



Научно- исследовательский радиофизический институт



1956-2006

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НАУКЕ И ИННОВАЦИЯМ
Федеральное государственное научное учреждение
«Научно-исследовательский радиофизический институт»
(ФГНУ «НИРФИ»)

Препринт № 508

50 лет НИРФИ 1956 – 2006

Часть II



Нижний Новгород
2006

50 лет НИРФИ. 1956 – 2006. Часть II.

// Препринт № 508. – Нижний Новгород: ФГНУ “НИРФИ”, 2006. – 38 с

УДК 520; 523.31-852; 523.4-853; 523.62; 523.9

В препринте, посвященном юбилею НИРФИ, показана современная жизнь института. Представлены наиболее значимые результаты исследований научных отделов, показаны достижения и перспективы развития основных научных направлений.

В препринте отражена деятельность института на современном этапе, которую можно характеризовать как сочетание фундаментальных исследований широкого круга актуальных физических проблем радиофизическими методами с их прикладными и инновационными применениями. Первые 2 страницы посвящены основателю и первому директору института Марии Тихоновне Греховой, истории становления радиофизики в Нижнем Новгороде и создания научно-исследовательского радиофизического института – НИРФИ – ныне Федерального государственного научного учреждения “Научно-исследовательский радиофизический институт – ФГНУ «НИРФИ».

Далее в виде блоков представлены основные направления деятельности ФГНУ «НИРФИ» и ее результаты.

Блок на последующих 4-х страницах показывает наиболее масштабную экспериментальную базу института, сосредоточенную на полигонах «Васильсурск», «Старая Пустынь», «Зименки», и отражает деятельность развернутой в институте Российской сети ЛЧМ (с линейно-частотной модуляцией сигналов) ионозондов. На полигоне «Васильсурск» действует «Многоцелевой комплекс для исследования космического пространства – стенд «Сура», входящий в уникальные исследовательские установки России. «Российская сеть ЛЧМ ионозондов» охватывает обширные стратегически важные районы Северо-Востока, Дальнего Востока, Восточной Сибири и Евразийской части России и направлена результатами своих исследований на совершенствование системы КВ-радиосвязи. На странице «Радиоастрономическая обсерватория «Старая Пустынь» описаны находящиеся там наиболее крупные радиоастрономические инструменты, предназначенные для исследований линейной поляризации и спектра галактического радиоизлучения, остатков сверхновых и ряда прикладных работ. На странице «Радиоастрономическая обсерватория «Зименки»» представлена деятельность головной в России станции по радиомониторингу солнечной активности.

Далее блок из 5-ти страниц посвящен результатам фундаментальных исследований ионосферы, полученных ранее и в последние годы, как с использованием нагревного стенда «Сура», так и с использованием маломощных приемо-передающих комплексов диагностики ионосферы на более низких высотах 50-90 км: «Диагностика искусственной турбулентности F-области ионосферы с помощью ИРИ», «Искусственные периодические неоднородности ионосферной плазмы», «Исследования ионосферы методом частичных отражений», «Искусственная ионосферная турбулентность - ИИТ». На 5-й странице из этой серии рассказано о методе и результатах зондирования мезосферы с использованием КВ-радаров стенда «Сура»: «Радиозондирование мезосферы».

Страница «Исследование коротковолнового радиоизлучения молнии» демонстрирует результаты, полученные в диапазоне 0.1-30 МГц на специально созданной аппаратуре, используемой в ряде исследовательских организаций России и Казахстана.

Блок из 3-х последующих страниц посвящен результатам фундаментальных исследований нейтральной атмосферы и ее структур с применением развитых в институте радиометрических методов («Дистанционное термическое зондирование пограничного слоя атмосферы», «Поляризация микроволнового излучения атмосферы и поляриметрическая диагностика микроструктуры облаков») и разрабатываемых методов радиоакустического и акустического зондирования – «Локационные исследования атмосферы».

На пяти страницах следующего блока нашли отражения результаты традиционного для института направления астрономических исследований различных космических объектов: «Декаметровое радиозондирование объектов ближнего космоса», «Исследования линейной поляризации радиоизлучения Галактики и космических источников», «Исследования эволюции радиоизлучения молодых остатков сверхновых и спектров мощных радиогалактик», «Спорадическая активность нейтронных звезд в остатках сверхновых», «Абсолютная радиоастрономическая шкала потоков для эпох 2000-2010».

На двух следующих страницах представлены физические и прикладные результаты исследований радиоизлучения Солнца: «Диагностика проявлений солнечной активности по радиоданным», «Разработка методов прогноза явлений солнечной активности и их геофизических проявлений».

Последующий блок из трех страниц демонстрирует освоение диапазона низкочастотных и ультранизкочастотных волн для исследования характеристик магнитосферы и геосферы Земли и использование этого диапазона радиоволн для задач электромагнитного зондирования сред и прогноза катастрофических природных явлений: «Освоение нового диапазона радиоволн: 0.1-30 Гц», «Исследования низкочастотных радиоволн в ФГНУ НИРФИ», «Рациональное природопользование с применением ультранизкочастотных радиоволн».

Последующий блок на шести страницах посвящен результатам развития методов радиоастрономических наблюдений и их прикладных применений. К последним относятся применение радиоинтерферометрии для задач траекторных и координатных измерений космических объектов, контроля состояния ионосферы, определения «космического мусора» методами РСДБ-локации, контроля качества поверхностей наиболее крупных российских радиоастрономических антенн: «Малобазовая интерферометрия», «Радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой (РСДБ)», «Научные и прикладные РСДБ-исследования», «Радиоголографические исследования характеристик зеркальных антенн и радиотелескопов», «Автоматизированные системы для радиоастрономии и прикладных исследований», «Малоракурсная томография».

В последний блок, состоящий из 6 страниц, входят представления результатов прикладных исследований:

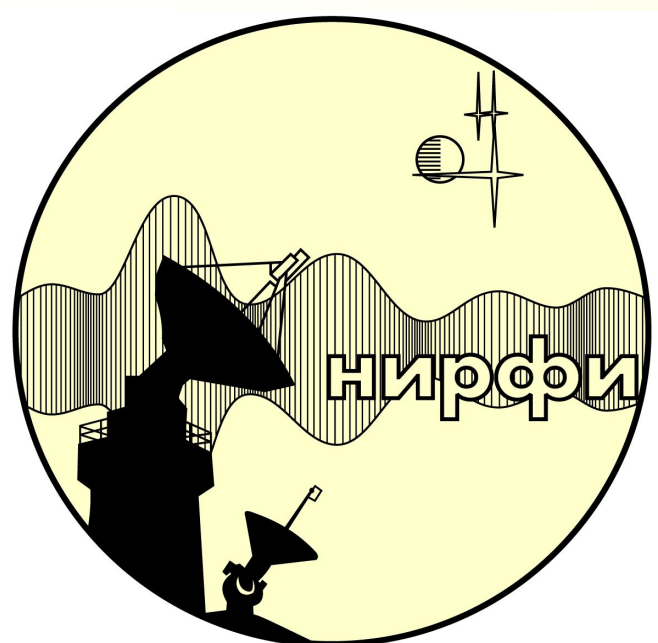
а) в области создания средств для современной технологической базы производства радиоэлектронных изделий: «Сборочное оборудование для микроэлектронных, оптоэлектронных, лазерных и радиоэлектронных технологий»;

б) в области радиометрии: «Пассивно-активная радиометрия в системе ближнего радиовидения 8-ми миллиметрового диапазона», «Портативные радиометрические приборы контроля параметров разливов нефти», «Радиометрия температурной пленки морской поверхности»;

в) при использовании акустических методов: «Акустические технологии интенсификации добычи полезных ископаемых»;

г) при использовании оптических методов: «Разработка оптических технологий контроля деталей машиностроения».

Подчеркнем, что здесь демонстрируются разработки и образцы изделий, которые находятся на стадии испытаний и внедрения, что предполагает возможности их использования в разумные сроки в промышленном производстве и народном хозяйстве.



ГРЕХОВА МАРИЯ ТИХОНОВНА (1902-1995) ОСНОВАТЕЛЬ И ПЕРВЫЙ ДИРЕКТОР НИРФИ



М.Т. Грехова родилась 23 апреля 1902 г. на станции Новогеоргиевская близ Варшавы в семье инженера-путейца. Детские и юношеские годы Марии Тихоновны прошли в Москве. В 1918 г. она окончила среднюю школу и поступила на физико-математический факультет МГУ, который окончила в 1924 г. Учебу в университете Мария Тихоновна совмещала с работой секретарем-машинисткой и с педагогической деятельностью. С 1924 по 1928 гг. она училась в аспирантуре МГУ под руководством академика Б.А. Введенского. Объектом ее исследований были короткие электромагнитные волны: вопросы генерации, канализации, распространения и практического использования нового диапазона волн.

В 1932 г. М.Т. Грехова переехала в г. Горький и продолжила научную работу по проблемам связи на дециметровых волнах.

В период с 1932 по 1956 гг. М.Т. Грехова работала в ГИФТИ научным сотрудником, заведующей лабораторией колебаний, заместителем директора, директором, заведующей отделом электроники и физики сверхвысоких частот. Одновременно она преподавала на физико-математическом факультете ГГУ. В 1936 г. без защиты диссертации ей присвоена ученая степень доктора физико-математических наук, а в 1938 году – ученое звание профессора. В 1945 г. вместе с А.А. Андроновым, Г.С. Гореликом и другими коллегами она создала первый в стране радиофизический факультет, стала первым его деканом и заведующей кафедрой СВЧ.

По инициативе М.Т. Греховой Постановлением Совета Министров СССР от 27 июня 1956 г. № 871-478 и Приказом министра высшего образования СССР от 10 июля 1956 г. № 256 в г. Горьком при ГГУ был организован Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ) на базе трех отделов ГИФТИ, загородного полигона ГИФТИ «Зименки» и исследовательских групп Горьковского политехнического института. Тем же Постановлением НИРФИ поручалось выполнение научно-исследовательских работ в области радиофизики, радиоастрономии и радиотехники. Приказом по Министерству высшего образования СССР от 14 июля 1956 г. № 557 М.Т. Грехова была назначена директором НИРФИ и оставалась им до 1972 г.

«Создание НИРФИ я считаю высшим личным достижением М.Т.», - М.А. Миллер.

«Размах, смелость, умение оценить обстановку, наладить деловые и научные связи, создать и организовать новые направления в науке – вот что характеризовало Марию Тихоновну», - С.А. Жевакин.

За короткий срок НИРФИ вошел в число ведущих институтов страны. Блестящие организаторские способности, энтузиазм и самоотверженная преданность науке вывели М.Т. Грехову в лидеры в области радиофизических исследований в г. Горьком.

М.Т. Грехова награждена двумя орденами Ленина (1951 и 1961 гг.), двумя орденами Трудового Красного Знамени (1945 и 1971 гг.), орденом Октябрьской Революции (1982 г.), медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 г.г.» (1946). Ей присвоены почетные звания «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР» (1963 г.) и «Почетный Гражданин Нижнего Новгорода» (1994 г.).



Мария Тихоновна с академиком А.И. Бергом, профессором Г.Г. Гетманцевым на загородном полигоне НИРФИ «Зименки»

В последний период своей трудовой деятельности М.Т. Грехова организовала в НИРФИ отдел радиофизических методов в медицине и была его заведующей, организовала кафедру экологии при биофаке ННГУ, Нижегородское отделение Всероссийского научного медико-технического общества, постоянно действующий семинар «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии».



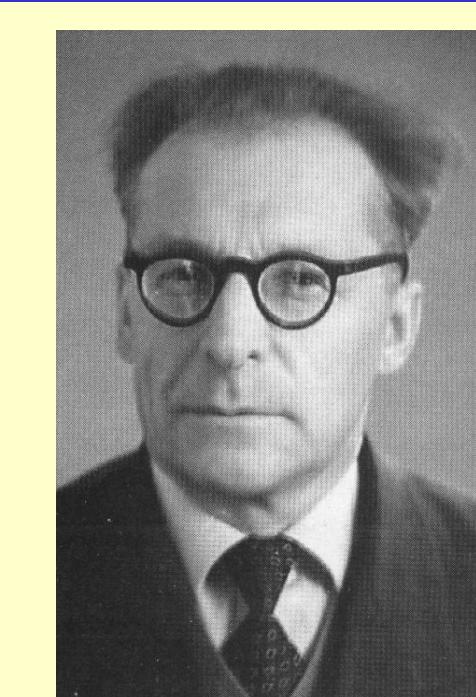
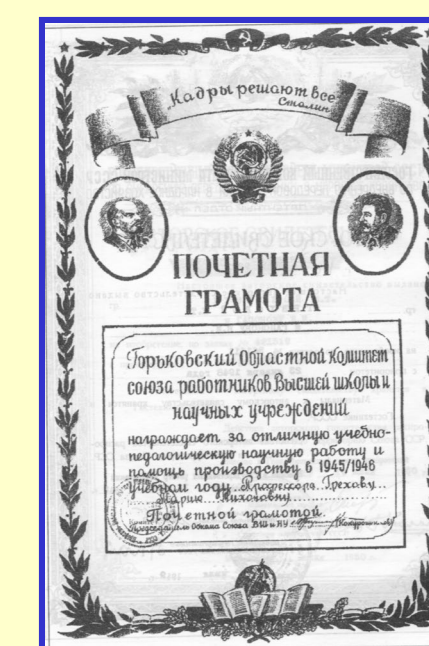
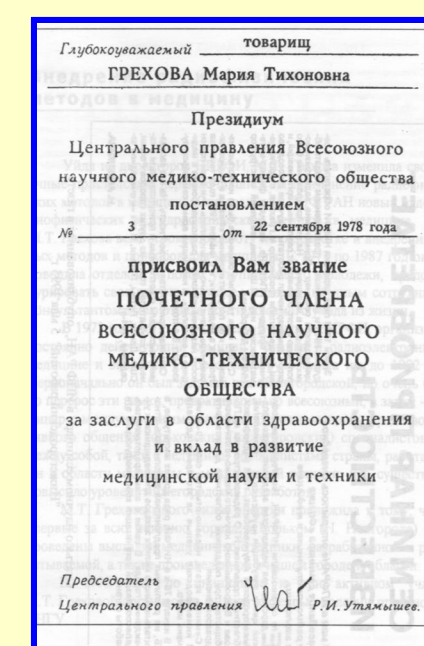
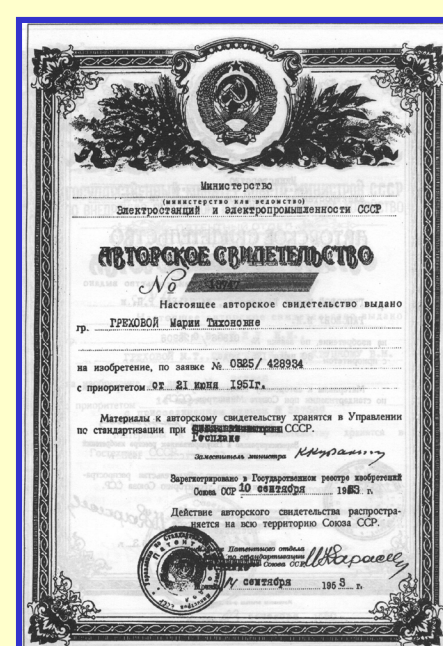
Мария Тихоновна на семинаре



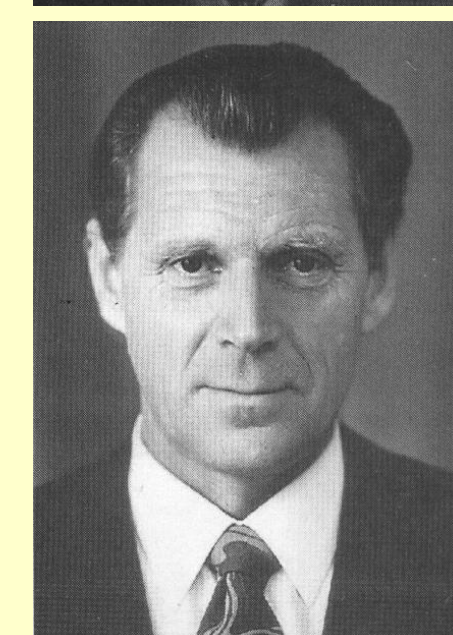
Мария Тихоновна со своим заместителем, будущим директором НИРФИ Г.Г. Гетманцевым



Мария Тихоновна с сотрудниками НИРФИ



Гапонов Виктор Иванович (1903–1990 гг.) – муж, друг, сподвижник Марии Тихоновны. Профессор, зав. кафедрой электроники радиофизического факультета ГГУ, зам. главного редактора журнала «Известия Вузов. Радиофизика».



Гапонов-Грехов Андрей Викторович – старший сын Марии Тихоновны. Академик РАН.



Гапонов Сергей Викторович – младший сын Марии Тихоновны. Академик РАН.



Мария Тихоновна и Виктор Иванович в лаборатории



Мария Тихоновна дома



Мария Тихоновна с сотрудниками медицинского отдела ИПФ РАН



ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ Научно-исследовательского радиофизического института (НИРФИ)

РАДИОФИЗИКА В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ

История научных и прикладных работ в области радиофизики связана с Нижегородской радиолaborаторией (1918-1928 гг.), созданной М.А. Бонч-Бруевичем. На базе радиолaborатории зародилась горьковская радиотехническая промышленность и возник Горьковский исследовательский физико-технический институт (ГИФТИ) при Горьковском государственном университете (ГГУ).



Именно в ГИФТИ А.А. Андронов организовал в 1931г. Теоретический отдел, в котором проводились исследования в области автоматического регулирования и теории нелинейных колебаний. Позднее в ГИФТИ появился отдел СВЧ-техники (М.Т. Грехова) и отдел колебаний (рук. Г.С. Горелик). В военные годы эти отделы в тесном взаимодействии с горьковской радиотехнической промышленностью много сделали для обороны страны.



Одновременно профессора А.А. Андронов, Г.С. Горелик, М.Т. Грехова осуществляли педагогическую работу, являясь заведующими кафедрами ГГУ. Война показала жизненную необходимость развития в СССР радиофизических исследований. Результатом активного развития радиофизики в г. Горьком стал первый в стране радиофизический факультет ГГУ, организованный в 1945 г. академиком А.А. Андроновым, профессорами М.Т. Греховой и Г.С. Гореликом.



СОЗДАНИЕ НИРФИ

Идея создания НИРФИ принадлежала первому директору НИРФИ М.Т. Греховой. В инициативную группу входили: М.М. Кобрин, В.С. Троицкий, А.А. Рябов. 27 июня 1956 г. Совет Министров СССР постановлением № 871-478 обязал Министерство высшего образования СССР создать в 1956 г. при Горьковском государственном университете Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ). Приказом министра высшего образования СССР от 10 июля 1956 г. № 256 институт был организован. НИРФИ был создан на базе трех отделов ГИФТИ, загородной лаборатории ГИФТИ «Зименки» и исследовательских групп Горьковского Политехнического института. Приказом по Министерству высшего образования СССР от 14 июля 1956 г. №557 профессор М.Т. Грехова была назначена директором НИРФИ. НИРФИ было передано здание бывшего Горьковского суворовского училища по улице Лядова, 25.



ДИРЕКТОРА НИРФИ

Мария Тихоновна Грехова с 1956 по 1972 гг.



Герман Григорьевич Гетманцев с 1972 по 1980 гг.



Владимир Андреевич Разин с 1980 по 1990 гг.



Сергей Владимирович Поляков с 1990 по 2000 гг.



Сергей Донатович Снегирев с 2000 г.



При создании на НИРФИ было возложено выполнение научно-исследовательских задач в области радиофизики и радиотехники и, в первую очередь, радиоастрономии для нужд радионавигации, радиолокации и радиосвязи, а также выполнение опытных разработок в этой области совместно с научно-исследовательскими и конструкторскими бюро промышленных министерств. Наряду с этим, НИРФИ должен был принять активное участие в процессе подготовки высококвалифицированных специалистов в области радиофизики и радиоэлектроники.

НАУЧНЫЕ ОТДЕЛЫ НИРФИ (1956 г.)

- № 1. Проблемы теоретической радиоастрономии и распространения радиоволн – зав.отделом профессор В.Л. Гинзбург.
 - № 2. Вопросы сверхвысокочастотного приборостроения – профессор М.Т. Грехова.
 - № 3. Вопросы локационной радиоастрономии распространения микрорадиоволн – к.ф.-м.н. М.М. Кобрин.
 - № 4. Задачи сверхвысокочастотной электроники – д.ф.-м.н. А.В. Гапонов.
 - № 5. Задачи сверхвысокочастотной электродинамики – к.ф.-м.н. М.А. Миллер.
 - № 6. Вопросы помехоустойчивости радиоаппаратуры – профессор Д.В. Агеев.
 - № 7. Задачи сверхвысокочастотной радиоастрономии – к.ф.-м.н. В.С. Троицкий.
 - № 8. Вопросы космического радиоизлучения в метровом диапазоне и физика ионосферы – к.ф.-м.н. Г.Г. Гетманцев.
 - № 9. Исследования статистических явлений в радиоприборах – профессор И.Л. Берштейн.
 - № 10. Задачи гидроакустики и распространения звука в специальных условиях – к.ф.-м.н. А.Н. Бархатов.
 - № 11. Исследование распространения волн в статистически неоднородных средах и радиофизические методы исследования вещества – доцент В.А. Зверев.
 - № 12. Проблемы импульсной техники – доцент Л.А. Моругин.
 - № 13. Радиоспектроскопия – профессор Л.Л. Мясников.
 - № 14. Математическая физика – профессор А.Г. Сигалов.
- Были созданы также лаборатория измерительных приборов (начальник лаборатории. – А.А. Рябов), вакуумная мастерская (начальник – В.А. Лопырев), конструкторское бюро (начальник – И.В. Мосалов).



ЗАГОРОДНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НИРФИ «ЗИМЕНКИ»

Регулярные наблюдения радиоизлучения Солнца на волне 1,5 м начались в д. Зименки с августа 1949 г. С этого времени полигон «Зименки» стал загородной радиоастрономической лабораторией ГИФТИ. В 1956 г. полигон перешел к НИРФИ и с этого времени стал активно развиваться. В 1960-1962 гг. были построены и введены в эксплуатацию основные лабораторные и жилые сооружения, гелиевая криогенная станция, два радиотелескопа РТ-15. В 1958 г. для работы по программе «Международный геофизический год» на территории лаборатории «Зименки» была создана ионосферная служба, которая с того времени работала постоянно. Ионосферные данные поставлялись в Международный центр данных МЦД-Б2 для международного обмена. В 1966 г. постановлением Совета Министров СССР в стране была создана сеть станций Службы Солнца и НИРФИ стал головной организацией в СССР по Службе Солнца в радиодиапазоне. В этом же году НИРФИ стал издавать бюллетень «Радиоизлучение Солнца. Станция «Зименки».





МНОГОЦЕЛЕВОЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА - СТЕНД СУРА

(УНИКАЛЬНАЯ УСТАНОВКА РОССИИ № 06-30)

Стенд СУРА сооружен в 1981 г. по инициативе Г.Г.Гетманцева, профессора, доктора физико-математических наук, как *базовый отечественный инструмент* для изучения эффектов взаимодействия мощного КВ радиоизлучения с ионосферной плазмой.

Расположен в 100 км к востоку от г. Нижний Новгород вблизи р.п. Васильсурск (56.13° N , 46.10° E).

Входит в мировую сеть специализированных стендов - EISCAT, HAARP, HIPAS, SPEAR, являясь единственной установкой такого рода на средних широтах. Используется для исследований *по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники* в области информационно-телекоммуникационных систем (технологии передачи, обработки и защиты информации) и рационального природопользования (технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы, технологии экологически безопасной разработки месторождений добычи полезных ископаемых).



Основу стенда составляют три вещательных КВ радиопередатчика мощностью 250 кВт каждый и трехсекционная приемно-передающая антенна с размерами 300 м x 300 м, состоящая из 144 крестообразных вибраторов. Эффективная мощность излучения стенда составляет около 290 МВт на средней частоте рабочего диапазона антенны 4.5 - 9.3 МГц. Его энергетику обеспечивают 30-ти километровая высоковольтная линия ЛЭП-35 и электрическая подстанция мощностью 8 МВт.

Стенд *оснащен широким набором вспомогательных диагностических устройств* непосредственно под пятном нагрева и в выносных наблюдательных пунктах.



За годы эксплуатации стенда СУРА разработаны и освоены *оригинальные методики исследований*, что позволяет в настоящее время использовать его в качестве исследовательской установки:

- ❖ для изучения ионосферных возмущений в поле мощных радиоизлучения и управления ионосферным каналом распространения радиоволн;
- ❖ для генерации искусственного радиоизлучения ионосферы, включая КНЧ-УНЧ-СНЧ диапазон;
- ❖ для диагностики параметров ионосферы и верхней атмосферы методами резонансного рассеяния радиоволн на искусственных периодических неоднородностях и ЛЧМ – зондирования;
- ❖ для радиоакустического зондирования тропосферы и мезосферы;
- ❖ а также в качестве КВ радара и декаметрового радиотелескопа для исследований объектов ближнего и дальнего космоса.

Перспективы исследований ориентированы на разработку новых методов и технологий дистанционного зондирования атмосферы Земли на основе контролируемых воздействий, развитие методов создания управляемого канала дальнего распространения КВ-УКВ радиоволн в интересах совершенствования радиосистем специального назначения, выявление техногенных факторов глобальных атмосферных возмущений.





РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ «СТАРАЯ ПУСТЫНЬ»



Радиоастрономическая обсерватория (РАО) НИРФИ «Старая Пустынь» основана по инициативе В.А.Разина в 1964 г. для исследования линейной поляризации и спектра галактического радиоизлучения, остатков сверхновых звёзд и прикладных работ

По мере развития научных исследований в обсерватории был создан уникальный семиантенный комплекс, предназначенный для решения широкого круга фундаментальных проблем радиоастрономии и прикладных задач в области телекоммуникаций. Этот комплекс в течение 1993-2005 гг. входил в перечень уникальных установок России под номером 06-29, получающих государственную финансовую поддержку.

Три 14-метровых радиотелескопа (РТ-14, РТ-14-2 и РТП-14) предназначены для радиополяриметрических исследований, а также могут работать в системе поляризационного апертурного синтеза на частоте 150 МГц с синтезируемой апертурой диаметром до 150 м; два 7-метровых радиотелескопа составляют двухэлементный интерферометр с базой 417 м: два 10-метровых радиотелескопа (РТ-10 и РТМ-10) предназначены для исследований линейной поляризации галактического радиоизлучения в дециметровом диапазоне радиоволн и переменности радиоисточников, а РТМ-10 используется также для измерений полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы разработанным в НИРФИ и реализованным в РАО «Старая Пустынь» поляризационно-фарадеевским методом (получен патент на изобретение с приоритетом от 1987 г.).

7-метровые радиотелескопы и установленные на 25-метровых калибровочных вышках чернотельные диски составляют два стенда для абсолютных измерений плотностей потоков радиоизлучения космических радиоисточников.



Работы в РАО «Старая Пустынь» выполняются в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002 – 2006 годы.

Радиополяриметрические исследования ПЭС ионосферы и координатно-траекторные измерения с интерферометром на 150 МГц применяются в проводимых совместных работах с Центром управления полётами ЦНИИМаш Российского космического агентства, направленных на повышение точности и эффективности работы российской космической навигационной системы ГЛОНАСС.

Результаты исследований спектров и переменности космических источников и разрабатываемые методики антенных измерений находят применение при измерениях параметров и мониторинге поверхности крупных параболических антенн различного назначения

Радиотелескоп РТМ-10 предназначен для поляриметрических исследований и относительных измерений плотностей потоков радиоизлучения в дециметровом диапазоне волн, а также для исследований ПЭС ионосферы



Радиотелескоп РТП-14 входит в состав отечественной и международных РСДБ-сетей и является элементом РСДБ-интерферометра НИРФИ «Пустынь-Зимёнки»



Радиотелескоп РТ-10 предназначен для поляриметрических исследований и относительных измерений плотностей потоков радиоизлучения в дециметровом диапазоне волн

Фазостабильный радиointерферометр метрового диапазона волн в составе РТ-14 и РТ14-2 используется в координатно-траекторных измерениях по сигналам навигационных спутников



Стенд для абсолютных измерений плотностей потоков радиоизлучения космических источников сантиметрового диапазона волн



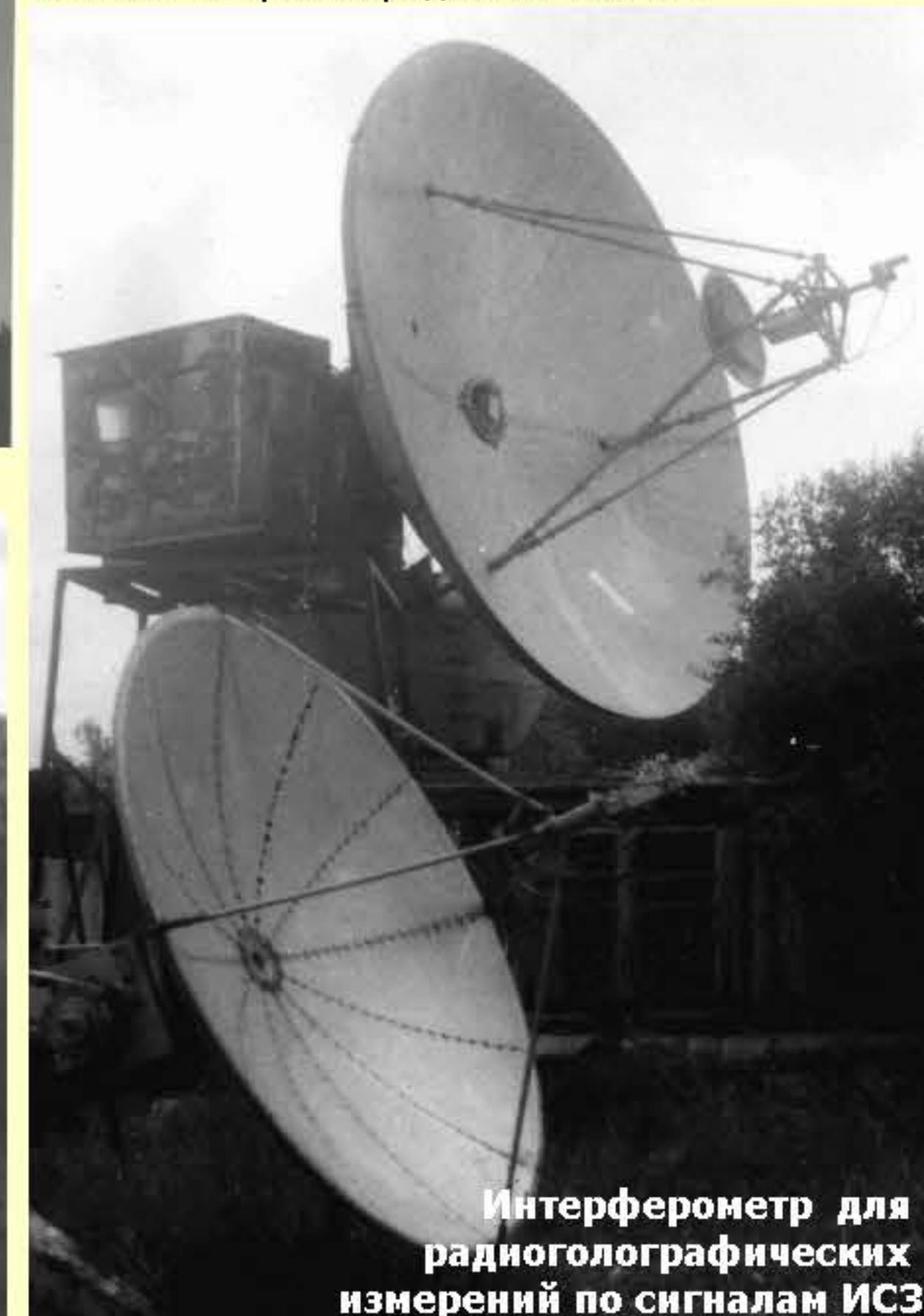
В РАО «Старая Пустынь» выполнены исследования возможностей радиологического метода для измерения характеристик зеркальных антенн по сигналам геостационарных ИСЗ. В последующем разработанные аппаратура и методики были использованы для исследования характеристик 64-метровых радиотелескопов.



Создан оригинальный 12-метровый радиотелескоп РТВС-12 метрового диапазона волн, основанный на предварительно напряжённых конструкциях зеркальных антенн. Радиотелескоп совместно с 5-метровым диском (на вышке) использовался в абсолютных измерениях фонового радиоизлучения на дециметровых и метровых волнах



Для исследования характеристик крупных космических трансформируемых антенн создан сканер для планарных измерений полей в апертуре антенн (в иностранной литературе получил наименование «би-полярный сканер»). Получено свидетельство на изобретение с приоритетом от 1984 года.



Интерферометр для радиологических измерений по сигналам ИСЗ



РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ НИРФИ «ЗИМЕНКИ»



РАО «Зименки» с 1966 г. является головной в России по радиомониторингу солнечной активности

1) Радиотелескопы и «искусственная Луна»

Антенна	PT-1	PT-2	PT-4	PT-4	PT-15	PT-15
Длина волны, см	3.3	10.2	32	46	150	300
Ширина диаграммы направленности, град	2.5	3.5	5.5	8	7	15

В измерительный комплекс входит вышка с "черным" диском, который служит для абсолютной калибровки радиотелескопов на волнах см-диапазона длин волн. Радиотелескопы дм- и м-диапазонов калибруются по космическому радиоисточнику Кассиопея-А.

2) Наблюдения потоков и всплесков радиоизлучения Солнца

Измерения потоков радиоизлучения в широком диапазоне длин волн дают уникальную возможность получения информации о физических процессах, происходящих на высотах от 5 тыс.км до 500 тыс.км над фотосферой Солнца.

3) Разработка методов диагностики и прогноза параметров СКЛ и КВМ по радиовсплескам

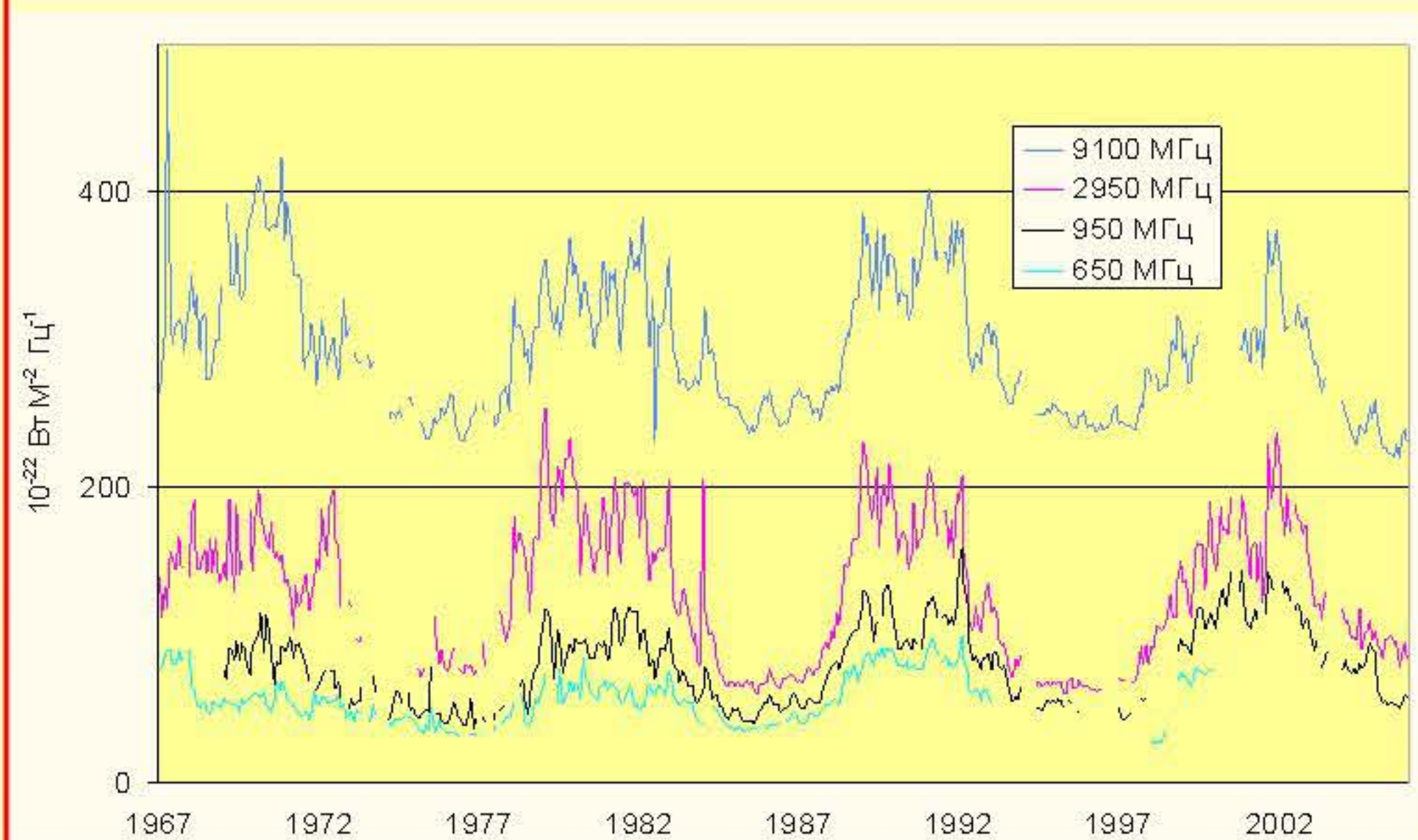
Получаемые радиоданные являются важной и незаменимой составной частью комплекса данных об электромагнитном и корпускулярном излучениях Солнца. Анализ динамики радиоизлучения позволяет проводить оперативную диагностику и прогнозирование геоэффективных последствий солнечных вспышек, включая потоки солнечных космических лучей (СКЛ) и корональных выбросов массы (КВМ).

4) Публикация данных

Создана база данных на электронных носителях, обеспечено издание ежемесячного электронного бюллетеня данных, его рассылка по электронной почте заинтересованным российским и международным организациям, а также публикация в ИНТЕРНЕТе:

http://solar_nirfi.sci-annov.ru/RAS_Zimenki/

Вариации потоков радиоизлучения за 4 цикла солнечной активности



Всплеск радиоизлучения Солнца





РОССИЙСКАЯ СЕТЬ ЛЧМ ИОНОЗОНДОВ

Российская сеть ЛЧМ зондов



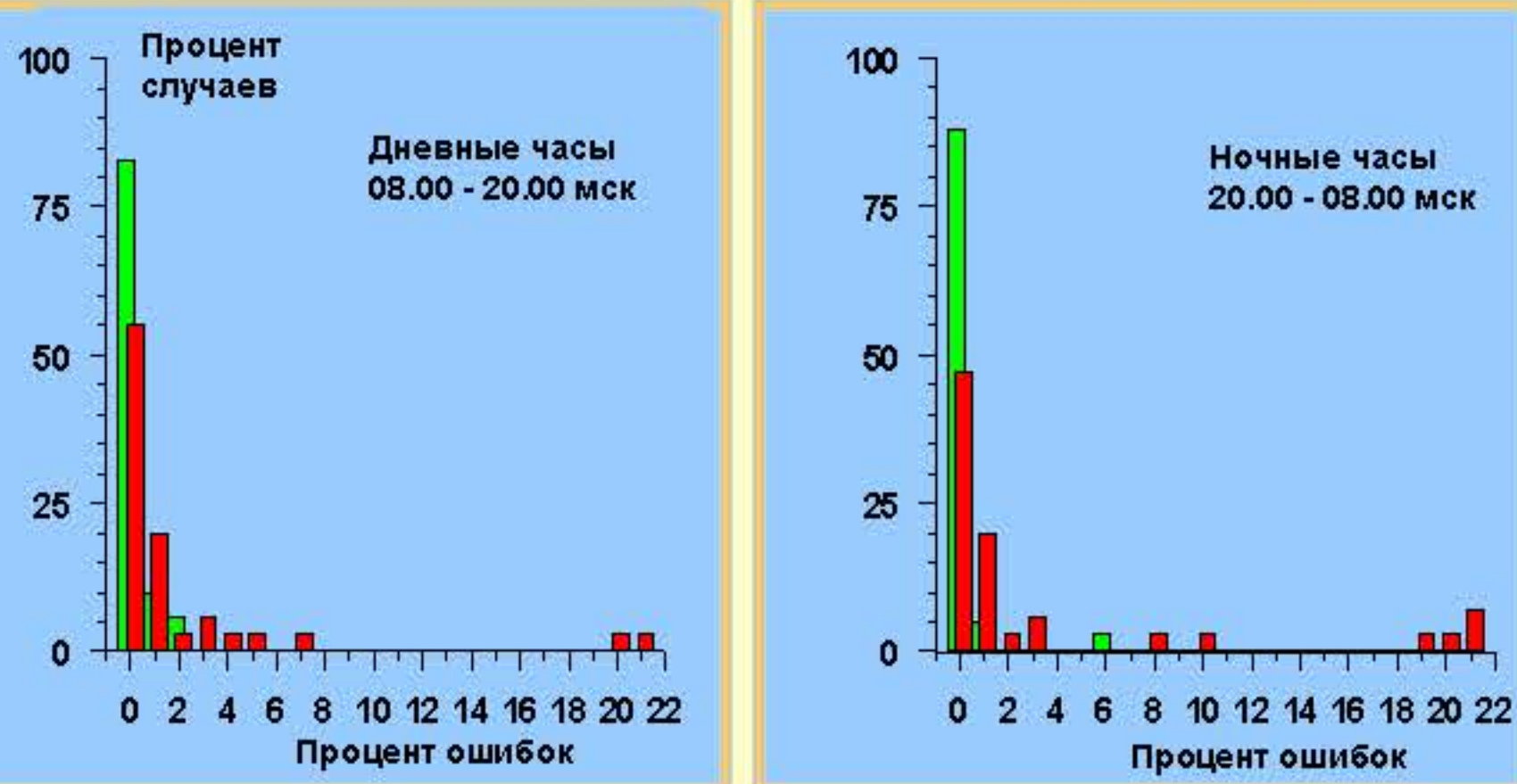
Российская сеть трасс наклонного зондирования ионосферы, покрывающая обширные стратегически важные регионы Северо-Востока, Дальнего Востока, Восточной Сибири и Европейской части России, создана совместно ФГНУ «НИРФИ», ИСЗФ СО РАН, ИКИР ДВО РАН, РГУ, МарГТУ, ИЗМИРАН и НПП «Полет» на базе отечественного ионозонда с непрерывным излучением линейно-частотно-модулированного (ЛЧМ) сигнала. Как показал многолетний опыт эксплуатации, российская сеть ЛЧМ ионозондов является эффективным инструментом для проведения исследований на различных этапах выполнения как фундаментальных, так и прикладных НИОКР: от стадии разработки и проверки отдельных узлов оборудования до полевых испытаний всей системы КВ радиосвязи в контролируемых ионосферных условиях.

ЛЧМ ионозонд для наклонного зондирования ионосферы

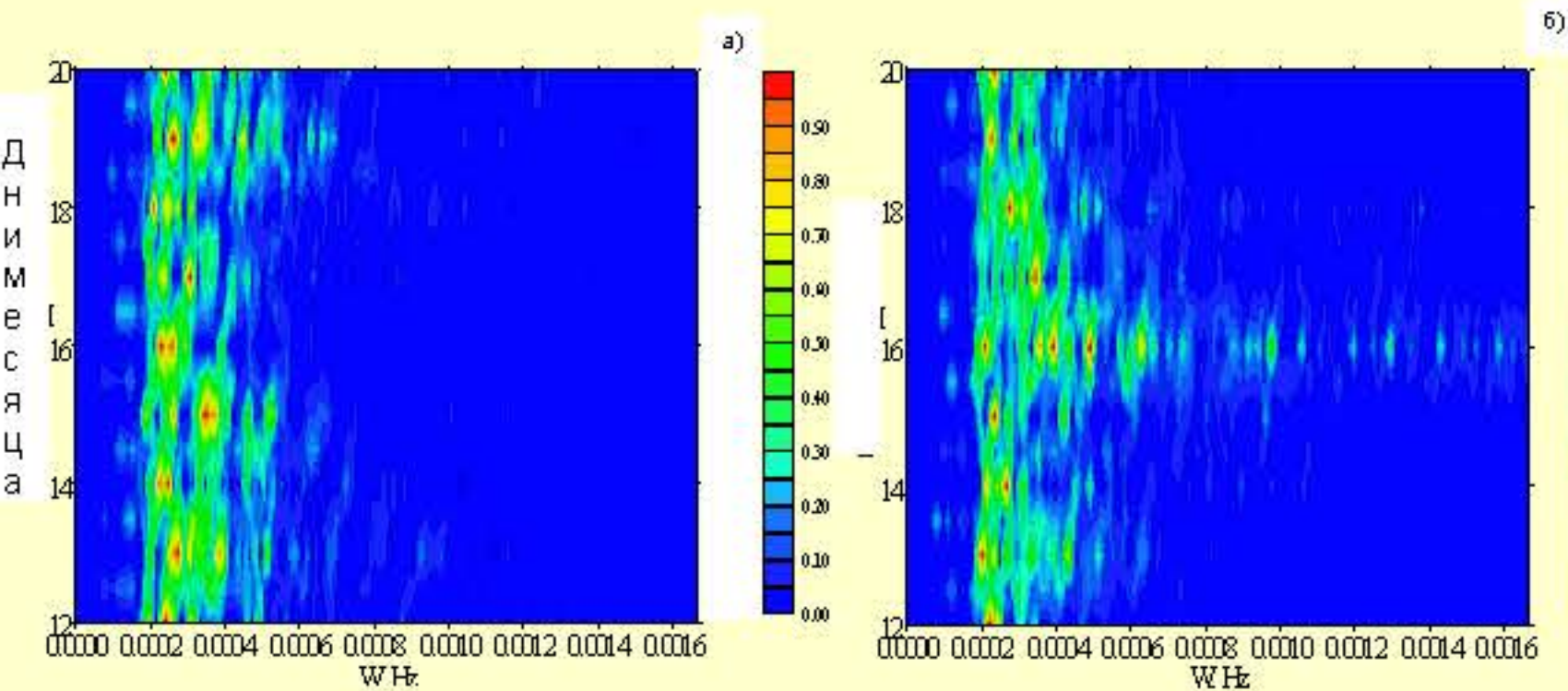
Диапазон частот: 3 – 30 МГц
Скорость перестройки частоты: 100 – 1000 кГц/с
Мощность излучения: 10 – 100 Вт
Разрешение по групповой задержке: 15 мкс
Автоматизированная обработка ионограмм, включая выбор оптимальных рабочих частот для систем связи



Практически реализован метод оперативного прогнозирования оптимальных рабочих частот (ОРЧ) на базе маломощного ЛЧМ ионозонда в составе частотно-адаптивной системы КВ радиосвязи. Показано, что на средненишотной трассе протяженностью 3000 км работа связанной радиолинии при мощности связанного сигнала 5 Вт на ОРЧ, назначаемых по оперативному прогнозу, обеспечивала надежность связи на уровне 97%, в то время как при выборе ОРЧ по долгосрочному прогнозу – около 68%.

