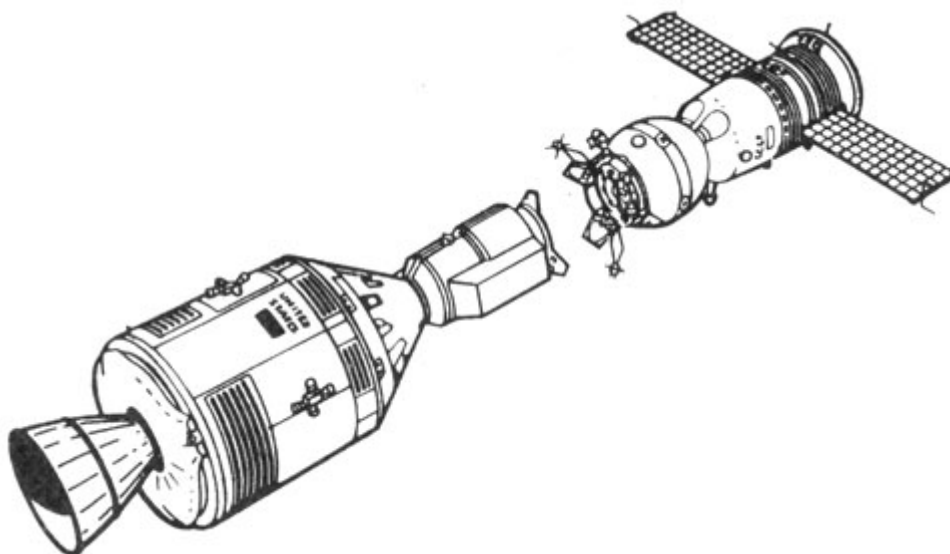


ИЗ ИСТОРИИ ИЗМИРАН

Эксперимент "Искусственное солнечное затмение"

В мае 1972 г. Председатель Совета министров СССР Н.А. Косыгин и Президент США Р. Никсон подписали "Соглашение о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях". Одним из основных пунктов Соглашения была договоренность о создании совместимых средств сближения и стыковки советских и американских космических кораблей и станций. Для испытания таких средств на 1975 г. запланировали совместный экспериментальный полет кораблей **"Союз"** и **"Аполлон"** (проект ЭПАС).



Расположение кораблей "Союз-19" и "Аполлон" перед стыковкой и после расстыковки. Рисунок NASA.

Было решено не ограничиваться выполнением основной технической задачи ЭПАС (испытание совместимых средств сближения и стыковки), а провести также ряд совместных научных исследований. На конкурс заявок Лаборатория солнечной активности ИЗМИРАН представила проект эксперимента "Искусственное солнечное затмение", предложенный Г.М. Никольским и А.И. Симоновым, сотрудником ЦКБЭМ (ныне РКК "Энергия" им. С.П. Королёва). Эксперимент должен был моделировать полное солнечное затмение, при котором роль Луны отводилась кораблю "Аполлон". С борта корабля "Союз" планировалось получить серии фотоснимков солнечной короны, а также "атмосферы" вокруг КК "Аполлон" в условиях искусственного затмения Солнца. Проект преследовал прежде всего методическую цель: экспериментальную проверку новых методов исследования солнечной короны и "атмосферы" космического корабля.



Снимок участка неба вокруг КК "Аполлон", сделанный с корабля "Союз-19" в ходе эксперимента "Искусственное затмение Солнца". Видно яркое дифракционное кольцо вокруг "Аполлона". Угловой диаметр кольца равен 6 диаметрам Солнца (выдержка 0.16с в момент, когда расстояние между кораблями составляло 58 м). Фото ИЗМИРАН.

По итогам конкурса, на который было подано свыше 100 заявок (большой частью из США), проект Г.М. Никольского и А.И. Симонова "МА-148 Искусственное солнечное затмение" не только успешно прошел конкурсный отбор, но и был признан самым интересным и оригинальным. Научным руководителем эксперимента был утвержден профессор Г.М. Никольский, представителем американской стороны — доктор Р.Т. Джюли.

Основная идея эксперимента "Искусственное солнечное затмение" заключалась в том, что в рамках проекта ЭПАС в течение двух суток корабли "Союз-19" и "Аполлон" должны были совершать совместный полет в состыкованном состоянии. Перед расстыковкой предлагалось сориентировать

связку кораблей продольной осью в направлении на Солнце, при этом "Аполлон" должен находиться со стороны Солнца. В заданный момент времени после разделения кораблей они начинают расходиться с относительной скоростью около 1 м/с, в результате чего "Аполлон" закрывает собой Солнце, создавая для наблюдателя на "Союзе" условия искусственного солнечного затмения. Происходит это при удалении кораблей друг от друга на 225 м. При таком расстоянии для наблюдателя на "Союзе" угловые размеры искусственной Луны (корабля "Аполлон") вдвое превышают размеры солнечного диска и, следовательно, остается открытой внешняя корона, начиная с расстояния около $2R_{\odot}$ от центра диска. После чего корабль "Аполлон" вновь приближается к "Союзу" для повторной стыковки для выполнения основной технической задачи проекта ЭПАС. Во время искусственного затмения Солнца с корабля "Союз" ведется фотографирование солнечной короны с помощью 70-мм автоматической фотокамеры, снабженной блоком программного управления. Поле зрения кадра — $30^{\circ} \times 30^{\circ}$, выдержка — от 0.16 до 11 с.

На период проведения орбитального эксперимента были предусмотрены синхронные наземные наблюдения солнечной короны в высокогорных условиях. Для этой цели был изготовлен легко транспортируемый внезатменный коронограф и подготовлена небольшая экспедиция, расположившаяся на склоне горы Эльбрус в районе "Приюта одиннадцати" (на высоте 4200 м).

