Слева: изображение международной космической станции (МКС). Справа: измеренный поток излучения (кружки) и расчетная звездная величина (сплошная линия) для одного из пролетов МКС над пунктом наблюдений.