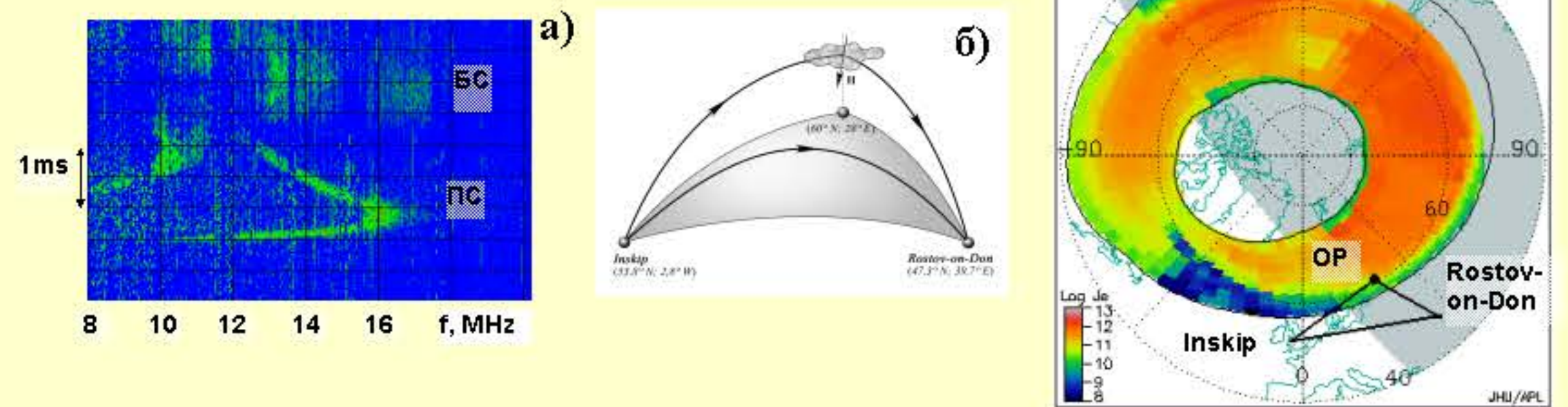


Радиолиния Алма-Ата - Москва. Октябрь 1990 г. Распределение ошибок информационных сообщений при работе системы КВ радиосвязи по оперативному (зеленый) и долгосрочному (красный) прогнозам оптимальных рабочих частот.



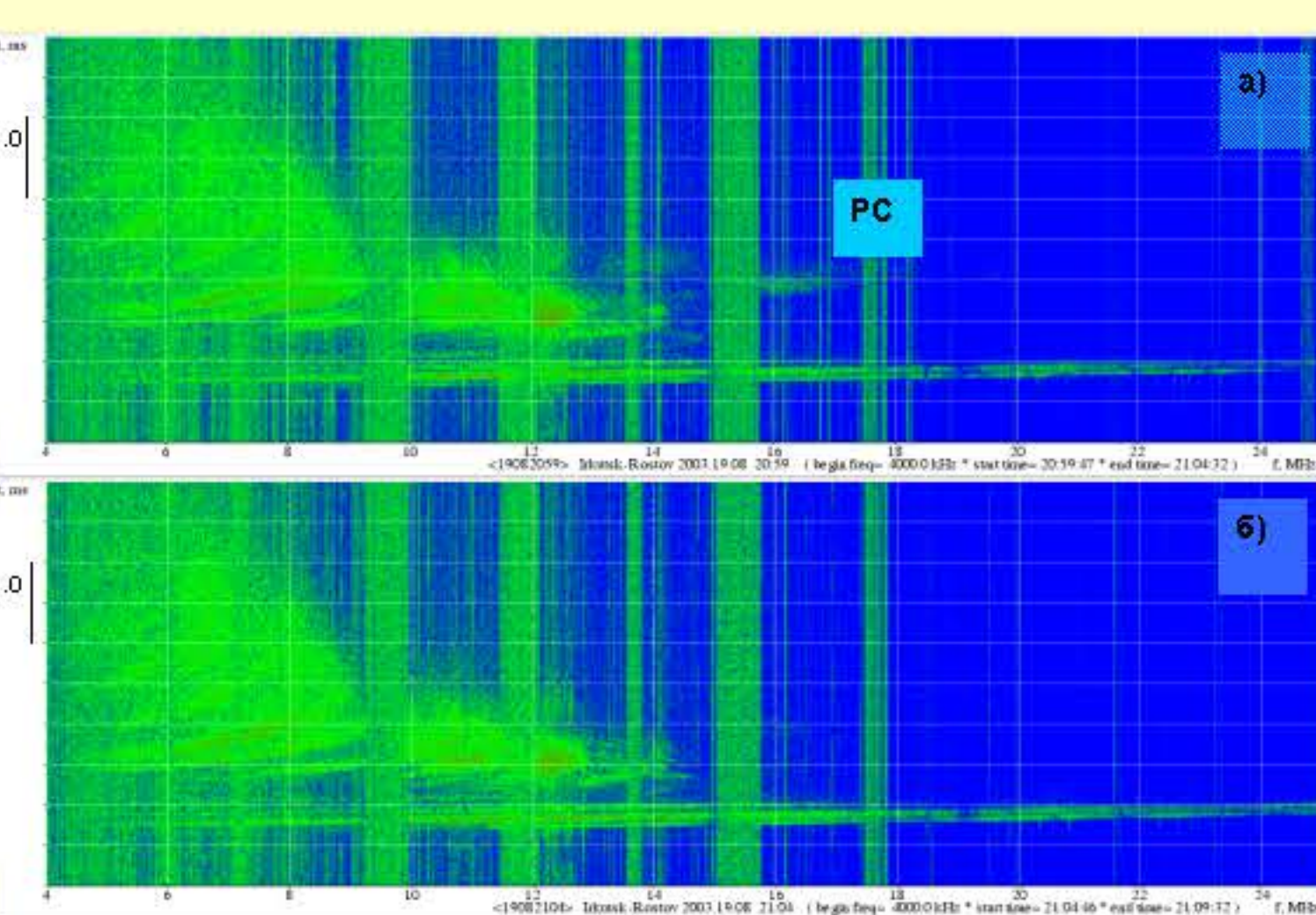
Спектральная плотность мощности временных вариаций максимальной наблюдаемой частоты на трассе Кипр – Ростов-на-Дону для ряда последовательных дней различных месяцев: а – январь 2005г., б – март 2005г.

На основе непрерывных многомесячных круглосуточных наблюдений вариаций максимальной наблюдаемой частоты (МНЧ) на средненишотных трассах различной протяженности и ориентации показано, что метод наклонного ЛЧМ зондирования с высоким разрешением по времени группового запаздывания и частоте позволяет уверенно детектировать волновые возмущения с периодом от 15 минут до нескольких часов. Данный метод может найти применение для идентификации и прогнозирования волновых возмущений различной природы как естественного, так и искусственного происхождения (прохождение терминатора, магнитные бури, землетрясения, извержения вулканов, ураганы, старты космических аппаратов, взрывы, мощное радиоизлучение и др.).



Позиционирование мелкомасштабных неоднородностей аврального овала с помощью бистатического ЛЧМ КВ радара Инскип (Англия) – Ростов-на-Дону во время экстремально сильной магнитной бури 29 октября 2003г. 14:42 UT. а) – эксперимент, б) - лучевые траектории, в) - положение аврального овала по данным спутника DMSP. РС – прямой сигнал, БС - боковой (рассеянный) сигнал, ОР – положение области с неоднородностями, ответственными за рассеяние, определенное на основе сопоставления экспериментальных и расчетных данных.

Экспериментально показано, что система трасс наклонного ЛЧМ зондирования, охватывающая обширный евроазиатский долготный сектор от Англии до Магадана, слабо оснащенный средствами диагностики, может служить эффективным средством для мониторинга ионосферных эффектов геомагнитных возмущений. При этом сеть ЛЧМ-ионозондов используется как бистатические КВ радары, чувствительные как к крупномасштабным структурам (главный ионосферный провал, авральный овал, перемещающиеся ионосферные возмущения, пэтчи с повышенной электронной концентрацией), так и к мелкомасштабным неоднородностям, которые сопровождают такие крупномасштабные образования.



Вывод радиоволн из канала за счет рассеяния на искусственных мелкомасштабных магнитно-ориентированных неоднородностях на трассе Иркутск – СУРА – Ростов-на-Дону. 19 августа 2003г. 21:00 мск а) – нагрев, б) – пауза. РС – рассеянный сигнал.

На радиолиниях Хабаровск – СУРА – Темрюк и Иркутск – СУРА – Ростов-на-Дону реализован механизм управления дальним распространением КВ путем вывода радиоволн из канала за счет ракурсного рассеяния на искусственных мелкомасштабных магнитно-ориентированных неоднородностях, возбуждаемых внутри волновода мощным наземным радиоизлучением. Это явление может быть использовано для организации КВ связи на частотах, превышающих МПЧ стандартного скачкового распространения (для повышения скрытности связи), а также для организации дальнего канала КВ связи во время геомагнитных возмущений, когда возрастает поглощение радиоволн в нижних слоях (D и E) ионосферы, вплоть до полного блэкаута сигналов. В то же время волноводные моды распространяются выше этих слоев и подвергаются существенно меньшему поглощению.

Для модернизации КВ радиооборудования планируется разработать и создать современную автоматизированную базовую передающую станцию (БПС) мониторинга ионосферных радиолиний, использующую широкополосные сигналы различной частотно-временной структуры, в том числе и ЛЧМ для пунктов Российской ионосферной информационно-измерительной сети. Модернизированная БПС будет удовлетворять следующим техническим и эксплуатационным требованиям:

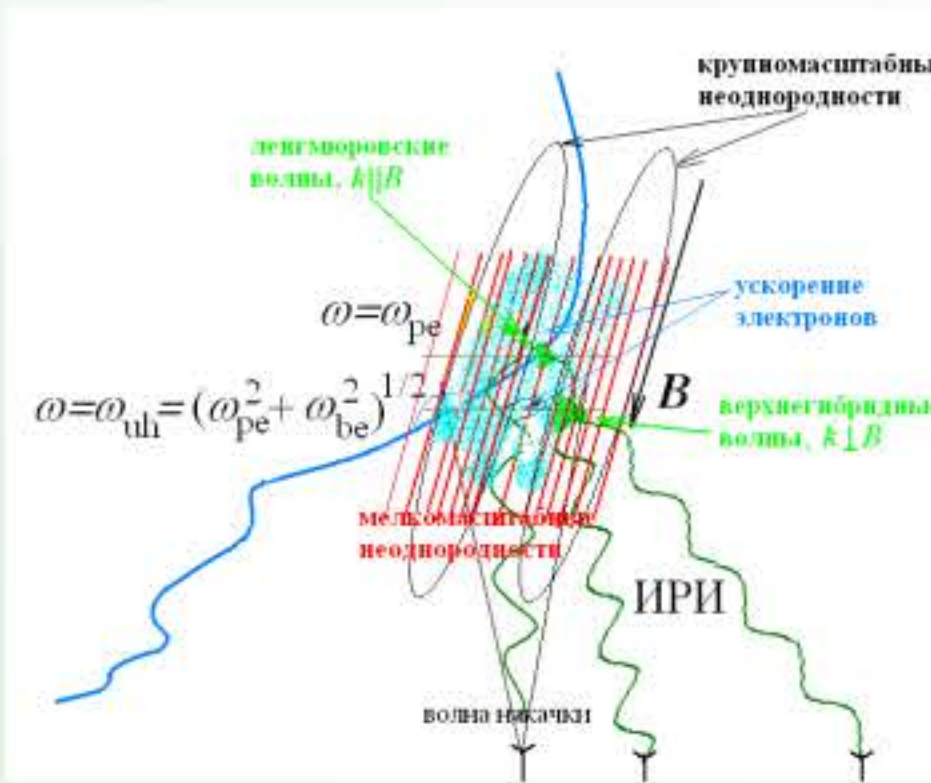
1. Полная автоматическая работа БПС по заданной программе без вмешательства оператора.
2. Высокая надежность, позволяющая БПС непрерывно работать в течение нескольких лет.
3. Сохранение временных и частотных режимов работы в случаях непредвиденного отключения сетевого электропитания.
4. Возможность бланкирования заданных "запрещенных" частот или диапазонов частот.
5. Возможность одновременной передачи с зондирующим ЛЧМ сигналом повторяющегося информационного (командного) сигнала, что крайне важно в условиях сильных ионосферных возмущений, когда происходит быстрая перестройка ионосферы (единицы-десятки секунд) и системы связи не успевают адаптироваться к условиям распространения радиоволн в виду сильной нестационарности КВ канала.
6. Малые габариты, вес и электропотребление.



ДИАГНОСТИКА ИСКУССТВЕННОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ F-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ (ИРИ)



Стенд «СУРА». Корпус мощных передатчиков (слева), лабораторный корпус (справа), часть приемопередающей антенны стенда (на переднем плане).



Схематическое изображение явлений в F-области ионосферы при воздействии мощных КВ радиоволн

Систематические исследования взаимодействия мощного коротковолнового радиоизлучения с ионосферной плазмой проводятся в ФГНУ НИИРФИ с 1972 г. (стенд ЯСТРЕБ, полигон «Зименки»). С 1981 г. Исследования проводятся на стенде «СУРА». Серьезный интерес в мире к исследованиям искусственных ионосферных возмущений связан с их влиянием на работу телекоммуникационных систем различного назначения: КВ и УКВ радиосвязи, загоризонтной радиолокации и т.п., а также с возможностью моделирования естественных процессов в космической плазме. В последние годы исследования проводятся в рамках ФЦНТП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники" на 2002-2006 годы по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы».

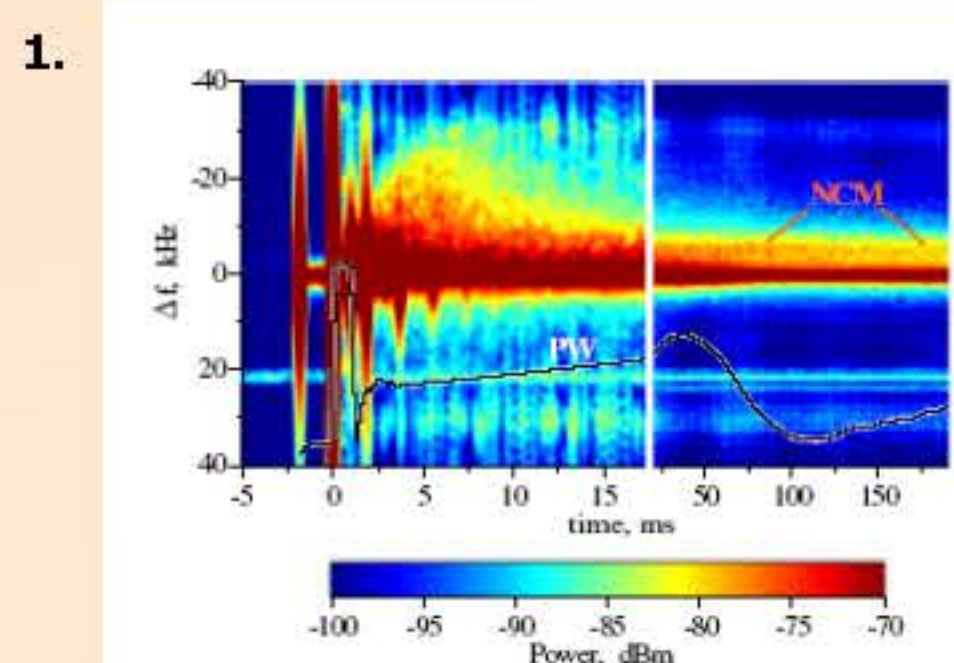
При воздействии мощной КВ радиоволны обыкновенной поляризации на плазму F-слоя ионосферы в ней возникает искусственная ионосферная турбулентность (ИИТ): собственные высокочастотные плазменные волны (ленгмюровские, верхнегибридные), нижнегибридные волны, ионно-звуковые колебания, неоднородности концентрации плазмы, вытянутые вдоль геомагнитного поля с масштабами от нескольких см до десятков км.

Диагностика возмущенной области ионосферы осуществляется с помощью зондирования и просвечивания возмущенной области ионосферы пробными радиоволнами различных диапазонов (КВ, УКВ, СВЧ), а также при измерениях излучения из возмущенной области в оптическом и радио диапазонах.

Искусственное радиоизлучение ионосферы в коротковолновом диапазоне (**ИРИ**) наблюдается как шумовая составляющая малой интенсивности ((-50) – (-80) дБ) в спектре отраженного от ионосферы сигнала волны накачки, занимающая полосу частот в несколько десятков (в некоторых случаях до сотен) килогерц и представляет собой продукт конверсии плазменных волн в электромагнитные при взаимодействии первых с низкочастотными возмущениями. Измерения ИРИ и сопоставление результатов с данными теоретических моделей позволяют осуществлять детальную диагностику параметров ИИТ и процессов, протекающих в области ИИТ.



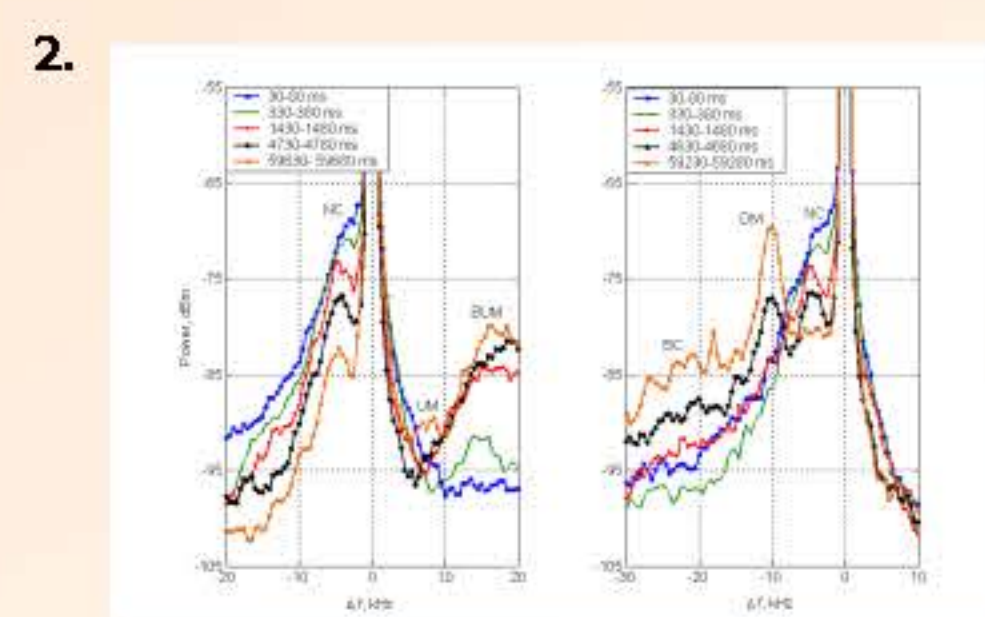
Приемный пункт для регистрации ИРИ на стенде «СУРА». Слева – спектроанализатор HP3585; радиоприемники «Катран» для регистрации динамики сигналов ИРИ на фиксированных частотах. Справа – блок сбора информации с радиоприемников, компьютер с 8-канальным АЦП для регистрации и обработки данных в среде LabView; многофункциональное трехканальное КВ радиоприемное устройство (РПУ) с диапазоном частот 1-30 МГц и динамическим диапазоном 90 дБ, сопряженное с системой цифровой обработки сигнала промежуточной частоты 2500 кГц в полосе до 500 кГц.



Спектрограмма ИРИ в течение 200 мс после включения мощной волны. Черная линия – поведение отраженного от ионосферы сигнала мощной волны

Результат :

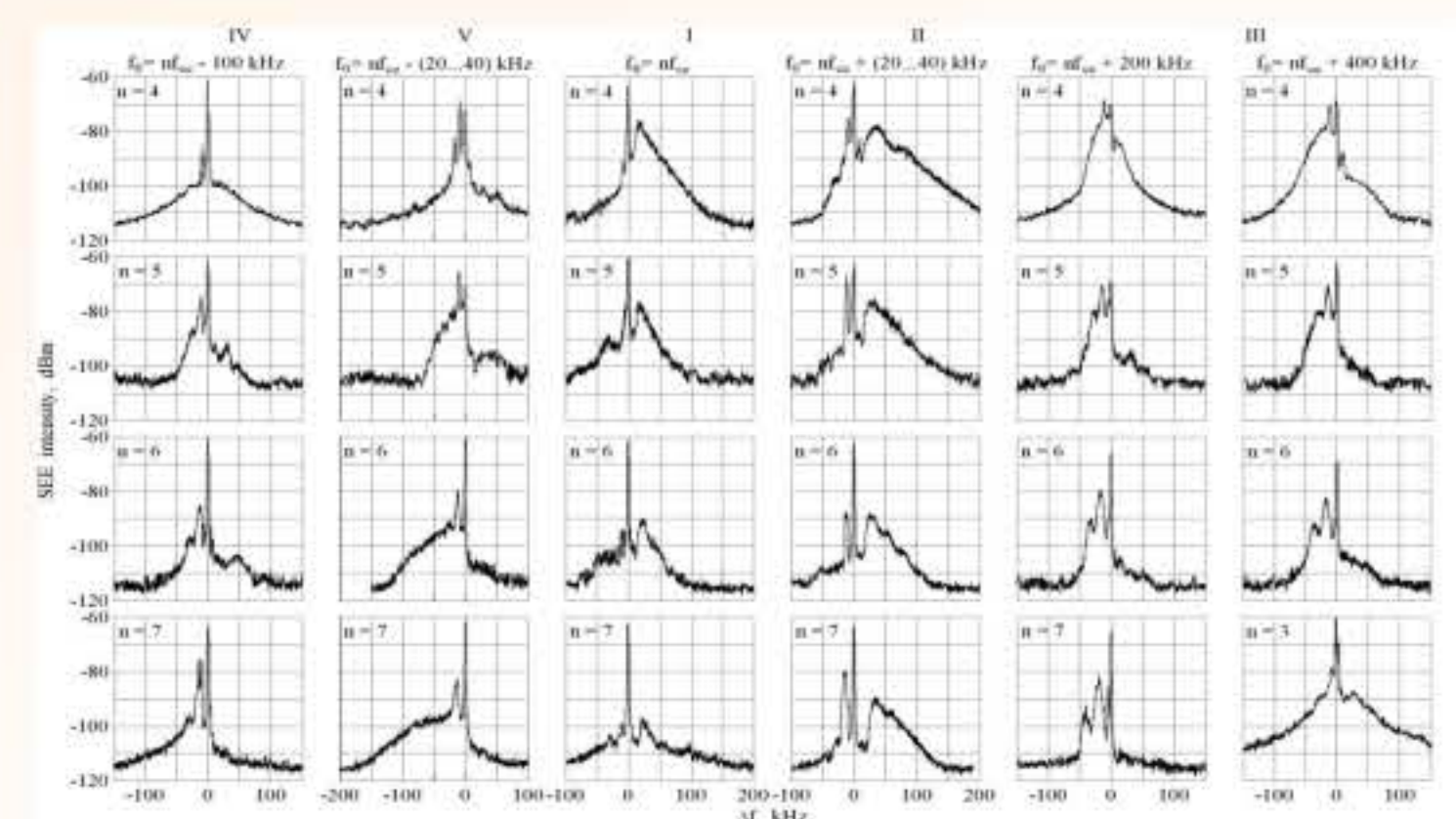
В первые миллисекунды воздействия происходит расширение спектра ИРИ за счет каскадной перекачки ленгмюровских волн в область низких частот. В дальнейшем – за счет сдвига области взаимодействия вниз от точки отражения – спектр обужается и появляется его тонкая структура (NCM).



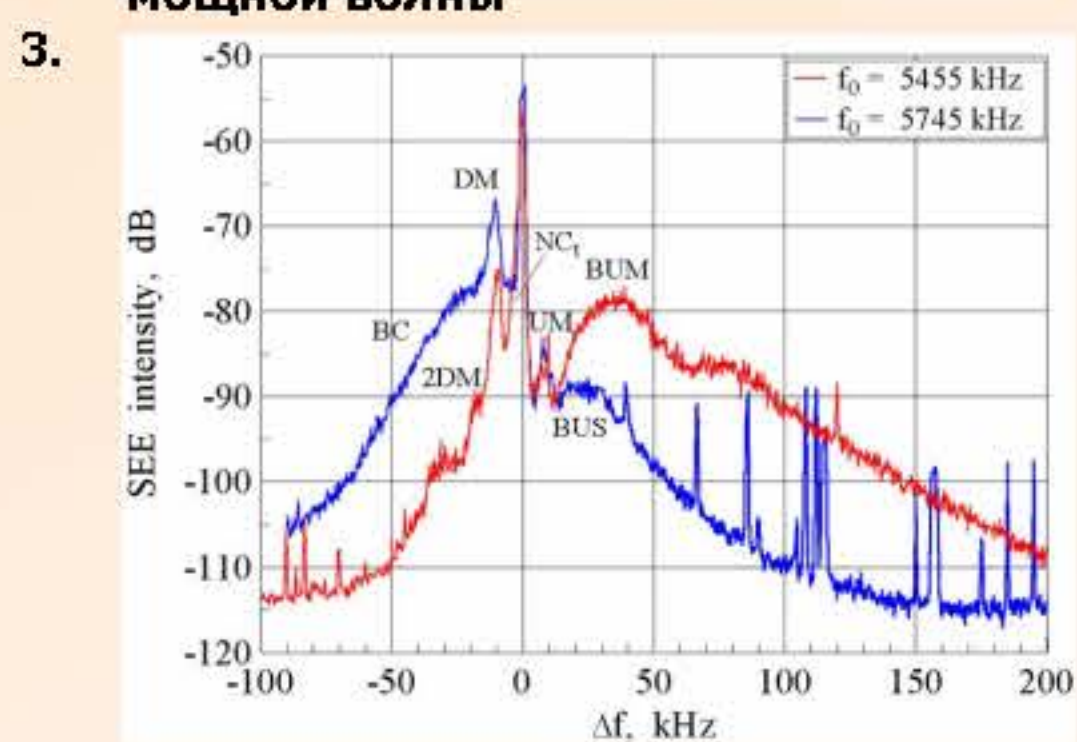
Последовательность спектров ИРИ после включения мощной волны при частоте воздействия $f_0 \approx 5f_{ce}$ и $f_0 < 5f_{ce}$

Результат :

при развитии спектральных компонент ИРИ, связанных с существованием верхнегибридных волн и вытянутых неоднородностей (DM, BC), подавляются компоненты ИРИ, связанные с существованием ленгмюровских волн, т.е. область взаимодействия мощной волны с ионосферной плазмой смещается от точки отражения в область верхнего гибридного резонанса.

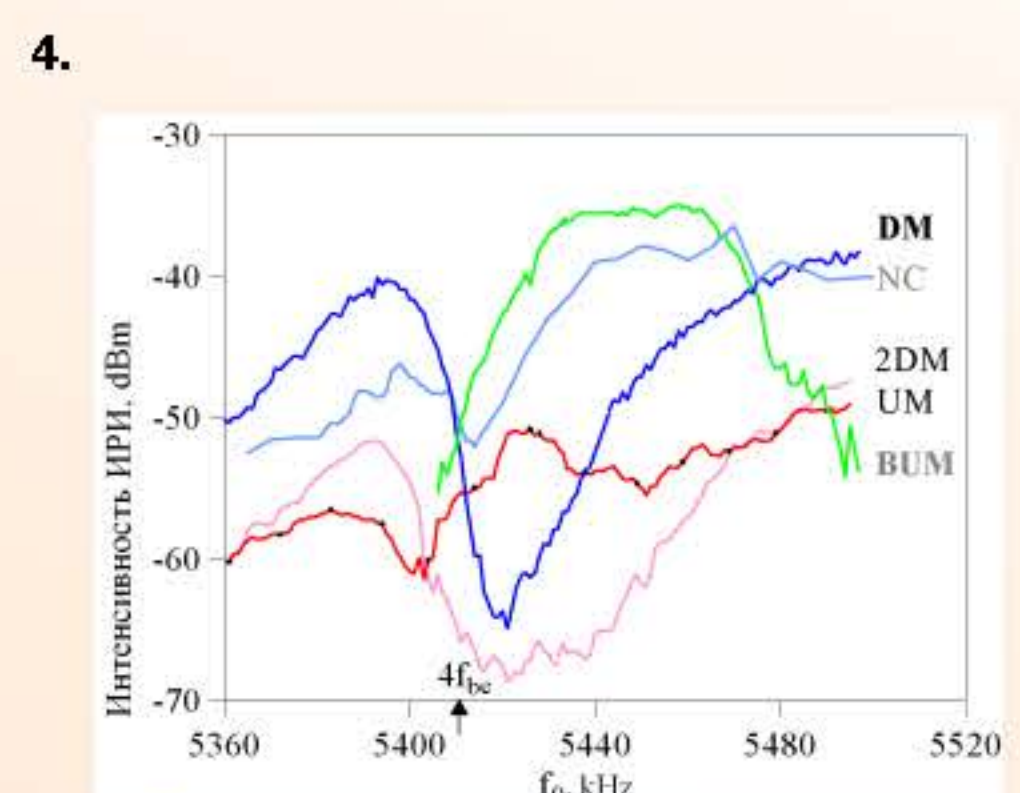


Поведение стационарных спектров ИРИ во всем диапазоне частот стенда «Сура».



Характерные спектры ИРИ при f_0 несколько (красный) и существенно (синий) выше $4f_{ce}$.
Результат:

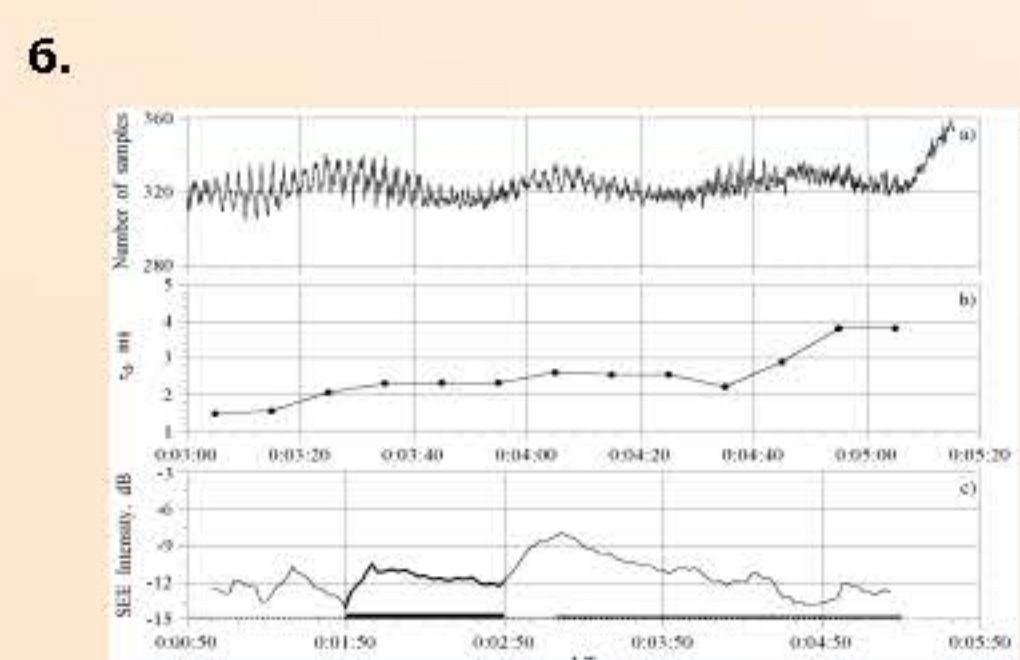
Наблюдается циклическая зависимость вида спектров ИРИ от частоты воздействия f_0 при ее изменении между последовательными гармониками электронной циклотронной частоты nf_{ce} при различных номерах гармоник n от $n=4$ до 7. При $f_0 \approx nf_{ce}$ взаимодействие мощной волны с ионосферной плазмой существенно ослабляется.



Результат:

В экспериментах по быстрому свипированию частоты воздействия вокруг циклотронных гармоник существенно повышается точность определения циклотронной частоты в области взаимодействия мощной волны с ионосферной плазмой.

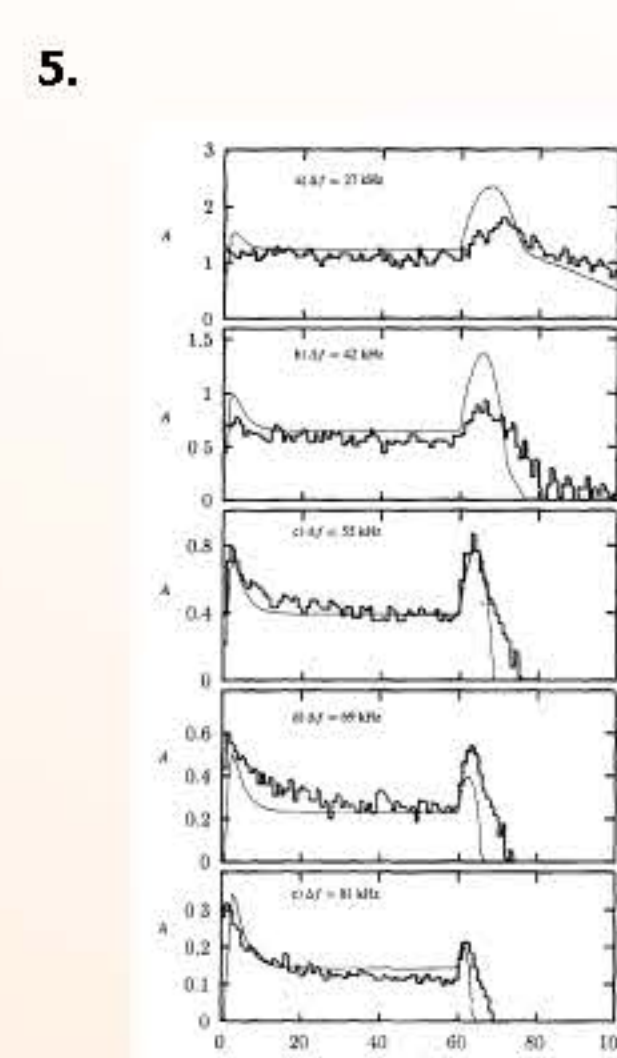
При увеличении частоты воздействия и ее проходе через циклотронную гармонику последовательно на одной и той же частоте (равной кратной циклотронной) достигаются минимумы интенсивности UM, интегральной интенсивности ИРИ, интенсивности DM. Частота BUM оказывается всегда выше кратной циклотронной.



Временной ход интенсивности оптического свечения в зеленой линии (панель а), времени релаксации ИРИ после выключения импульса накачки (панель б); интенсивности ИРИ (панель с). Точки над осью времени панели с) соответствуют импульсному воздействию, черный прямоугольник непрерывному, белый – интервалу времени, представленному на панелях а) и б).

Результат:

Искусственное оптическое свечение ионосферы регистрируется во время увеличенного (бесстолкновительного) затухания плазменных волн, оба эти эффекта связаны с ускоренными электронами.



Сопоставление динамики ИРИ (BC-компоненты) на фиксированных отстройках $\Delta f = f_0 - f_{BC}$ с модельными расчетами (тонкие линии), выполненными в рамках механизма «двойной трансформации» с использованием эмпирической модели пространственного спектра мелкомасштабных неоднородностей, при переходе от непрерывного режима воздействия к импульсному на 60-й секунде.

Результат:

Разработан способ оценки (восстановления) пространственного спектра мелкомасштабных неоднородностей по измерениям BC-компоненты ИРИ. Установлено, что спектр неоднородностей существенно дальше в область мелких масштабов в нижней части диапазона частот воздействующей волны (4.3-5.1 МГц), а также в области частот, несколько превышающих 4-ую циклотронную гармонику.

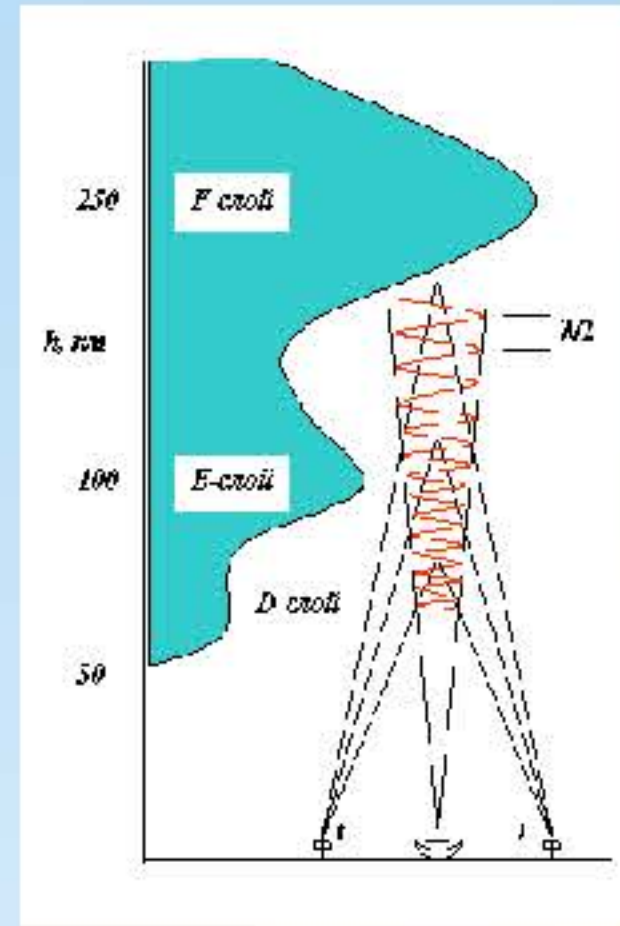
Результаты 1-3 получены в сотрудничестве с Институтом космической физики (Швеция) и Институтом аэронавтики им. Макса Планка (Германия); результат 6 – с Казанским госуниверситетом



ИСКУССТВЕННЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ - ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ИОНОСФЕРЫ

ОБНАРУЖЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Впервые искусственные периодические неоднородности (ИПН) были обнаружены в 1975 году в экспериментах по модификации ионосферы мощным высокочастотным радиоизлучением. Эти исследования были начаты по инициативе Г.Г. Гетманцева и проводились с помощью нагревного стенда ЯСТРЕБ в загородной лаборатории НИРФИ «Зименки». В настоящее время они проводятся на базе стенда СУРА.



ИПН формируются в поле мощной стоячей волны, образующейся в результате интерференции падающей на ионосферу и отраженной от нее волн. В поле стоячей волны возникает периодическая структура с неоднородностями электронной концентрации с пространственным периодом, равным половине длины мощной радиоволны. ИПН лоцируют радаром, осуществляя прием амплитуды и фазы обратно рассеянного сигнала. Резонансное рассеяние происходит при условии Брэгга. В случае обратного рассеяния оно приводит к равенству длин нагревной и пробной радиоволн.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕЛАКСАЦИИ ИПН

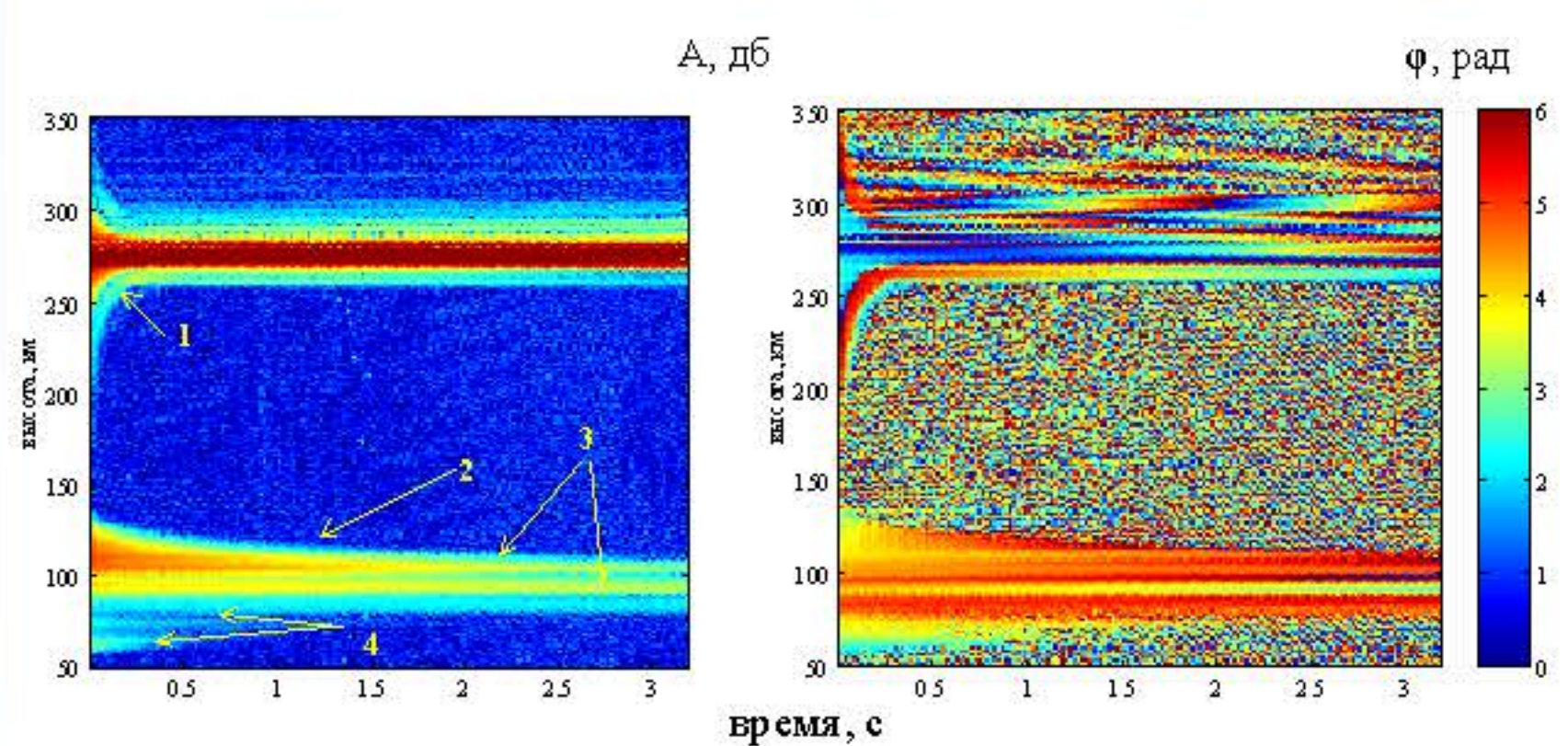
- **F-область** – действие пондеромоторной стрикционной силы с возбуждением ионного звука.
- **E-область** – диффузионное перераспределение плазмы.
- **D-область** – температурная зависимость коэффициента прилипания электронов к молекулам атомарного кислорода.

Теоретический анализ процессов формирования и релаксации ИПН позволил разработать методы определения большого числа параметров ионосферы и нейтральной атмосферы на основе измерения высотно-временной зависимости амплитуды и фазы сигнала, рассеянного ИПН.

ИОНОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, ИЗУЧАЕМЫЕ МЕТОДОМ РЕЗОНАНСНОГО РАССЕЯНИЯ РАДИОВОЛН НА ИПН

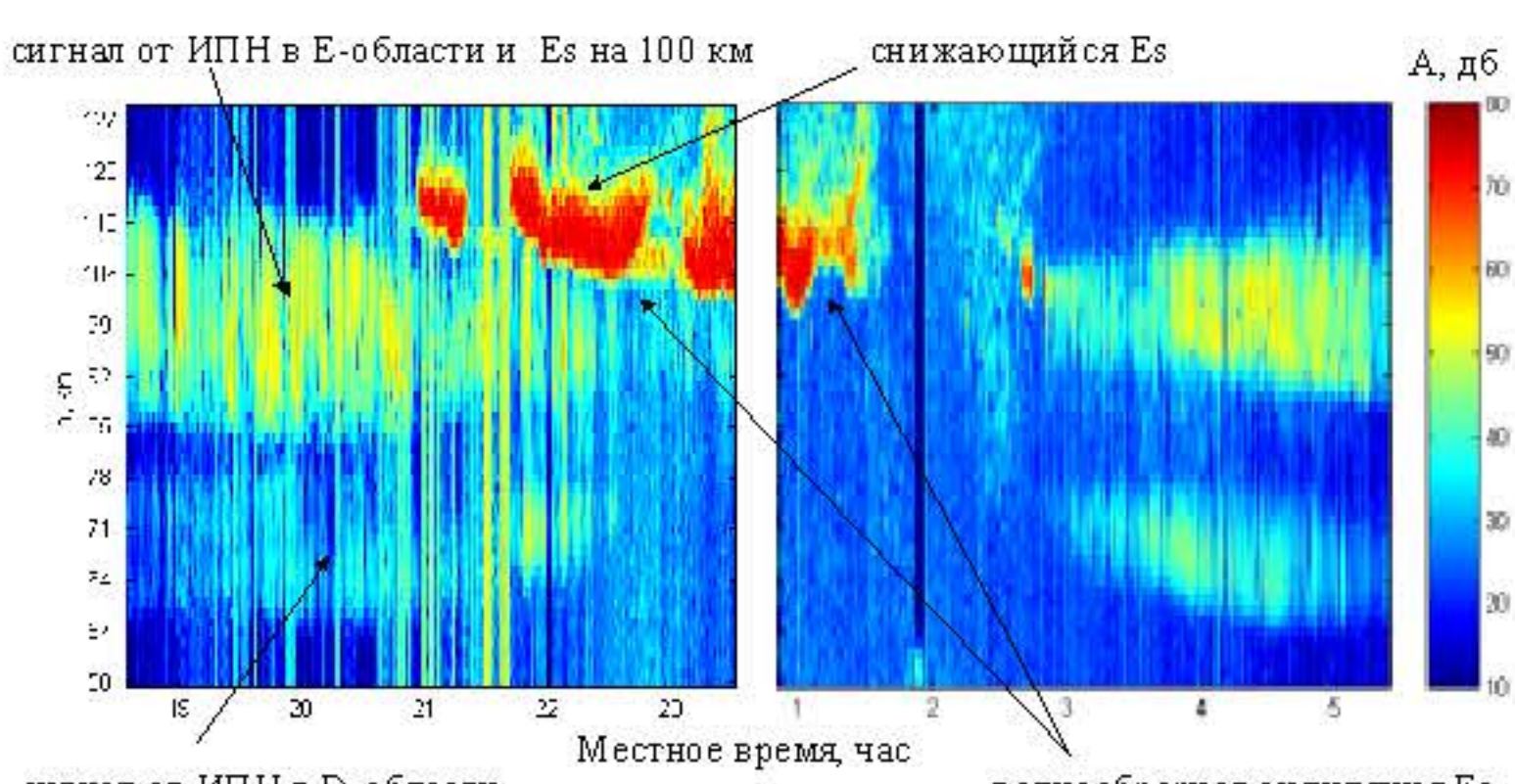
- λ Внутренние гравитационные волны.
- λ Неоднородная структура нижней ионосферы, в том числе, расслоение регулярного E-слоя.
- λ Спорадический слой E и его неоднородная структура.
- λ Расслоение профиля электронной концентрации с нижней части D-области до высоты максимума F-слоя.
- λ Восходные и заходные явления в области D.