15 июля 1975 г. с космодрома Байконур стартовал корабль "Союз-19" с космонавтами А.С. Леоновым и В.Н. Кубасовым на борту. Через

несколько часов с космодрома Канаверал поднялся корабль "Аполлон" с астронавтами Т. Стаффордом, В. Брэндом и Д. Слэйтоном. 17 июля, после двух суток автономного полета, корабли состыковывались. Эксперимент "Искусственное солнечное затмение" успешно проведен 19 июля после первой расстыковки кораблей. Фотосъемку вел В.Н. Кубасов (подробнее об этом см. "Земля и Вселенная", 1975, № 4; 1976, № 1).

Экспонированная фотопленка (Kodak HS-2485) была проявлена в ИЗМИРАНе Г.М. Никольским и И.С. Ким. Анализ снимков показал, что кадры с выдержками 1-11 с засвечены. Виной тому — свет, шедший из кабины КК "Союз-19" (от светящихся инструментальных панелей управления) и рассеивавшийся в стекле иллюминатора, через который велась съемка. Оптимальные результаты получены при выдержках 0.16 и 0.33 с. На таких снимках хорошо видно узкое светящееся кольцо вокруг "Аполлона", обусловленное дифракцией солнечного света на поверхности корабля. Видны также области свечения, относящиеся к "атмосфере" вокруг корабля. На оригинальных негативах выявлена

F-корона как диффузное свечение, концентрирующееся к эклиптике. Корональные лучи не видны, т.к. яркость фона, связанного с рассеянием света, оказалась значительно выше ожидаемой.

Пионерский эксперимент "Искусственное солнечное затмение" дал ценный методический материал, использованный в дальнейшем при разработке новых приборов для внеатмосферных наблюдений солнечной короны.

По материалам статьи старшего научного сотрудника ИЗМИРАН, кандидата физико-математических наук Р.А. Гуляева "Внеатмосферные исследования в лаборатории Г.М. Никольского", опубликованной в журнале "Земля и Вселенная" №3, с. 57-64 (2002).



Спутник и Первый в мире научный космический эксперимент

Запуск Первого ИСЗ 4 октября 1957 года ознаменовал начало космической эры, всеми достоинствами которой мы сегодня пользуемся - от спутниковой связи и навигации до изучения Вселенной уникальными космическими телескопами. Это был не только исторический технологический прорыв в космос, но и начало фундаментальных научных космических исследований – с использованием радиомаяка Первого ИСЗ Земли был осуществлен первый в мире научный космический эксперимент - были выполнены исследования внешних слоев ионосферы и впервые получены уникальные сведения об их строении.

В 1957 году был запланирован Международный геофизический год (МГГ). Во всех странах по всему миру шла масштабная подготовка к участию в этом мероприятии – создавались обсерватории, шло оснащение их приборами, разрабатывались планы совместных международных наблюдений и т.д. Под руководством Сергея Павловича Королева создавался специальный научный спутник с набором приборов, который должен был стать первым научным спутником и важной составляющей советской программы участия в МГГ, но эти планы пришлось корректировать. В своей книге (Yakov Alpert. Making waves: stories from my life. Yale University Press. New Haven & London. 2000) Яков Львович Альперт (начальник отдела длинных радиоволн ИЗМИРАН) вспоминает события тех времен, когда, получив информацию о планах американцев по запуску их спутника, С.П.Королев откладывает изготовление большого спутника и делает Спутник ПС-1 (Простейший Спутник) с единственным прибором на борту - радиомаяком на частоте 20 МГц.

После запуска Спутника, как вспоминает Я.Л.Альперт, американские комментарии о том, что русские запустили «булыжник», чтобы быть первыми, были парированы научной программой, реализованной под руководством Я.Л.Альперта по инициативе Президента Академии наук СССР Мстислава Всеволодовича Келдыша, с которой к Я.Л.Альперту обратился вице-президент академик Владимир Александрович Котельников.

В эксперименте использовался факт задержки между оптическим и радио сигналами при уходе спутника за горизонт или при его выходе из-за горизонта по причине рефракции радиоволн в ионосфере. Когда спутник уходил за горизонт и его уже не было видно (свет распространяется в атмосфере практически по прямой), то радиосигнал его радиомаяка некоторое время продолжал приниматься, так как траектория радиолучей от спутника в ионосфере искривлена (см рис.1 , левая часть), при выходе спутника из-за горизонта соответственно радиосигнал появлялся раньше, чем спутник был

виден в оптике (см рис.1, правая часть). Таким образом, радиовосход и радиозаход спутника возникали соответственно раньше и позже оптического восхода и захода спутника за горизонт. Используя эту временную задержку между оптическим и радиосигналом и теорию распространения радиоволн в ионосферной плазме коллективом ученых под руководством Я.Л.Альперта были получены научные результаты по структуре ионосферы - сглаженное распределение электронной концентрации по высоте выше главного максимума ионосферы (УФН, т.65, вып.2, с.161-174, 1958. ДАН 120, 1958). Такое распределение было получено впервые, и оно показало, что электронная концентрация выше главного максимума ионосферы не спадает с высотой резко до нуля, как предполагалось до этого, а уменьшается плавно.