Пример высотно - временной зависимости амплитуды и фазы сигнала, рассеянного ИПН, 7 апреля 2004 г., Васильсурск



1 - сигнал от ИПН в F-области, ионный звук 2 - сигнал от ИПН в E-области
3 - рассеянный сигнал от «двойного» E, 4 - сигналы от ИПН в D-области

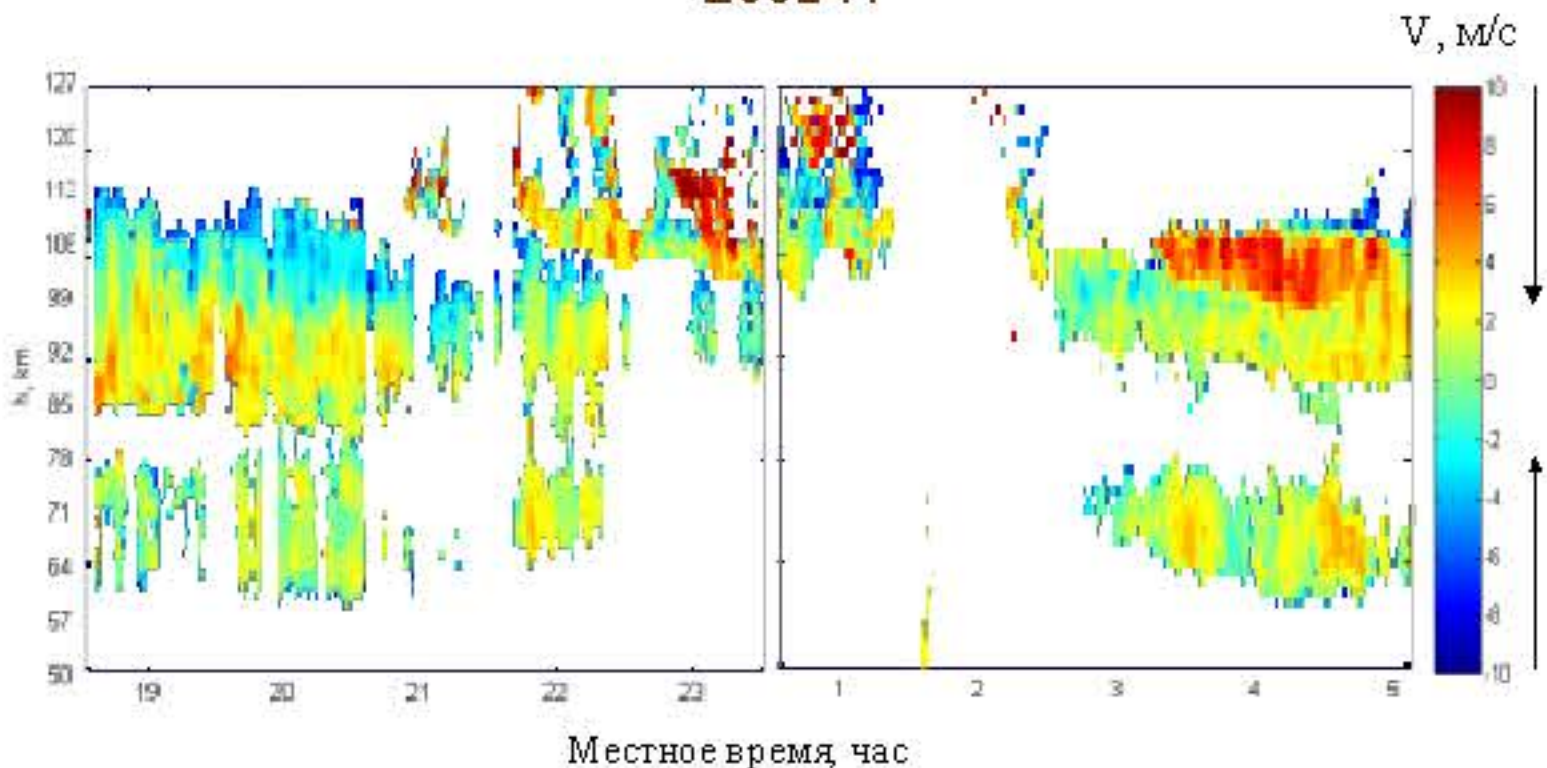
Высотно-временная зависимость амплитуды рассеянного сигнала в заходно-восходные часы 15-16 июня 2001 г.



ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНОСФЕРЫ И НЕЙТРАЛЬНОЙ АТМОСФЕРЫ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ ИПН

- λ Высотное распределение электронной концентрации, включая межслоевую E-F впадину (долину).
- λ Температура и плотность атмосферы на высотах E-области.
- λ Скорости вертикальных движений в D- и E-областях
- λ Турбулентные скорости и высота турбопаузы.
- λ Относительная концентрация отрицательных ионов кислорода, концентрации атомного кислорода и возбужденного молекулярного кислорода в состоянии $^1\Delta_g$ в D-области.
- λ Ионный состав спорадического слоя E.
- λ Электронная и ионная температуры в F-области.

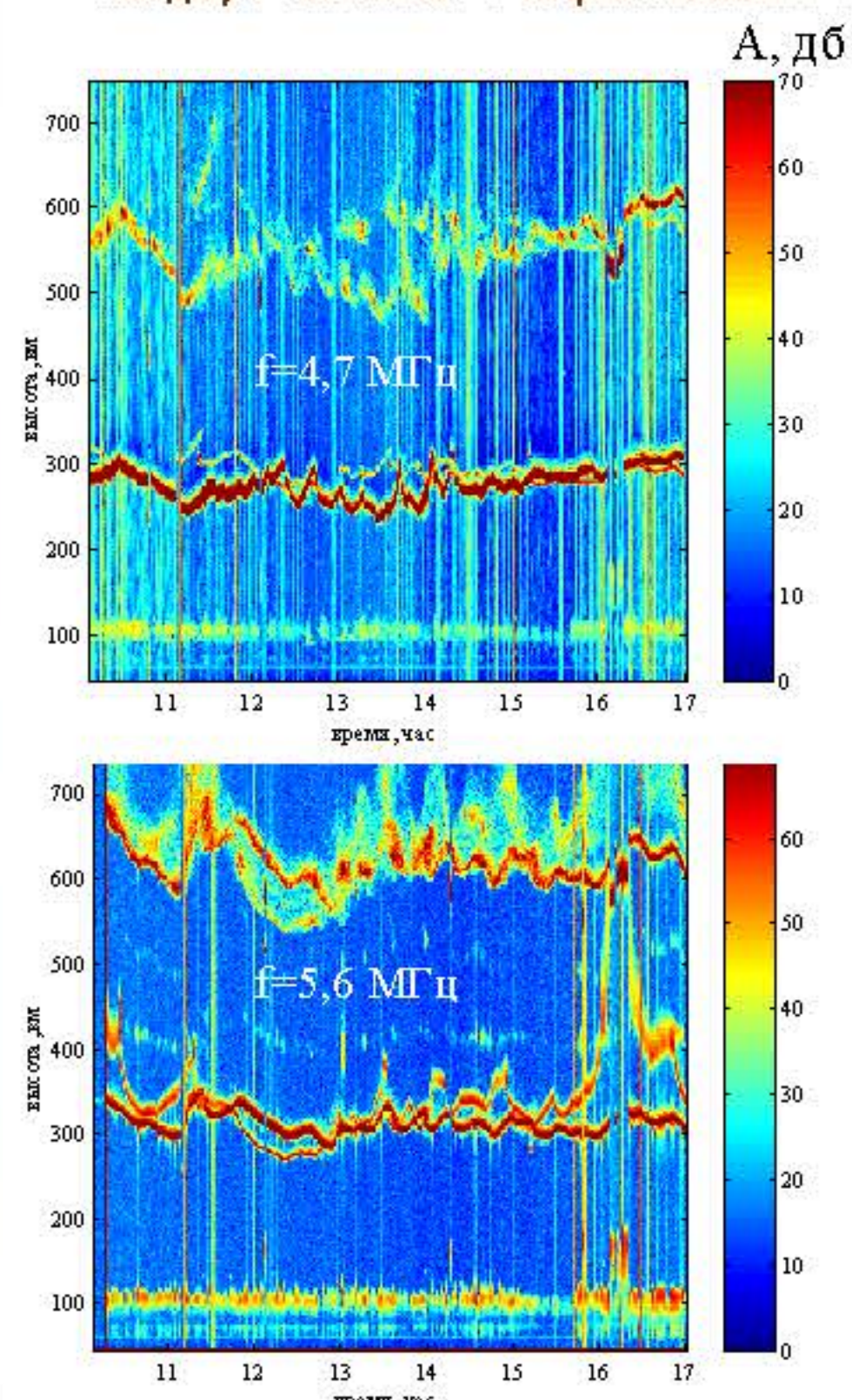
Высотно-временная зависимость скорости вертикального движения плазмы в заходно-восходные часы 15-16 июня 2001 г.



ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ РЕЗОНАНСНОГО РАССЕЯНИЯ РАДИОВОЛН НА ИПН

- λ Изучены основные характеристики межслоевой E-F впадины (долины), установлено, что ее нижняя граница нестабильна.
- λ Изучены сезонно-суточные вариации скорости вертикального движения ионосферной плазмы в D- и E-областях ионосферы.
- λ Предложен метод определения концентрации металлических ионов в спорадическом слое E.
- λ Исследованы восходно-заходные явления в D-области.
- λ Обнаружена асимметрия высотных зависимостей амплитуды и времени релаксации обратно рассеянных сигналов - запаздывание роста амплитуды сигнала на восходе Солнца на высоте ниже 70-75 км.
- λ Обнаружена двухслойная стратификация D-области ионосферы.

Измерение методом ИПН одновременно на двух частотах 4 апреля 2006 г.

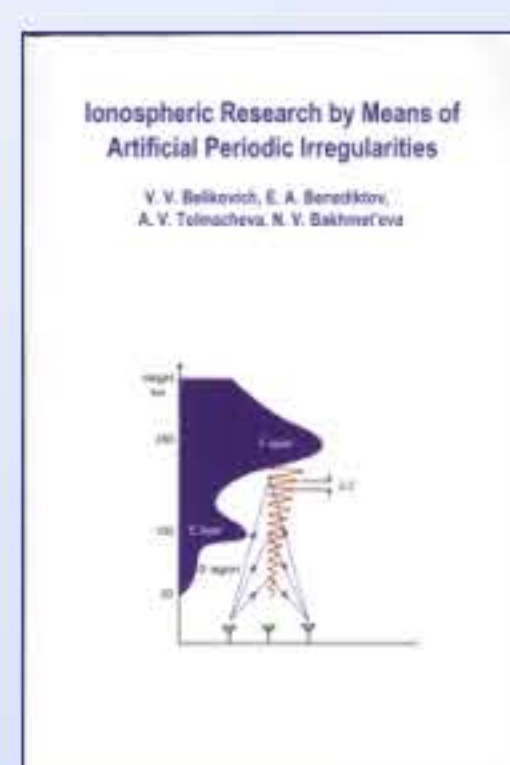


Яркая запись амплитуды сигнала, рассеянного ИПН (высоты 60-120 км) и сигнала, зеркально отраженного от F-области ионосферы (высота около 300 км).

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ИПН

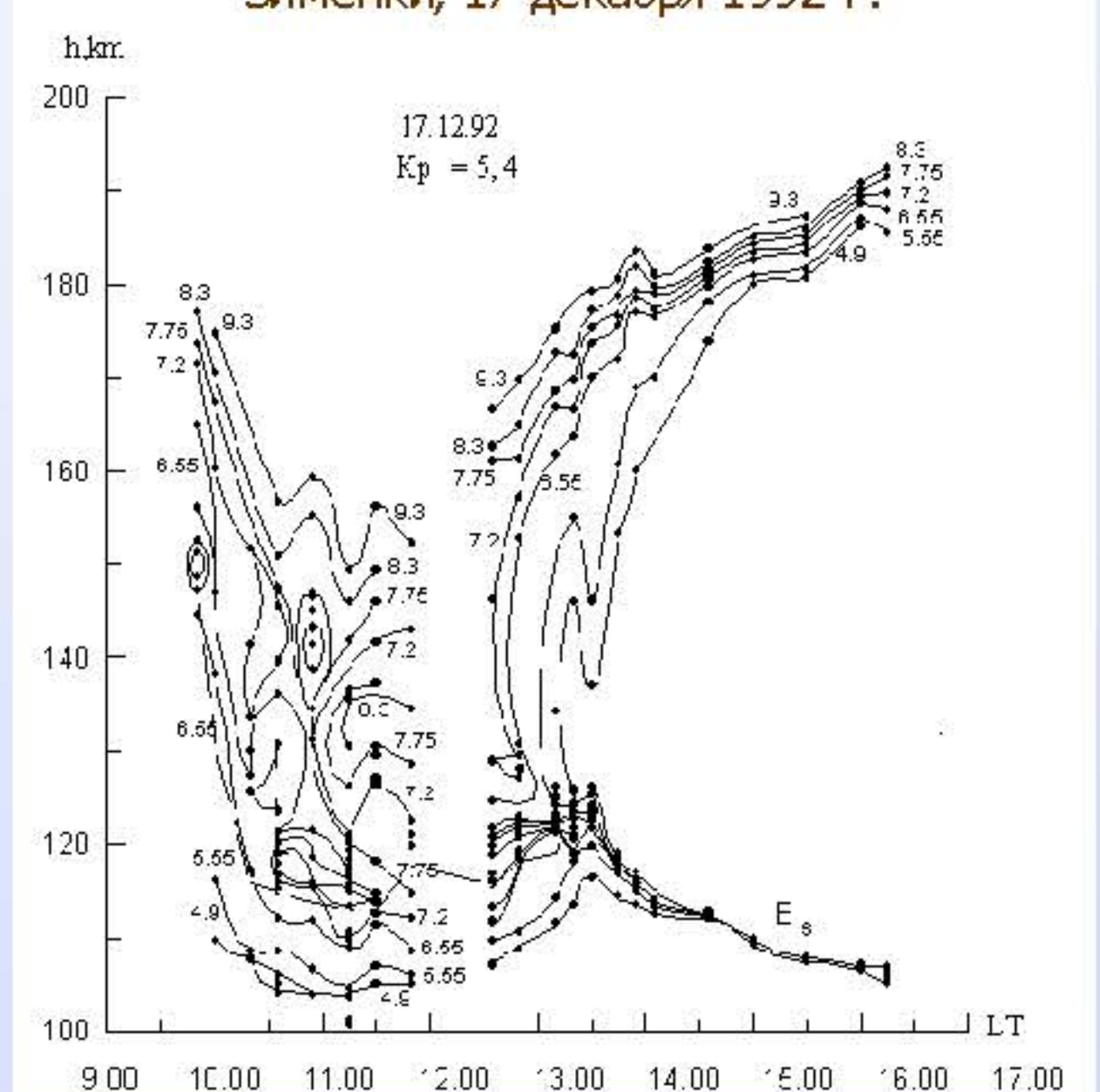
В последние годы разработана методика и создана оригинальная аппаратура для исследования ионосферы методом ИПН на двух частотах одновременно. В апреле 2006 года на базе стенда СУРА проведены первые эксперименты. Применение двухчастотного метода позволит проводить одновременное измерение большого числа ионосферных параметров с улучшенной точностью.

Метод исследования ионосферы на базе создания ИПН, хорошо сочетается с методом частичных отражений, основанном на рассеянии радиоволн на естественных неоднородностях ионосферной плазмы в D-области ионосферы. Комбинация этих методов позволит осуществлять мониторинг нижней ионосферы в области высот 60-130 км.



Приоритет НИРФИ в исследованиях ионосферы методом ИПН признан мировой наукой. Метод применялся на нагревных стендах в Аресибо (Пуэрто-Рико), EISCAT (Тромсе, Норвегия), HAARP (Аляска, США). Результаты исследований ИПН отражены в монографии В.В. Беликовича, Е.А. Бенедиктова, А.В. Толмачевой и Н.В. Бахметевой, дополненный перевод которой на английский язык вышел в Германии в издательстве Copernicus. По результатам исследований опубликовано более 50 статей, получено пять авторских свидетельств.

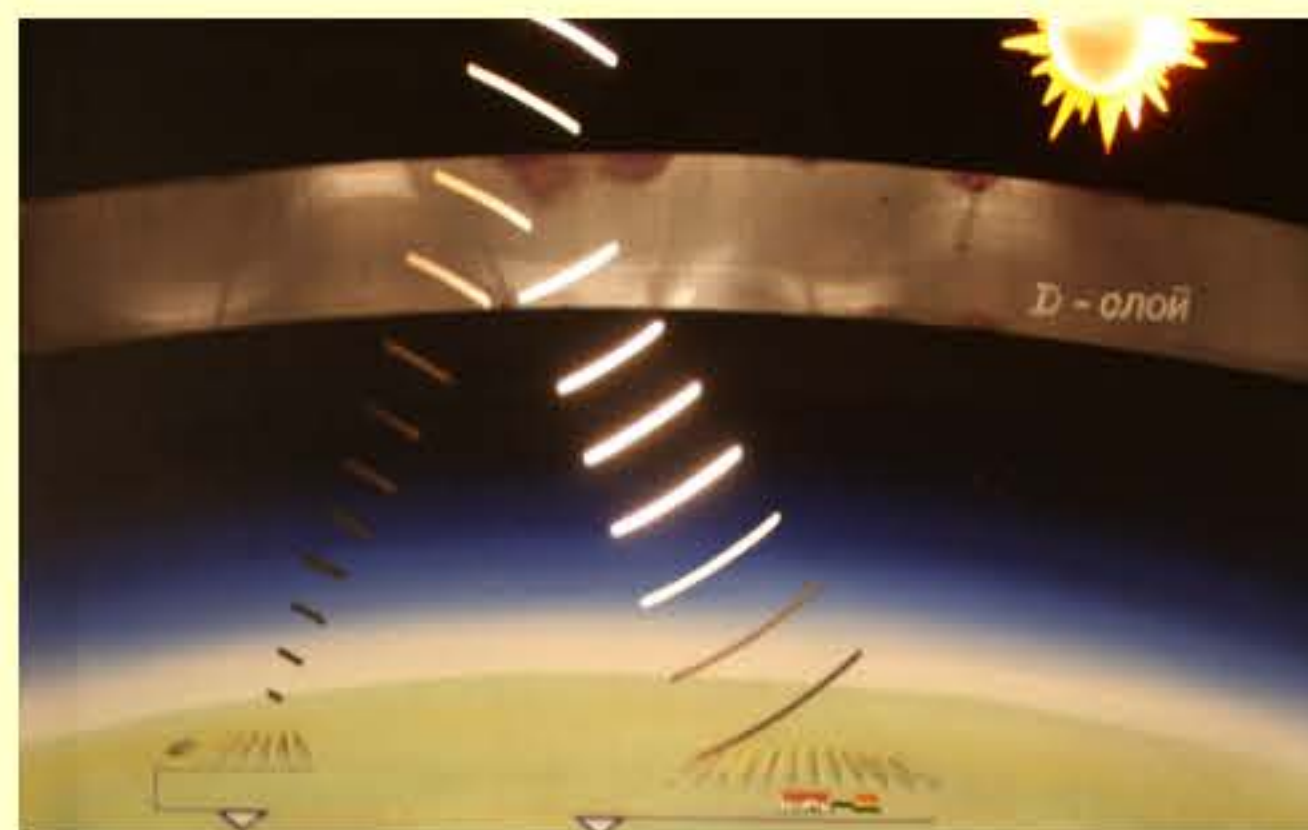
Изолинии электронной концентрации, Зименки, 17 декабря 1992 Г.



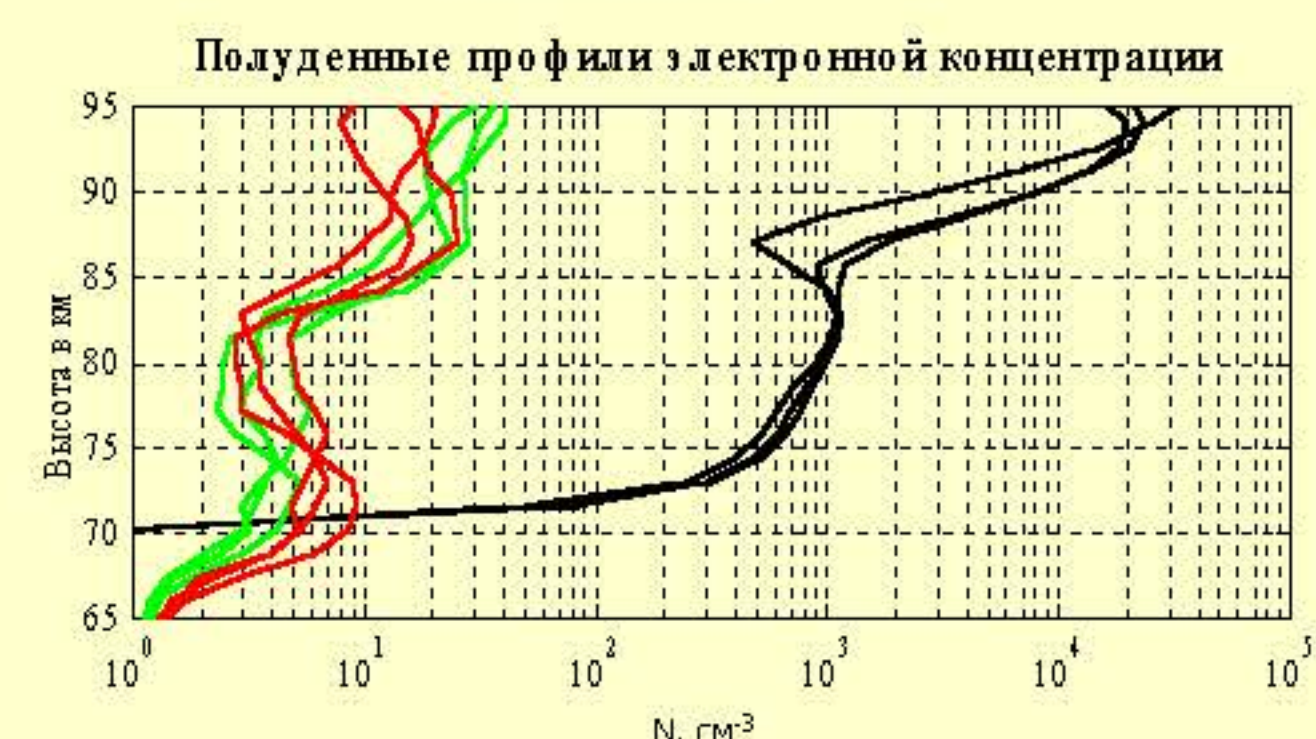
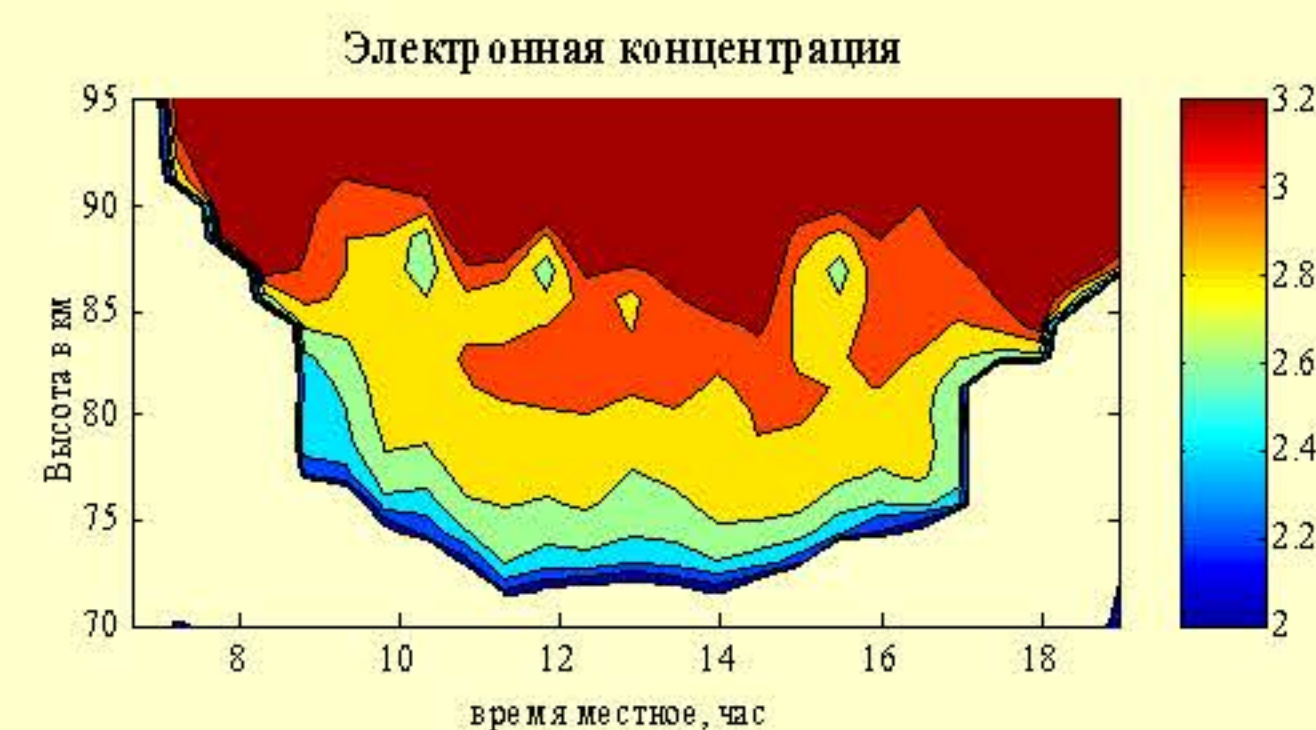
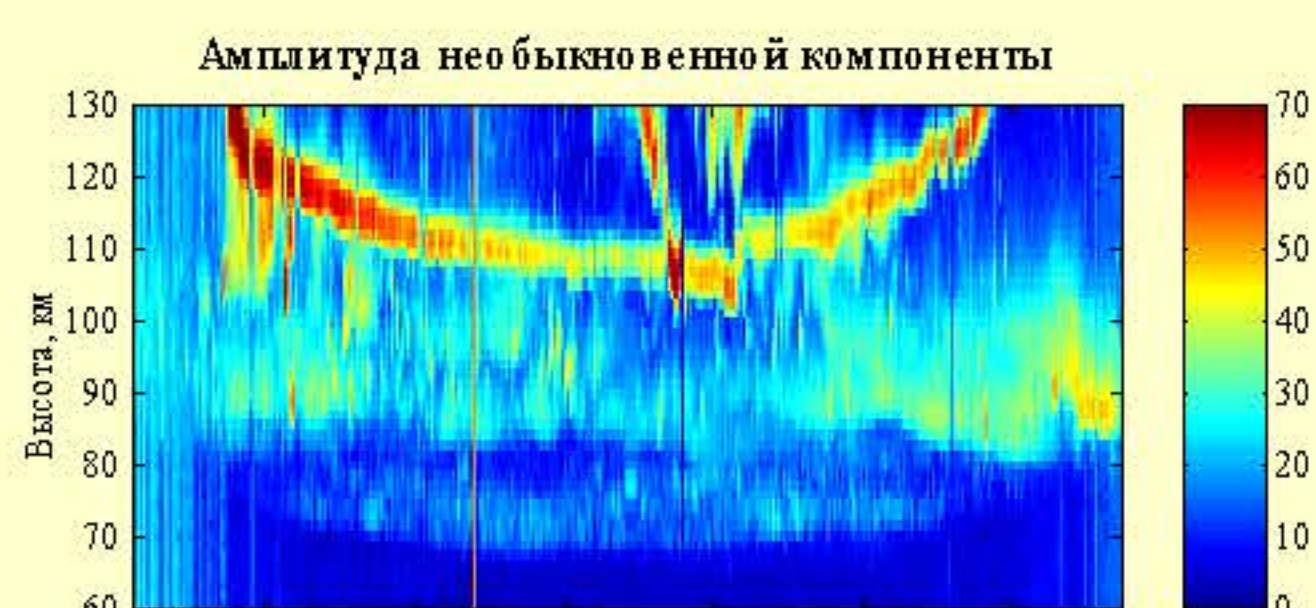
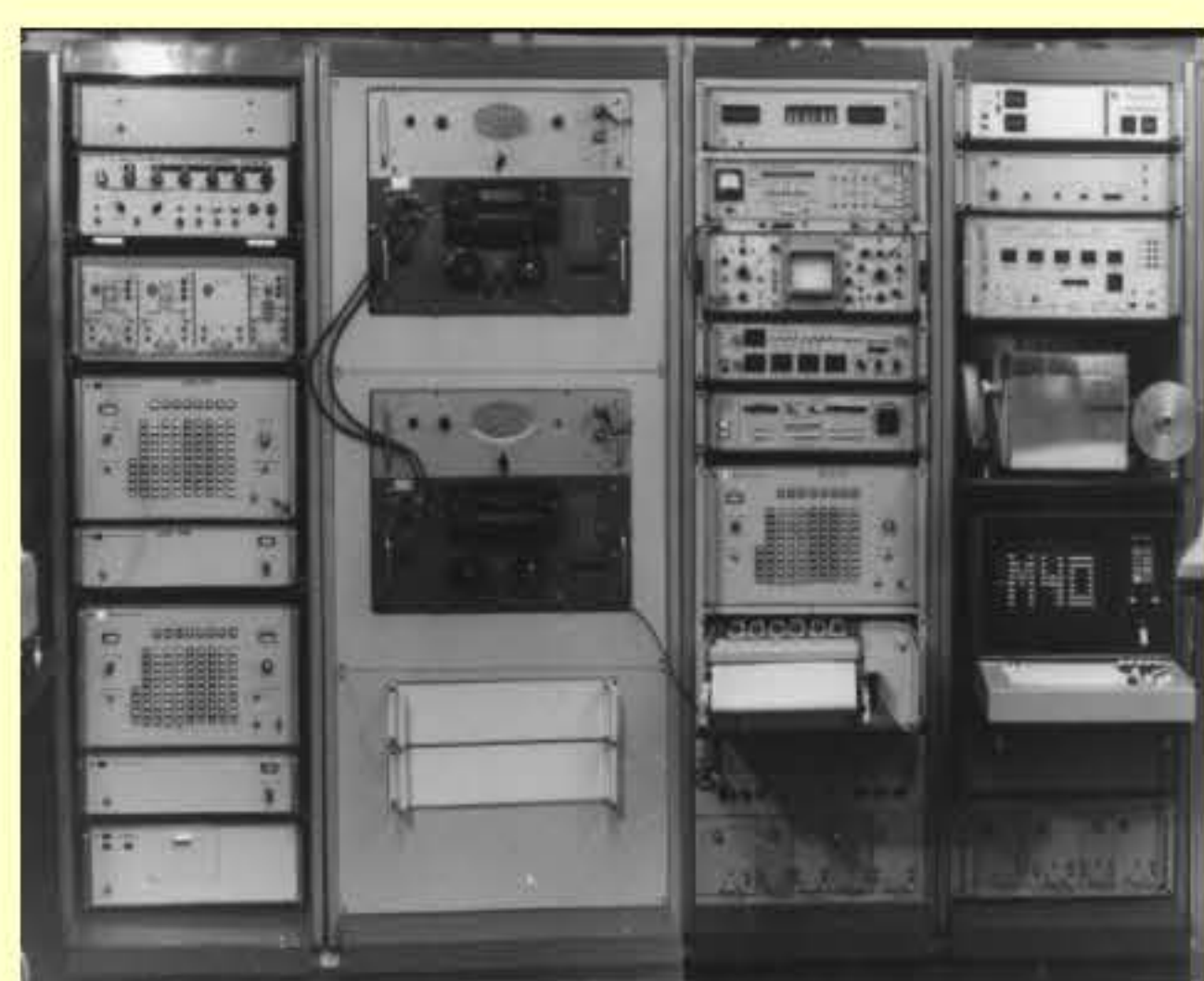


ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ ЧАСТИЧНЫХ ОТРАЖЕНИЙ

Метод частичных отражений – это радиолокационный метод исследования нижней ионосферы (высоты 50 - 90 км). Он основан на рассеянии радиоволн на естественных неоднородностях ионосферной плазмы. По характеристикам этих сигналов можно получать высотный профиль электронной концентрации, скорости движений и параметры неоднородностей. Наибольшее распространение получила методика дифференциального поглощения, в которой электронная концентрация находится по отношению амплитуд обыкновенной и необыкновенной компонент рассеянных сигналов. Во второй половине 60-х годов метод частичных отражений начал осваиваться в ИРФИ. К концу 1969 года на территории загородной лаборатории Зименки был создан первый вариант оборудования, способный регистрировать рассеянные сигналы на частоте 5,75 МГц. Первые эксперименты на установке показали возможность измерения профилей электронной концентрации в период вспышек на Солнце, а также необходимость применения более низкой частоты для уверенных измерений в спокойных условиях.



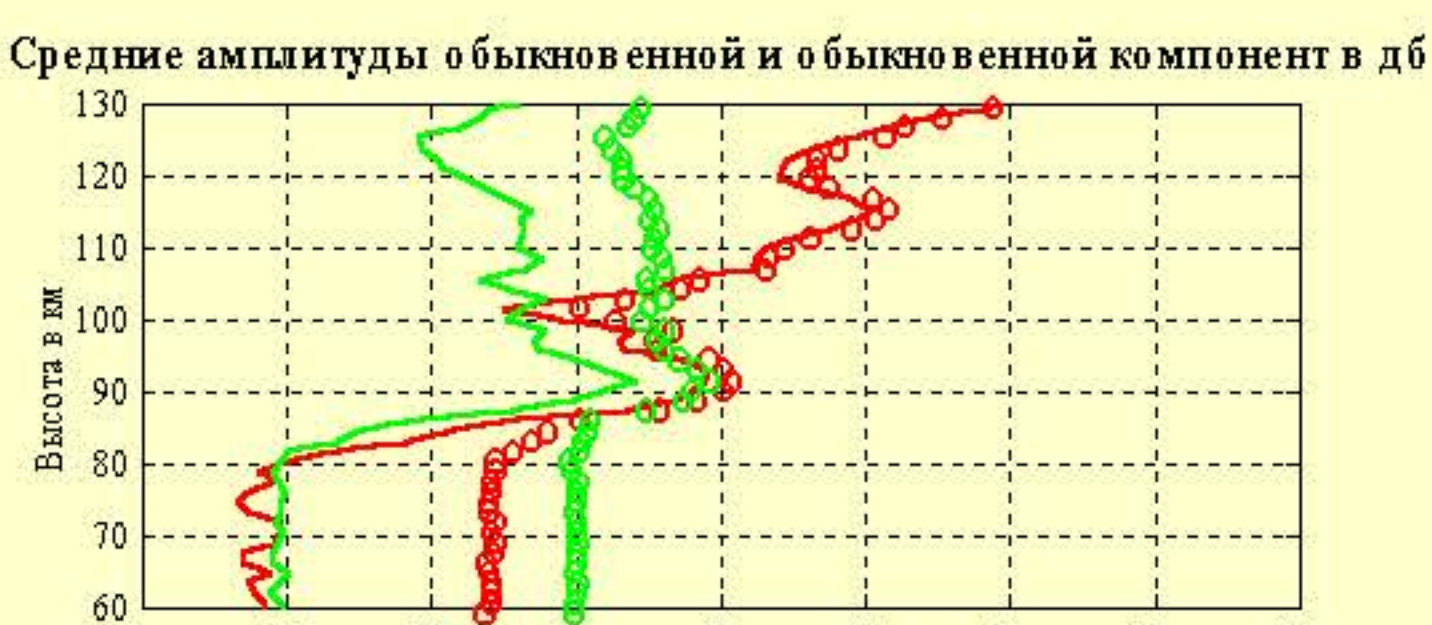
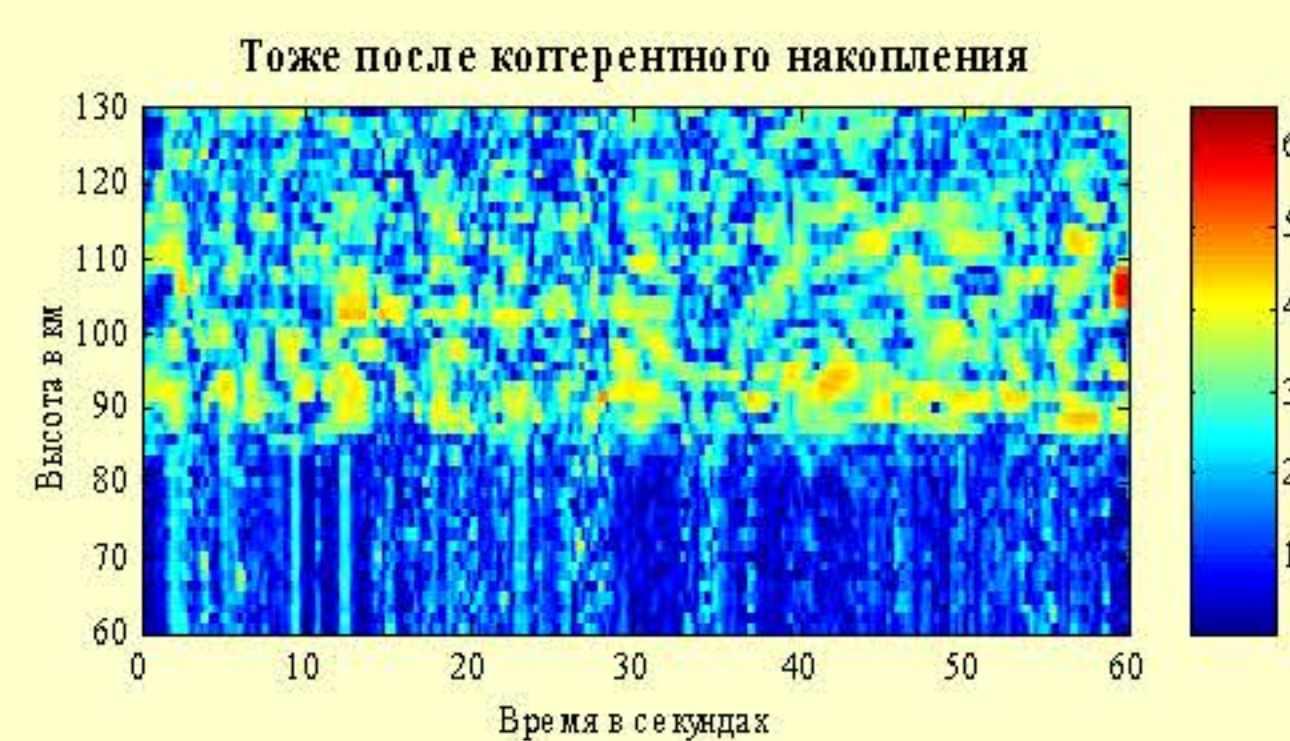
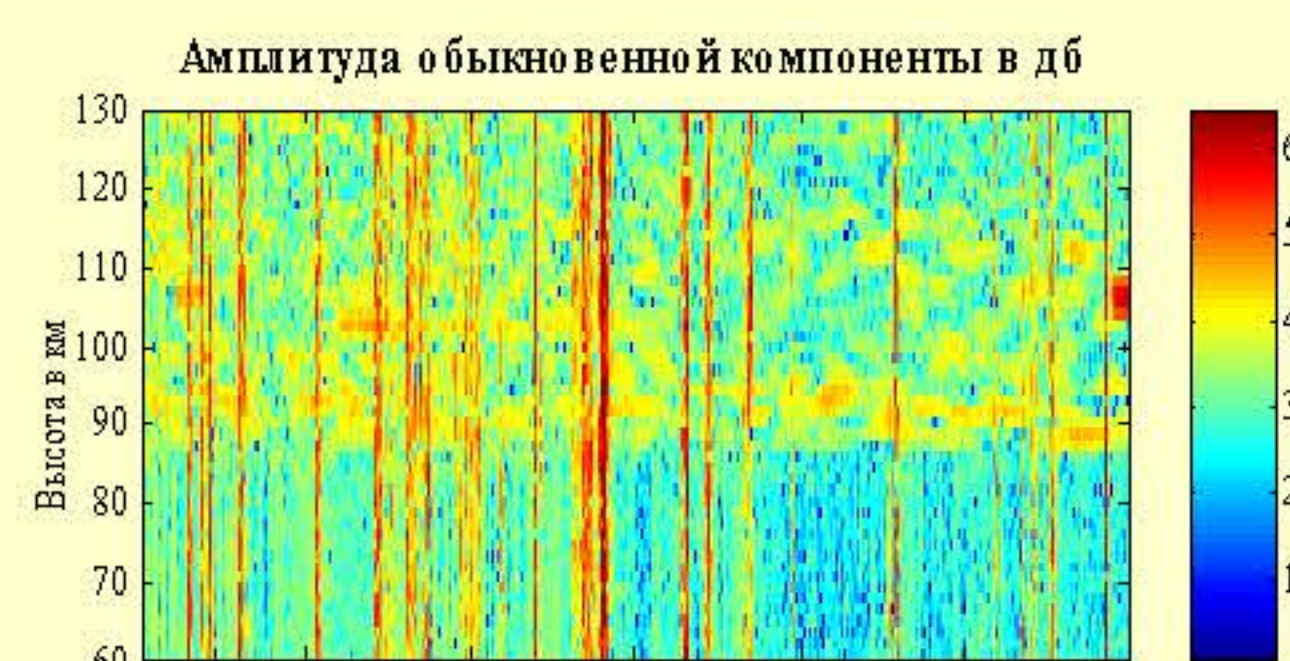
В 70-е годы был создан измерительный комплекс, работающий на частотах 5,75 и 3 МГц. Он состоял из двух импульсных передатчиков, приемно-регистрирующей аппаратуры и двух приемно-передающих антенн. Одновременно совершенствовалась теория обратного рассеяния радиоволн применительно к методу частичных отражений и разрабатывались методики определения ионосферных параметров.



Высотное-временное поведение амплитуды рассеянных сигналов и электронной концентрации 4 апреля 2004 года. Высотные профили электронной концентрации и амплитуды рассеянных сигналов с усреднением на 30 мин.

Большой объем исследований методом частичных отражений был проведен в 80-е годы. Получено более 2000 профилей в различных гелио-геофизических условиях. Исследована зимняя аномалия области D, проведены исследования на авроральных широтах в п. Туманный Мурманской области и на крайнем юге вблизи г. Душанбе. На базе этих исследований разработана эмпирическая модель высотного профиля электронной концентрации в среднеширотной D-области ионосферы, определены высотные профили электронной концентрации и коэффициент потерь электронов в периоды солнечных вспышек.

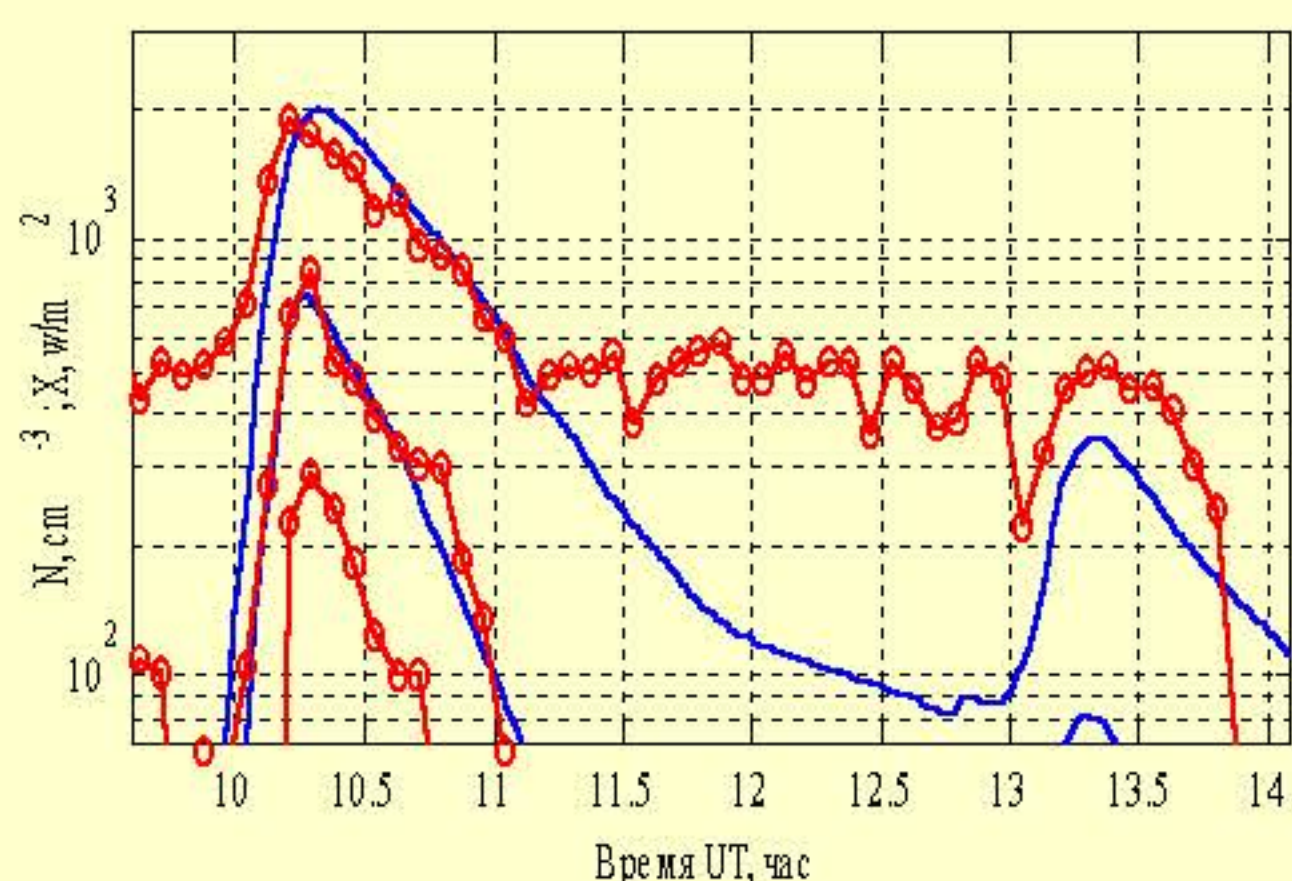
Новый этап в развитии экспериментальных исследований ионосферы методом частичных отражений на качественно новом уровне начался в 1996г. Компьютерное оборудование позволило вести регистрацию сигналов в 12-разрядном двоичном коде и с шагом по высоте около одного километра. Современные компьютерные технологии обработки принятых сигналов позволили использовать метод когерентного накопления сигнала, который снижает уровень помех на 15-20 дБ.



Когерентная обработка сигналов частичных отражений позволяет снизить уровень шумов и помех на 15-20 децибел и, тем самым, значительно повысить точность измерений электронной концентрации.

Ионосферный эффект солнечной вспышки

Солнечная вспышка 08.04.2004



Электронная концентрация во время солнечной вспышки 08.04.2004 на трех высотах 63, 67 и 79 км (красные кружки) и поток рентгеновского излучения в диапазонах 1-8 и 0.5-3 ангстрем (синие линии).

Хорошо видно, что электронная концентрация следует потоку рентгеновского излучения. Малая вспышка в 13 часов 20 минут UT с максимальным потоком рентгеновского излучения $1.4 \cdot 10^{-6}$ и $1.02 \cdot 10^{-7}$ ватт/м² в соответствующих диапазонах практически не дает заметного увеличения электронной концентрации.

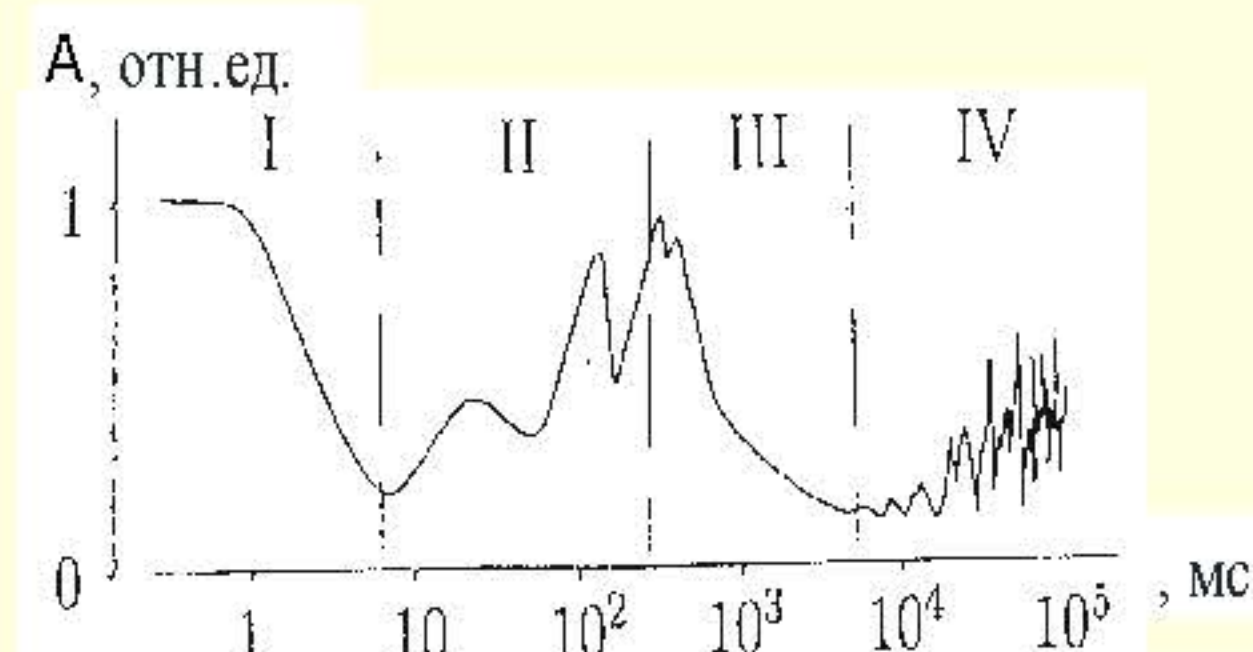
Исследования последних лет позволили получить новые сведения о нижней ионосфере. Было установлено, что в спокойных и возмущенных условиях концентрация электронов в области D пропорциональна интенсивности ионизирующего излучения $N \sim q$. Поскольку господствующие аэрономические теории предполагают зависимость $N \sim q^{1/2}$, то высказана гипотеза о том, что основной процесс потерь электронов в области D обусловлен не диссоциативной рекомбинацией, а рекомбинацией электронов и ионов на аэрозольных и пылевидных частицах. Для изучения особенностей полярной и среднеширотной ионосферы ведутся исследования совместно с Полярным геофизическим институтом КНЦ РАН, имеющим установку частичных отражений с похожими параметрами.

Всего по методу частичных отражений в ФГНУ «ИРФИ» опубликовано более 30 научных работ. Опыт работы ФГНУ «ИРФИ» был использован при создании установок частичных отражений в Полярном геофизическом институте КНЦ РАН, и Институте атмосферной физики Германской демократической республики. Метод частичных отражений может быть успешно использован для мониторинга нижней ионосферы. Исследования последнего десятилетия проведены при финансовой поддержке РФФИ.

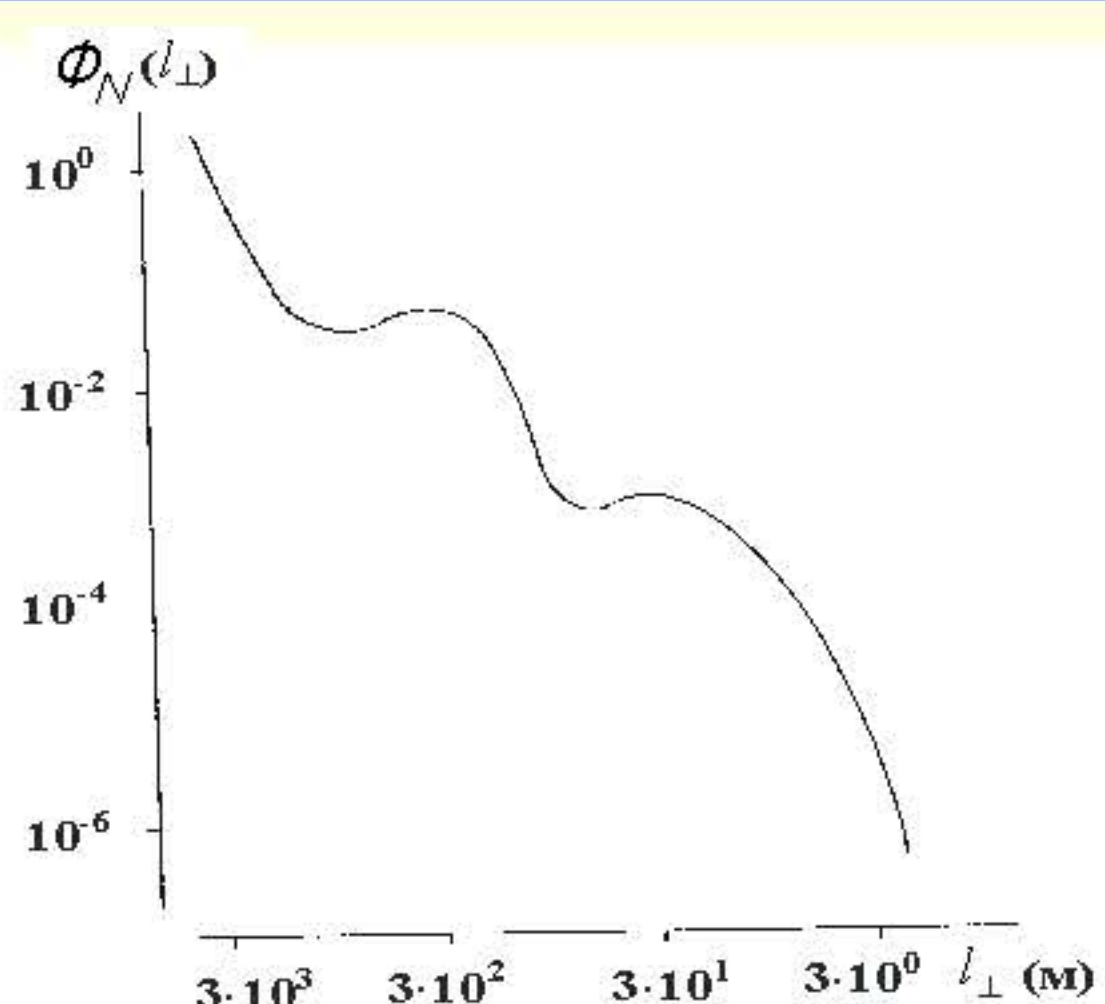


ИСКУССТВЕННАЯ ИОНОСФЕРНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ (ИИТ) В F-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ

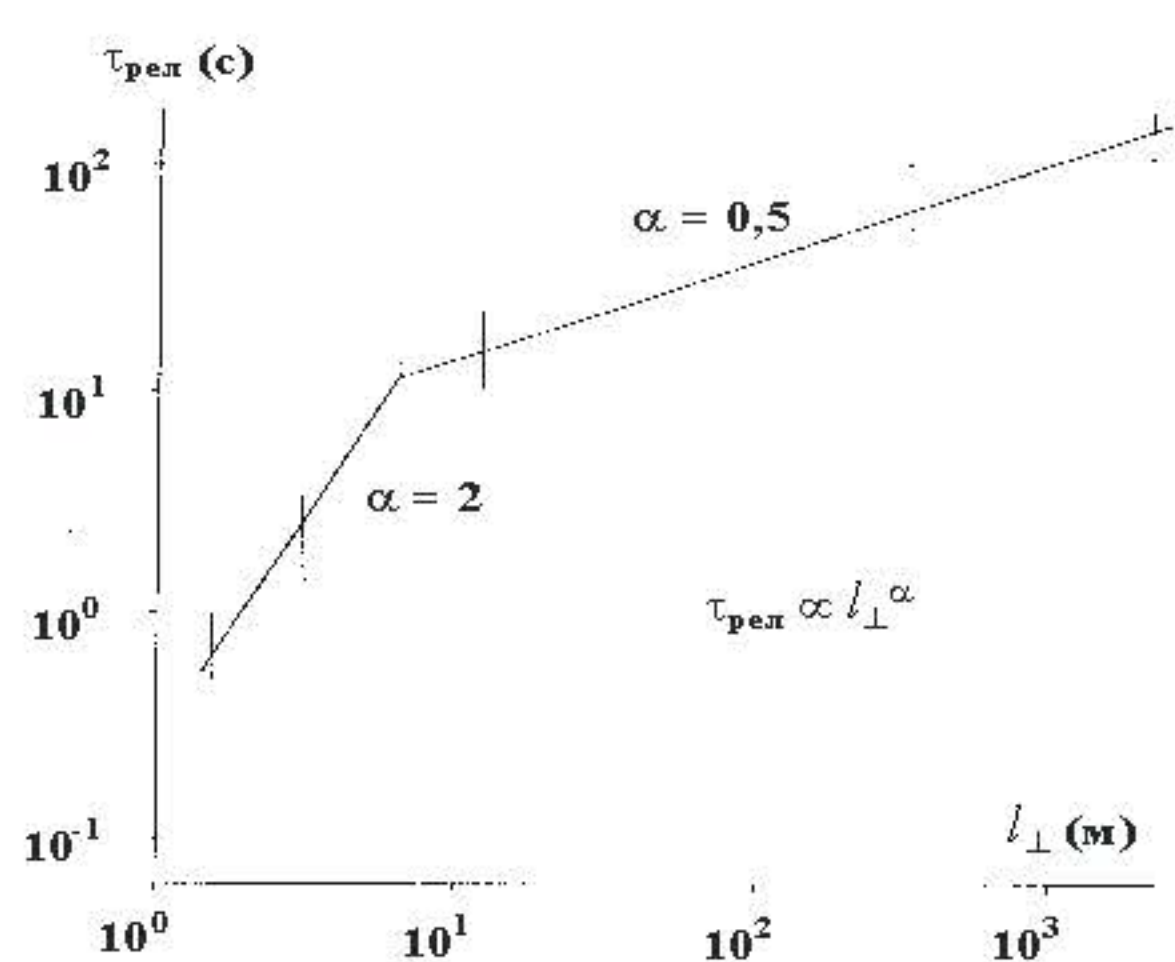
I. Четыре стадии развития взаимодействия мощной радиоволны O-поляризации с плазмой F-области ионосферы. Первая стадия (I) – развитие *стрикционной параметрической неустойчивости (СПН)* – длится 10 – 20 мс с момента включения волны накачки (ВН) в плазме и характеризуется уменьшением интенсивности принимаемого сигнала ВН на 10 – 20 дБ. Вторая стадия (II) длится 0.5 – 3 с, характеризуется восстановлением уровня отраженного сигнала ВН с появлением характерных квазипериодических осцилляций (пиков) ее амплитуды. Третья стадия (III) – развитие *тепловой (резонансной) параметрической неустойчивости (ТПН)* – наступает через 0.5 – 10 с после включения ВН и сопровождается генерацией мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей (МИИН) с $l_{\perp} \leq 30 - 50$ м. Четвертая стадия (IV) – развитие *самофокусирующей неустойчивости* мощной радиоволны – наступает через 10 – 30 с после включения ВН и сопровождается ростом интенсивности среднемасштабных (с $l_{\perp} \approx 0.1 - 1$ км) и крупномасштабных (с $l_{\perp} \geq 1$ км) искусственных ионосферных неоднородностей (ИИН).



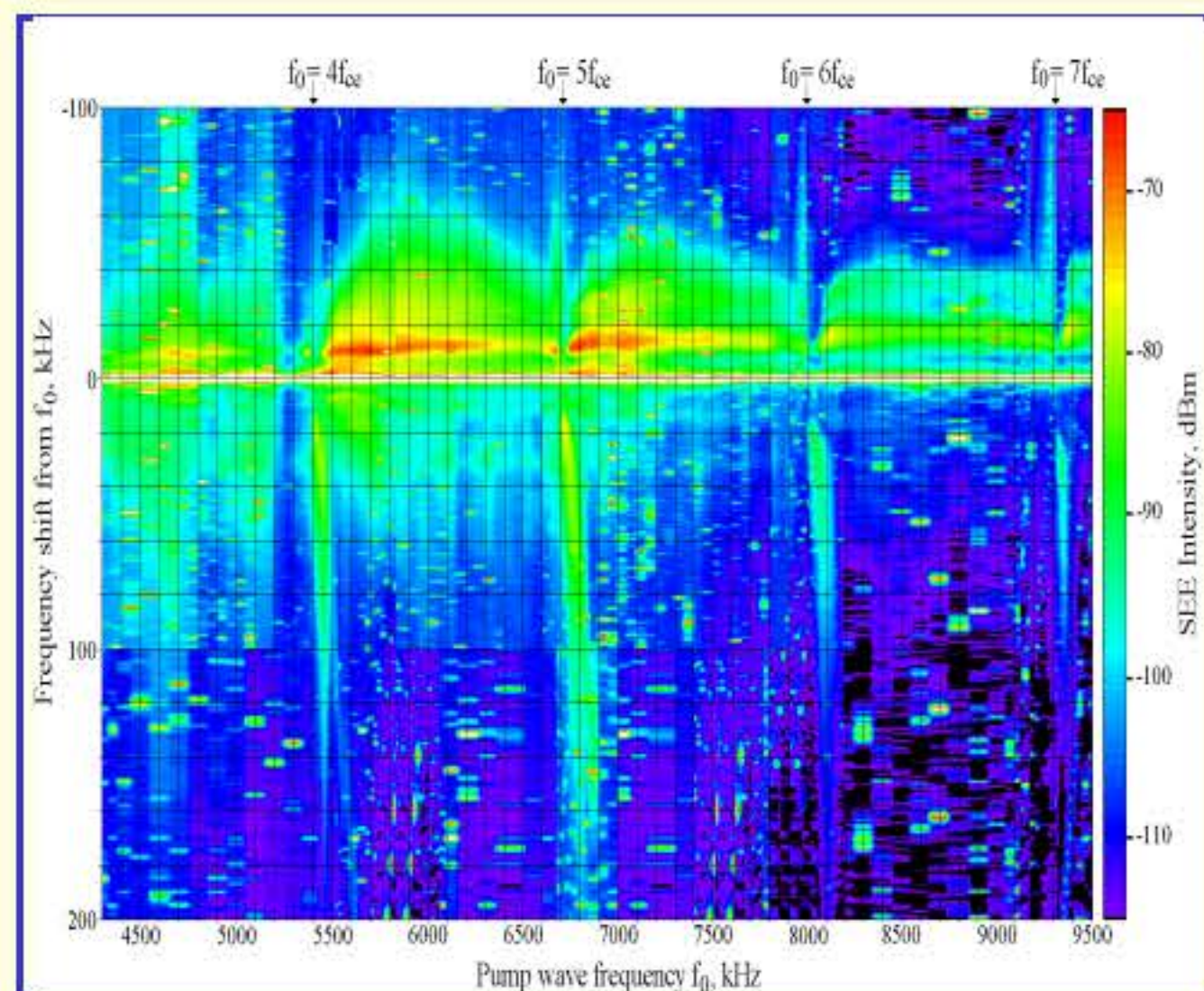
II. Спектральные характеристики ИИТ. При кусочно-степенной аппроксимации зависимости спектральной плотности флуктуаций плотности плазмы $\Phi_N(l_{\perp}) \propto l_{\perp}^p$ было определено, что: $p \approx 4 - 5$ для $l_{\perp} \approx 1 - 3$ м, $p \approx 2 - 3$ для $l_{\perp} \approx 3 - 20$ м, $p \approx 3$ для $l_{\perp} \approx 200 - 400$ м, $p \approx 1.5 - 2$ для $l_{\perp} \approx 600 - 800$ м, $p \approx 3 - 4$ для $l_{\perp} \approx 0.8 - 4$ км. Максимум $\Phi_N(l_{\perp})$ в области масштабов $l_{\perp} \approx 50$ м обусловлен механизмом генерации неоднородностей вследствие развития ТПН. Второй максимум (для $l_{\perp} \approx 400 - 600$ м) определяется развитием самофокусирующей неустойчивости. Характерные значения относительных флуктуаций плотности плазмы на стационарной стадии развития ИИТ составляют: $\delta N \approx 10^{-2}$ для $l_{\perp} \approx 1 - 2$ км, $\delta N \approx 10^{-3}$ для $l_{\perp} \approx 200 - 600$ м, $\delta N \approx 3 \cdot 10^{-4}$ для $l_{\perp} \approx 3 - 30$ м. Установлено, что наиболее интенсивные МИИН генерируются при углах наклона $\sim 12^\circ$ к югу от вертикали — *эффект магнитного зенита*. Разработаны методы управления спектральными характеристиками искусственных ионосферных неоднородностей (ИИН), что имеет важное значение для использования ИИТ для решения различных исследовательских и прикладных задач.



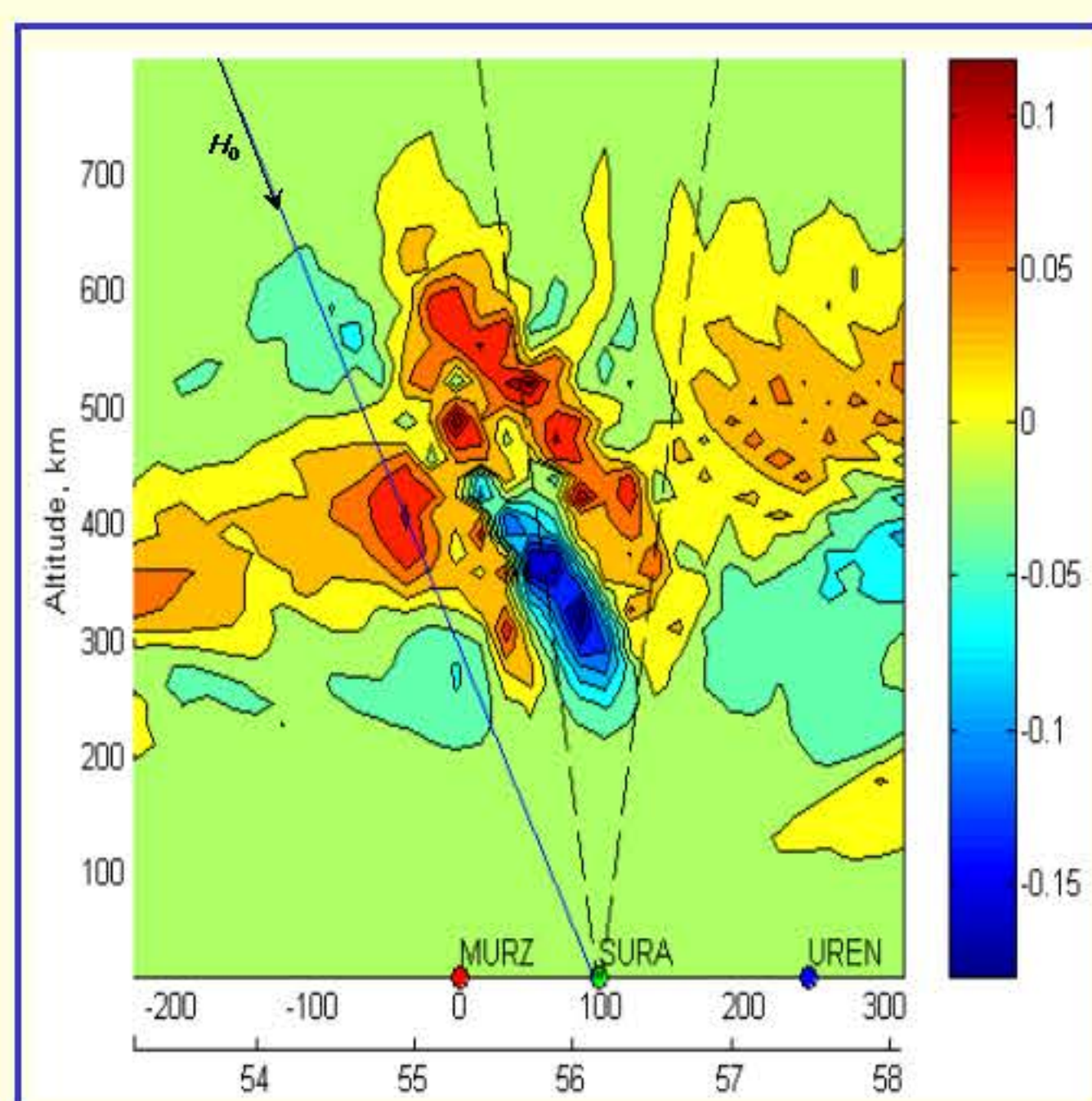
III. Релаксация искусственных ионосферных неоднородностей. Времена релаксации ИИН для $l_{\perp} \approx 1 - 1000$ м зависят в сильной степени от масштаба неоднородностей l_{\perp} : для $l_{\perp} \leq l_{\perp}^*$ имеет место квадратичная зависимость $\tau_{\text{рел}}(l_{\perp}) \propto l_{\perp}^2$, более слабая зависимость $\tau_{\text{рел}}(l_{\perp}) \propto l_{\perp}^{0.5}$ для $l_{\perp} \geq l_{\perp}^*$ ($l_{\perp}^* \approx 3 - 20$ м, уменьшаясь от дневных к ночным условиям проведения измерений). Считается, что в области квадратичной зависимости $\tau_{\text{рел}}(l_{\perp})$ релаксация МИИН определяется поперечной амбиполярной диффузией, а для $l_{\perp} > l_{\perp}^*$ релаксация ИИН обусловлена продольной амбиполярной диффузией плазмы. Значения времен релаксации неоднородностей зависят от времени суток, высоты отражения ВН, местоположения неоднородностей внутри ВО, режима излучения ВН, уровня возмущенности ионосферы и др. При нестационарном уровне развития МИИН их релаксация происходит в несколько раз быстрее, чем для стационарной ИИТ. Установлено, что релаксация МИИН носит, как правило, двухступенчатый характер, когда после уменьшения уровня МИИН на $\sim 10 - 20$ дБ начинает регистрироваться вторая, в несколько раз более медленная стадия их релаксации.



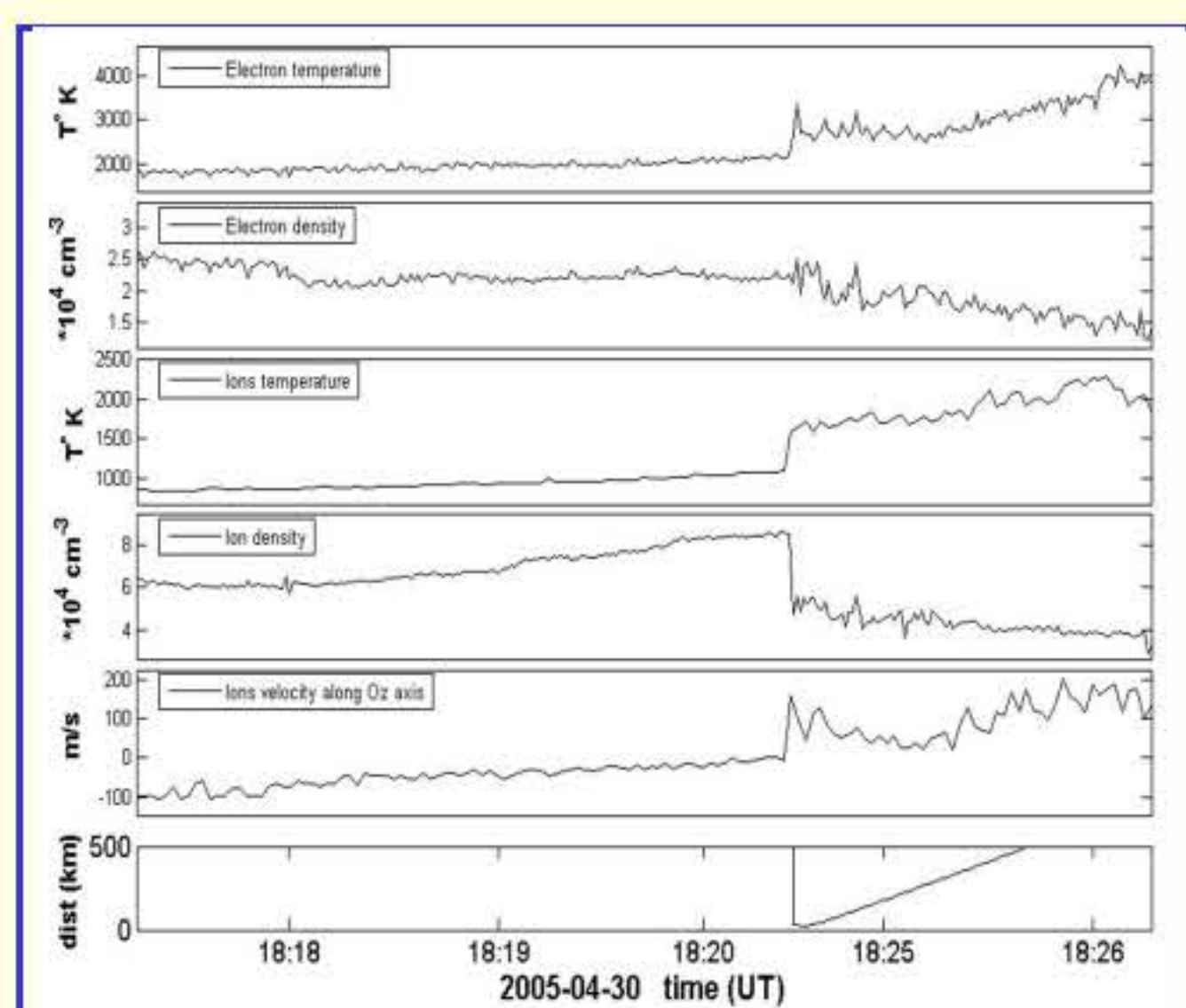
IV. Искусственное радиоизлучение ионосферы (ИРИ). Это излучение генерируется в ВО ионосферы вблизи уровня отражения ВН в результате различных процессов взаимодействия электромагнитных волн и высокочастотных плазменных колебаний с низкочастотной плазменной турбулентностью. К основным компонентам ИРИ относятся: 1) DM – down-shifted maximum, 2) BC – broad continuum, 3) UM – up-shifted maximum, 4) BUM – broad up-shifted maximum, 5) NC_p – ponderomotive narrow continuum, 6) NC_{th} – thermal narrow continuum, 7) BUS – broad up-shifted structure. Сегодня выделено всего более 15 компонент ИРИ. Выполненные на стенде Сура исследования в диапазоне частот $f_{\text{ВН}} = 4.3 - 9.5$ МГц показали, что вид спектра ИРИ изменяется кардинальным образом в узкой области частот ВН, когда $f_{\text{ВН}} \approx n f_{\text{ce}}$, где n – номер гирогармоники. Взаимосвязь и взаимовлияние различных плазменных процессов при генерации ИРИ обуславливают его широкие диагностические возможности для изучения свойств как искусственной, так и естественной плазменной турбулентности.



V. Неоднородная структура ВО ионосферы. Впервые методами спутниковой радиотомографии и мерцания сигналов ИСЗ исследована полная система возмущений плотности плазмы в ВО ионосферы. Зарегистрирована генерация неоднородностей электронной плотности с размерами от нескольких десятков километров до сотни километров с относительными флуктуациями плотности до 10%, которые обнаруживаются до высот $\sim 600 - 700$ км и занимают по долготе область $\pm (150 - 200)$ км относительно центра луча мощных радиоволн. Установлено, что такие структуры наиболее эффективно возбуждаются, когда направление излучения мощной радиоволны в ионосфере близко к направлению линий геомагнитного поля — *эффект магнитного зенита*. Установлено, что ИИН, отвечающие за сцинтилляции прошедшего через ВО ионосферы сигнала, преимущественно возбуждаются в крупномасштабных образованиях с большими отрицательными флуктуациями плотности плазмы. С использованием метода диагностического ИРИ установлено, что характерные скорости распространения плазменных возмущений вдоль геомагнитного поля оказываются $\geq V_{Te}$ ($V_{Te} \approx 2 \cdot 10^7$ см/с), что свидетельствует о важности учета потоков тепловых и ускоренных электронов, а также токов короткого замыкания по фоновой плазме, в механизмах генерации ИИТ вдали от областей резонансного взаимодействия мощной волны с плазмой.



VI. Исследование искусственных плазменных возмущений с помощью микроспутника DEMETER (h = 710 км). Эксперименты проводились в марте – сентябре 2005 г. Когда нагрев ионосферы осуществлялся в условиях ночной ионосферы при отражении ВН вблизи максимума ее F₂-слоя, были зарегистрированы значительные вариации плотности и температуры электронной и ионной составляющих плазмы, а также вариации скоростей ионов. Измеренные значения относительных флуктуации для T_e , N_e и N_i составляют $\sim 10 - 15\%$, тогда как величина флуктуаций для T_i оказывается в 2 – 3 раза меньше. Пространственные масштабы вариаций N_e и T_e составляли ~ 30 км. Важно отметить, что возмущения T_e , N_e , T_i , N_i и V_i регистрировались вдоль орбиты ИСЗ на расстояниях до ± 400 км от центра возмущенной силовой магнитной трубки, выходя далеко за трубку, опирающуюся на центральную часть ВО ионосферы. Когда спутник проходил через возмущенную силовую трубку, спектральный анализ принимаемых на спутнике VLF и ELF излучений показал наличие многообразных структур в диапазоне частот 0 – 1200 Гц и 10 – 15 кГц, которые могут носить искусственный характер.

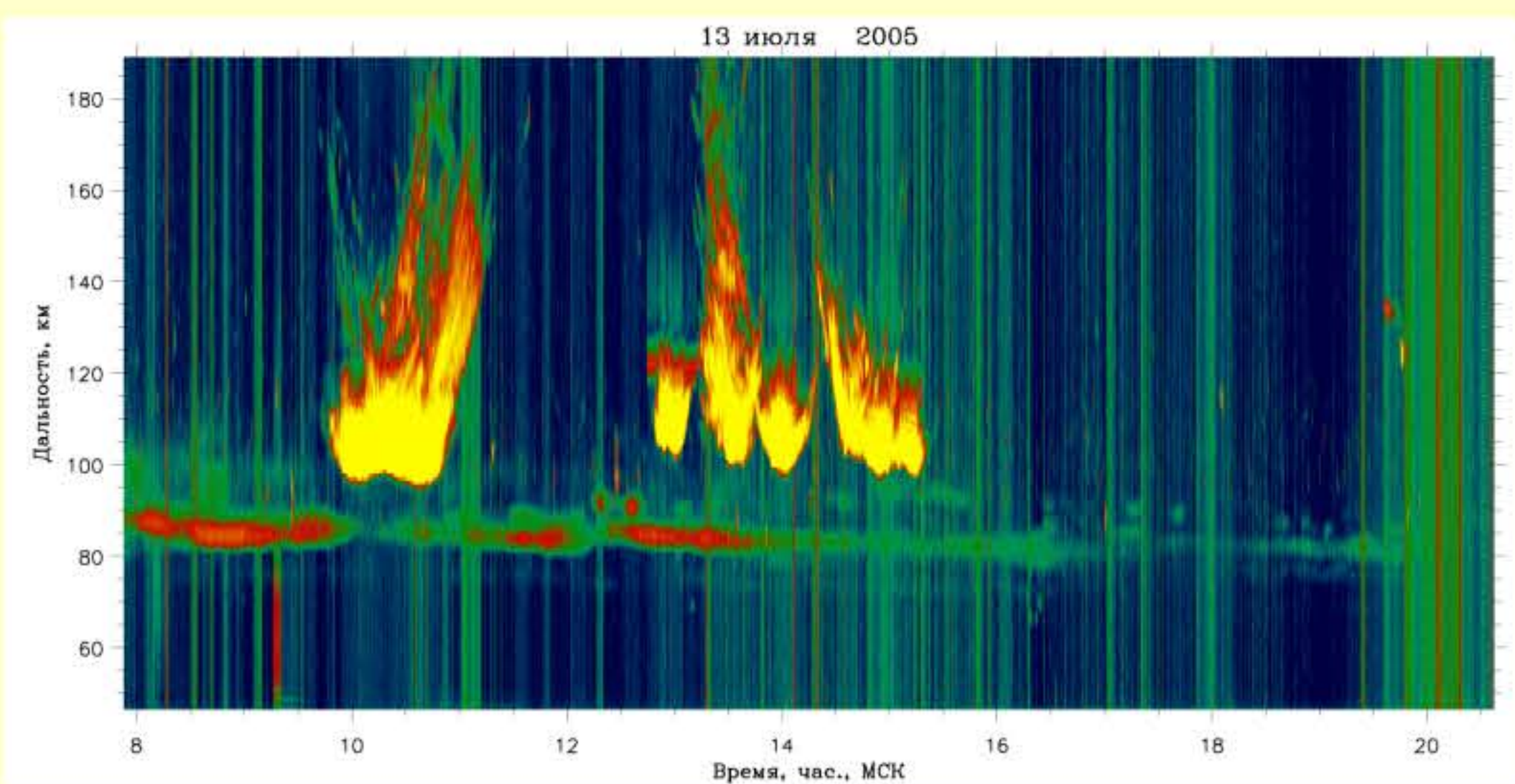




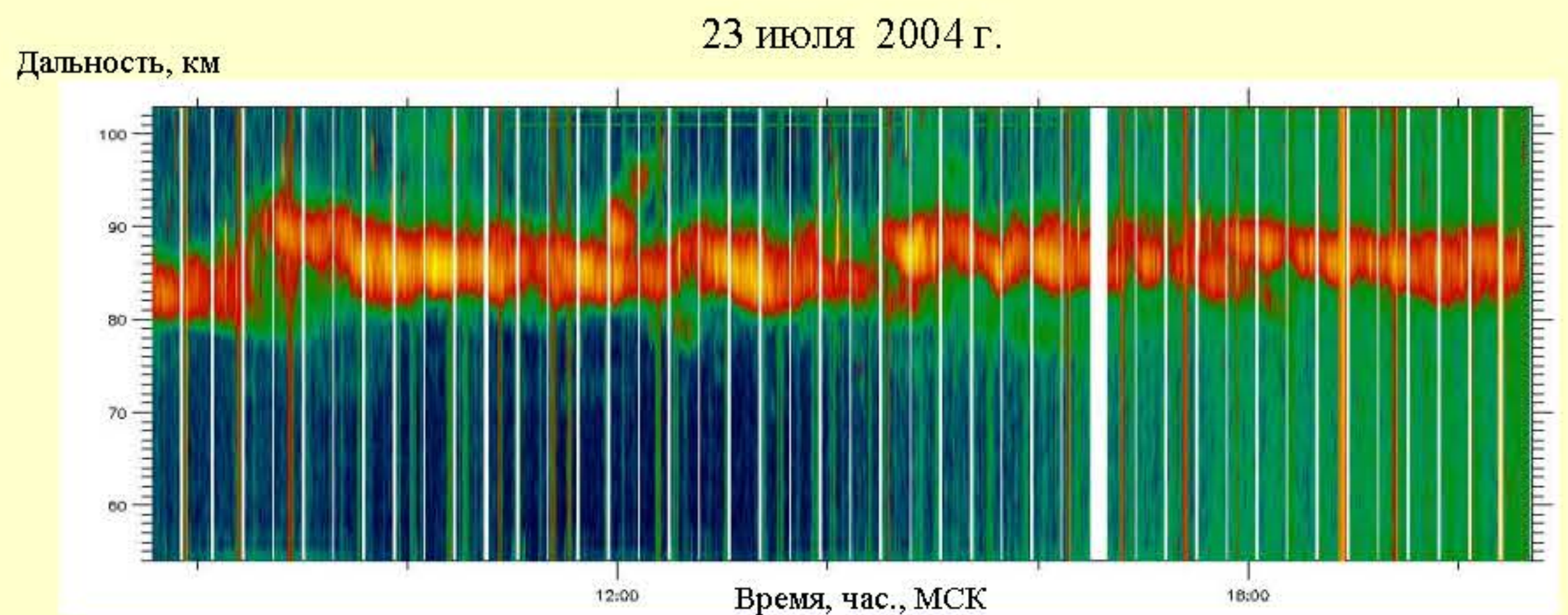
РАДИОЗОНДИРОВАНИЕ МЕЗОСФЕРЫ



Проводится с использованием КВ радара стенда СУРА, включающего в себя приемо-передающую антенную систему стенда ППАДД, импульсный передатчик с выходной мощностью до 50 кВт, два радиоприемных устройства и систему управления радаром и сбора данных на базе персонального компьютера и крейта КАМАК с набором таймеров и АЦП. Зондирование проводится на частотах около 9 МГц при длительности зондирующего импульса 20 мксек, что соответствует пространственному разрешению 3 км. Интервал исследуемых высот 50-180 км включает в себя и высоты E-слоя, временное разрешение до 20 мс.



Пример высотно-временной зависимости интенсивности радиоэхо в широком интервале высот, включающем высоты слоя E. Выше мезосферных слоев видны спорадические слои Es.

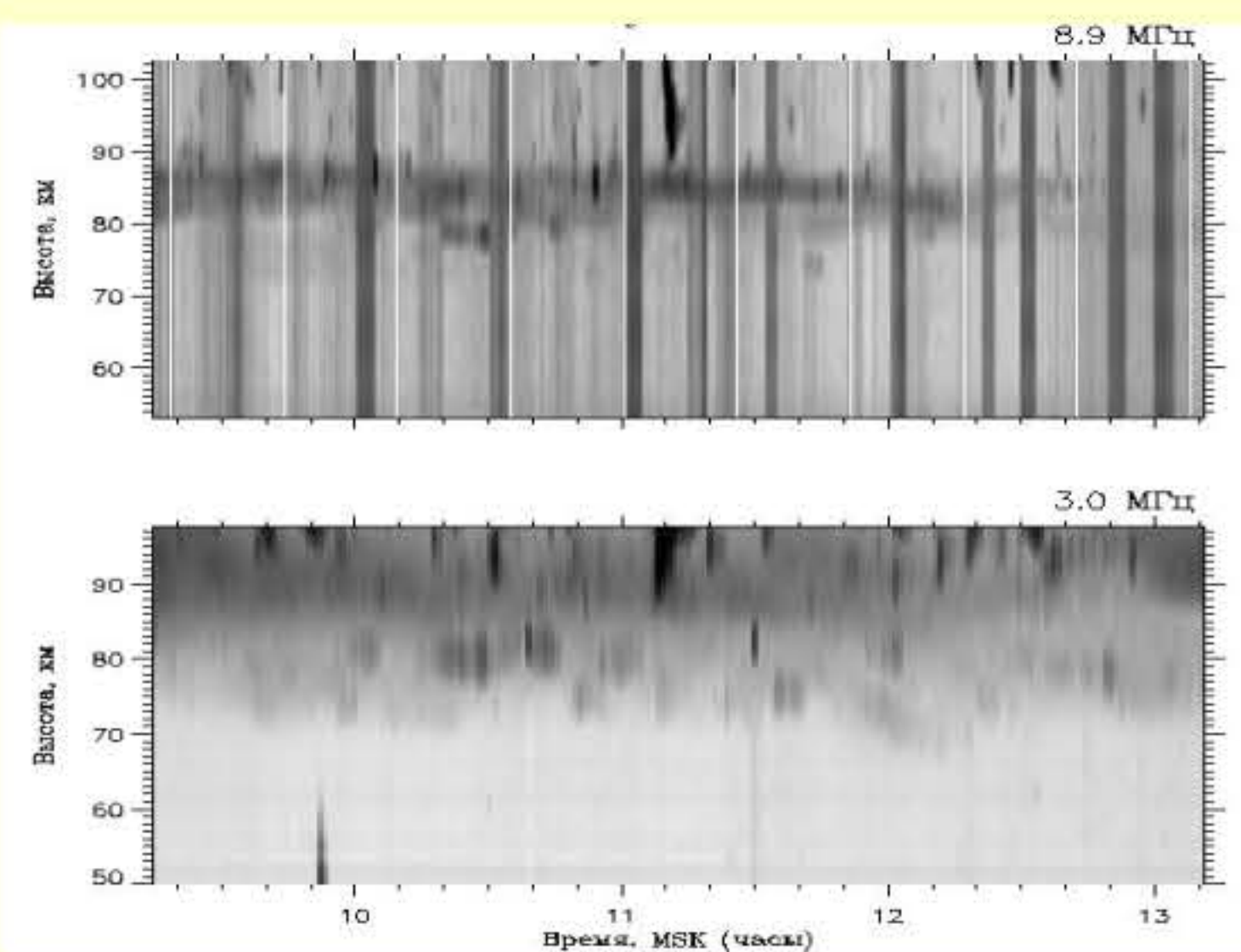


Высотно-временная зависимость интенсивности мезосферных радиоэхо. Практически постоянно регистрируется интенсивный слой в области высот 82-88 км, соответствующий положению мезопаузы. Слой зарождается в верхней части указанного интервала высот и медленно дрейфует вниз со скоростью 1-2 м/с, где исчезает. Одновременно с исчезновением слоя в нижней части высотного интервала, а часто и раньше, в верхней его части, зарождается новый рассеивающий слой, который в свою очередь дрейфует вниз. Скорость дрейфа, определяемая по смещению слоя, как правило, совпадает со средней доплеровской скоростью радиоэхо.

Мезосферные радиоэхо в КВ диапазоне имеют выраженную слоистую структуру. Наиболее интенсивные рассеивающие слои наблюдаются в области мезопаузы практически постоянно. В летний период на этих высотах наблюдаются спорадические слои повышенной интенсивности, связанные с явлением мезосферного летнего эхо (MSE), наблюдаемого в УКВ диапазоне. Рассеяние от области мезопаузы, как правило, обусловлено турбулентностью. Слои на меньших высотах имеют более низкую интенсивность и наблюдаются нерегулярно, а характер отражений свидетельствует об отражении от резкого градиента электронной плотности. Кроме мезосферных слоев регистрируется большое количество отражений от метеорных следов на дальностях более 80 км. На высотах более 100 км наблюдаются спорадические слои Es.

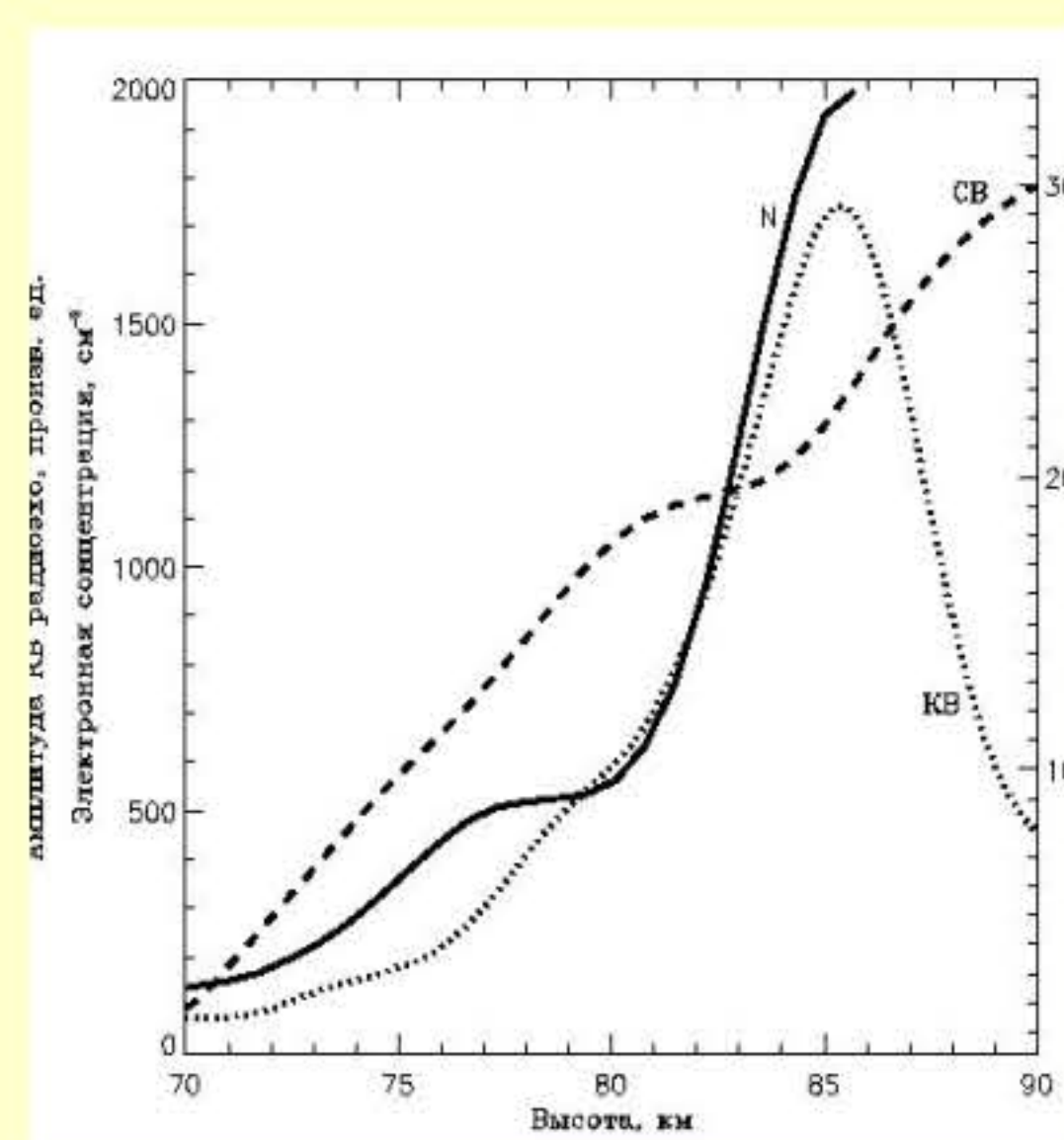
Одновременное зондирование в КВ и СВ диапазонах

По данным СВ зондирования определялись профили концентрации электронов на высотах от 70 до 85 км с временным разрешением 8 мин. Средняя (за несколько часов) интенсивность КВ радиоэхо растет с высотой вместе с ростом электронной концентрации до высоты порядка 85 км, практически повторяя ее профиль в интервале высот 80-85 км. Уменьшение интенсивности КВ-радиоэхо на больших высотах связано с увеличением степени замагниченности электронов с высотой.

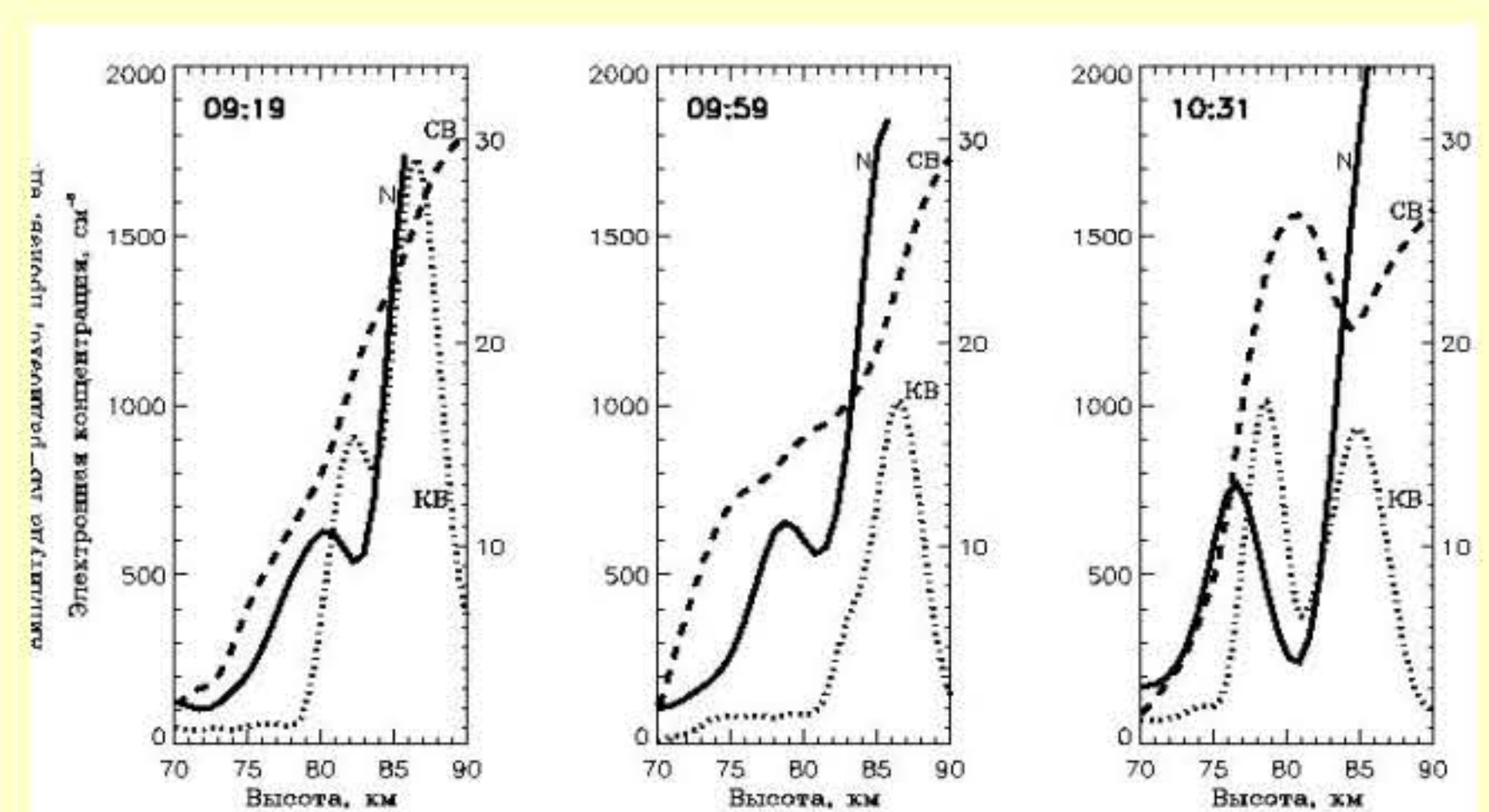


Высотно-временное распределение интенсивности радиоэхо в КВ (вверху) и СВ (внизу) диапазонах

В КВ - четко выраженная слоистая по высоте структура. В СВ - как правило, монотонный рост интенсивности, однако наблюдаются и слоистые структуры. Слои в КВ и СВ диапазонах, вообще говоря, не коррелируют друг с другом ни по времени, ни по высоте.