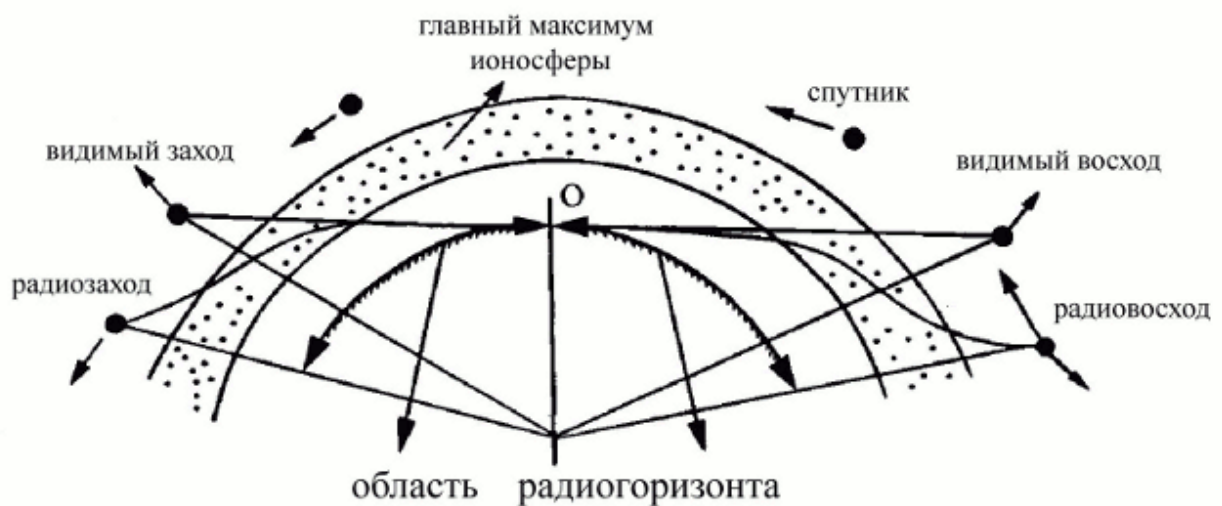


Рис. 1. Наблюдение радиовосхода и радиозахода Первого ИСЗ, которые возникали соответственно раньше и позже оптического восхода и захода спутника за горизонт из-за эффекта рефракции радиоволн в ионосфере.

Этот метод спутниковых радиозатменных и радиомаяковых исследований ионосферы в последствие был экспериментально и теоретически развит в ИЗМИРАН под руководством Я.Л.Альперта и нашел важнейшее практическое применение при разработке высокоточных спутниковых систем позиционирования (GPS и ГЛОНАСС).

Наряду с этим новым и весьма важным научным результатом наблюдения радиоволн на частоте 20 МГц от радиомаяка Первого ИСЗ позволили наблюдать Antipode Effect, предсказанный в 1952 г. немецким ученым В.Шуманом (W.Schumann. Propagation of Electromagnetic waves in the Earth-Ionosphere Wave Guide. Zeitschrift fur Naturforschung 7a, 149, 1952), который заключается в регистрации усиления интенсивности радиоизлучения в диаметрально противоположной точке Земли от положения источника радиоизлучения из-за эффекта его фокусировки в ионосфере.

Таким образом, с помощью Первого ИСЗ была выполнена полноценная научная программа по исследованию ионосферы Земли, обеспечившая приоритет первого в мире научного космического эксперимента.

Дальнейшее развитие фундаментальные космические исследования получили в целой серии научных спутников. В 1960 году за исследование радиационных поясов и магнитного поля Земли и Луны сотрудникам ФИАН и ИЗМИРАН была присуждена первая Ленинская премия в области фундаментальных космических исследований. Создание в 1963 году Института космических исследований позволило сделать фундаментальные космические исследования неотъемлемой частью отечественной науки и обеспечить их дальнейшее развитие в различных направлениях космической науки.

<https://new.ras.ru/activities/news/k-300-letiyu-rossiyskoy-akademii-nauk-pervyy-sputnik-i-pervyy-v-mire-nauchnyy-kosmicheskiy-eksperime/>

Космические исследования Солнца и солнечно-земных связей - одно из важных направлений научных исследований современной истории РАН

Отмечая 300-летие Российской академии наук и ее огромный вклад в развитие знаний и познание окружающего мира за всю многолетнюю ее историю, несомненно, возникает желание отметить и выделить те из них, которые приходятся на современную эпоху и которые демонстрируют неиссякаемый высокий потенциал самой академии и тенденции быть на переднем крае науки, развивать ее новые и перспективные направления.

С началом космической эры изучение космоса наряду с традиционными наземными астрономическими наблюдениями стало возможным на космических аппаратах, и во всех отношениях Российская академия наук играла здесь ключевую роль, касалось ли это космической техники или самих фундаментальных исследований космоса. Так, более чем 300-летний период научных исследований Солнца и солнечно-земных связей, начатых Галилеем и другими исследователями, был продолжен использованием солнечных космических телескопов и других наблюдательных средств, давшим существенный и качественный скачок в познании Солнца, его активности и ее воздействий на Землю. Измерения рентгеновского и ультрафиолетового излучения Солнца, недоступные с поверхности Земли, частиц солнечного ветра, испускаемых из атмосферы Солнца и т.д., энергичных частиц от солнечных вспышек и других агентов солнечной активности, все это заметно расширило представления в нашем светиле, и за последние десятилетия наиболее значимые результаты в этой области были получены именно с помощью космических аппаратов. Заметный вклад в эту область исследований был внесен программой КОРОНАС (проекты КОРОНАС-И (1996-2001), КОРОНАС-Ф (2001-2005), КОРОНАС-ФОТОН (2009), реализованной в рамках Федеральной космической программы РФ, и наиболее удачным проектом КОРОНАС-Ф (рис.1), реализованным с участием широкой кооперации российских (ИЗМИРАН, ФИАН (в кооперации с ИПФ РАН, ИФМ РАН), ИКИ РАН, ФТИ РАН, НИИЯФ МГУ, МИФИ, ИПГ) и зарубежных организаций при головной роли РАН (ИЗМИРАН), и удостоенного премии Правительства РФ (2008). В рамках этого проекта был создан уникальный комплекс научной аппаратуры из 15 приборов (рис.2), измерительные диапазоны которых покрывали широкий спектр энергий и длин волн - от оптического до гамма. С его помощью были проведены исследования пространственно-временной структуры явлений солнечной активности, механизмов нагрева солнечной короны, зарегистрированы экстремальные события на Солнце на фазе спада 23 цикла солнечной

активности – мощнейшие вспышки и выбросы и сопутствующие им явления на Солнце и на Земле.