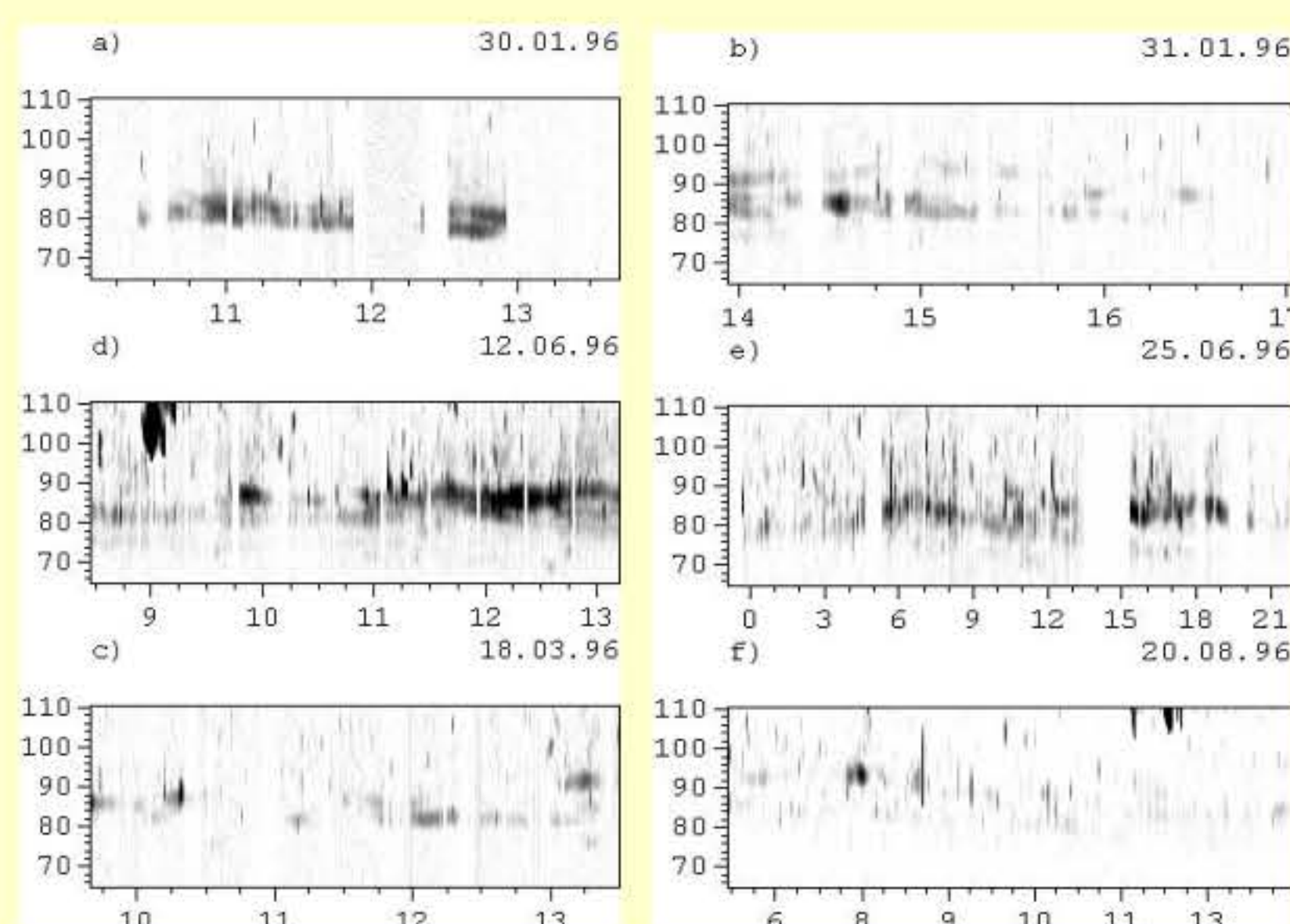
Усредненный за 4 часа профиль концентрации электронов и усредненная интенсивность радиоэхо, в КВ и СВ диапазонах (обыкновенная компонента).



Отдельные 8-минутные реализации показывают существенные различия между профилем электронной концентрации и интенсивностью радиоэхо.

Радиоотражающие слои на высотах ниже 85 км появляются только при наличии локального минимума в профиле электронной концентрации (9:19, 10:31) и располагаются в области этого минимума. Вместе с тем, наличие минимума в профиле электронной концентрации не обязательно приводит к образованию слоя в КВ-радиоотражениях (9:59).

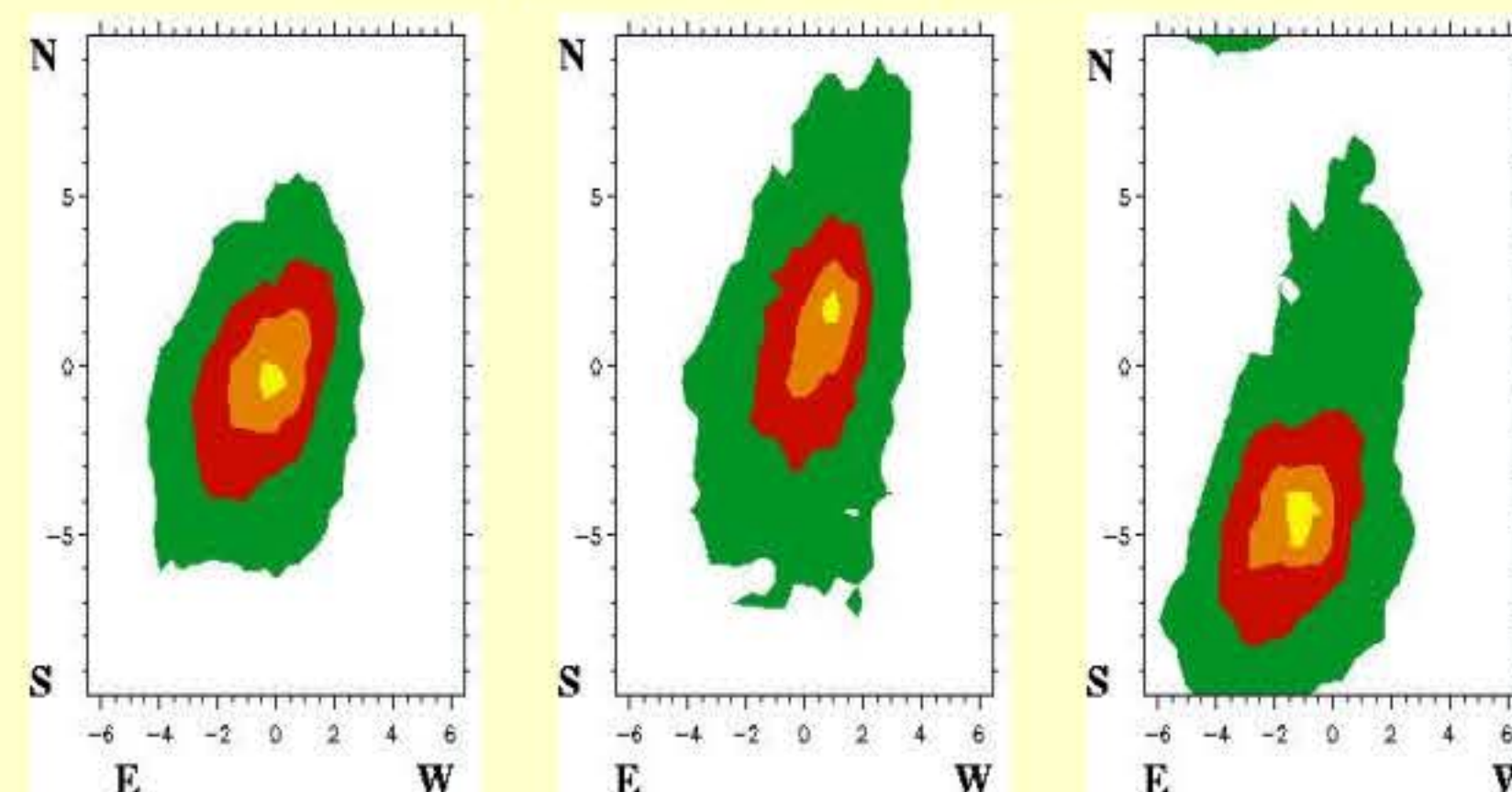
Суточное и сезонное поведение мезосферных радиоэхо



Суточная зависимость интенсивности отраженных сигналов определяется, в основном, освещенностью мезосферы Солнцем, т. е. интенсивностью фотоионизации.

Радиоэхо наблюдаются только в светлое время суток. Для сезонного хода радиоэхо от области мезопаузы характерна полугодовая вариация: в зимний (верхние рисунки, январь) и летний (средние рисунки, июнь) периоды средняя амплитуда рассеянных сигналов значительно выше, чем в осенний (внизу справа, август) и весенний (внизу слева, март).

Углы прихода мезосферных радиоэхо



Усредненные за время порядка 15 минут двумерные распределения углов прихода радиоэхо от мезосферного слоя в области мезопаузы, полученные 23 и 24 июля 2004 г. Контурные проведены по уровням 0.25, 0.5, 0.75 и 0.95 от максимума.

Распределения углов прихода имеют выраженный максимум, соответствующий, как правило, вертикальному направлению, и вытянуты в направлении примерно север-юг. Вариации направления на максимум распределения незначительны (менее 1 градуса от вертикали) в направлении восток-запад и гораздо более существенны (до 5 градусов от вертикали и более) в ортогональном север-южному направлению. Такое поведение может быть обусловлено вытягиванием рассеивающих неоднородностей в направлении геострофического ветра.

Для определения углов прихода радиоэхо каждая секция антенной системы ППАДД разделена на две половины в направлении восток-запад путем установки нагрузок и перемычек в фидерной системе каждого ряда диполей, а также введения дополнительной фазировочной и суммирующей системы для съема сигнала с западной половины третьей секции. Схема трехточечного приема реализована с использованием двух половин третьей секции (направление восток-запад, разнос фазовых центров 150 м) и одной (восточной) половины второй секции (направление север-юг, разнос фазовых центров 100 м). Распределение углов прихода радиоэхо определяется по разности фаз сигналов, принятых пространственно-разнесенными антеннами.



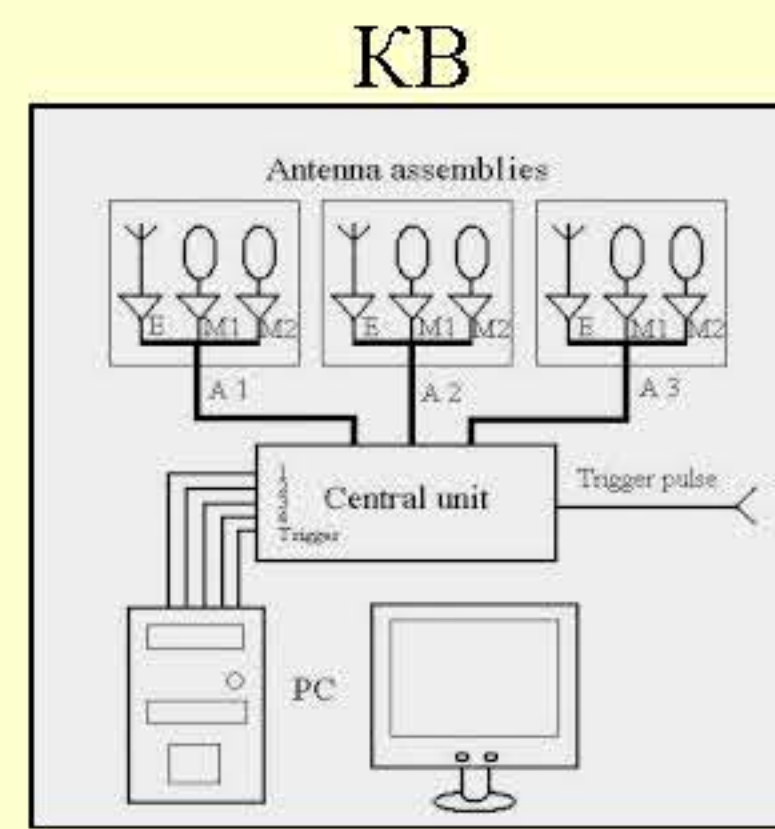
ИССЛЕДОВАНИЕ КОРОТКОВОЛНОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ МОЛНИИ



Проводится совместно с Физическим институтом им. П. Н. Лебедева РАН, Тянь-Шаньской высокогорной научной станции (ТШВНС ФИАН) и Институтом ионосферы Казахской АН. Установки размещены на территории загородной лаборатории ФГНУ «НИРФИ» "Васильсурск" и ТШВНС.

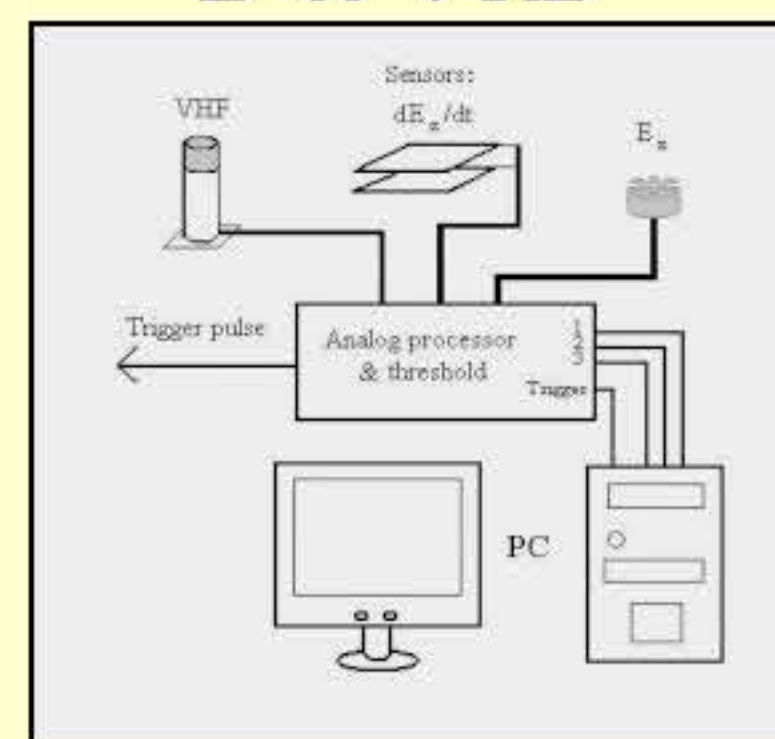
Измерение радиоизлучения молниевых разрядов проводится с помощью специально созданной системы регистрации коротких электромагнитных импульсов в диапазоне частот 0.1-30 МГц и определения направления на источник таких импульсов. Эта система состоит из трех антенных блоков, которые разнесены в пространстве на расстояние 50-100 метров от приемного устройства. Определение направления на источник радиоизлучения производится корреляционным методом. Каждый антенный блок состоит из трех отдельных антенн – двух взаимно перпендикулярных рамочных для измерения горизонтальной компоненты магнитного поля и одной штыревой для измерения вертикальной компоненты электрического поля. С выходов антенн сигналы поступают на 4-х канальное радиоприемное устройство (РПУ), реализованное на базе персонального компьютера с использованием двух двухканальных плат АЦП, имеющих максимальную частоту дискретизации 60 МГц и встроенную память 256 МВ на плату. При работе системы оцифровка данных происходит непрерывно с записью в кольцевой буфер, организованный в памяти АЦП, до поступления сигнала запуска, которым может являться как внешний сигнал, так и сигнал, формируемый самой платой АЦП при превышении входным сигналом одного из каналов заданного уровня. Используется режим записи данных с предисторией. Система регистрации КВ радиоизлучения дополнена установкой для измерения электрического поля (флюксометр) и его вариаций (конденсаторного типа), а также для измерения УКВ излучения (250 МГц). Установка постоянно работает в "медленном" режиме с частотой дискретизации 20 Гц и автоматически переключается в режим "быстрой" записи с частотой дискретизации 20 кГц в грозовых условиях. Эта установка может также служить источником сигнала запуска для системы регистрации КВ излучения и других датчиков.

Блок-схема радиостанции



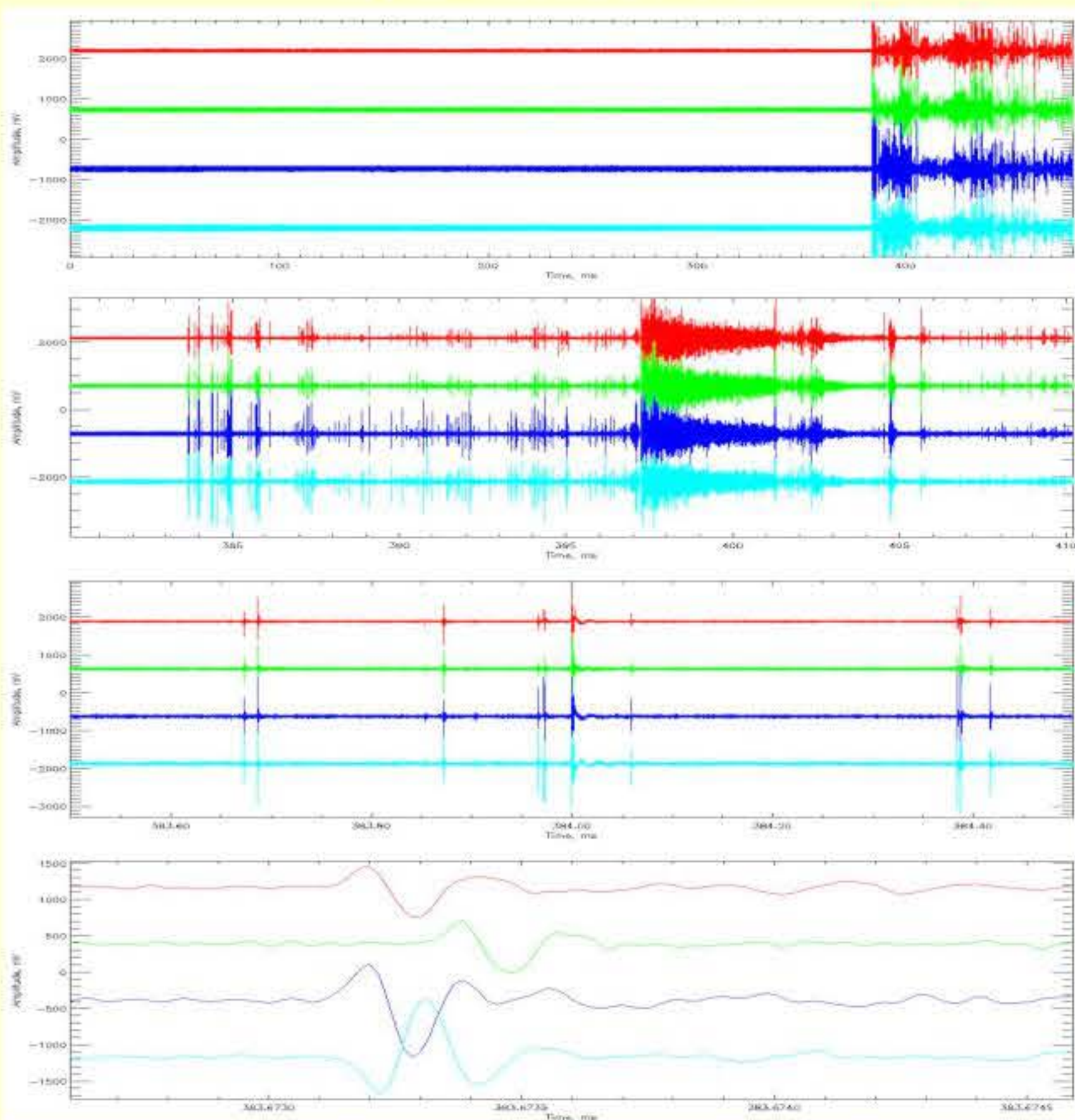
- Диапазон частот 0.1 – 30 МГц
- Усиление 5 – 40 дБ
- Число каналов 1 – 4
- Разрядность АЦП 14
- Частота оцифровки до 60 МГц
- Длительность записи до 1 с
- Триггер внутренний/внешний

Е & УКВ

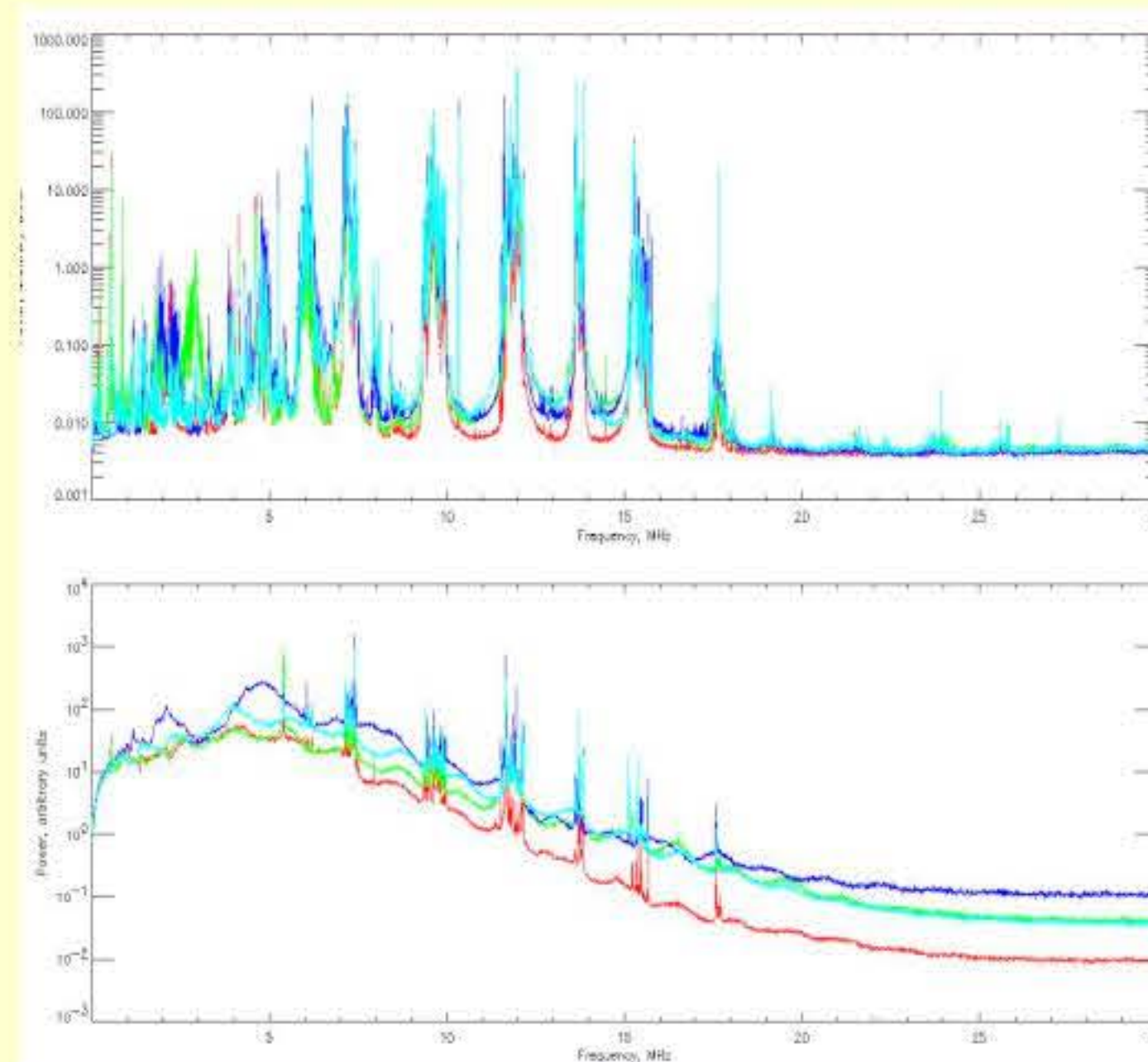


- | | E | dE/dt |
|------------------------|--------------|---------|
| • Диапазон измерений | 50 кВ/м | 600 В/м |
| • Чувствительность | 20 В/м | 0.5 В/м |
| • Временное разрешение | 0.1 с | 50 мкс |
| | | 50 мкс |
| • Разрядность АЦП | 14 | |
| • Частота оцифровки | 20 Гц/20 кГц | |

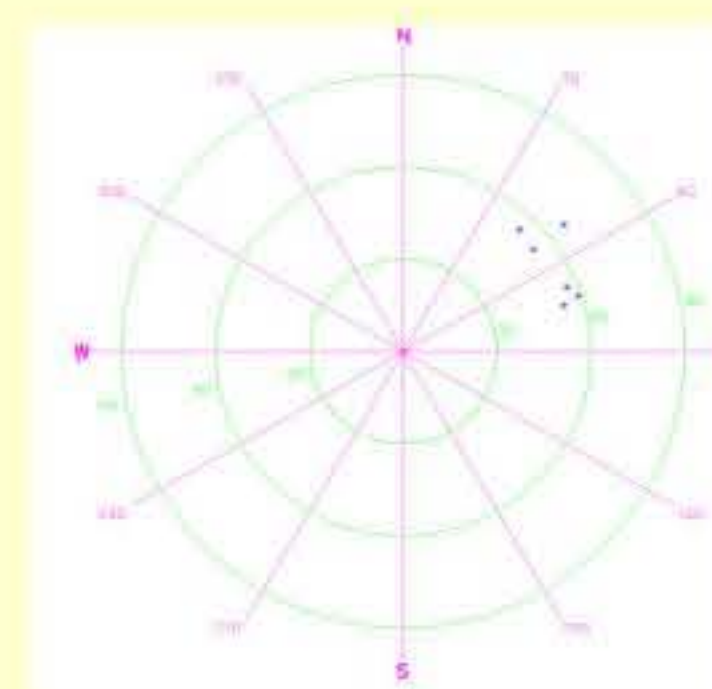
22 июля 2004, 21:00:32



Пример записи КВ излучения молнии в различных временных масштабах на стенде СУРА. Данные получены с использованием магнитных антенн. Первая и третья дорожки (красная и синяя) относятся к одному антенному блоку, но ортогональным поляризациям. Различие во времени прихода импульсов на разнесенные антенные блоки позволяет определить направление на источник излучения.



Спектр КВ радиоизлучения молнии (внизу) и фоновый спектр, полученный в отсутствие грозовой активности (вверху) в вечернее время. Хорошо видны радиостанции, работающие в вещательных диапазонах.



Пример определения направления на источник излучения в молниевом разряде.

Основные характеристики КВ радиоизлучения молнии

- Коротковолновое радиоизлучение молнии представляет собой последовательность коротких импульсов (с длительностью от менее, чем 100 нс до нескольких мкс).
- Уровень фона между молниями не отличается от уровня фона в спокойных условиях (при данной чувствительности). Обычно он остается тем же и между импульсами, по крайней мере, на начальной стадии развития молнии.
- Каждая молния начинается с серии очень коротких (менее 100 нс) биполярных импульсов. Промежутки между импульсами составляют от нескольких десятков до сотен мкс.
- Положительная и отрицательная полярность начальных импульсов встречается равновероятно в различных молниях, однако остается постоянной в данной молнии.
- Форма, ширина и амплитуда первого радиоимпульса молнии согласуется с предсказываемыми теорией RB-EAS (совместное действие эффекта пробоя на убегающих электронах и широкого атмосферного ливня) для энергии первичной частицы порядка 10^{16} эВ.



Тянь-Шаньская высокогорная научная станция ФИАН. Размещение установок. КВ излучение измеряется на RADIO 1 и RADIO 2.

Остальные обозначенные установки регистрируют гамма излучение. Электрическое поле измеряется примерно посередине между RADIO 1 и RADIO 2.

На ТШВНС ФИАН проводятся комплексные исследования, включающие в себя наряду с радиоизлучением регистрацию широких атмосферных ливней (ШАЛ), а также гамма излучения. Для определения положения источника КВ радиоизлучения используются две системы регистрации коротких электромагнитных импульсов, разнесенные на расстояние порядка 400 метров, что позволяет локализовать источник по известным направлениям на него с каждой из систем. Исследование коротковолнового радиоизлучения, связанного с ШАЛ, показало, что в грозовых условиях примерно в 2% случаев регистрации ШАЛ регистрируется также и радиоизлучение в виде коротких биполярных импульсов с длительностью первого пика порядка 100 наносекунд, сопутствующее ШАЛ. Этот факт согласуется с предсказываемым теорией RB-EAS (совместное действие эффекта пробоя на убегающих электронах и широкого атмосферного ливня) для энергии первичной частицы порядка $2 \cdot 10^{14} - 10^{15}$ эВ. Процент регистрации радиоизлучения, связанного с ШАЛ, обусловлен вероятностью достижения атмосферным электрическим полем порогового значения для развития пробоя на убегающих электронах. В негрозовых условиях сопутствующее ШАЛ радиоизлучение не наблюдается (при данной чувствительности РПУ). Для близких молниевых разрядов в ряде случаев зафиксировано заметное гамма излучение одновременно с сильными (десятки киловольт на метр) изменениями статического электрического поля (свидетельствующими о молниевом разряде (соответствующими, по-видимому, ступенчатому лидеру) и интенсивным КВ и УКВ радиоизлучением.



ДИСТАНЦИОННОЕ ТЕРМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

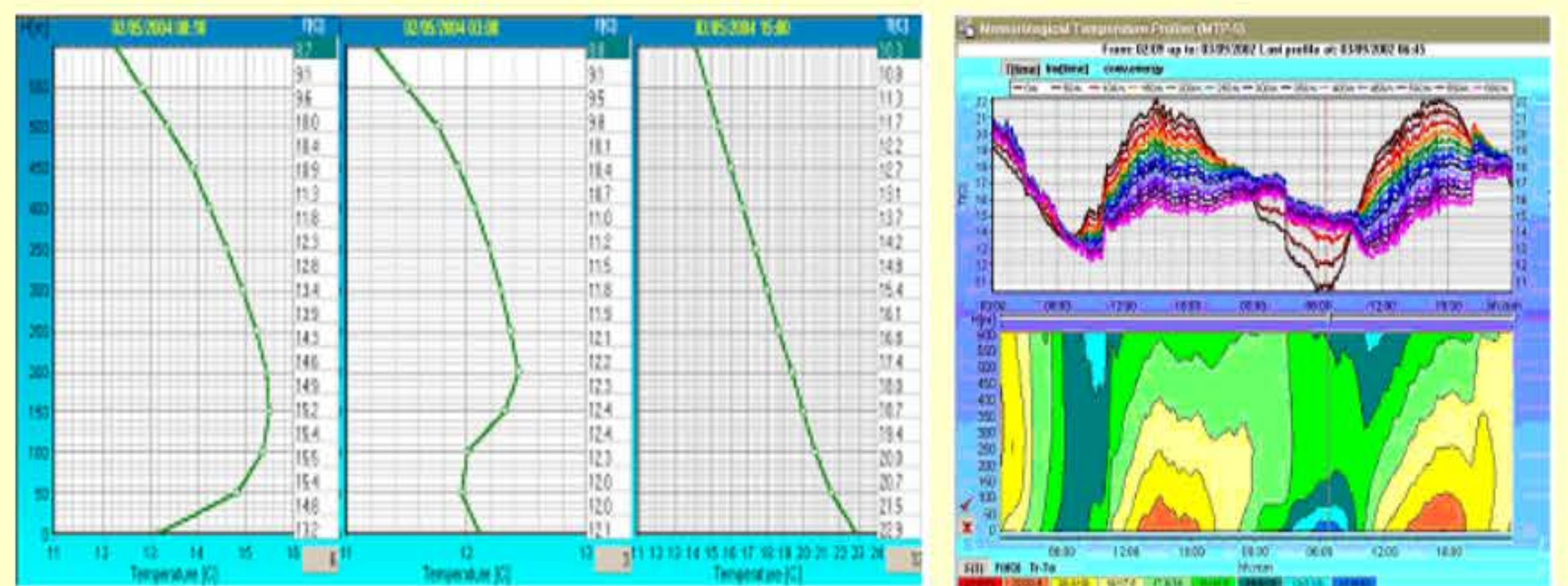


Предложен и разработан радиометрический метод дистанционного термического зондирования пограничного слоя атмосферы (ПСА), основанный на измерениях углового спектра интенсивности теплового микроволнового излучения атмосферы в окрестности центра линии поглощения атмосферного кислорода $\nu = 60$ ГГц. Профиль температуры ПСА определяется из решения соответствующей обратной задачи.

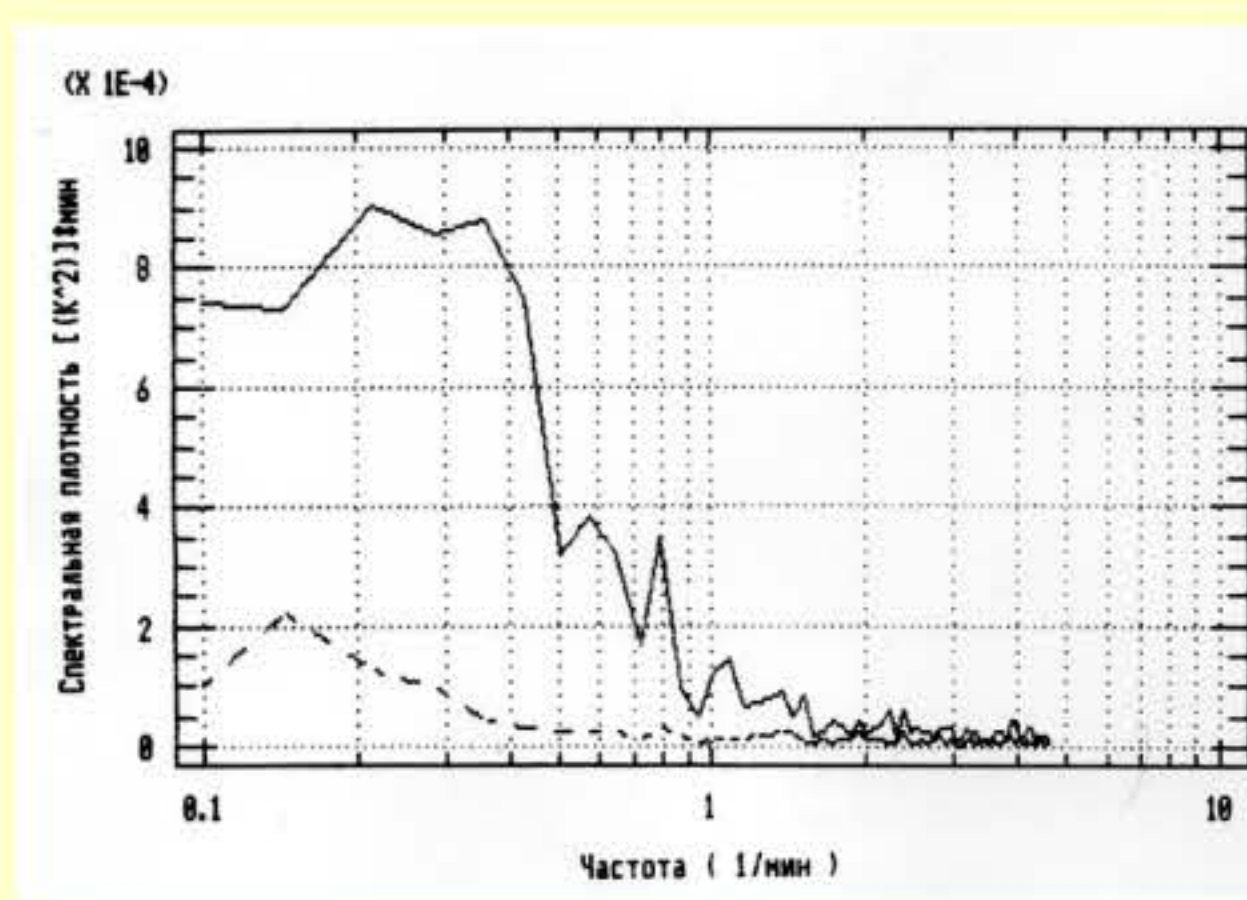
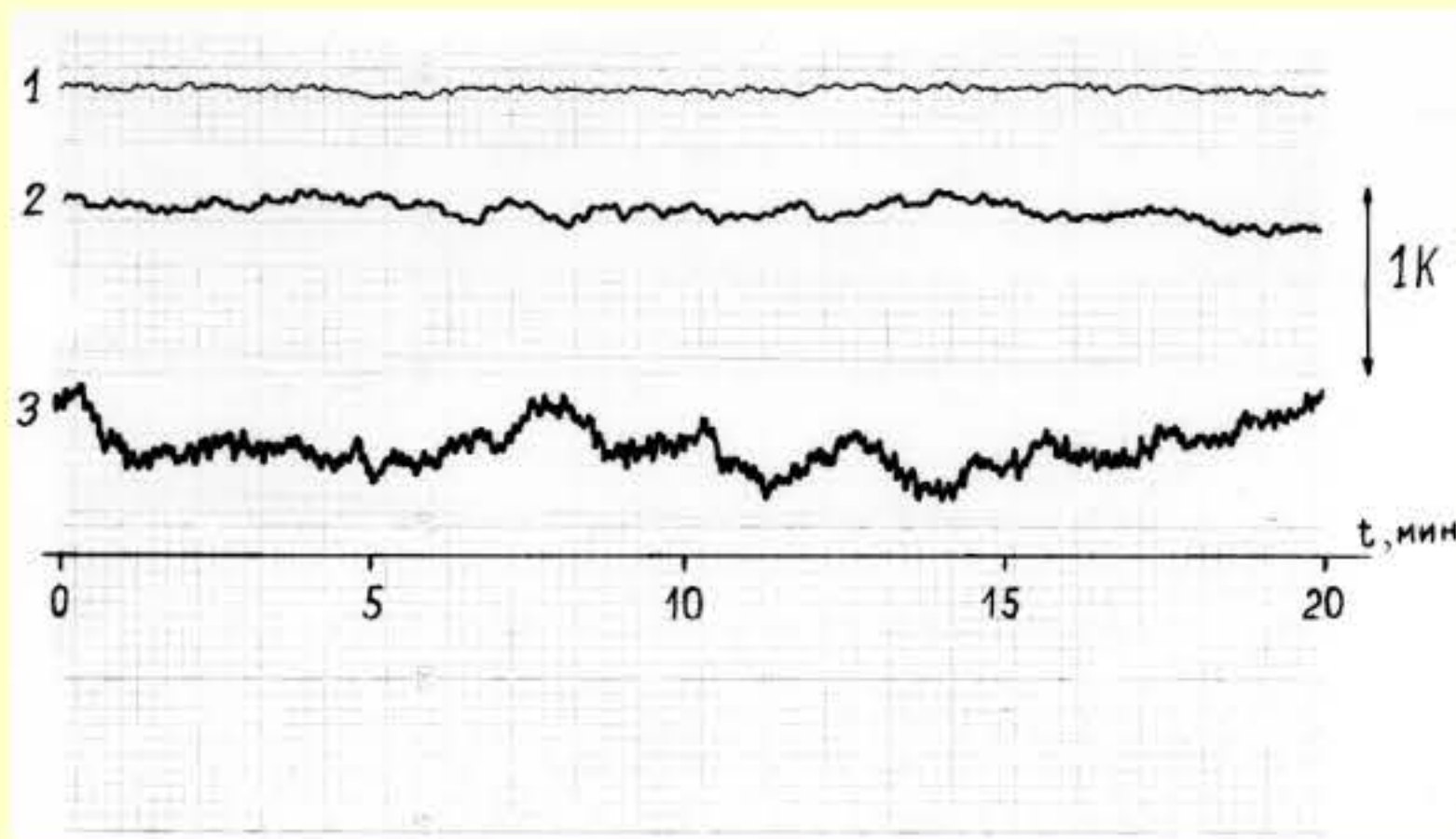
Радиометрическая установка термического зондирования ПСА в диапазоне $\nu \sim 60$ ГГц

Основные характеристики:

- чувствительность по излучению 0,03 К
- высотный интервал зондирования 0 – 1000 м
- точность определения температуры 0,3 – 0,8° С
- вертикальное разрешение 50 – 200 м
- временное разрешение 3 мин

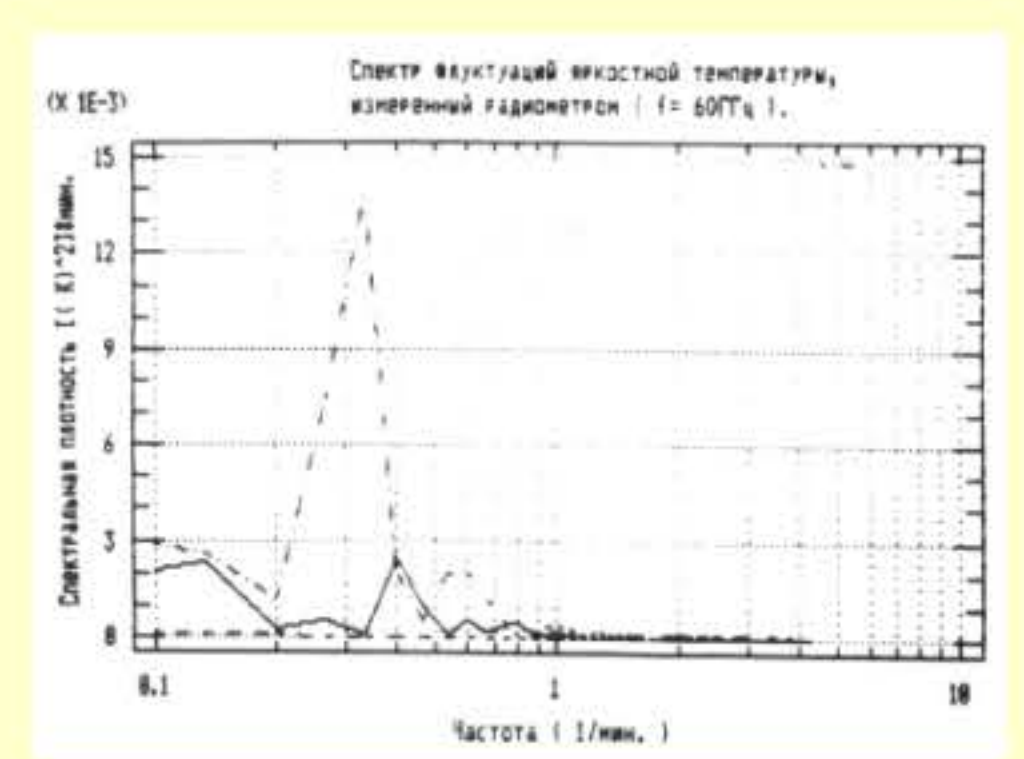
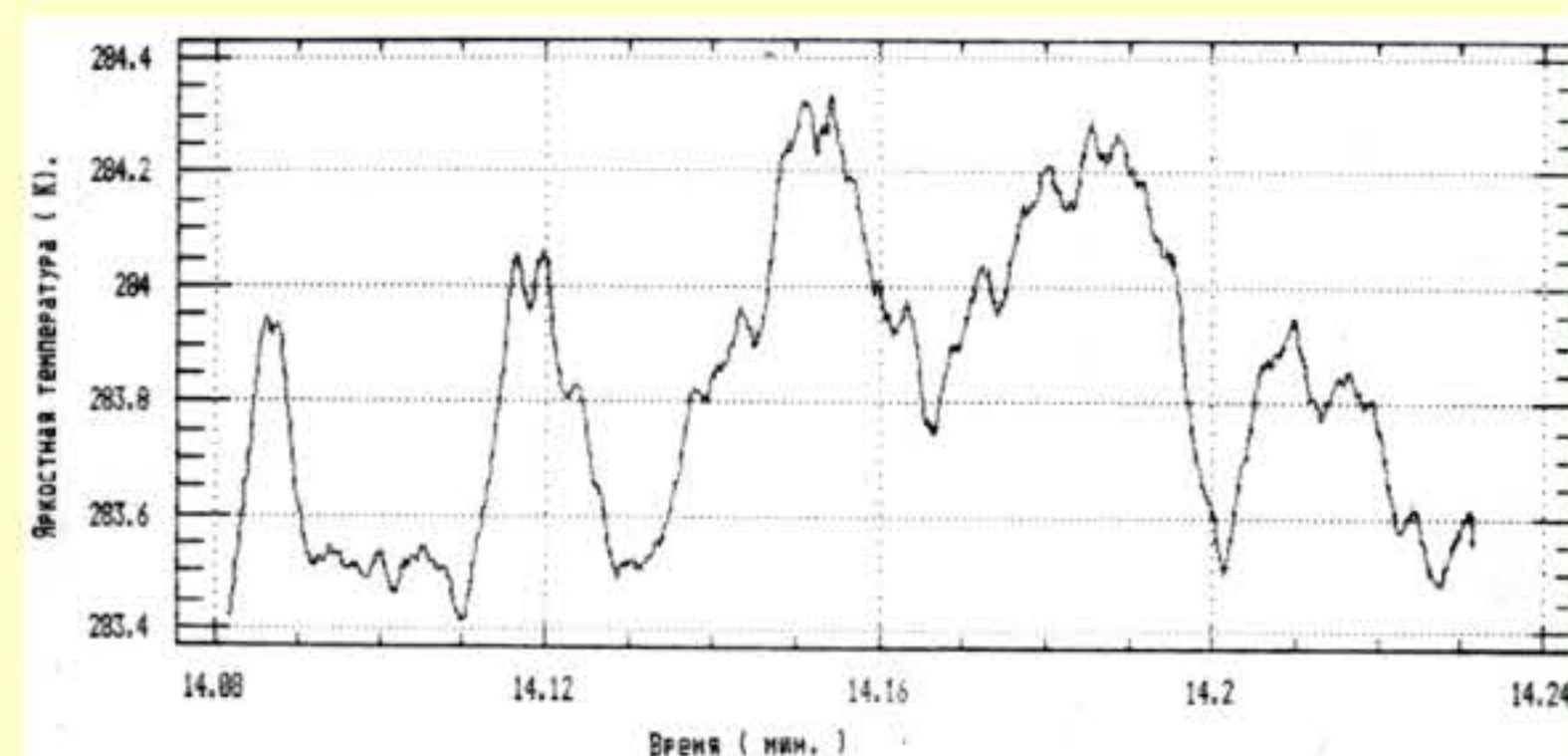


Выполнены дистанционные исследования термического режима ПСА и флуктуаций микроволнового излучения атмосферы турбулентной и волновой природы. Обнаружен новый тип флуктуаций микроволнового излучения атмосферы в полосе поглощения кислорода на $\nu \sim 60$ ГГц с максимумом в спектре флуктуаций $\sim 5 - 7$ мин и амплитудой $\sim 0,2$ К. Установлено, что эти флуктуации обусловлены температурной турбулентностью ПСА, которая соответствует смешанным конвективно-динамическим модам движения воздуха.



Флуктуации микроволнового излучения атмосферы и их спектр на частоте $\nu \sim 60$ ГГц

Обнаружены периодические колебания интенсивного микроволнового излучения атмосферы на $\nu \sim 60$ ГГц с периодами в несколько минут. Показано, что такие колебания вызваны наличием в нижней атмосфере внутренних гравитационных волн (ВГВ). Предложен и экспериментально проверен дистанционный радиометрический метод индикации ВГВ, определения их параметров и вертикальной структуры по измерениям частотно-углового спектра интенсивности излучения в полосе поглощения кислорода $\nu \sim 60$ ГГц.



Радиометрическая индикация ВГВ в атмосфере на $\nu \sim 60$ ГГц

Разработанные в ФГНУ «НИРФИ» методы дистанционного термического зондирования ПСА нашли широкое практическое применение в системе Росгидромета. Совместная разработка ЦАО и ФГНУ «НИРФИ» промышленного образца микроволнового температурного профилемера МТП-5 включена в Государственный Реестр средств измерений и серийно выпускается НПО АТТЕХ.



ПОЛЯРИЗАЦИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА МИКРОСТРУКТУРЫ ОБЛАКОВ

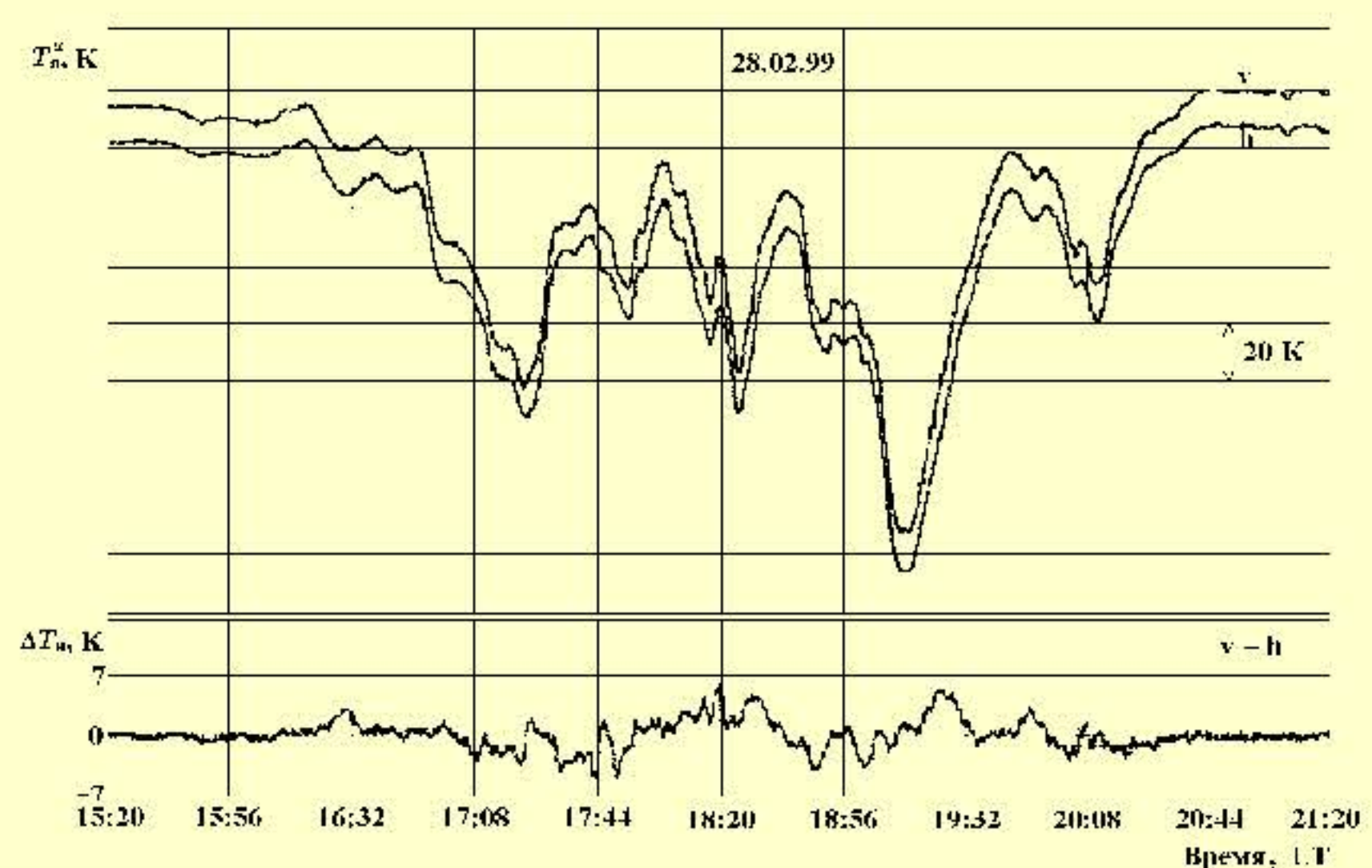
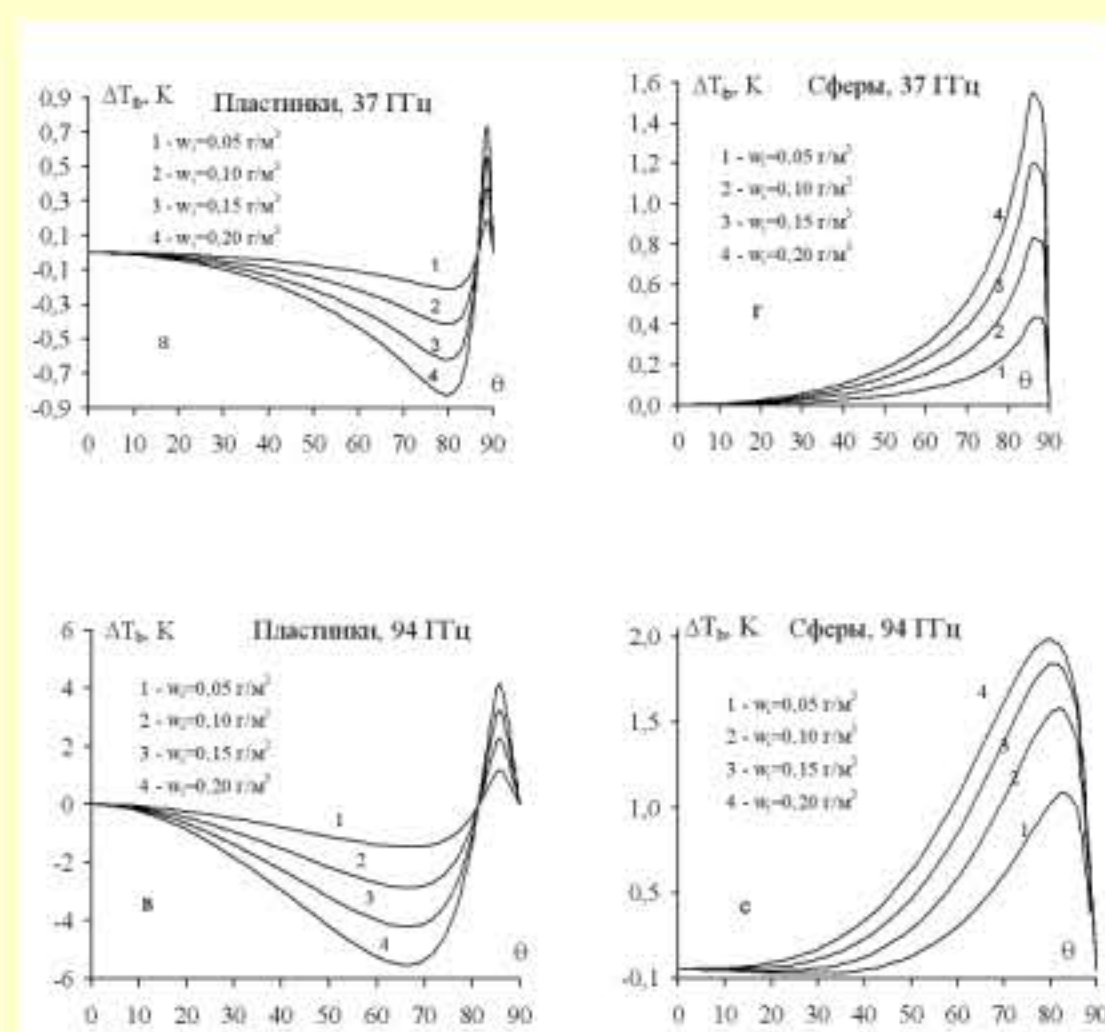


Поляризационный радиометрический приёмник теплового излучения атмосферы на частоте ~ 95 ГГц

Обнаружено явление поляризации теплового микроволнового излучения облачной атмосферы без осадков, обусловленное рассеянием излучения на ледяных облачных кристаллах. Поляризация излучения (второй параметр Стокса) в диапазоне частот ~ 95 ГГц составляет величину ~ 1 К. Выполнены исследования частотного и углового спектра поляризации микроволнового излучения облачной атмосферы и его зависимости от фазового состава и микроструктуры облаков.

Интенсивность T_α и поляризация ΔT_α теплового излучения облачной атмосферы на частоте ~ 95 ГГц

Угловой спектр поляризации теплового микроволнового излучения облаков различной микроструктуры



Предложен и разработан поляризационный радиометрический метод дистанционной диагностики микроструктуры облаков по измерениям первых двух параметров Стокса излучения облачной атмосферы на двух частотах миллиметрового диапазона ~ 37 и ~ 95 ГГц. Метод позволяет определять фазовый состав (количество жидкой и кристаллической воды в облаках), размер облачных кристаллов и зоны кристаллизации.



Двухчастотный поляриметр дистанционной диагностики микроструктуры облаков в диапазонах ~ 37 и ~ 95 ГГц

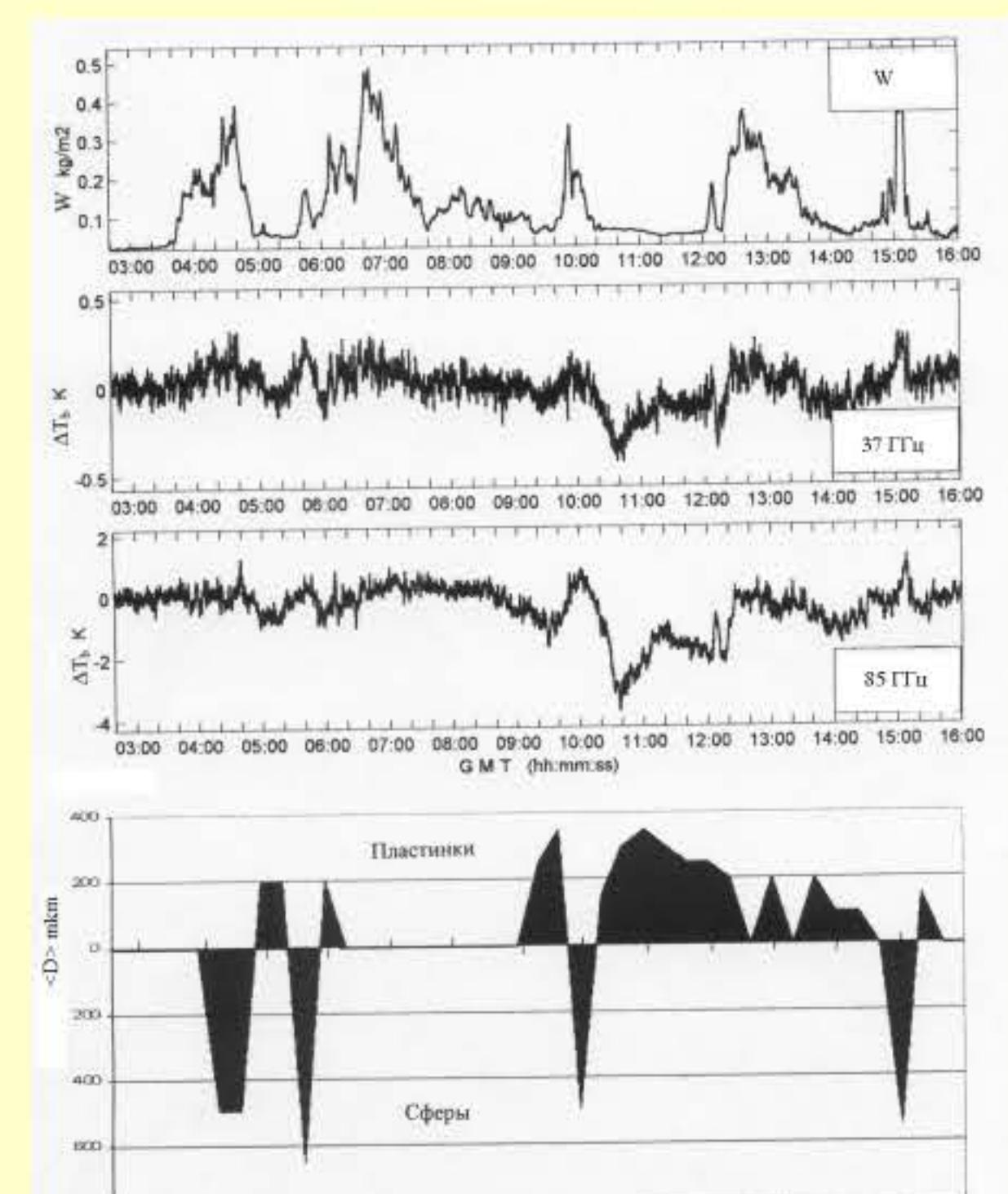
Основные характеристики:

- число спектральных каналов 2
- поляризация вертикальная, горизонтальная
- чувствительность по излучению 0,05 К
- точность определения жидкой воды 10 %
- точность определения кристаллической воды 30 %
- диапазон измеряемых размеров кристаллов 50–600 мкм

Определение фазового состава облаков и размеров кристаллов

Выполнены поляриметрические исследования микроструктуры зимних облаков. Экспериментально показано:

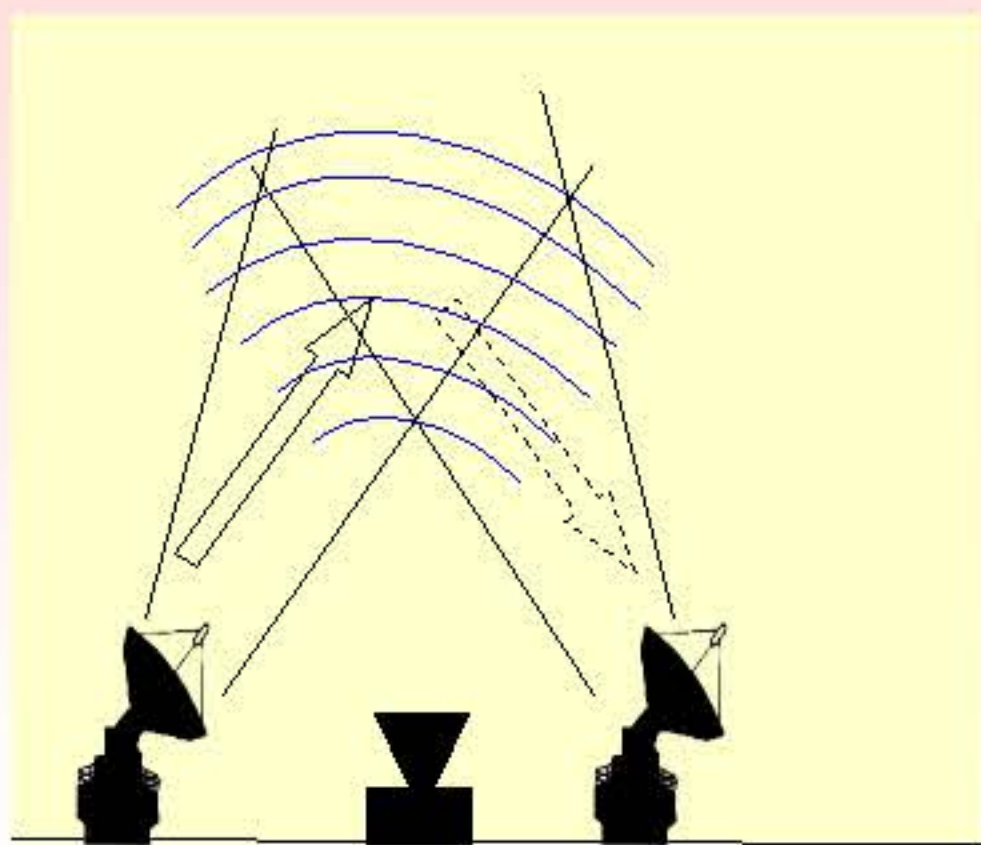
- средняя интегральная водность облаков $\sim 0,26$ кг/м², ледность $\sim 0,1$ кг/м²;
- $\sim 70\%$ облаков являются облаками смешанной фазы и $\sim 30\%$ - чисто жидкокапельными;
- не обнаружено чисто кристаллических облаков, предсказываемых существующими теориями;
- средний размер облачных кристаллов – 400 мкм;
- размеры зон крупных кристаллов (более 600 мкм) составляют сотни метров при средних размерах зон кристаллизации в несколько метров.





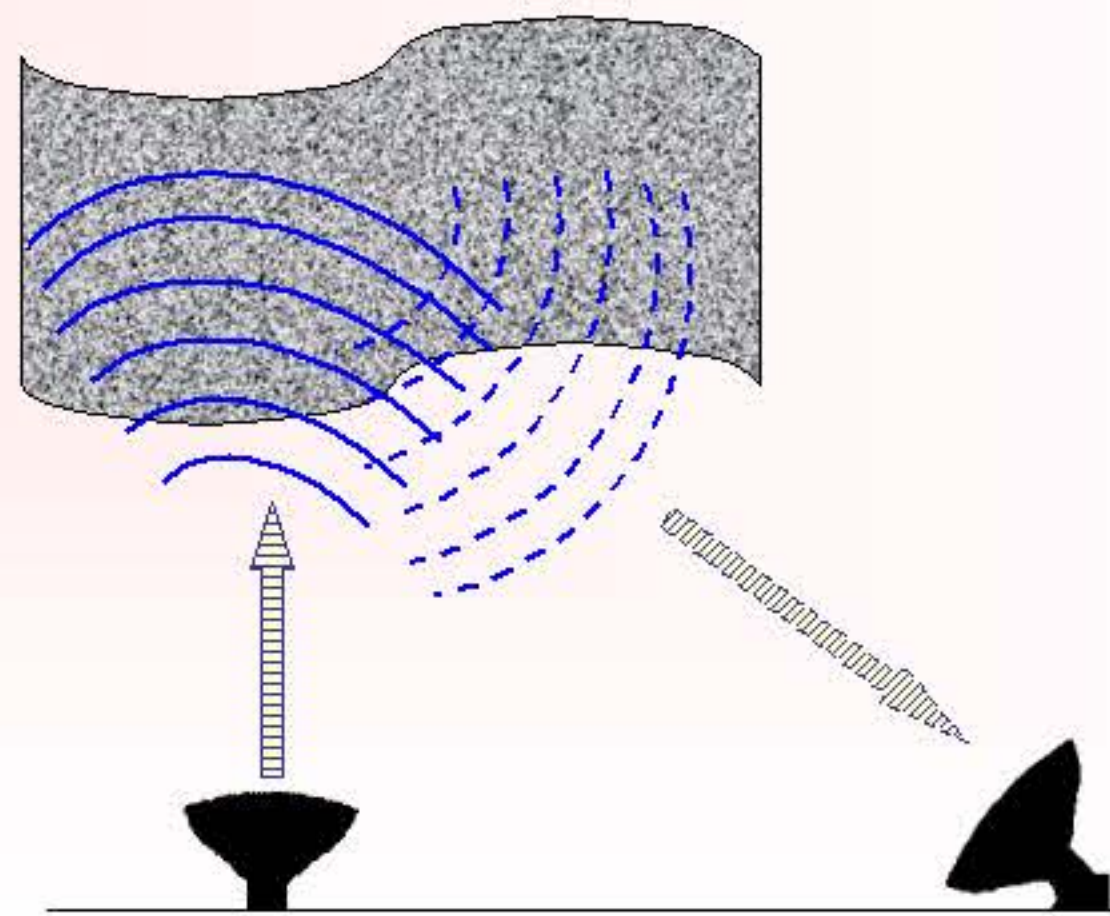
ЛОКАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Радиоакустическое зондирование



- Радиоакустическое зондирование основано на измерении доплеровского смещения частоты сигнала радара, рассеянного на звуковом импульсе. Измерения позволяют получить высотный профиль температуры и вертикальной компоненты скорости ветра.

Акустическая локация



- Акустическое зондирование основано на рассеянии звуковых волн на турбулентных мелкомасштабных неоднородностях, что позволяет исследовать турбулентность и волновые движения в атмосфере.

Технические характеристики радиоакустической системы (Зименки)



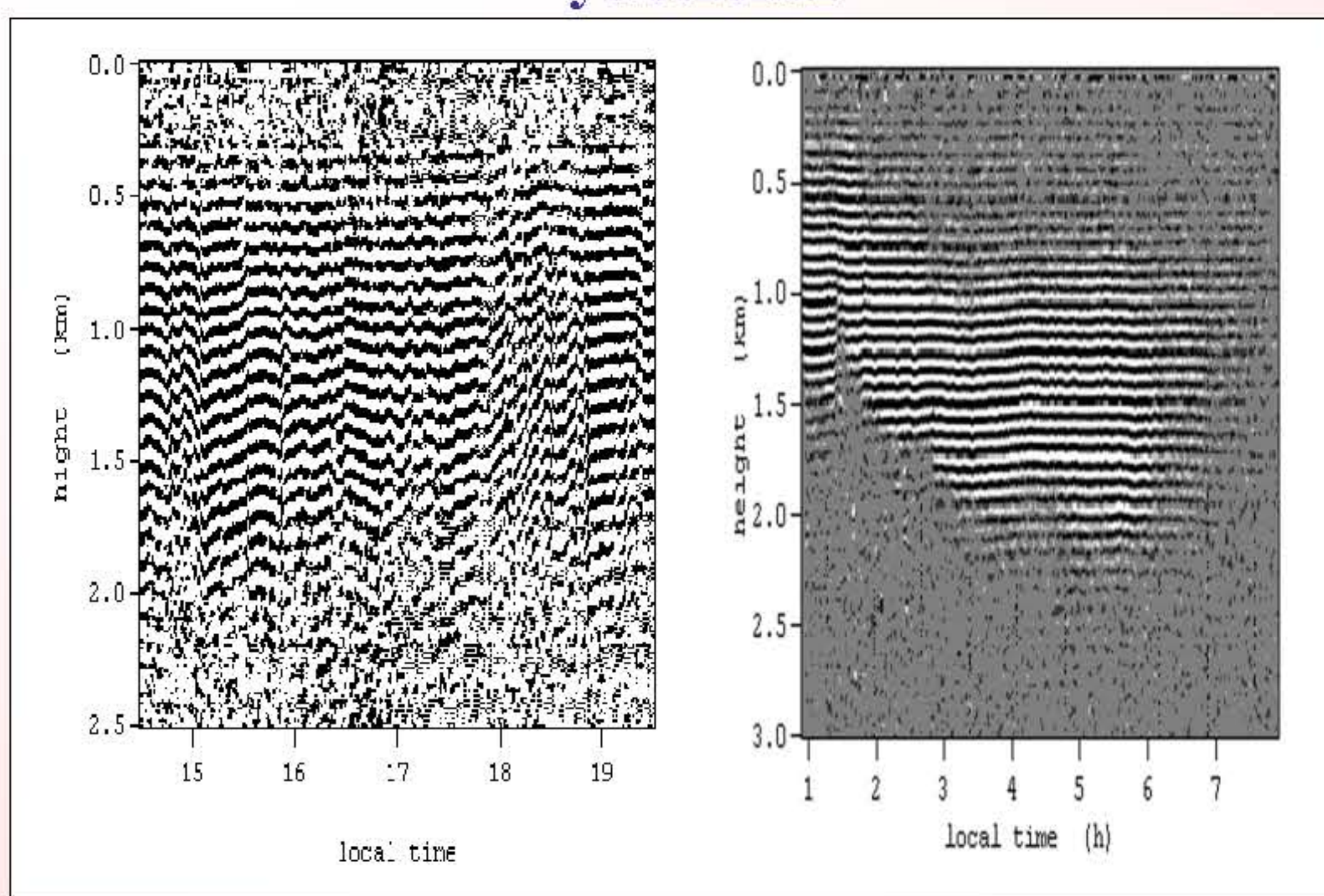
- Акустическая система представляет собой решетку из резонаторов Гельмгольца. Эффективная излучаемая мощность (с учетом диаграммы направленности) 4 кВт, рабочий диапазон частот 40 – 44 Гц.
- Средняя мощность передатчика радара около 0.1 кВт, рабочая частота около 19 МГц

Технические характеристики радиоакустической системы СУРА-САУНД

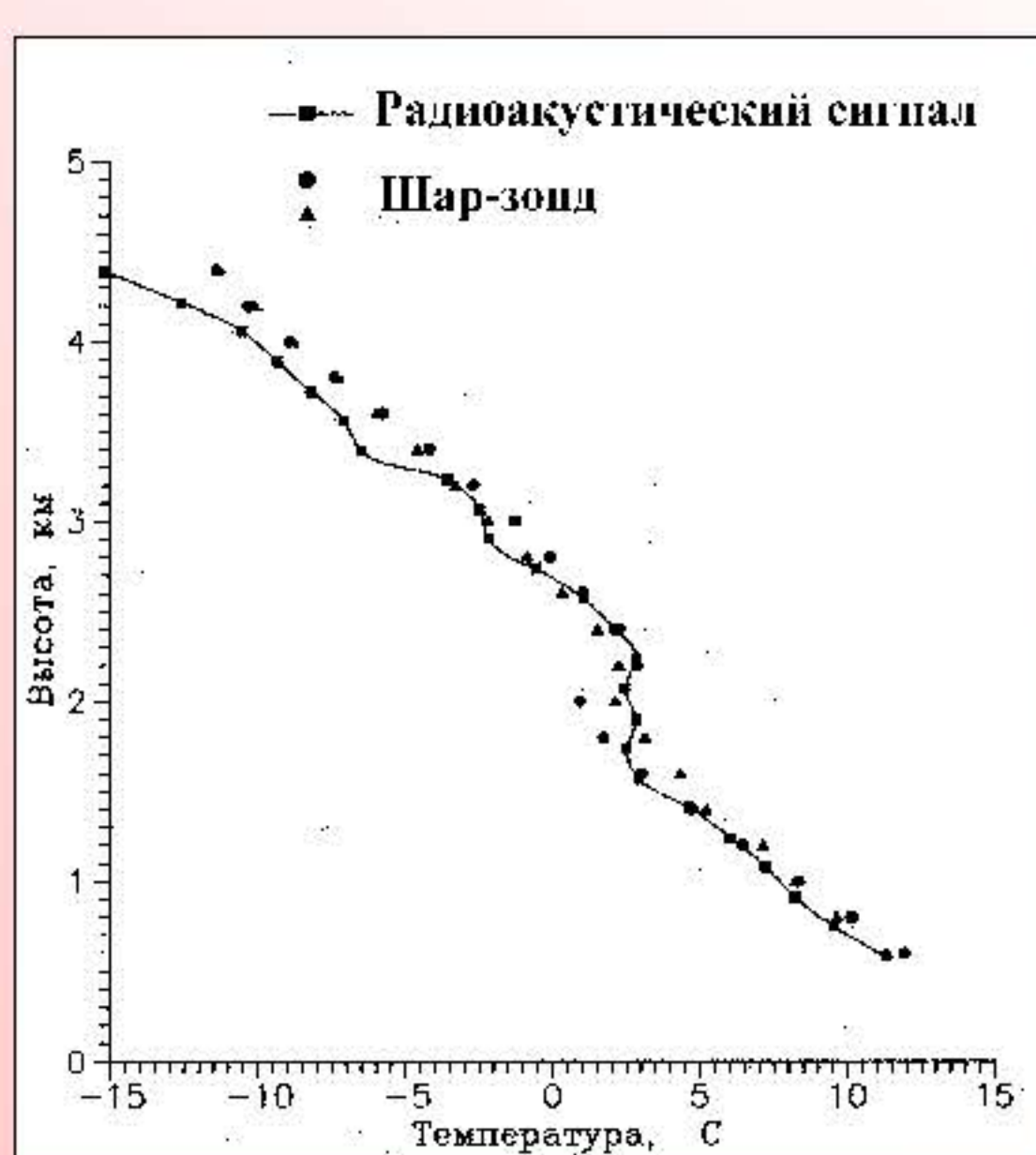


- Средняя мощность радиопередатчика около 80 кВт в режиме локации мезосферы и 0.1 кВт - в режиме локации тропосферы, рабочая частота около 9 МГц
- Для излучения звука используется рупорная антенна, возбуждаемая акустической сиреной. Эффективная излучаемая мощность порядка 0.5 - 1 кВт, рабочий диапазон частот 16 - 24 Гц.

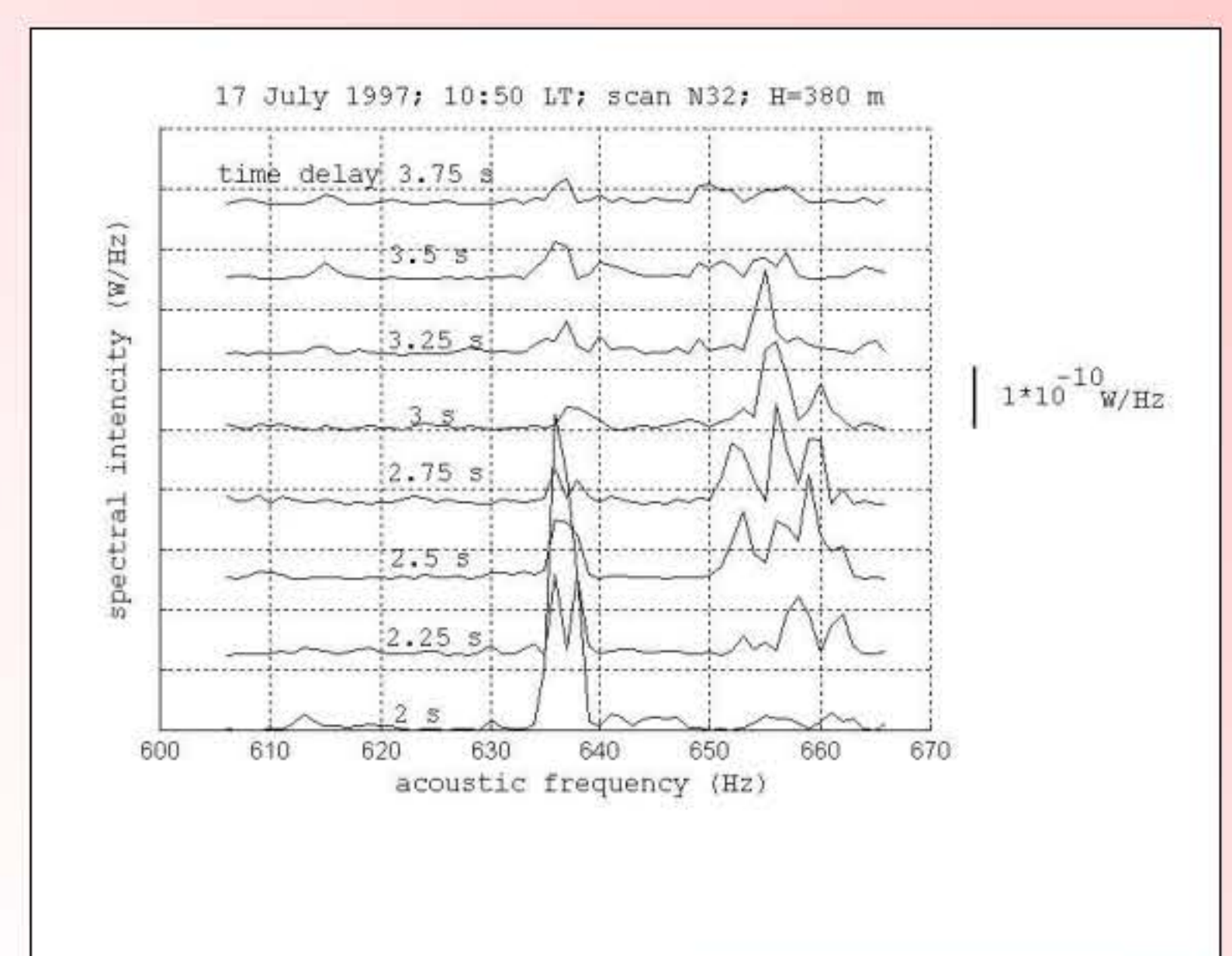
Вариации фазовой задержки рассеянного от акустической решетки радиосигнала в возмущенных (дневных) и спокойных (ночных) атмосферных условиях



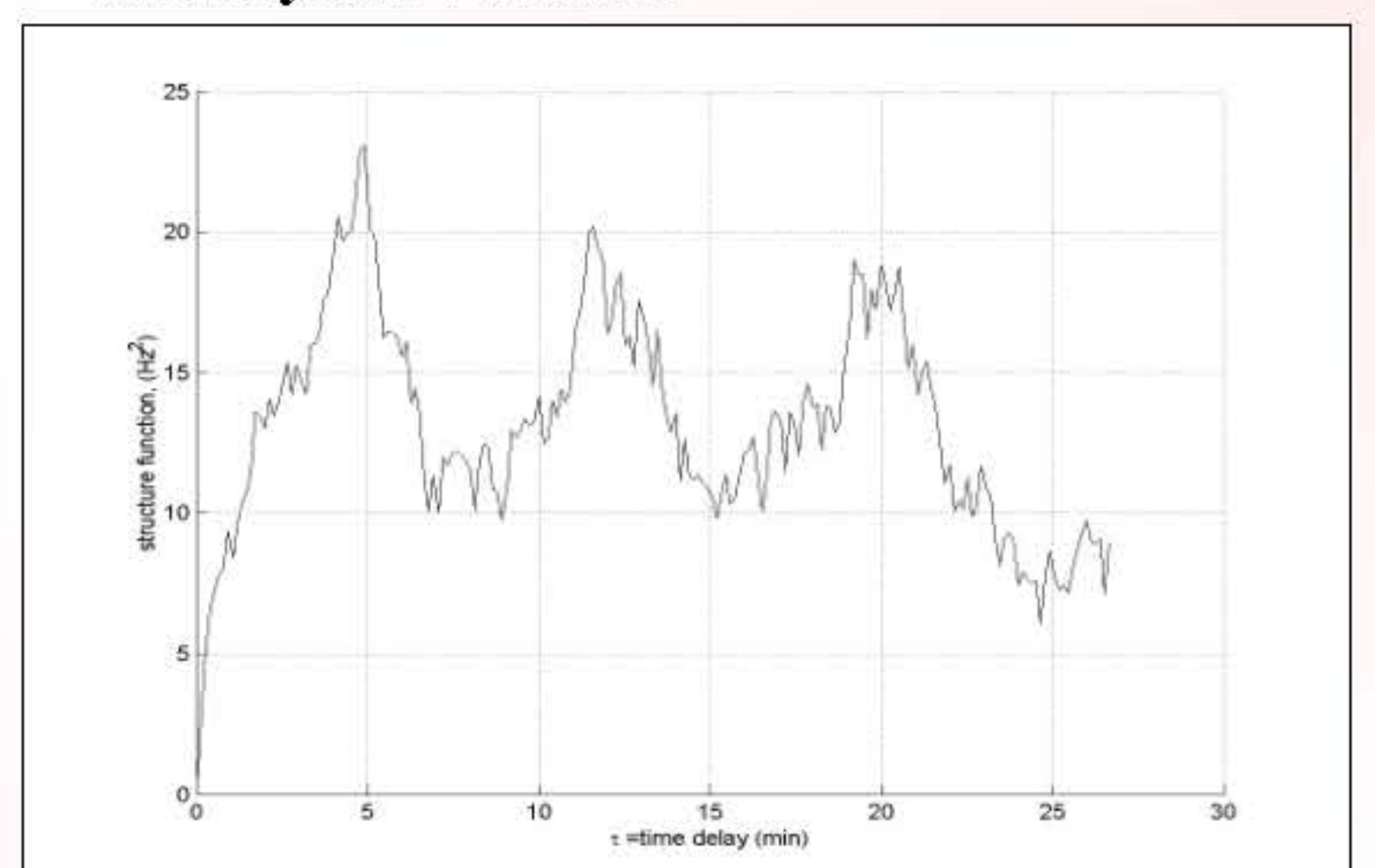
Радиоакустические измерения температуры в тропосфере (температурный профиль) и в мезосфере на высоте около 80 км



Акустическое зондирование



- Существенное расширение спектра рассеянного неоднородностями акустического сигнала свидетельствует о наличии внутренних движений внутри исследуемого объема.



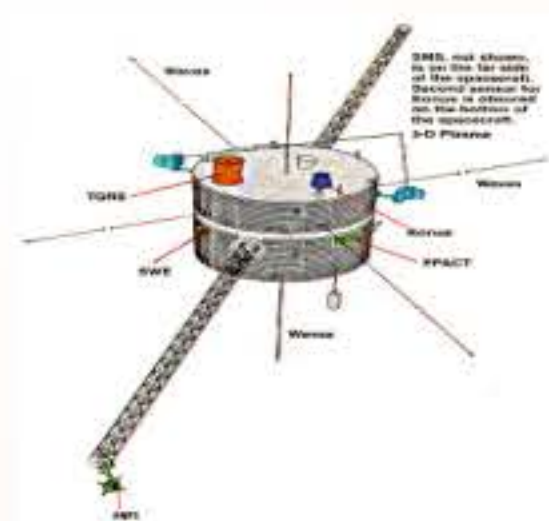
- Структурная функция средней скорости ветра в большом интервале по временам задержки. Виден переход от турбулентных движений к внутренним гравитационным волнам.



ДЕКАМЕТРОВОЕ РАДИОЗОНДИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ БЛИЖНЕГО КОСМОСА

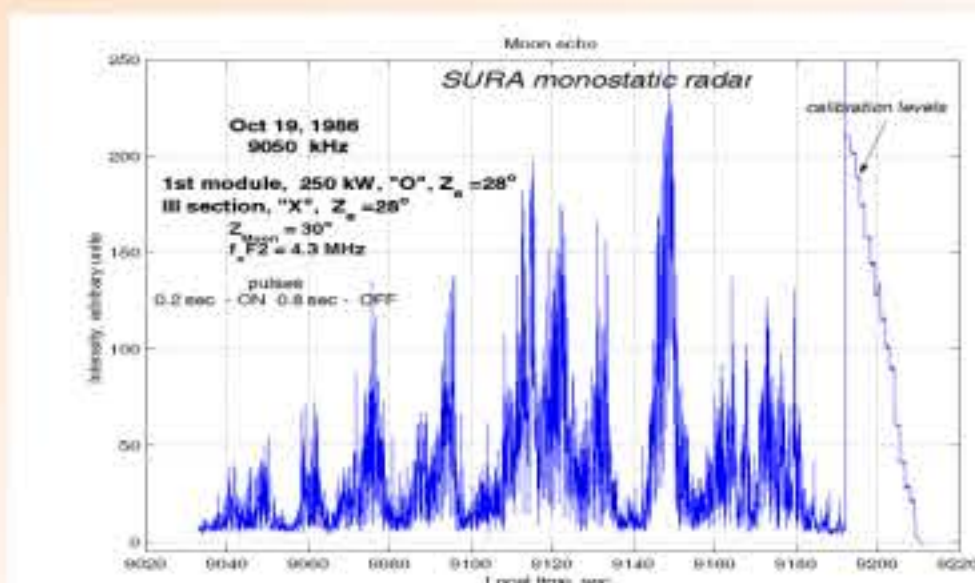
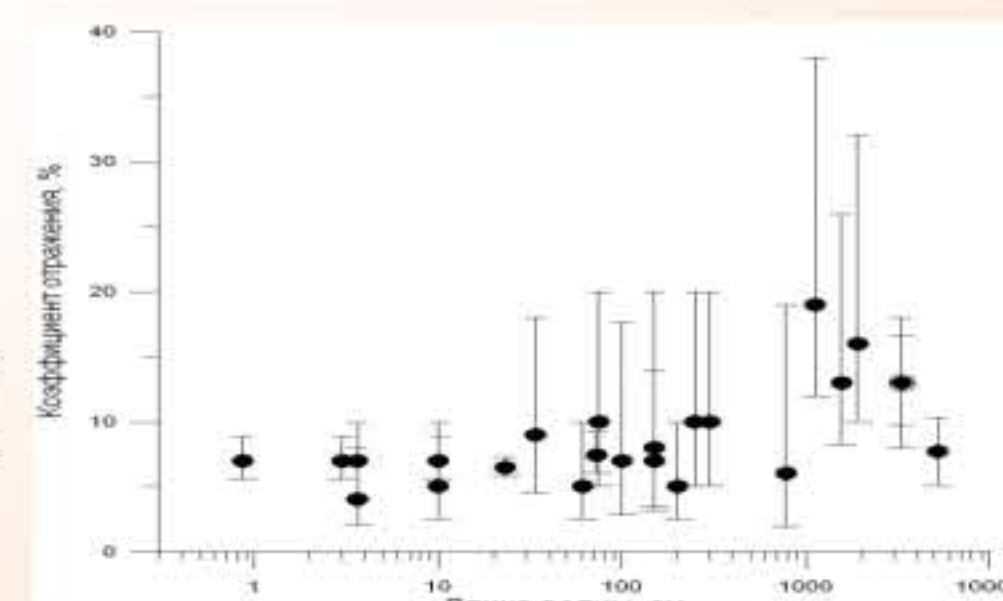


При работе на частотах выше критических частот ионосферы **стенд СУРА представляет собой передающий модуль радара с эффективной мощностью излучения до 100 МВт**, что позволяет использовать его для **исследований объектов ближнего космоса (околоземная плазма, Луна, солнечный ветер, корональные выбросы масс)** методами радиозондирования.



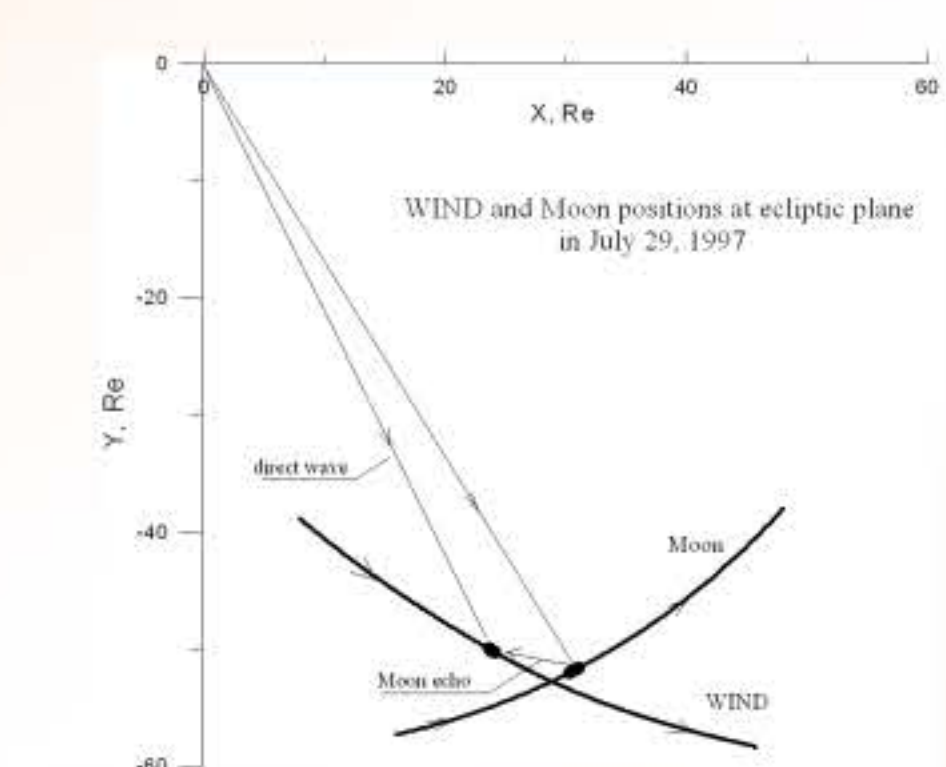
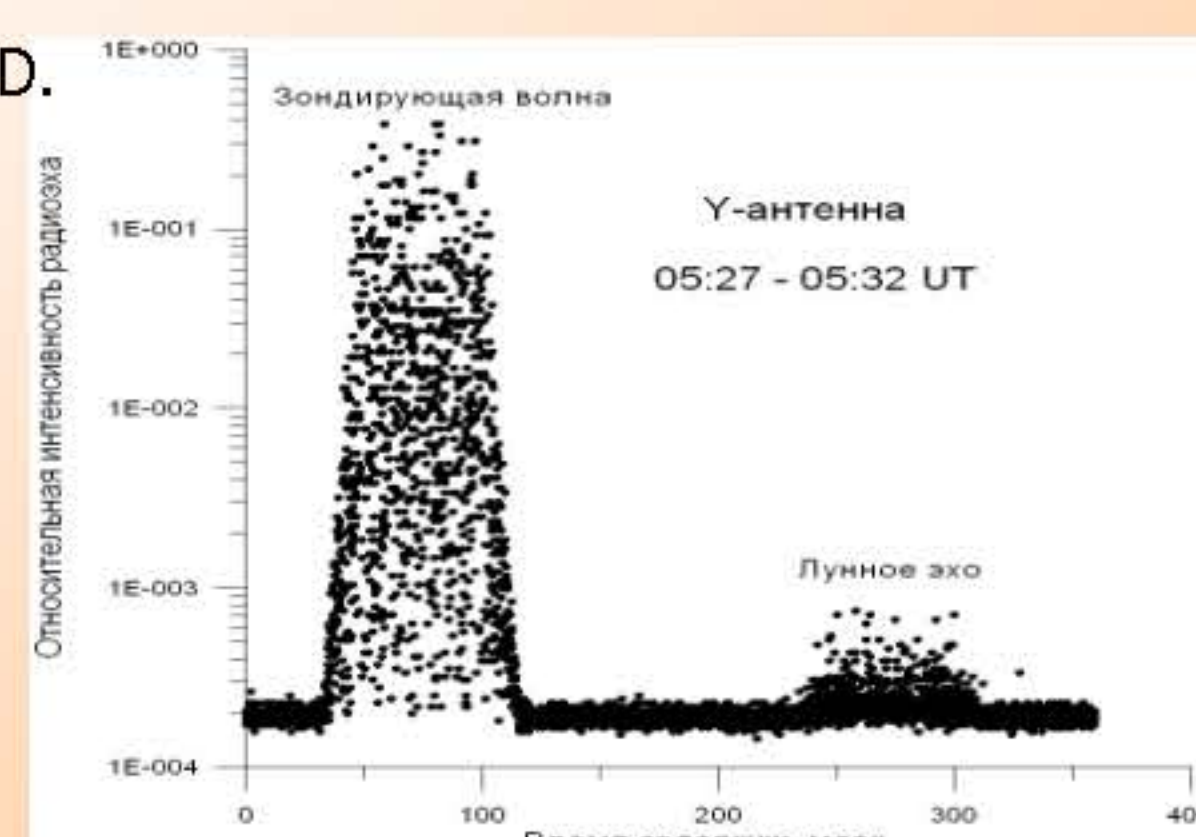
В радарных исследованиях прием сигналов радиоэха может производиться как на удаленную антенну, так и на приемно-передающую антенну стенда ППАДД. Обе эти схемы были реализованы **в экспериментах по радиозондированию Луны в малоизученном диапазоне ниже 10 МГц**. В качестве удаленного приемного модуля использовались радиотелескопы украинской декаметрового системы URAN и космический аппарат NASA WIND.

В 1984-1993 г.г. в исследованиях Луны в схеме моностатической локации (эффективная мощность излучения 18 МВт, чувствительность приема $3 \cdot 10^{-22}$ Вт·м⁻²), впервые был измерен **радарный поперечник Луны на рекордно низких для наземных измерений частотах 9,31; 9,05 и 5,83 МГц**.