Рис.1. Спутник КОРОНАС-Ф на орбите (2001-2005).

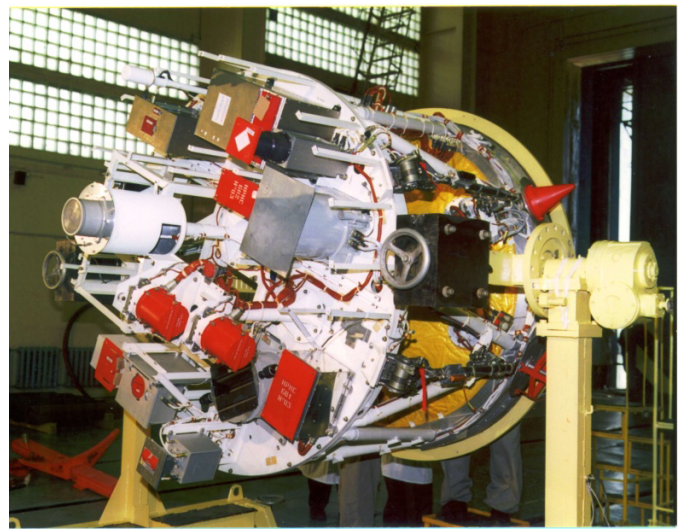


Рис.2. Комплекс научной аппаратуры проекта КОРОНАС-Ф.

На основе наблюдений не имеющим в мире аналога спектрогелиографом РЕС-К (ФИАН) в резонансной линии $MgXII$ (8.42Å) в солнечной короне был обнаружен и исследован целый класс новых явлений - быстродинамических плазменных образований с температурами до 20 млн. градусов (рис.3), которые связаны с выбросами массы из атмосферы Солнце, приводящими к возникновению магнитных бурь на Земле.

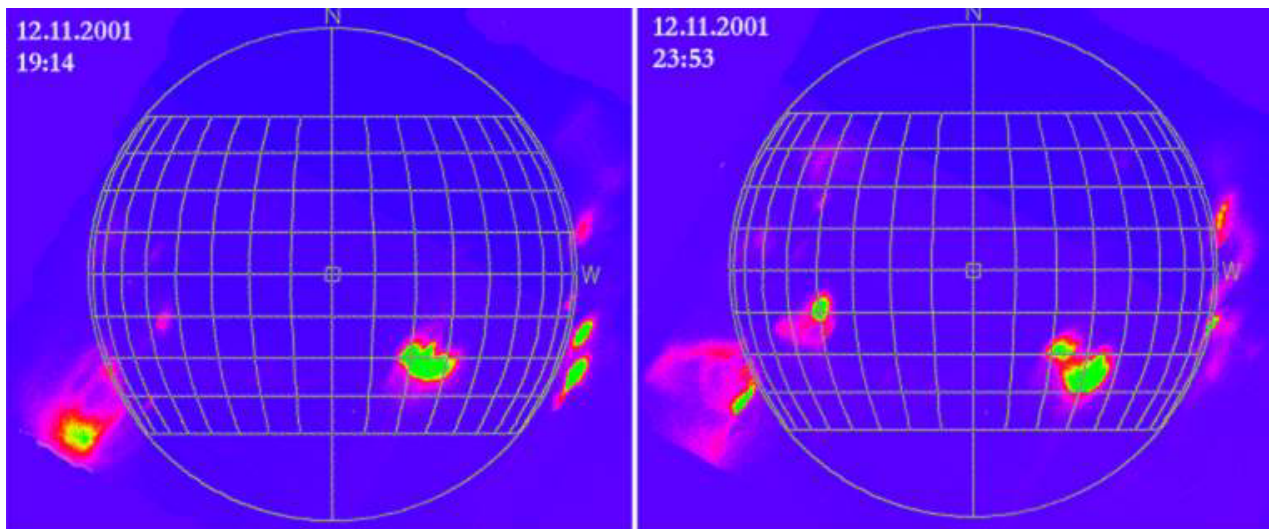


Рис.3. Сверхгорячие образования в солнечной короне, обнаруженные спутником КОРОНАС-Ф (ФИАН).

С использованием солнечного рентгеновского телескопа (ФИАН) изучена зависимость от уровня солнечной активности плотности и состава земной атмосферы, пропускание атмосферой Земли рентгеновского излучения Солнца (рис.4.).

XUV images of the Sun for different altitudes and transmission of the Earth atmosphere