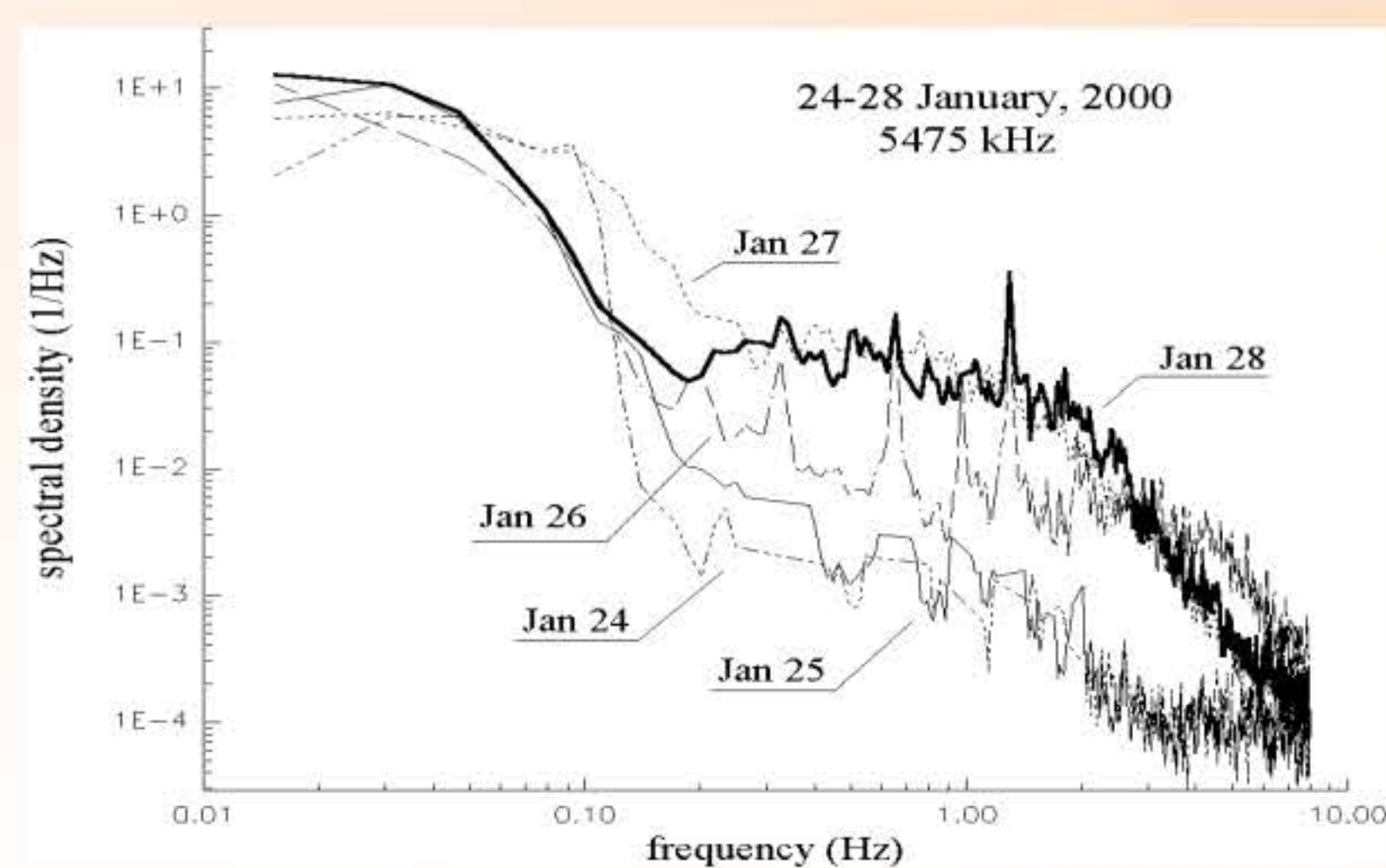
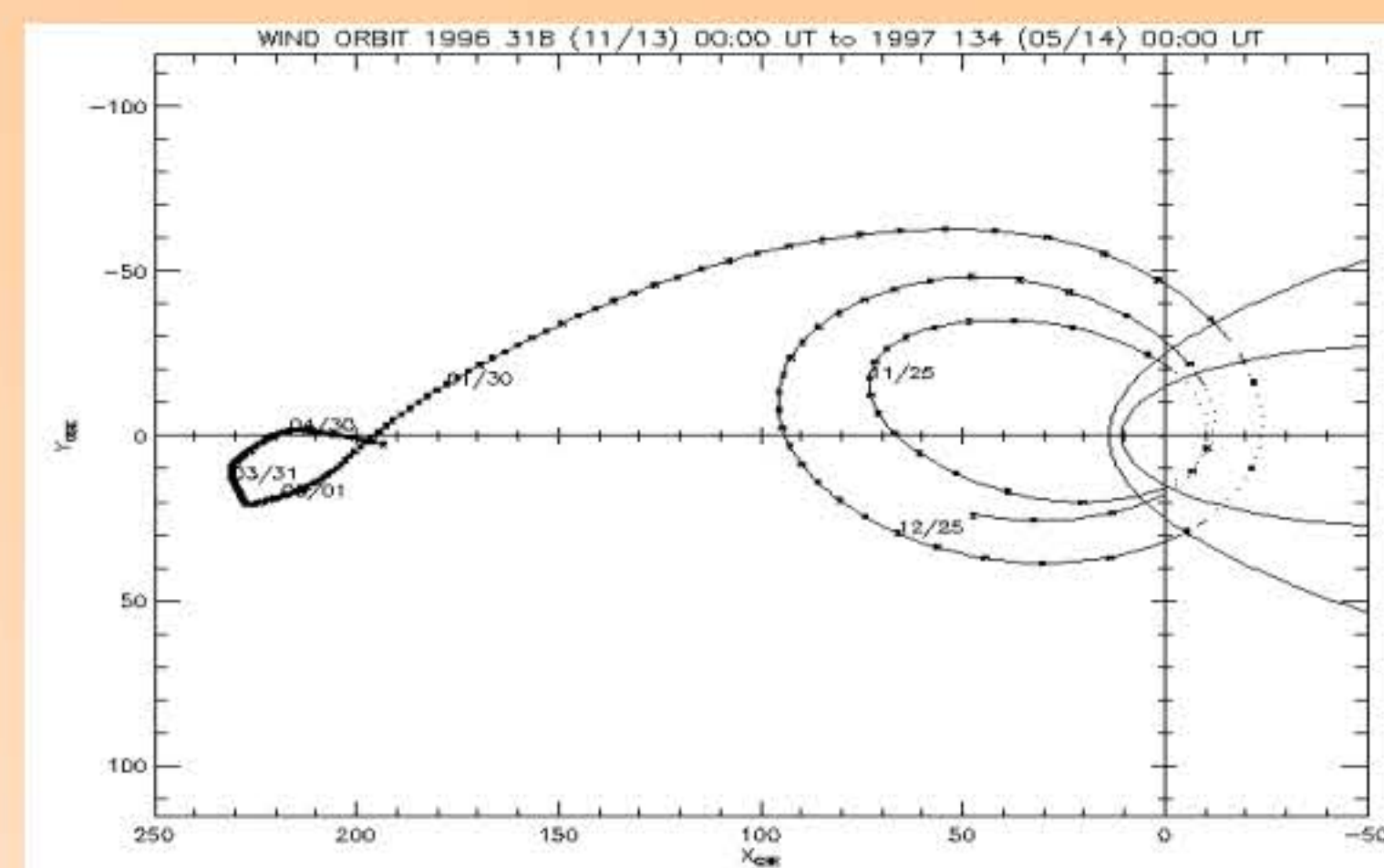


В 1997 г. проведены первые эксперименты по **бистатической локации Луны** с использованием КА WIND. Во время пролета аппарата мимо Луны на расстоянии 8 лунных радиусов его бортовой приемник WAVES RAD2 зарегистрировал прямые и отраженные сигналы на частоте 8,9 кГц.

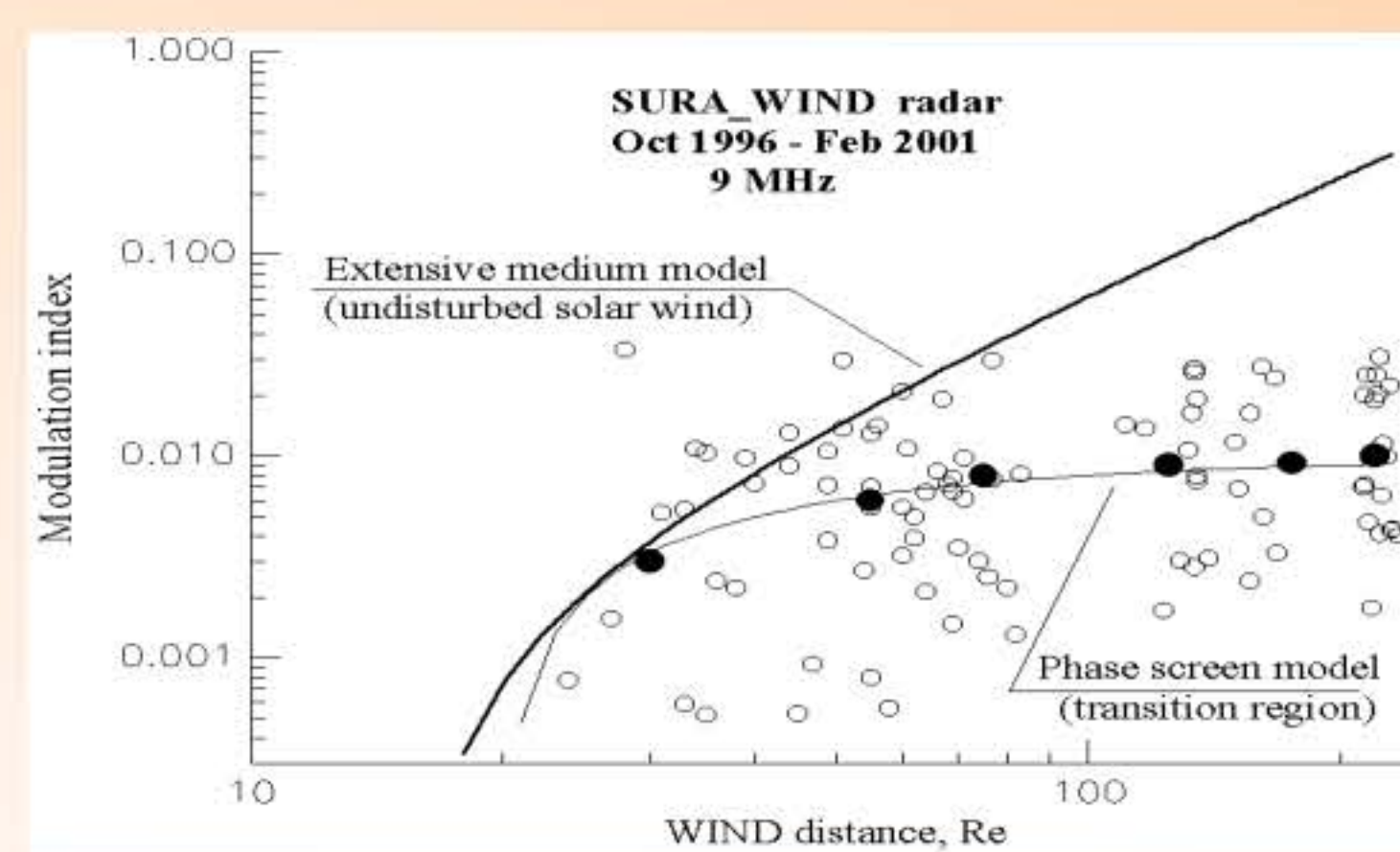
Сделана **оценка радарного поперечника Луны в диапазоне 9 МГц, свободная от влияния эффектов прохождения радиоволн через ионосферу Земли**. Получено **независимое доказательство усиления отражательных свойств лунной поверхности в декаметровом диапазоне волн**.



С августа 1995 г. после вывода в космос космического аппарата WIND, способного регистрировать КВ излучение, успешно функционирует **бистатический радар СУРА- WIND**. Сигналы стенда весьма чувствительны к параметрам среды распространения, что открывает эффективный способ **диагностики околоземной и межпланетной плазмы на трассе Земля – КА**.

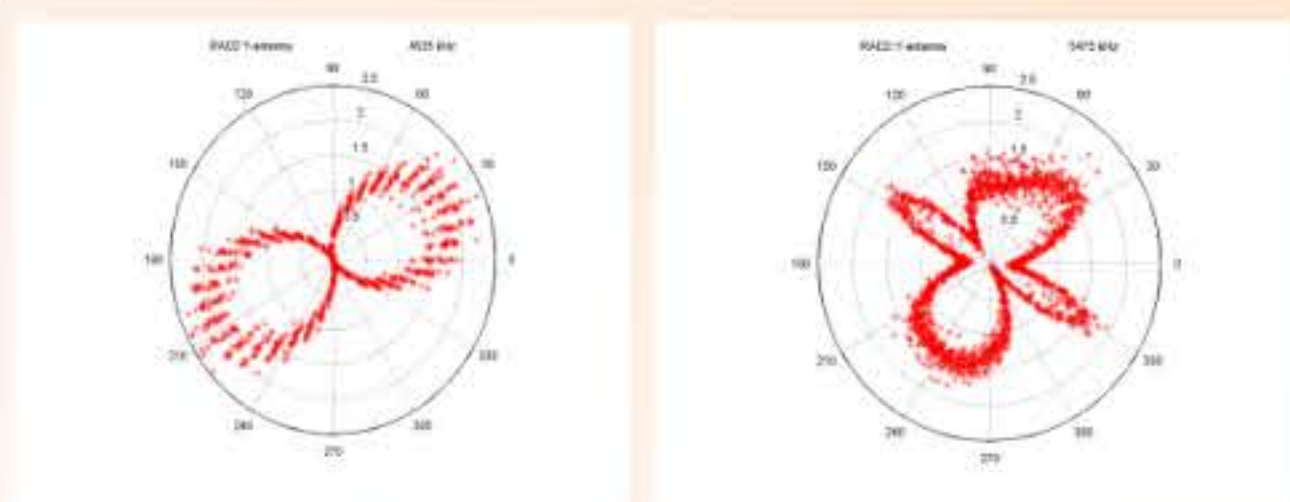
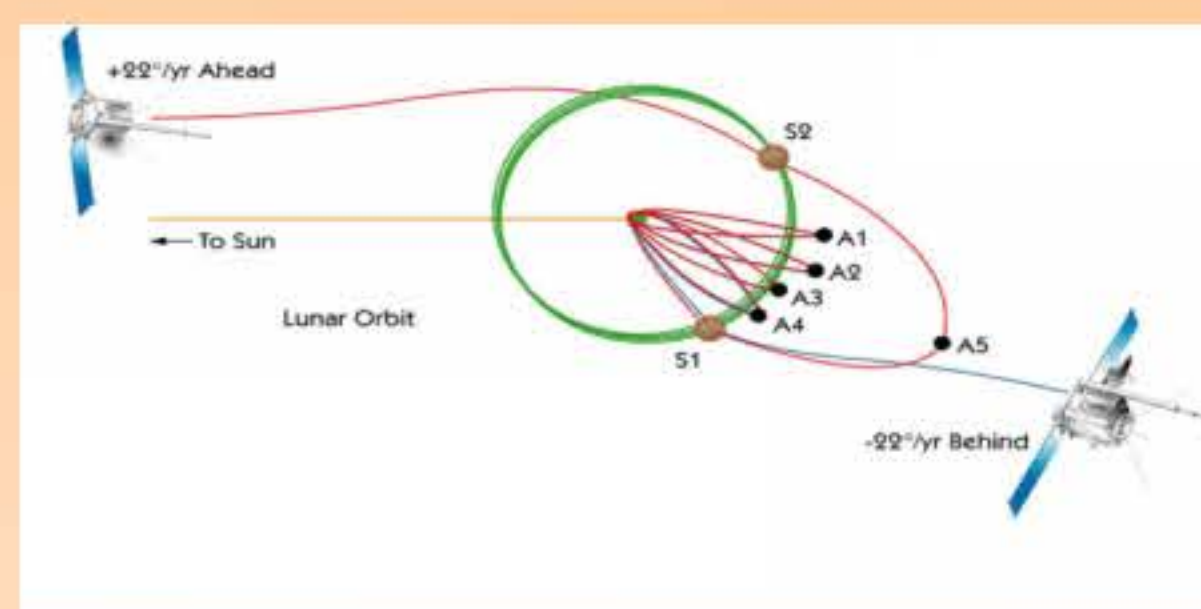


В сеансах, когда **WIND находится за пределами магнитопаузы**, в принятых сигналах возникают быстрые флуктуации, а в спектре мерцаний **формируется вторичный максимум** вблизи частот ~ 1 Гц, обусловленный **рассеянием радиоволн на облаках солнечного ветра с масштабами $\sim 40-200$ км**.

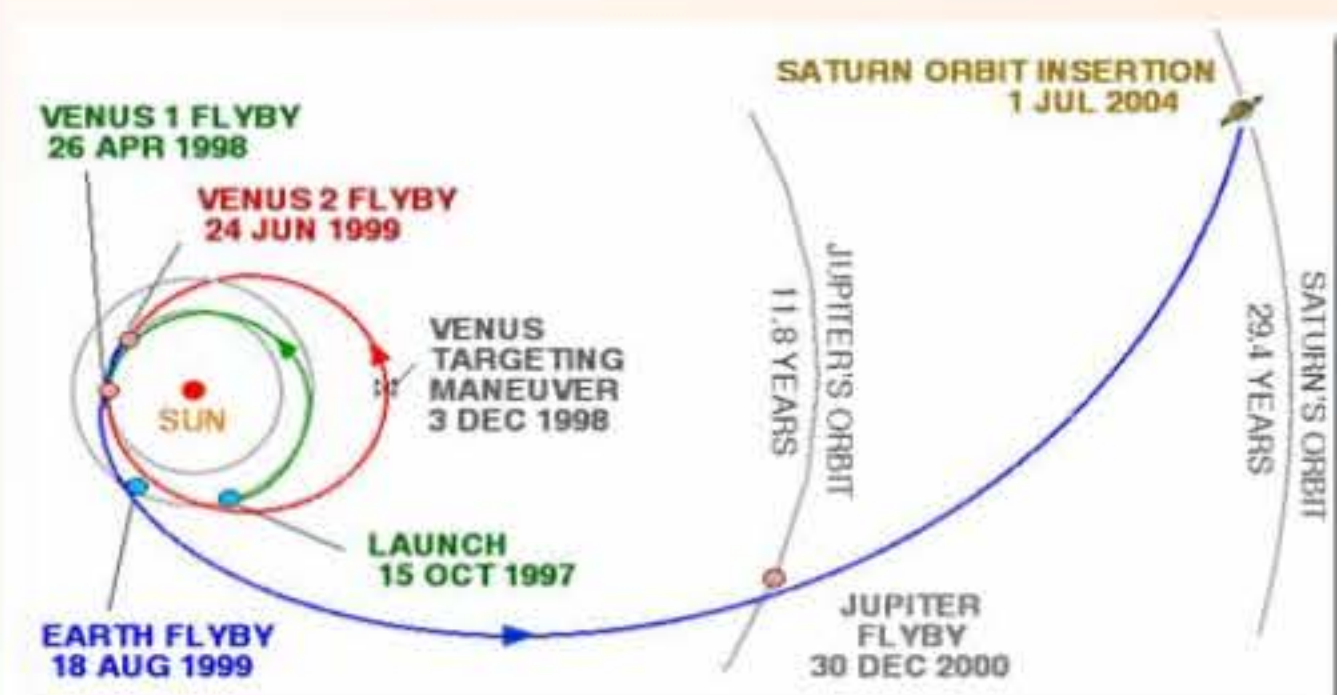
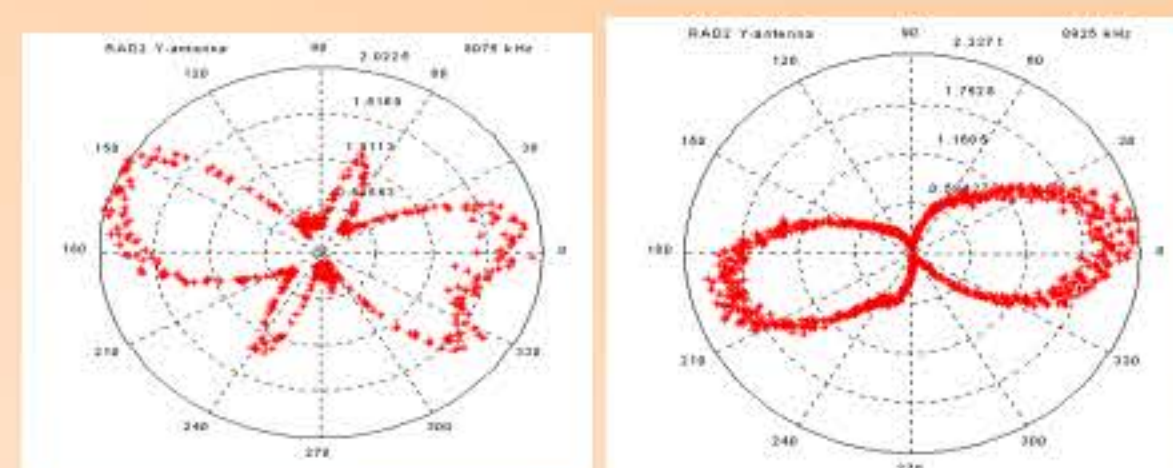


Установлено, что **основной вклад в наблюдаемые межпланетные мерцания сигналов СУРЫ вносит переходная область** между магнитопаузой и отошедшей ударной волной солнечного ветра. Получена **база данных о мелкомасштабных неоднородностях переходной области** на интервале 11-летнего цикла солнечной активности, представляющая интерес для развития **механизмов формирования плазменной турбулентности при взаимодействии солнечного ветра с магнитосферой Земли**.

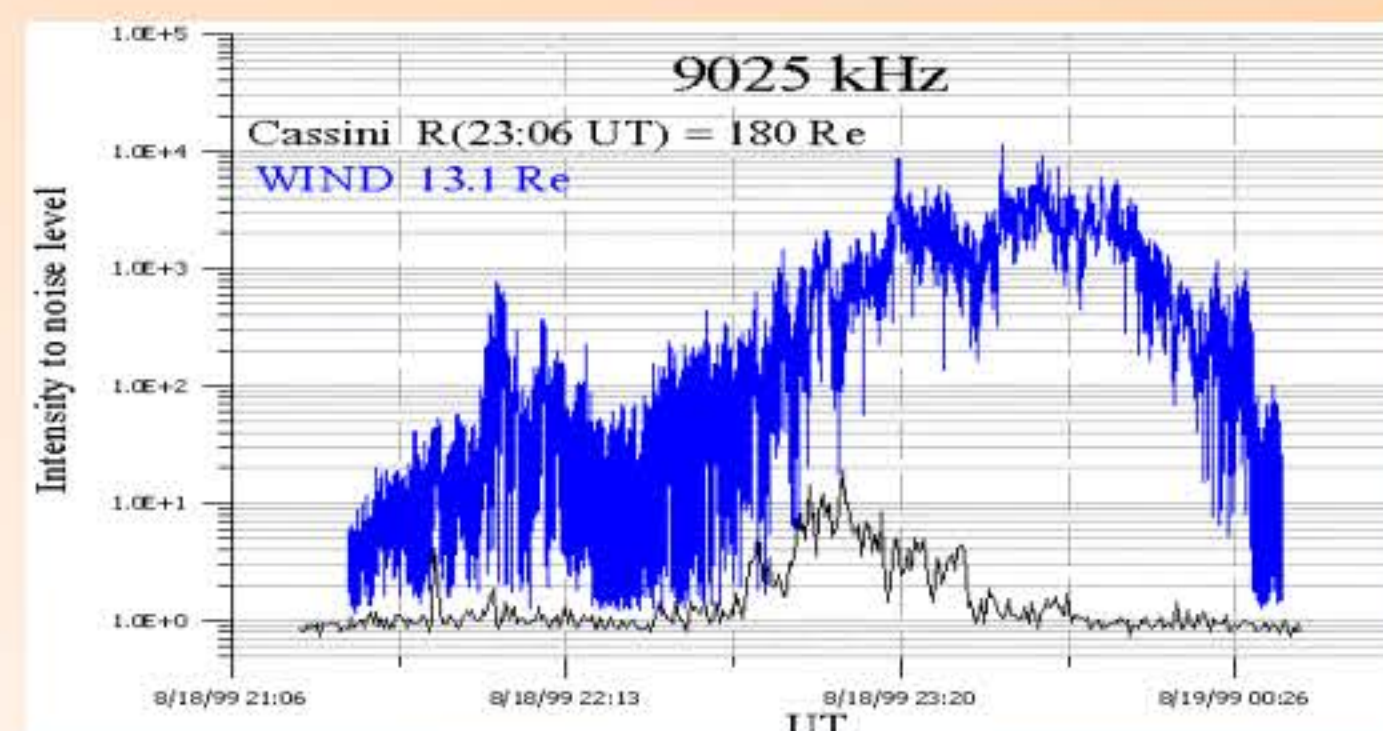
Сигналы стенда доминируют над уровнем космических шумов вплоть до расстояний порядка 10 млн км и обладают контролируемыми характеристиками (средняя мощность, поляризация, частотно-временная кодировка), что весьма удобно **для калибровок приемной аппаратуры удаленных космических аппаратов**.



В 1997 – 1999 г.г. в сеансах СУРА- WIND были **измерены диаграммы направленности** вращающейся 15-м антенны КА WIND на частотах 4525, 5475, 8075 и 8925 кГц



а также сделана **абсолютная калибровка радиоприемника Cassini** в диапазоне 9 МГц вблизи антенного резонанса во время пролета этого КА в августе 1999 г. на его пути к планете Сатурн.



Достигнута договоренность о **калибровке радиоприемной аппаратуры двух идентичных космических аппаратов** на начальной стадии уникального проекта STEREO с ожидаемым выводом в космос в августе 2006 г.



ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ГАЛАКТИКИ И КОСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ



РАДИОПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛАКТИКИ

Обнаружение В.А.Разиным в 1956 г. линейной поляризации галактического радиоизлучения стало решающим доказательством синхротронной природы нетепловой составляющей радиоизлучения Галактики. Это открытие (Диплом № 26 в Государственном реестре открытий СССР) положило начало новому направлению в исследованиях ионизированной межзвёздной среды и магнитного поля Галактики. Кроме того, поляриметрические исследования открыли новые возможности в изучении ионосферы и межпланетной среды по наблюдениям эффекта Фарадея (поворота плоскости поляризации радиоизлучения).

В НИРФИ разработаны основы теории поляризации синхротронного радиоизлучения Галактики, методы радиополяризационных измерений, несколько поколений радиополяриметров, выполнен глубокий анализ радиополяриметрических данных выполненных наблюдений.

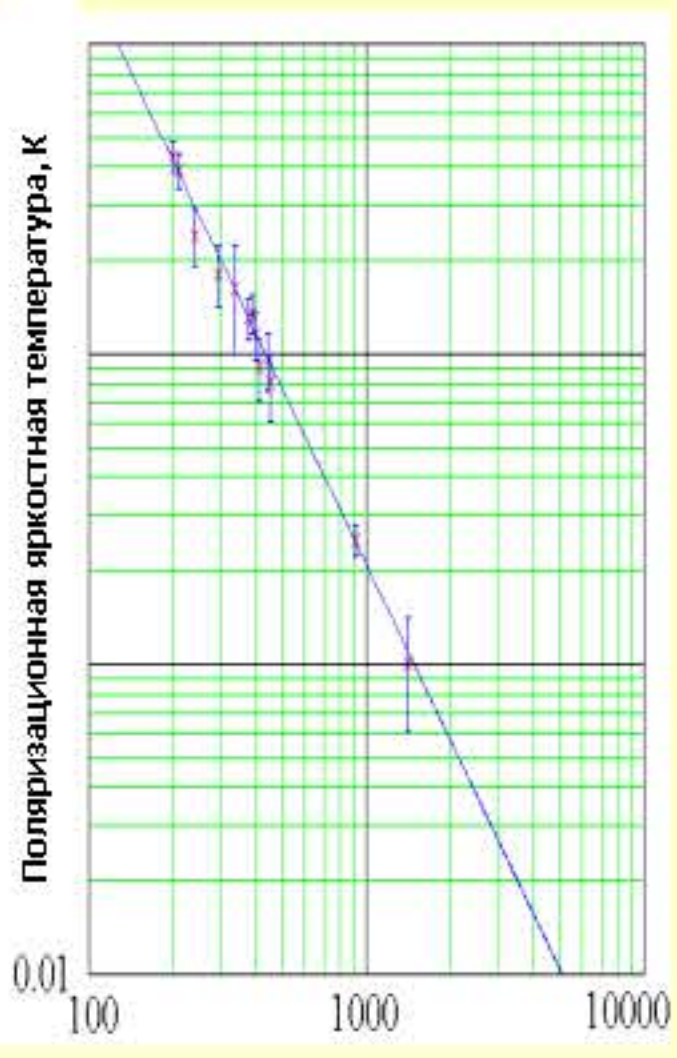


Рис. 1

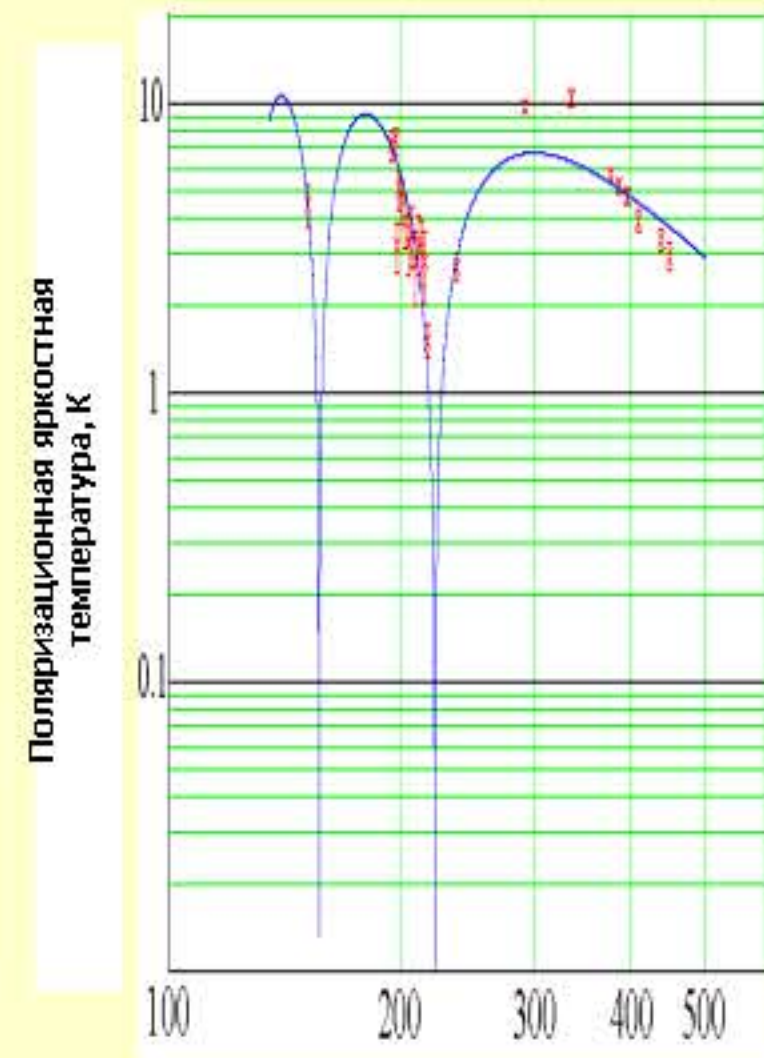


Рис. 2

В Радиоастрономической обсерватории (РАО) НИРФИ «Старая Пустынь» проведены радиополяриметрические исследования ряда областей небосвода с заметной поляризацией в метровом и дециметровом диапазонах радиоволн, прокалиброваны их поляризационные параметры (яркостная поляризационная температура и позиционный угол плоскости поляризации), необходимые для использования этих областей в качестве эталонных в прикладных исследованиях

Осуществлено зондирование Галактики методом многочастотных поляриметрических исследований синхротронного радиоизлучения межзвёздной среды. Установлена петлевая структура межзвездного магнитного поля и оценена электронная концентрация в межзвездной среде.

Выявлено существование двух типов спектров яркостной температуры линейно поляризованной компоненты диффузного галактического радиоизлучения на метровых и дециметровых волнах - степенных и осцилляторных. Степенной спектр наблюдается, например, в направлении Северного полюса Мира (рис.1), осцилляторный характеризует область сильной поляризации с галактическими координатами $l=147^\circ$, $b=+9^\circ$ (рис.2).

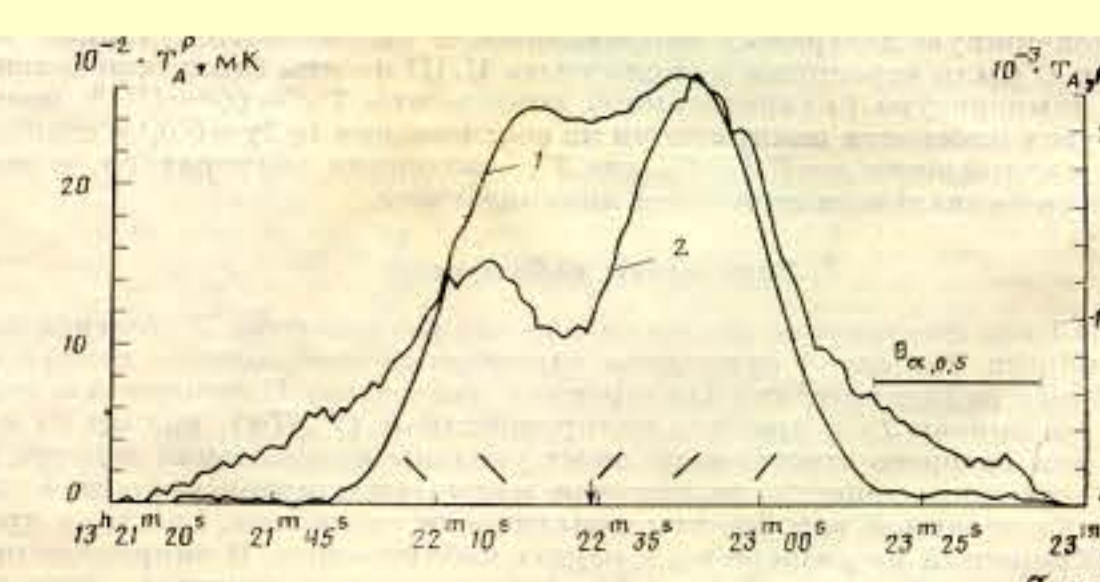
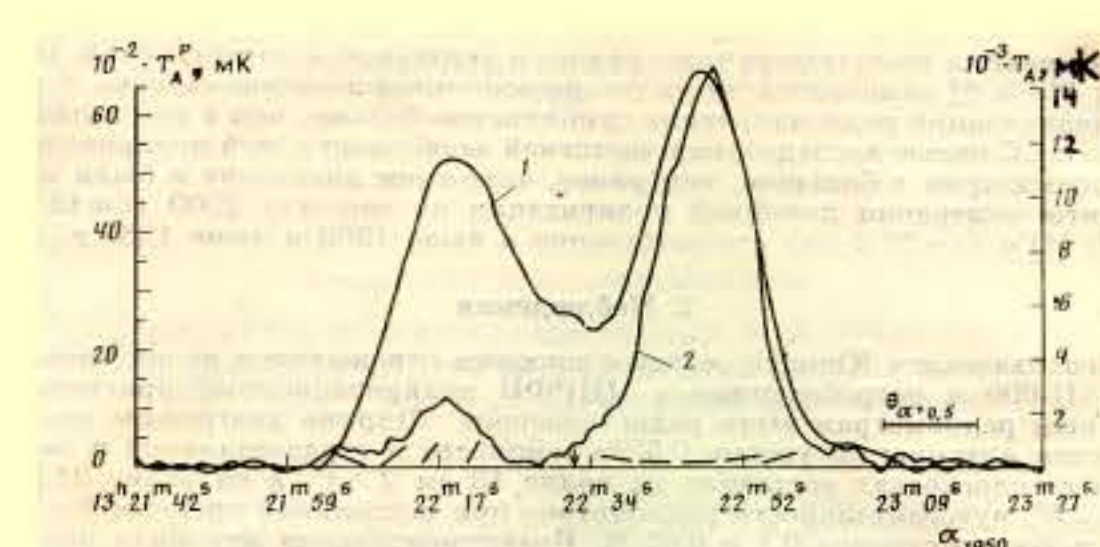
В НИРФИ разработан и реализован поляризационно-фарадеевский метод измерения полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы. Выполнены многолетние измерения ПЭС в РАО НИРФИ «Старая Пустынь», а также в загородных лабораториях Полярного геофизического института (г. Мурманск) и Физико-технического института (г. Ашхабад).



Поляризационно-фарадеевский метод измерения ПЭС ионосферы применяется в проводимых в РАО НИРФИ «Старая Пустынь» совместных работах с Центром управления полётами ЦНИИМаш Российского космического агентства, направленных на повышение точности и эффективности работы российской космической навигационной системы ГЛОНАСС. Работа выполняется в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002 – 2006 годы

РАДИОПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСТАТКОВ СВЕРХНОВЫХ КАССИОПЕИ А, КРАБОВИДНОЙ ТУМАННОСТИ, РАДИОДУГИ В ЦЕНТРЕ ГАЛАКТИКИ И РАДИОГАЛАКТИК ЛЕБЕДЬ А, ДЕВА А И ЦЕНТАВР А.

При помощи радиотелескопа РАТАН-600 и разработанных в НИРФИ поляризационных трактов и облучателей получены одномерные изображения в параметрах Стокса I, Q и U Кассиопеи А, Крабовидной туманности, Радиодуги, Лебеда А, Девы А и Центавра А на волнах сантиметрового и дециметрового диапазонов.



На рисунках приведены одномерные изображения в полном (1) и линейно поляризованном (2) радиоизлучении внутренних лепестков Центавра А на волнах 13 см (вверху) и 31.2 см (внизу).

ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ЛУНЫ.

Совместно с радиоастрономами из IASF и IRA (CNR, Италия) получены карты линейно поляризованного радиоизлучения Луны в различных ее фазах на частоте 8.3 ГГц с угловым разрешением 4.8'.

На рис.1 приведены карты линейно поляризованного радиоизлучения Луны в фазах последней четверти, полнолуния, новолуния и вблизи первой четверти (сверху вниз).



Разработана модель, позволяющая вычислить параметры Стокса интегрального радиоизлучения Луны в зависимости от фазы лунации и частоты, что открывает возможность ее использования как калибратора в планируемых Европейским космическим агентством экспериментах по измерению поляризации реликтового фона.

На рис.2 приведена фазовая зависимость величины параметра Стокса Q интегрального радиоизлучения Луны в градусах Кельвина для частот 22, 32, 60 и 90 ГГц. С уменьшением частоты фазовая зависимость уменьшается.

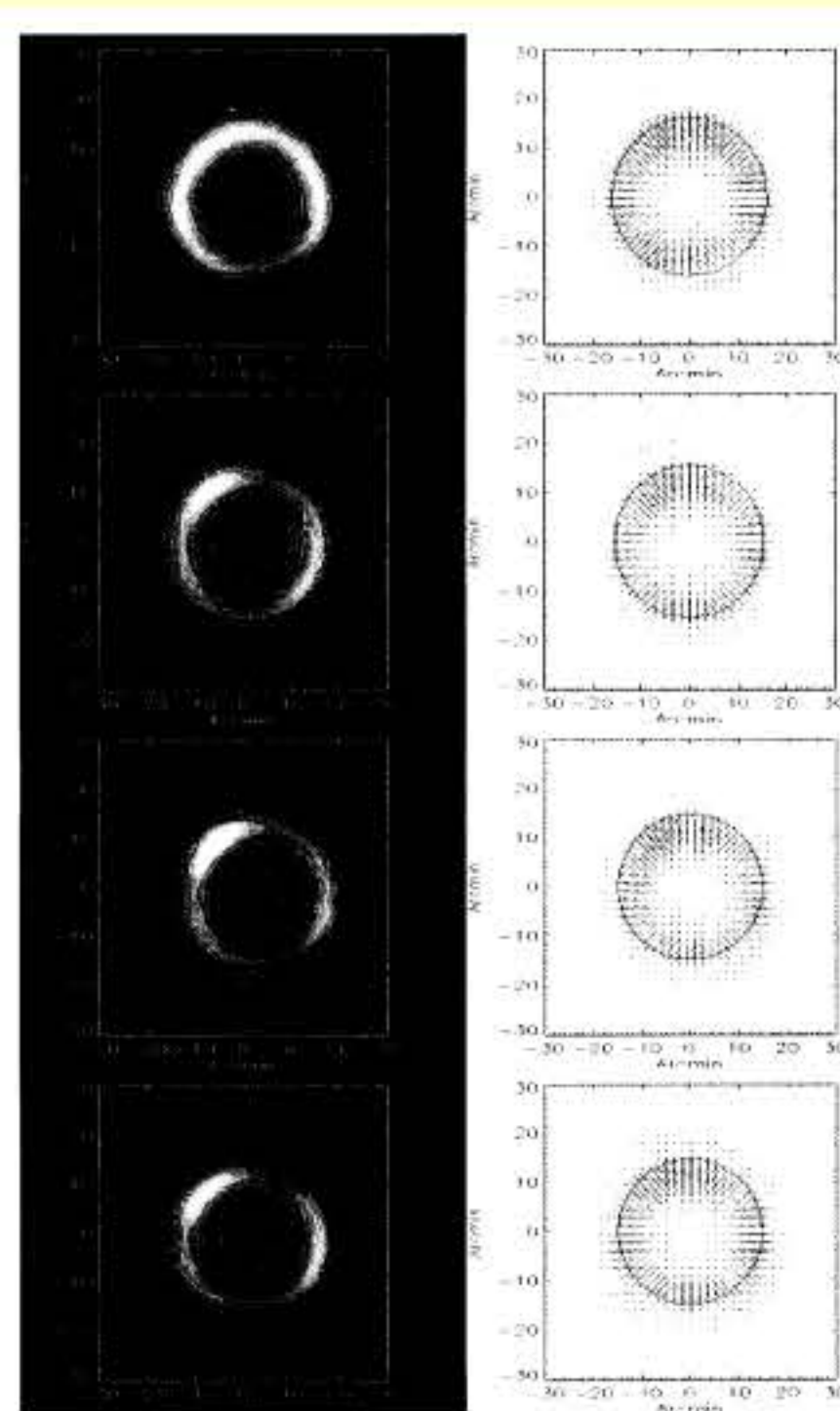


Рис. 1

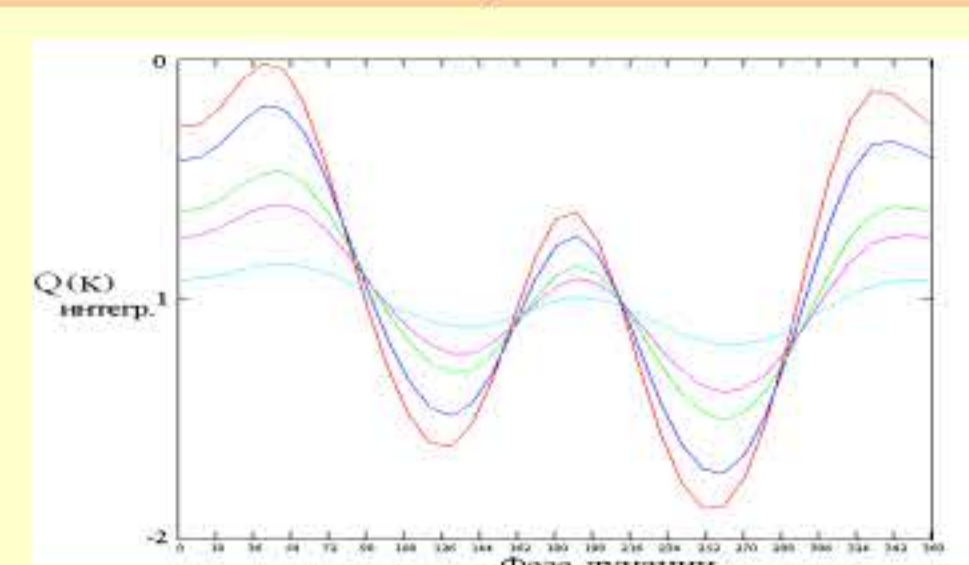


Рис.2



ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ МОЛОДЫХ ОСТАТКОВ СВЕРХНОВЫХ И СПЕКТРОВ МОЩНЫХ РАДИОГАЛАКТИК



С момента создания Радиоастрономической обсерватории НИРФИ "Старая Пустынь" и по настоящее время в ней ведутся исследования радиоизлучения остатков сверхновых Кассиопея А и Крабовидная туманность и мощных радиогалактик Лебедь А и Дева А на волнах сантиметрового, дециметрового и метрового диапазонов. Наблюдения этих объектов ведутся путём абсолютных и относительных измерений.

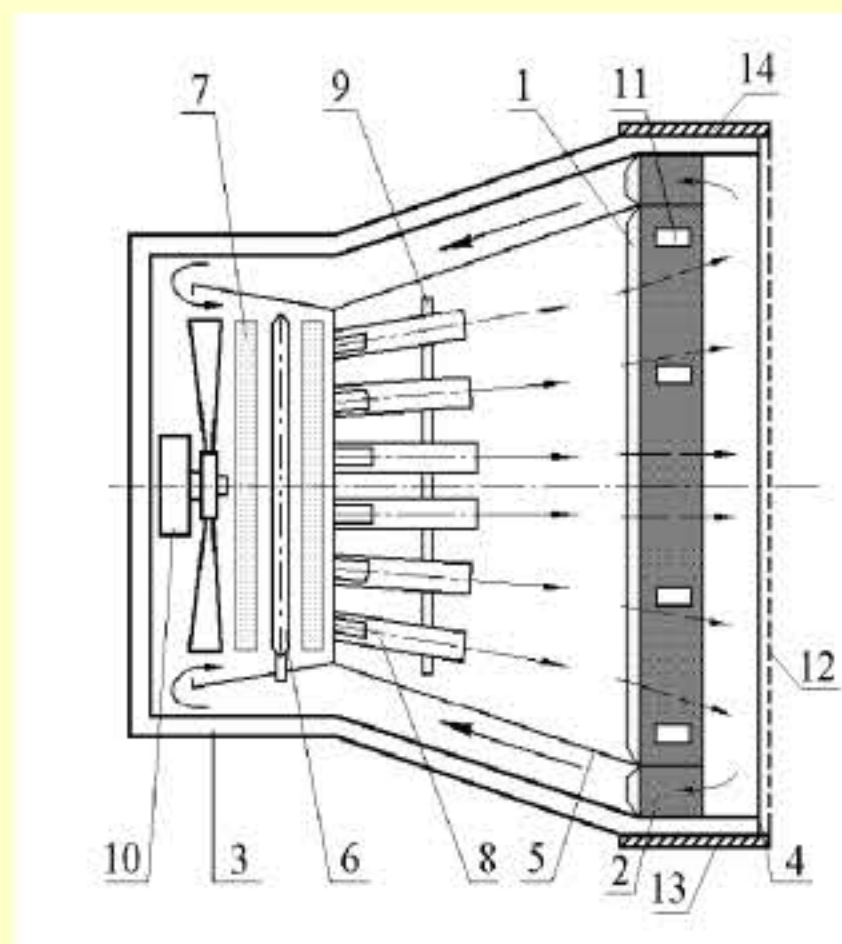
Исследования указанных радиоисточников необходимы не только для изучения физических условий в них, но и важны в прикладных целях, поскольку они используются в измерениях параметров антенн различного назначения.

Стенд для абсолютных измерений в сантиметровом диапазоне волн в РАО "Старая Пустынь" состоит из радиотелескопа РТ-7 и калибровочной вышки с эталоном шумового радиоизлучения.

Для повышения точности абсолютных измерений плотностей потоков радиоизлучения космических источников в НИРФИ разработан двухтемпературный чернотельный эталон шумового радиоизлучения, состоящий из двух дисков, покрытых радиопоглощающими материалами с различной температурой



Расположение датчиков электронного термометра для измерения температуры нагреваемого диска



На двухтемпературный эталон получен патент РФ

- Конструкция термокамеры нагреваемого диска:
- 1 — металлический отражатель;
 - 2 — радиопоглощающий материал;
 - 3 — термокамера;
 - 4 — передняя стенка;
 - 5 — направляющий кожух;
 - 6 — нагреватель;
 - 7 — теплообменник;
 - 8 — эластичные трубки;
 - 9 — подвижная пластина;
 - (8-9) — распределитель потока воздуха;
 - 10 — вентилятор;
 - 11 — температурные датчики;
 - 12 — второй слой радиопрозрачной ткани;
 - 13 — внешний обод;
 - 14 — поролоновая прослойка.