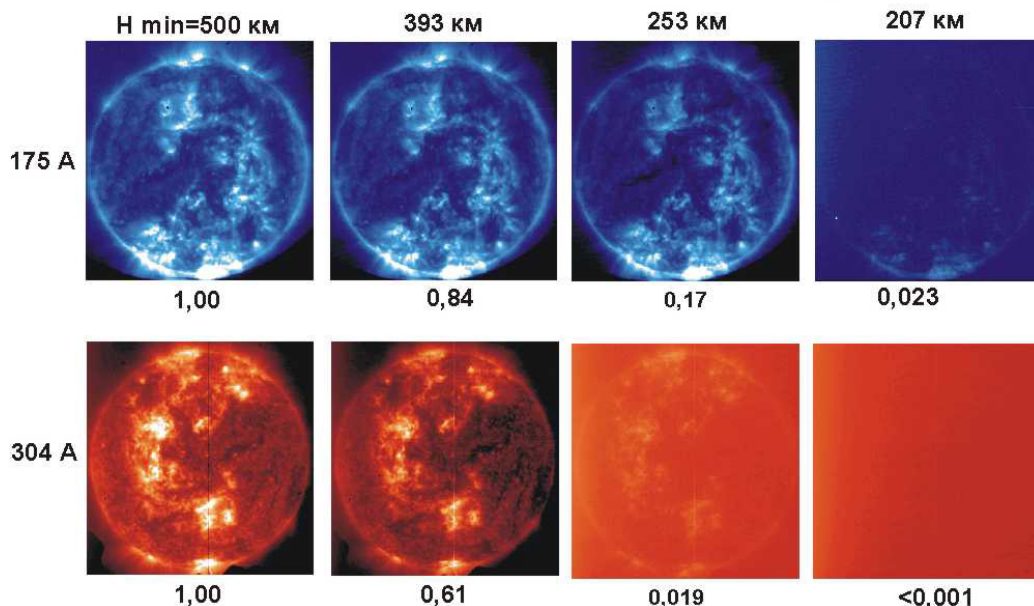


Рис.4. Пропускание земной атмосферой рентгеновского излучения Солнца в зависимости о высоты луча над поверхностью Земли (ФИАН).

Многоканальным спектрофотометром ДИФОС (ИЗМИРАН) зарегистрированы собственные моды (р-моды) глобальных колебаний Солнца в широком диапазоне длин волн (рис.5) и обнаружен существенный рост амплитуды колебаний в ультрафиолетовой части спектра (рис.6).

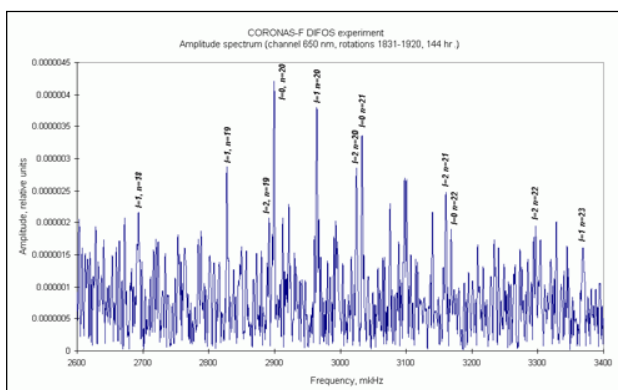


Рис.5. Амплитудный спектр мод глобальных колебаний Солнца (Спектрофотометр ДИФОС, ИЗМИРАН).

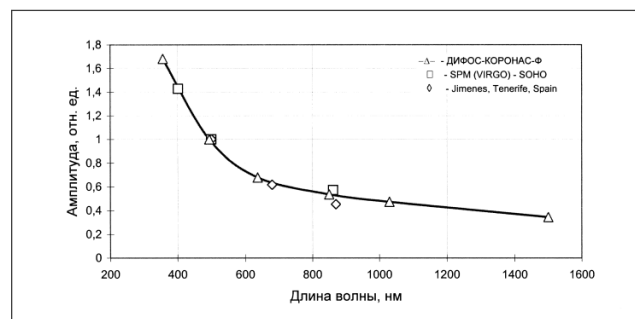


Рис.6. Рост амплитуды глобальных колебаний Солнца в ультрафиолетом диапазоне (Спектрофотометр ДИФОС, ИЗМИРАН).

Рентгеновским спектрометром РПС-1 (ИКИ РАН) получены новые данные о нагреве солнечной короны и спектрах рентгеновского излучения (рис.7), воздействующего на атмосферу Земли.

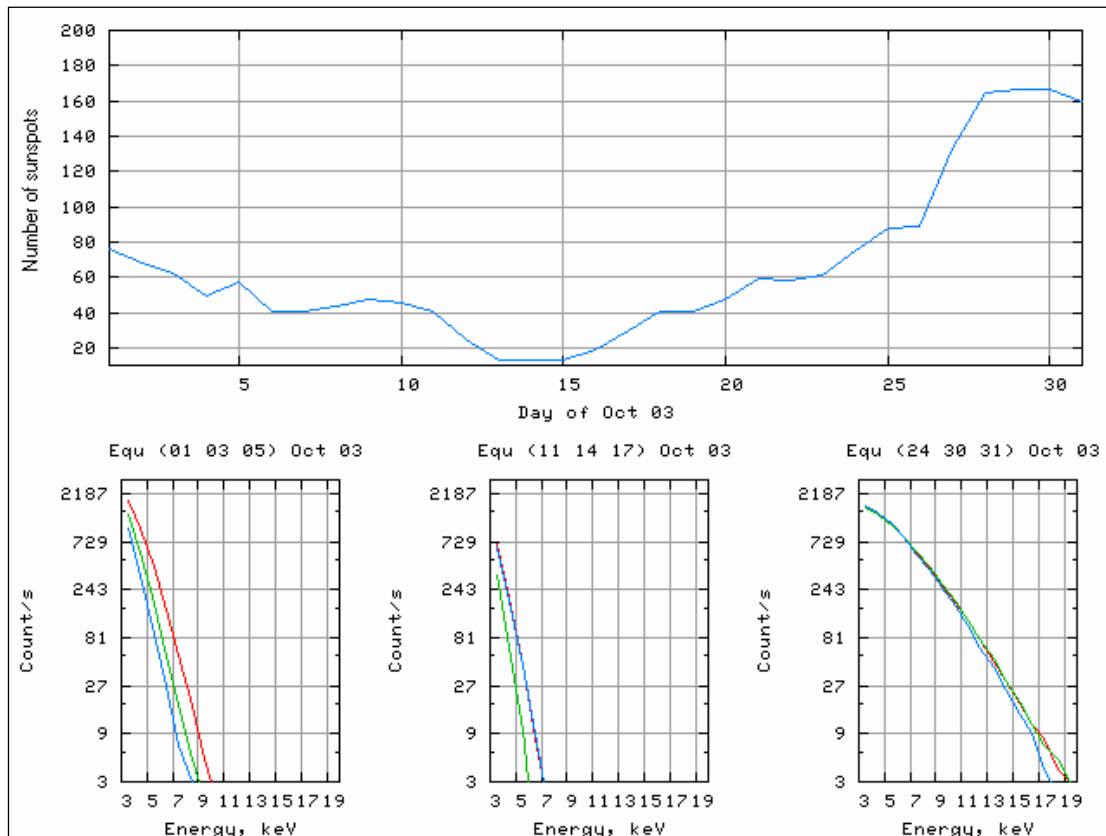


Рис.7.Рентгеновские спектры Солнца и их жесткость (внизу) в зависимости от числа солнечных пятен (вверху) (Рентгеновский спектрометр РПС-1, ИКИ РАН).

С помощью комплекса приборов (спектрометр гамма-излучения СОНГ, монитор космических лучей МКЛ, спектрометр космического излучения СКИ-3 (НИИЯФ МГУ) осуществлена регистрация высокоэнергичного гамма-излучения и потоков энергичных нейтронов у Земли от мощных вспышек октября-ноября 2003 года (рис.8), зафиксированы распадные процессы рожденных во вспышке пионов и мюонов, изучена динамика радиационных поясов Земли и проникновение энергичных солнечных частиц в магнитосферу в периоды сильных геомагнитных возмущений (рис.9).

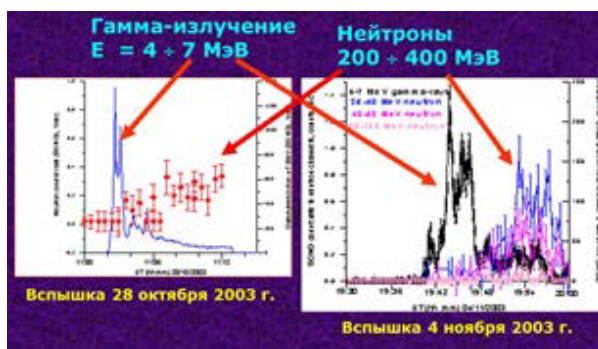


Рис.8.Регистрация гамма-излучения и потоков энергичных нейтронов у Земли от мощных вспышек октября-ноября 2003 года (НИИЯФ МГУ).

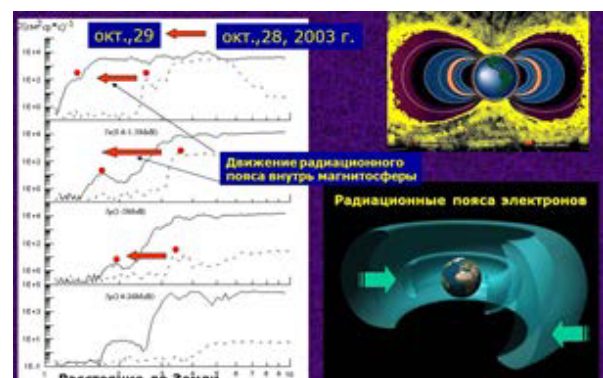


Рис.9.Динамика радиационных поясов Земли в периоды сильных геомагнитных возмущений (НИИЯФ МГУ).

По данным наблюдений вспышечным спектрометром ИРИС и гамма-спектрометром ГЕЛИКОН исследована импульсная фазы вспышек: получены динамические рентгеновские (рис.10) и гамма (рис.11) спектры, определены характерные периоды колебаний плазмы на разных стадиях вспышки, отражающие изменение физических условий в активной области.

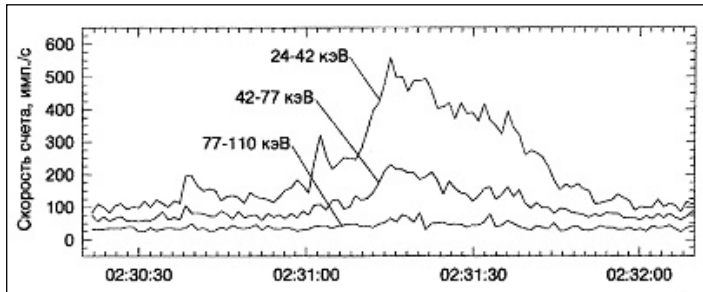


Рис.10.Временной профиль рентгеновского излучения солнечной вспышки () на импульсной фазе (Спектрометр ИРИС, ФТИ РАН).

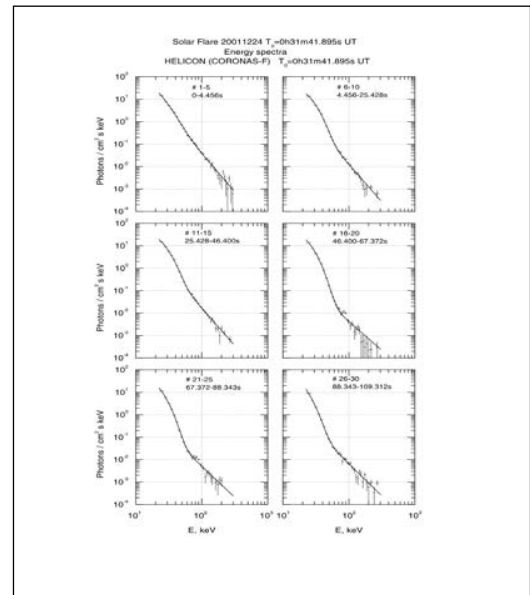


Рис.11.Динамические гамма-спектры солнечной вспышки (24.12.2001) на импульсной фазе (Гамма-спектрометр Геликон, ФТИ РАН).

Амплитудно-временным спектрометром АВС (МИФИ) изучены ускорительные и ядерные процессы в солнечных вспышках, зарегистрированы гамма-линии от ядерных реакций во вспышках (рис.12), по которым определено содержание в солнечной атмосфере различных химических элементов и их изотопов, определен первичный спектр ускоренных во вспышке протонов, изучены высыпания энергичных частиц из радиационных поясов Земли в атмосферу в приэкваториальных областях земного шара, которые характеризовались заметным увеличением фона радиации и длительным временем жизни (рис.13).

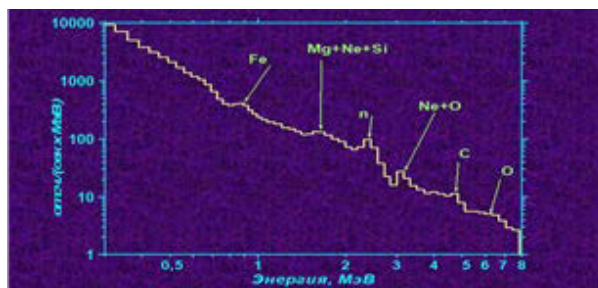


Рис.12.Ядерные гамма-линии от солнечных вспышек (МИФИ).

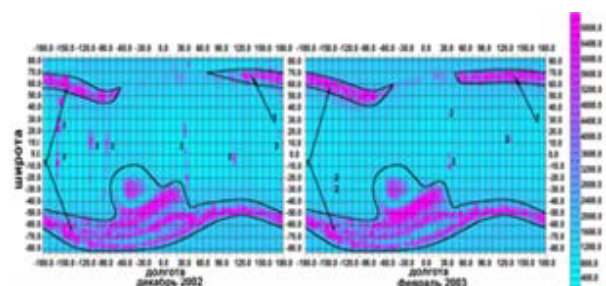


Рис.13.Карта высыпаний энергичных частиц из магнитосферы в верхнюю атмосферу Земли (1 – радиационные пояса, 2 – высыпания частиц) (МИФИ).

По наблюдениям в УФ диапазоне с помощью солнечного ультрафиолетового (УФ) радиометра СУФР и солнечного УФ спектрофотометра ВУСС (ИПГ) измерены потоки УФ излучения Солнца и определен вклад самых мощных вспышек в общий УФ поток, как правило, не превышающий нескольких процентов в наблюдаемой полосе (вблизи 120 нм) (рис.14), разработана методика определения содержания молекулярного кислорода – одного из основных компонентов атмосферы, важного для построения современной модели атмосферы Земли.

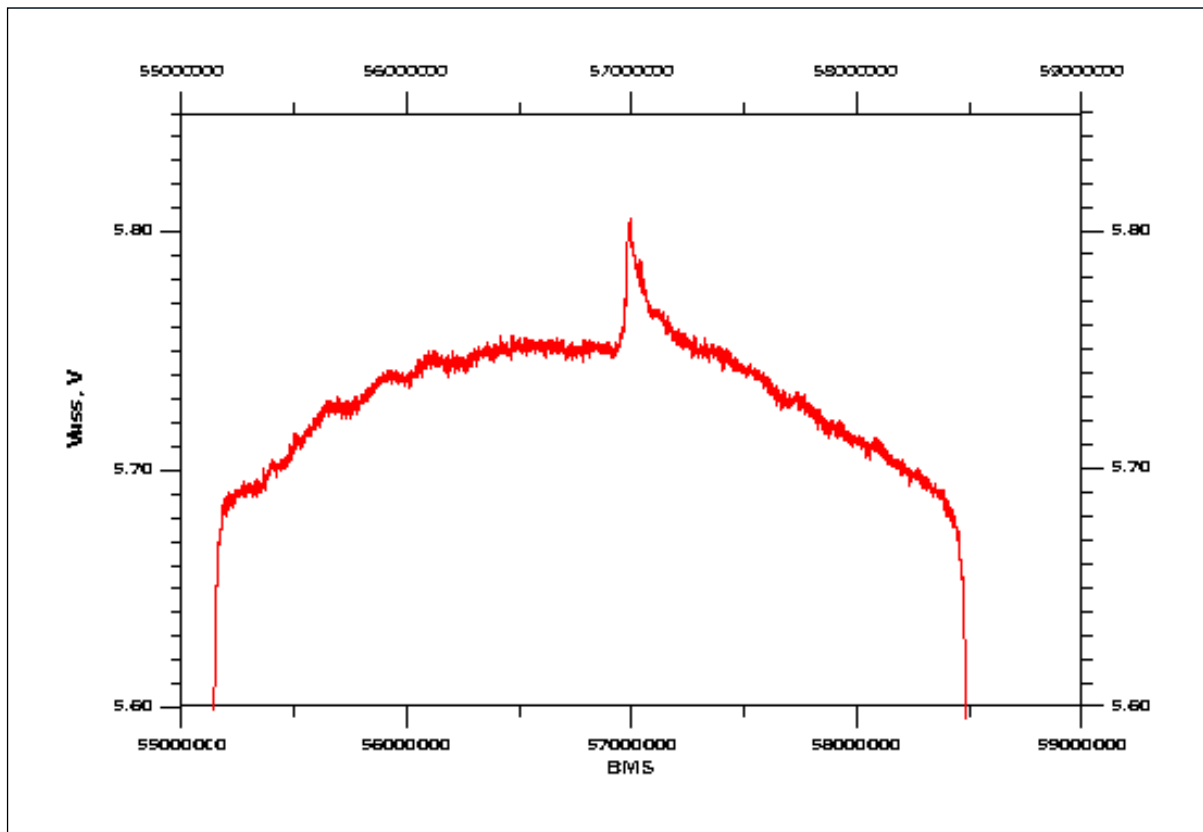


Рис.14.Изменения ультрафиолетового излучения Солнца при вспышке 21.01.2003 г. (рентгеновского класса M1.9) (ИПГ Росгидромет).

Спектрофотометром ДИАГЕНЕСС и рентгеновским спектрометром РЕСИК (Центр космических исследований Польской академии наук) изучены атомные процессы в солнечных вспышках и выполнена обширная спектроскопическая диагностика вспышечной плазмы (рис.15): впервые измерены и изучены полно-профильные спектральные линии от самых мощных вспышек; обнаружены новые спектральные линии в солнечном спектре, в том числе, впервые обнаружены и изучены спектральные линии ионов солнечной плазмы для высоких значений квантовых чисел n ; определено абсолютное содержание ряда химических элементов в короне Солнца.

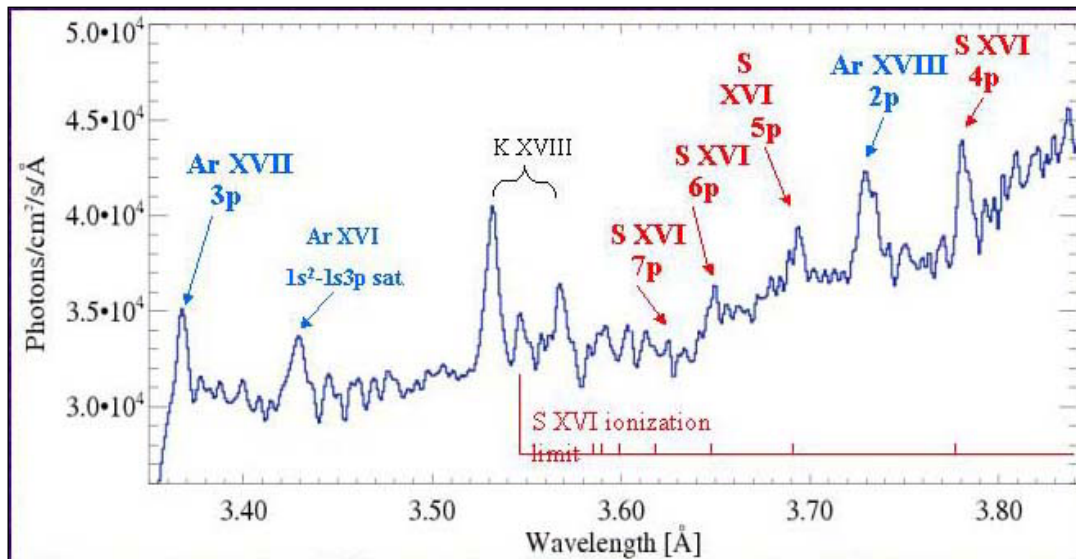


Рис.15.Рентгеновский спектр вспышечной плазмы, содержащий линии редких элементов солнечной атмосферы (Рентгеновский спектрометр РЕСИК, ЦКИ ПАН).

Сложившаяся кооперация при реализации программы КОРОНАС заложила основы для дальнейшего развития космических исследований в области гелиофизики, что нашло свое отражение в разработке новых и перспективных проектов АРКА (рис.16) и Интергелиозонд (рис.17) Федеральной космической программы, направленных на решение актуальных задач солнечно-земной физики. Активность Солнца непрерывно воздействует на Землю и околоземное космическое пространство, формируя космическую погоду, и задача понять, как устроено и как работает Солнце, изначально была одной из приоритетных в программах Российской академии наук на современном этапе развития науки, определяя ее передний край в этой области фундаментальных исследований.

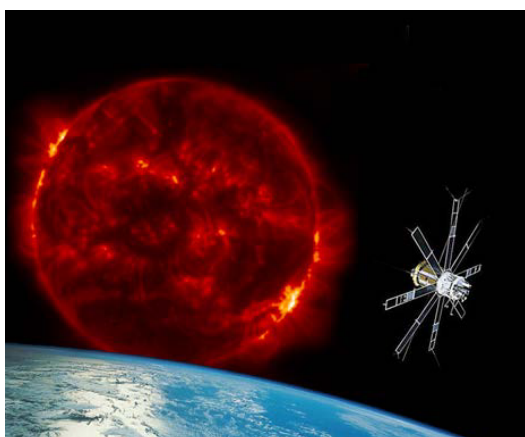


Рис.16. Проект АРКА для рентгеновских наблюдений Солнца с высоким пространственным разрешением с околоземной орбиты.

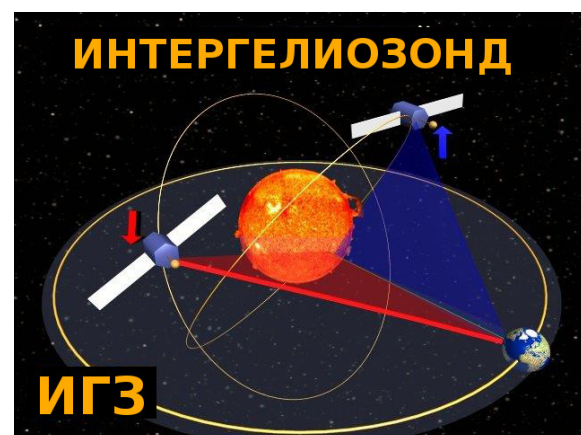


Рис.17. Проект Интергелиозонд для непрерывных внеэклиптических наблюдений Солнца с гелиоцентрических орбит.