В результате многолетних исследований получены временные зависимости плотностей потоков радиоизлучения остатков сверхновых звезд Кассиопея А (рис. 1 и рис. 2) и Крабовидная туманность (рис. 3 и рис. 4) и получены спектры радиоизлучения радиогалактик Дева А (рис. 5) и Лебедь А.

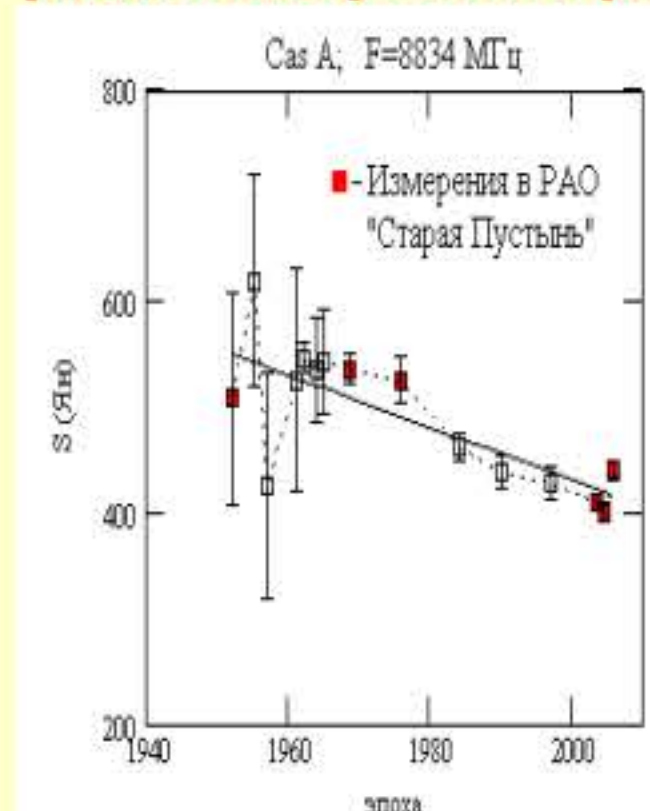


Рис. 1

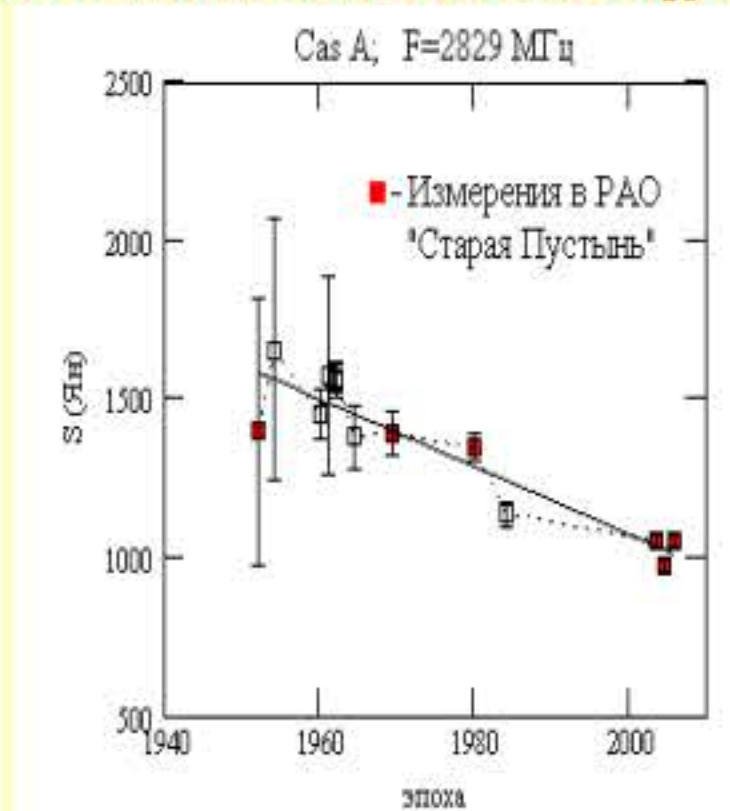


Рис. 2

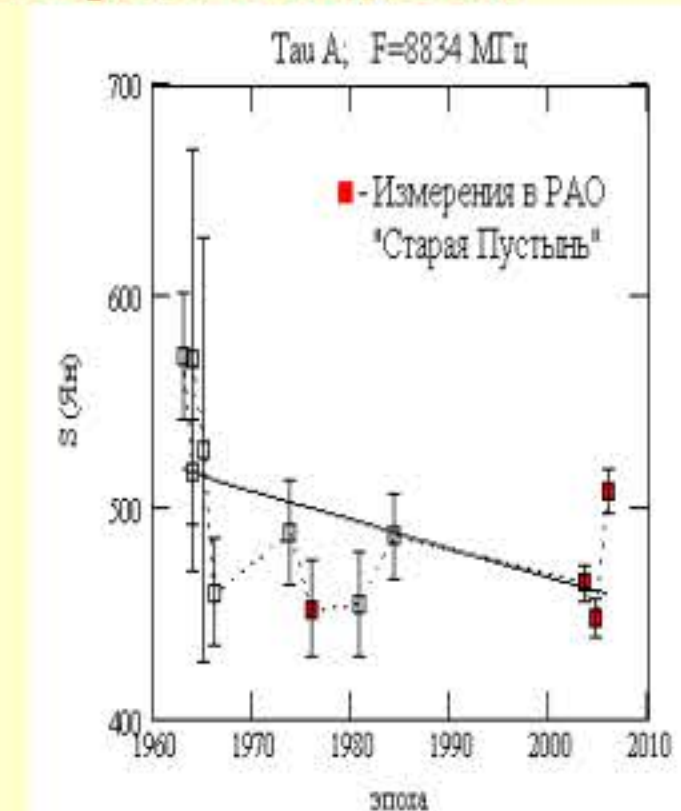


Рис. 3

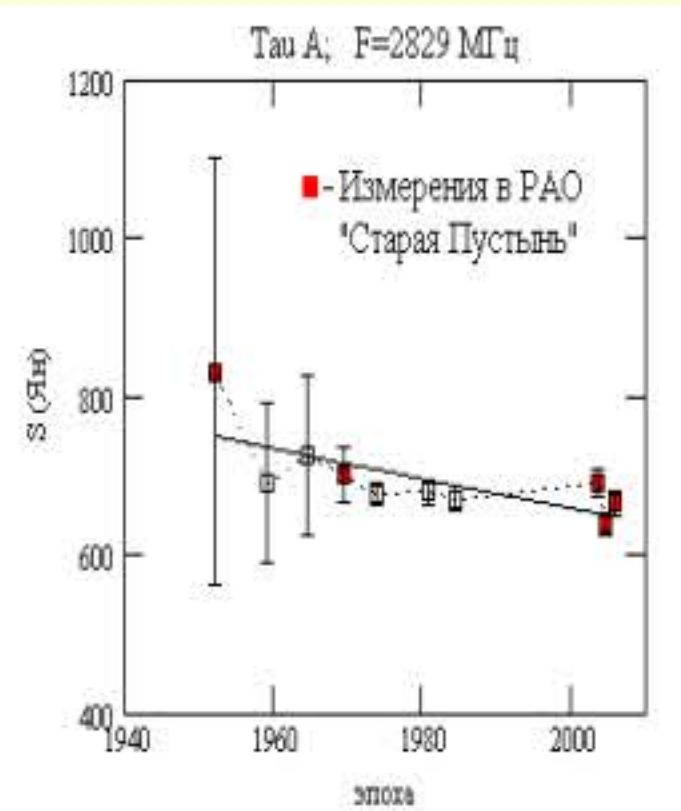


Рис. 4

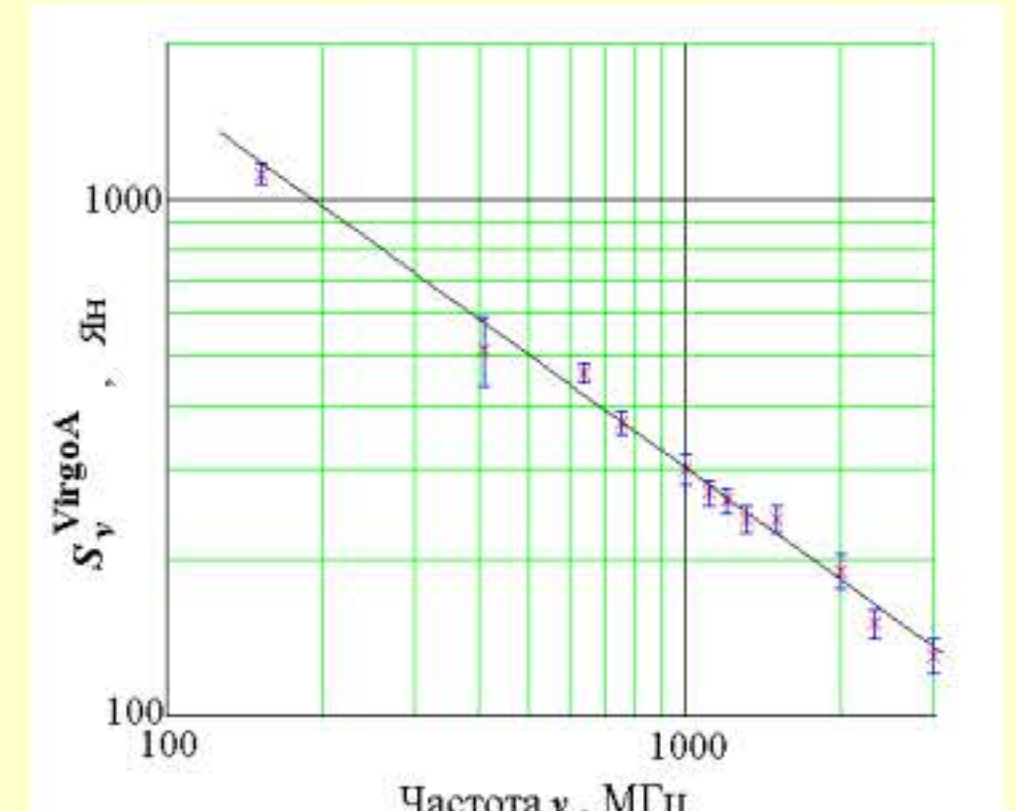


Рис. 5

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ КАССИОПЕИ А И КРАБОВИДНОЙ ТУМАННОСТИ.

В течение нескольких десятков лет и по настоящее время в Радиоастрономической обсерватории НИРФИ "Старая Пустынь" проводятся относительные измерения плотностей потоков радиоизлучения молодых остатков сверхновых Кассиопея А и Крабовидная туманность на ряде волн метрового и дециметрового диапазонов.

В результате обнаружено вековое уменьшение радиоизлучения Крабовидной туманности по наблюдениям на частоте 927 МГц относительно Лебедя А, Девы А и Ориона А. Исследована частотная зависимость векового уменьшения радиоизлучения Кассиопеи А по наблюдениям на частотах 151.5, 290, 510, 927 и 2924 МГц.

В наблюдениях на 151.5 МГц используется интерферометр из 14-м радиотелескопов (рис. 1), на остальных частотах - два 10-м радиотелескопа. На рис. 2 приведена временная зависимость отношения плотностей потоков Кассиопеи А и Лебедя А на частоте 151.5 МГц, а на рис. 3 - на частоте 927 МГц.



Рис. 1

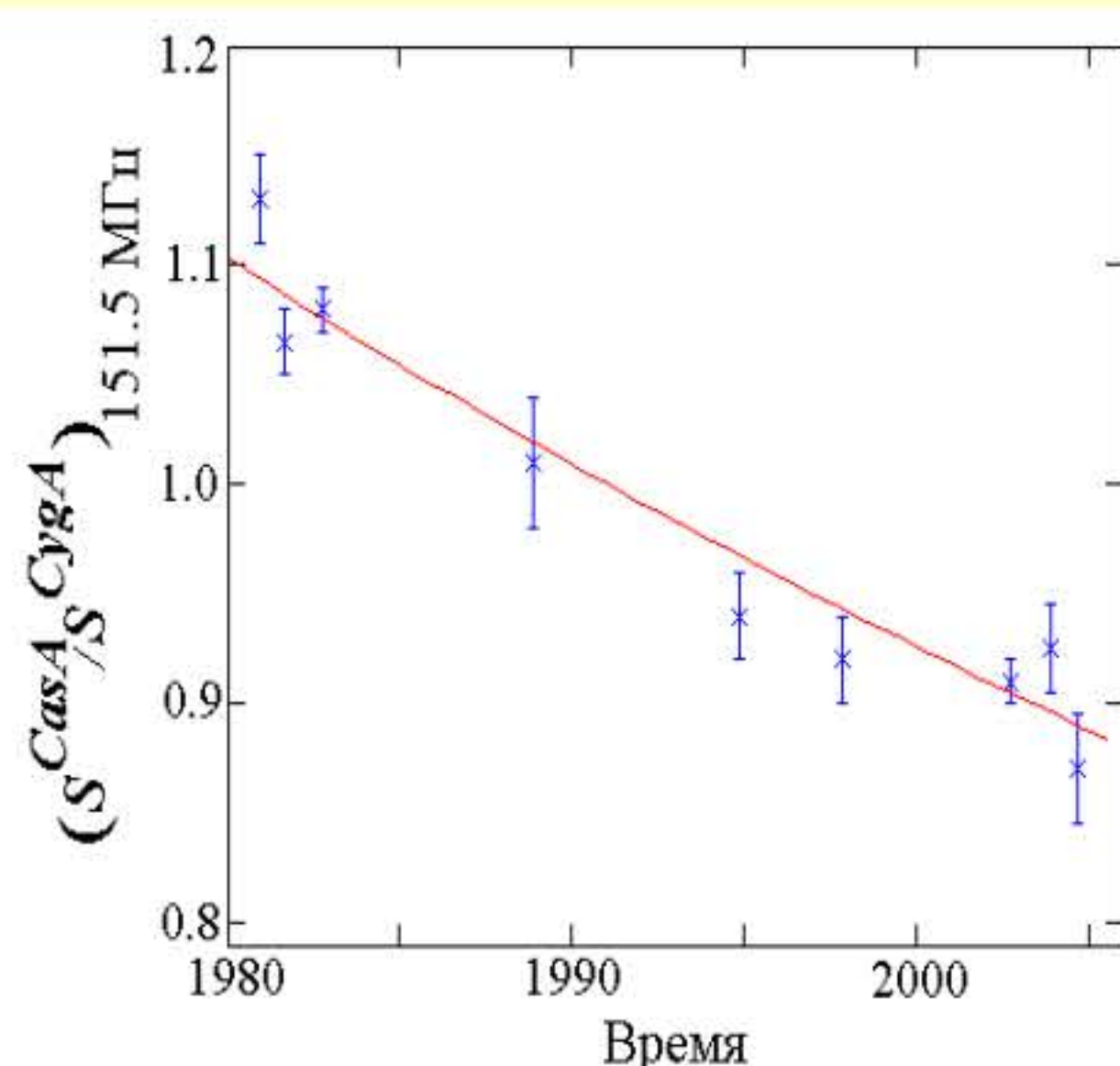


Рис.2

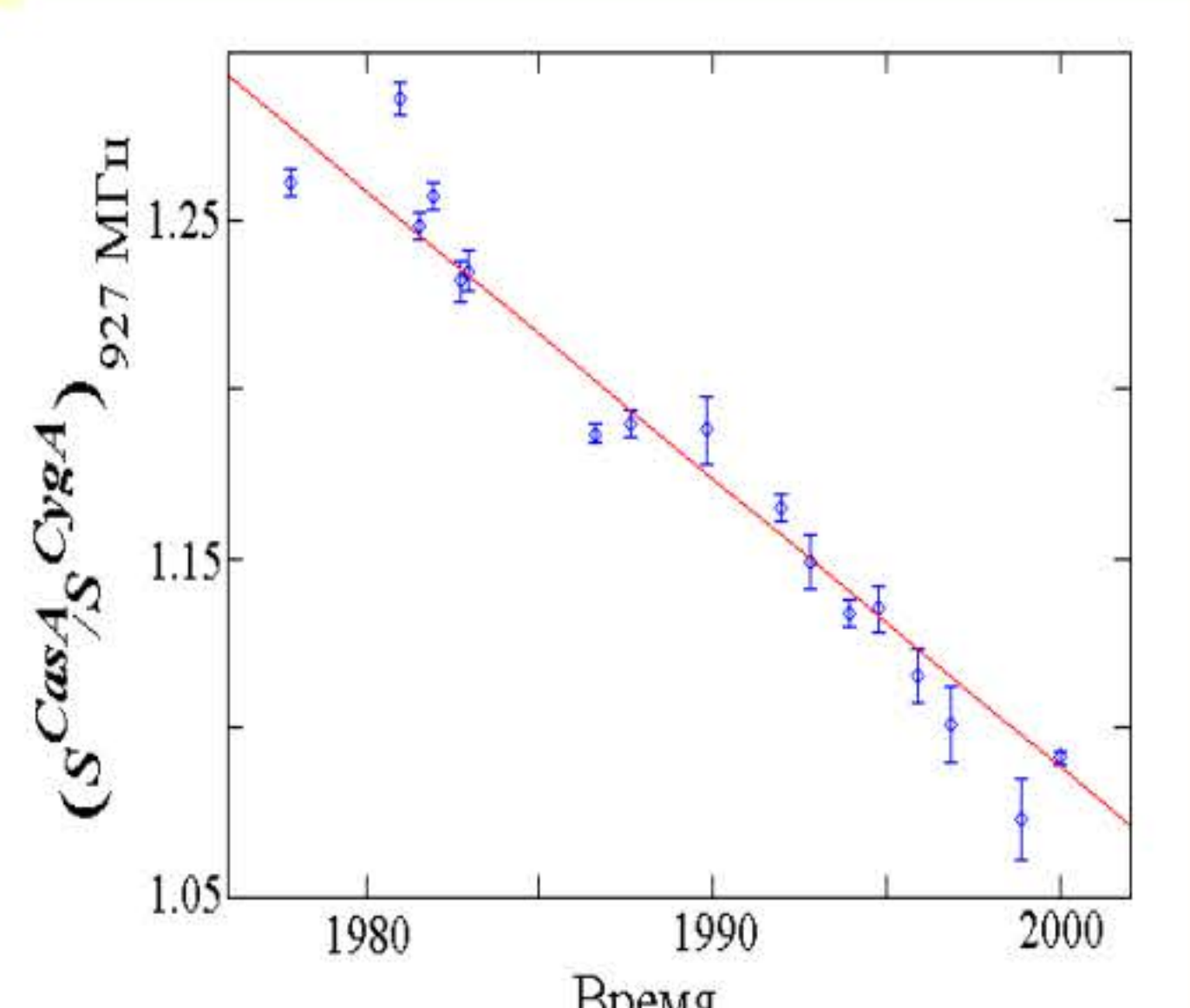
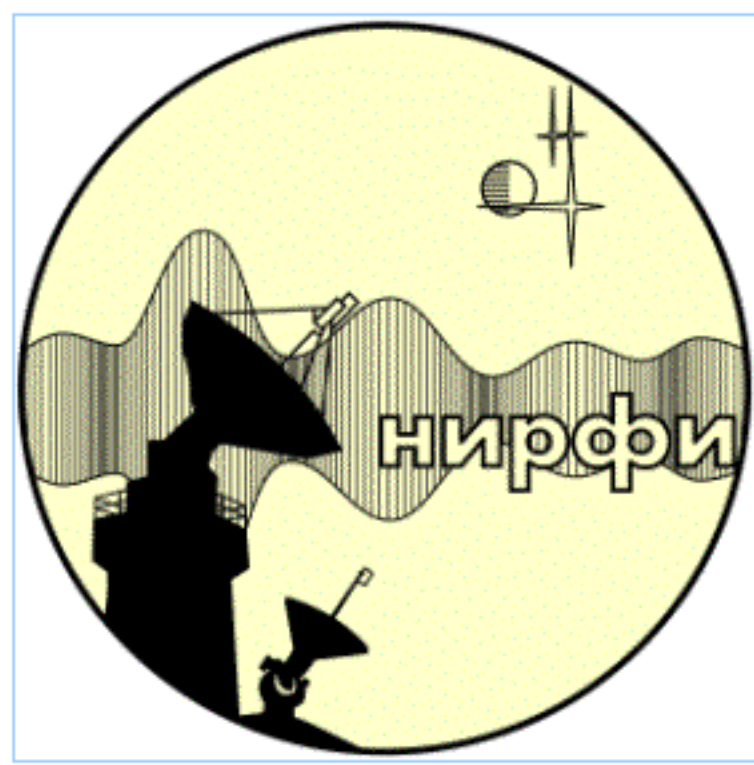


Рис.3



Спорадическая активность нейтронных звёзд в остатках сверхновых

Современные информационные технологии в познании материи



Карадагская радиоастрономическая станция ФГНУ «НИРФИ»



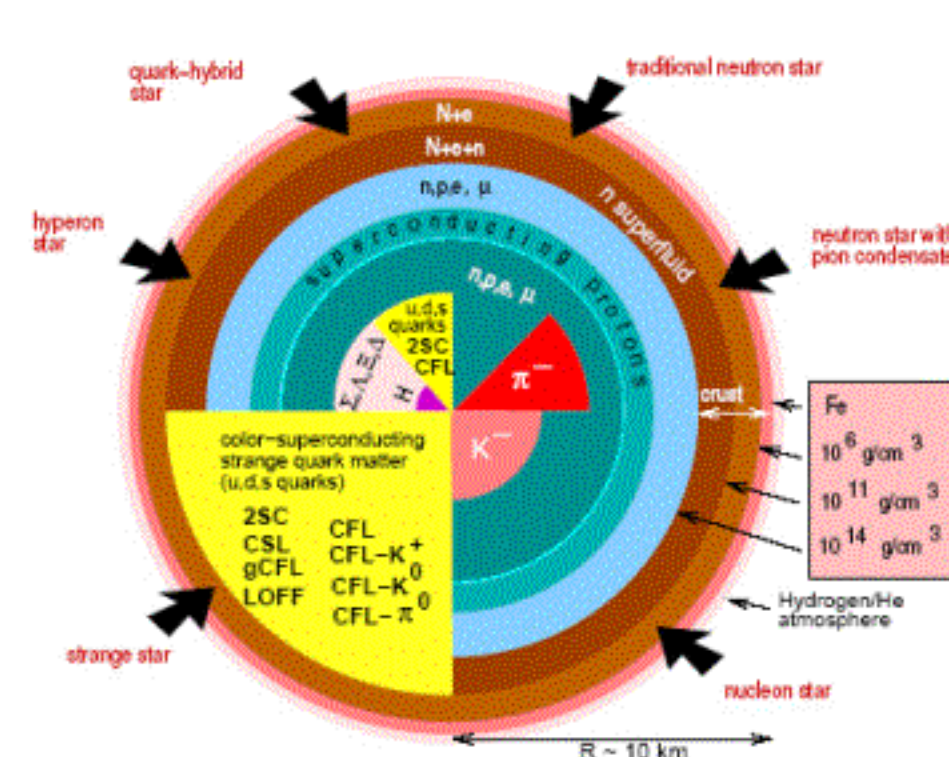
Радиотелескоп РТФ-32 Института прикладной астрономии РАН. Обсерватория Светлое.

Нейтронные звёзды вошли в астрофизику как звёзды, вещество которых состоит из нейтронов, сжатых силами гравитации. Сейчас совершенно ясно, что эти звёзды неоднородны по внутреннему строению, имеют множество слоёв, отличающихся по составу: от металлической коры на поверхности до кваркового конденсата в ядре. Более того, растёт число теоретических моделей новых членов семейства сверхплотных компактных звёзд, где кроме традиционных нейтронных появились звёзды с пионным конденсатом, гиперонные, кварк-гибридные и т.д. Отмечается, что, возможно, некоторые из этих звёзд уже наблюдаются, но воспринимались как нейтронные.

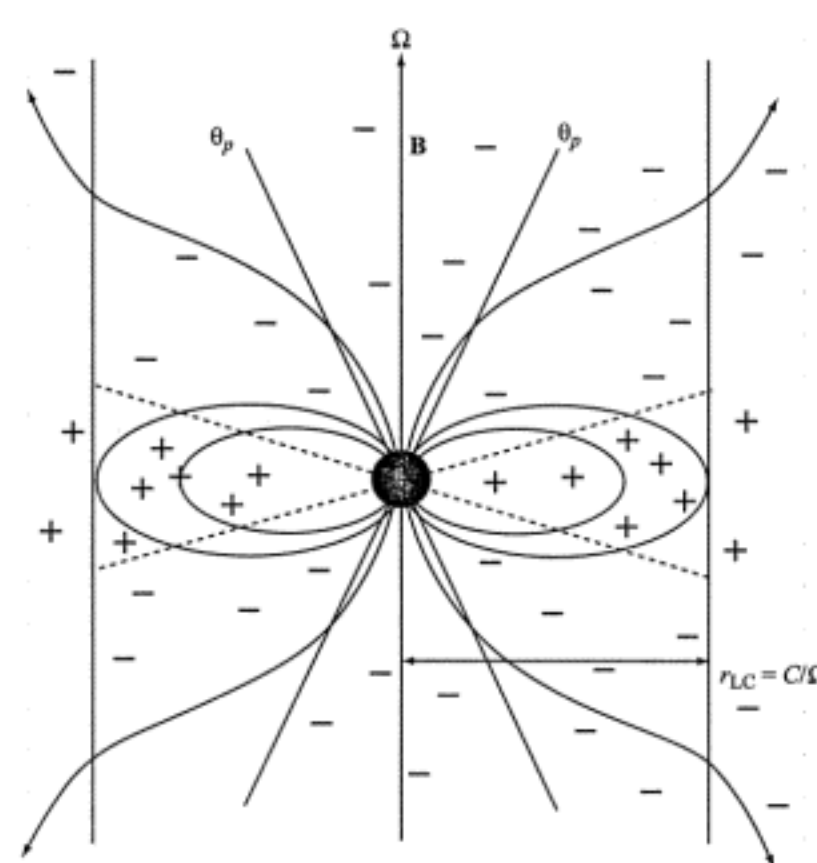
Ещё один факт. Долгое время не удавалось определить, какие объекты генерируют мощные вспышки гамма-излучения. Источники этих вспышек получили название гамма-репитеров (GR). Сейчас гамма-репитеры удалось отождествить с нейтронными звёздами. Грандиозность явления гамма-вспышки можно оценить на следующем примере: в декабре 2004 г. во время вспышки GR 1806-20 выделилась энергия, которую Солнце излучает за 150000 лет. Механизмы генерации этого гамма-излучения ещё не установлены. Уже из перечисленного выше понятно, что нейтронные звёзды – передний край познания материи.

С новым видом активности нейтронных звёзд в радиодиапазоне, обнаруженном в остатках сверхновых, знакомят приведённые ниже материалы.

Экспериментальные результаты получены на радиотелескопах Карадагской радиоастрономической станции ФГНУ «НИРФИ» и радиотелескопе РТФ-32 в обсерватории "Светлое" Института прикладной астрономии РАН.



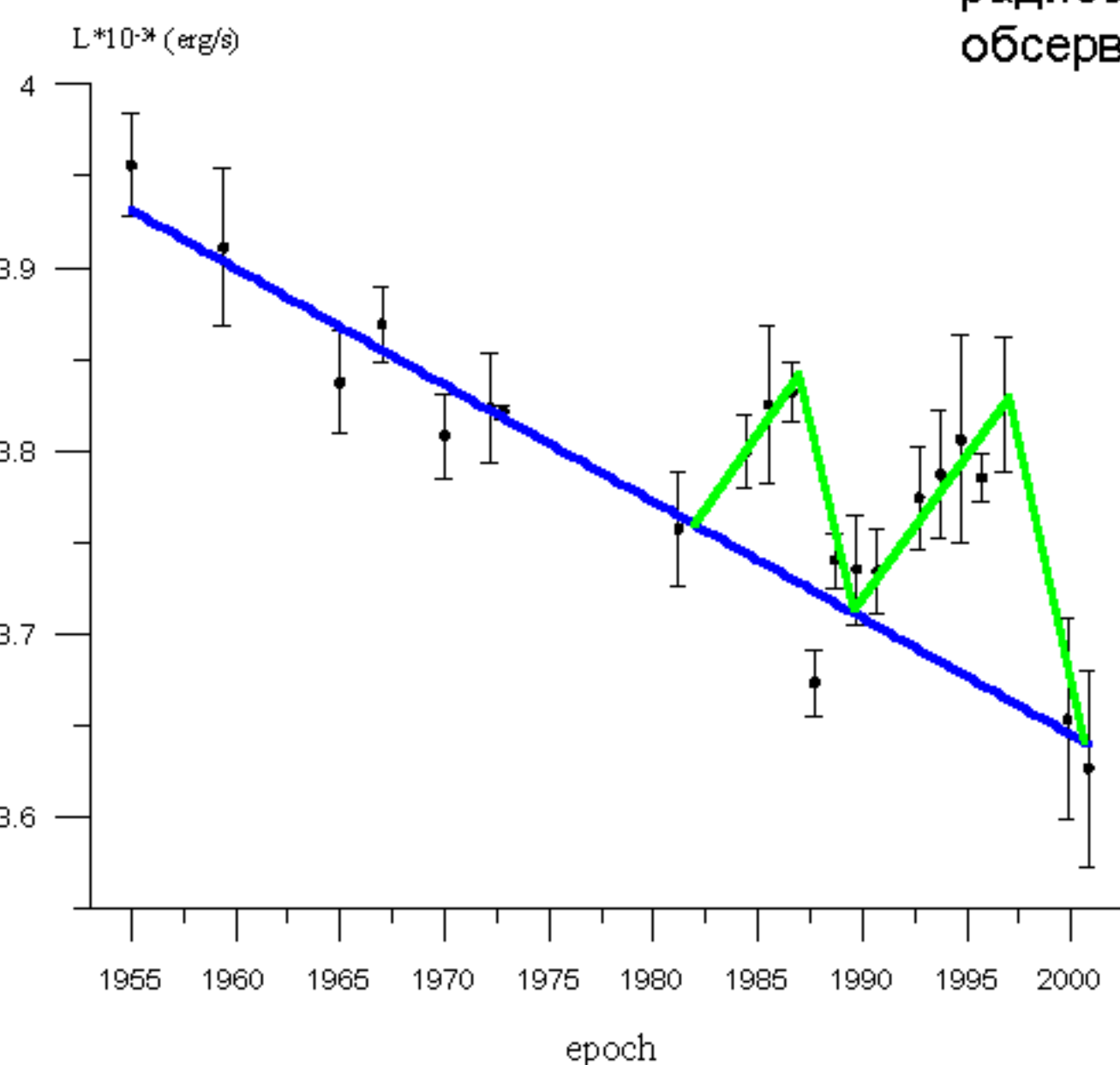
Внутренняя структура нейтронных и странных звёзд (Weber, 2004)



Магнитосфера пульсара (Goldreich, Julian 1969)



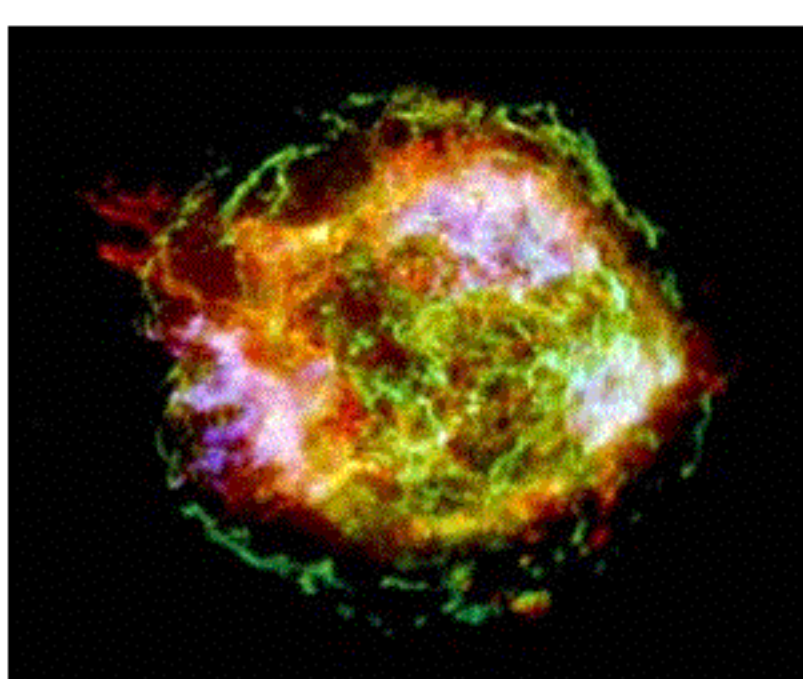
Крабовидная туманность (Космический телескоп Hubble)



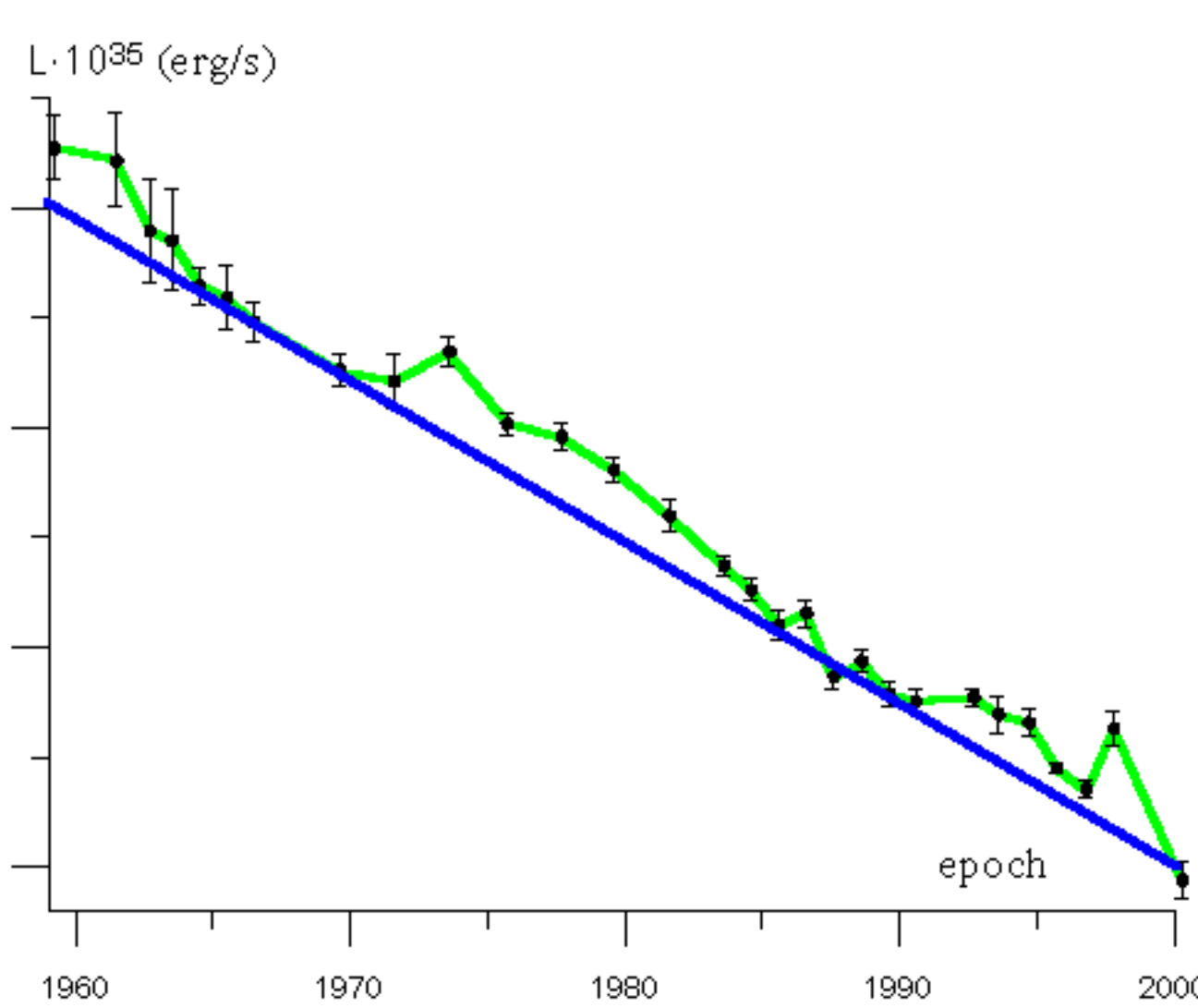
Изменение радиосветимости Крабовидной туманности

В результате неустойчивости магнитосферы нейтронной звезды, сопутствующей сильным сбоям частоты вращения звезды, происходит выброс релятивистских электронов и позитронов в окружающую туманность остатка сверхновой. Синхротронное излучение этих частиц в магнитном поле внутри оболочки создает спорадическую изменчивость радиосветимости всего остатка, её обнаружение является индикацией активности нейтронной звезды.

На основе полувековой истории наблюдений радиоизлучения Крабовидной туманности, содержащей радиопульсар, исследована эволюция радиосветимости. Установлено, что наряду с вековым уменьшением радиосветимости, выделяются интервалы длительностью 5-6 лет, когда имели место всплески радиояркости с энерговыделением порядка 10^{41} эрг. В Крабовидной туманности этим событиям предшествовали внезапные увеличения скорости вращения пульсара с амплитудой $3 \cdot 10^{-8}$.

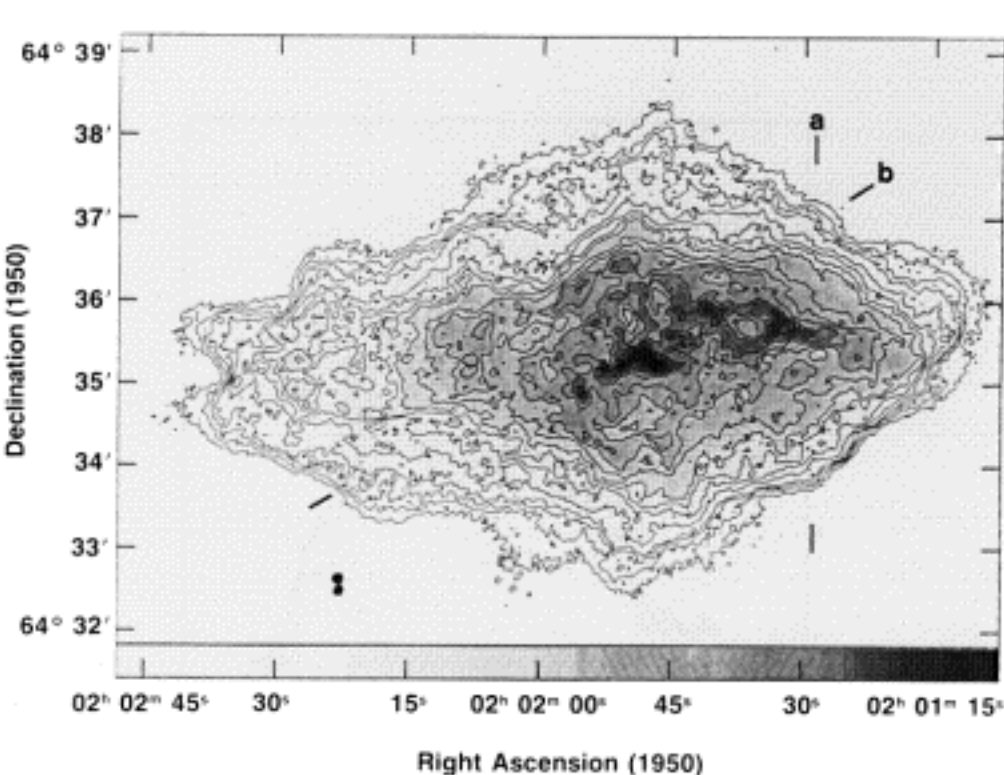


Остаток сверхновой Кассиопея А (Рентгеновская обсерватория Chandra)

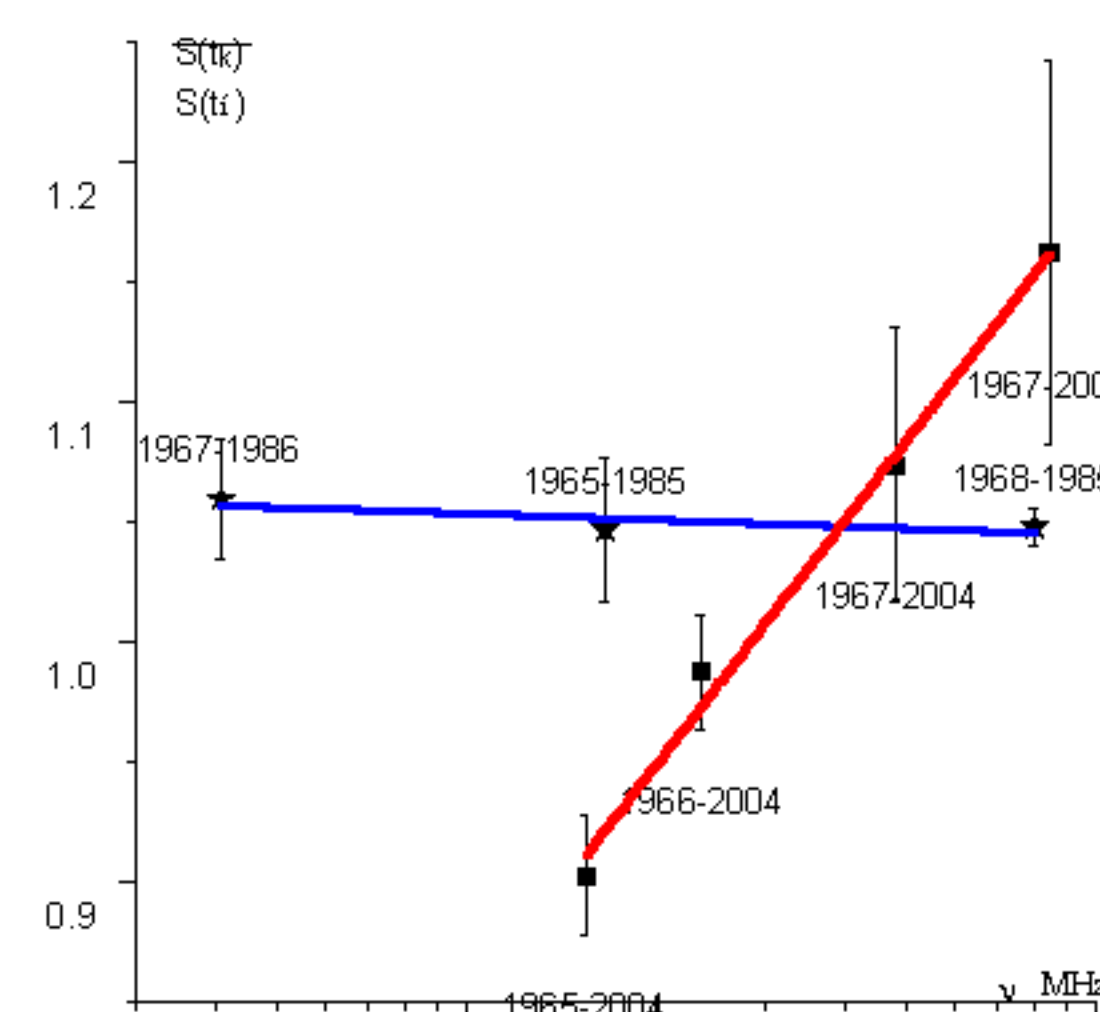


Изменение радиосветимости остатка сверхновой Кассиопея А

В последнее десятилетие в ряде остатков сверхновых обнаружены компактные рентгеновские источники, которые представляют собой одиночные нейтронные звезды и не являются радиопульсарами. По этому признаку их относят к популяции радиотихих нейтронных звезд. Природа этих объектов полностью не ясна и служит предметом интенсивных исследований. К числу этих объектов относится компактный рентгеновский источник в остатке сверхновой Кассиопея А. За 50-летний период измерения радиосветимости Кассиопеи А получено, что наряду с вековым уменьшением радиосветимости выделяются интервалы, в течение которых имели место всплески, превышающие на 4-5% эволюционный уровень. Механизм магнитосферной неустойчивости может обеспечить энергетику избытка светимости как для крабовидных остатков сверхновых, так и остатков сверхновых типа Кассиопеи А, содержащих радиотихую нейтронную звезду.



Остаток сверхновой 1181 г. (3C58). VLA, радиоизображение (Reynolds, Aller 1988)



Относительные изменения плотности потока 3C58 на эпоху 2004.4

Уменьшение наклона спектра остатка вспышки сверхновой 1181 г. происходило в ограниченном интервале времени между 1986 и 1998 гг. и не являлось эволюционным или следствием действующих механизмов ускорения. Его следует рассматривать как результат спорадической активности пульсара PSR J0205+6449, и, возможно, в этом случае действует другой механизм инжекции. Динамический возраст пульсара определен равным 5400 лет, но в отличие от известных остатков сверхновых возраст пульсара несовместим с историческим событием вспышки сверхновой звезды в 1181 г. По данным рентгеновской обсерватории Chandra определен верхний предел температуры поверхности нейтронной звезды, который оказался ниже соответствующей температуры в стандартной модели охлаждения. Кроме того, для PSR J0205+6449 температура поверхности меньше, чем у пульсара в Крабе, хотя PSR J0205+6449 - более молодой. Основываясь на этом, Слайн и др. (2002) утверждают, что PSR J0205+6449 является странной кварковой звездой, поскольку у этих звёзд более эффективны процессы потери энергии.

АБСОЛЮТНАЯ РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ ШКАЛА ПОТОКОВ ДЛЯ ЭПОХ 2000-2010

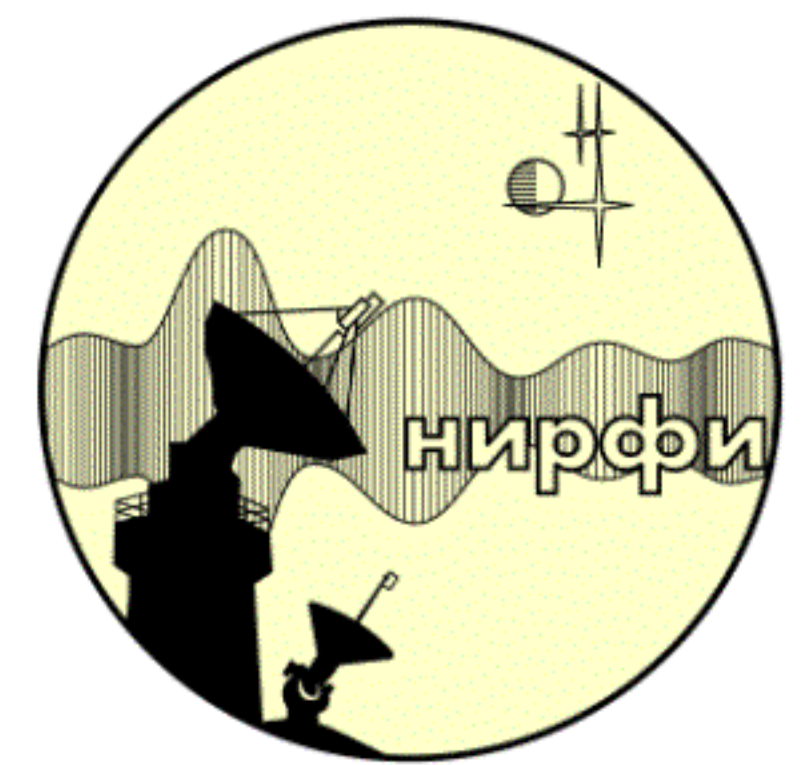


Рис. 1 Радиоастрономическая станция Кара-Даг. Стенд абсолютных измерений. Слева направо: радиотелескоп RT-7; эталон радиоизлучения «искусственная луна»; радиотелескоп RT-12.

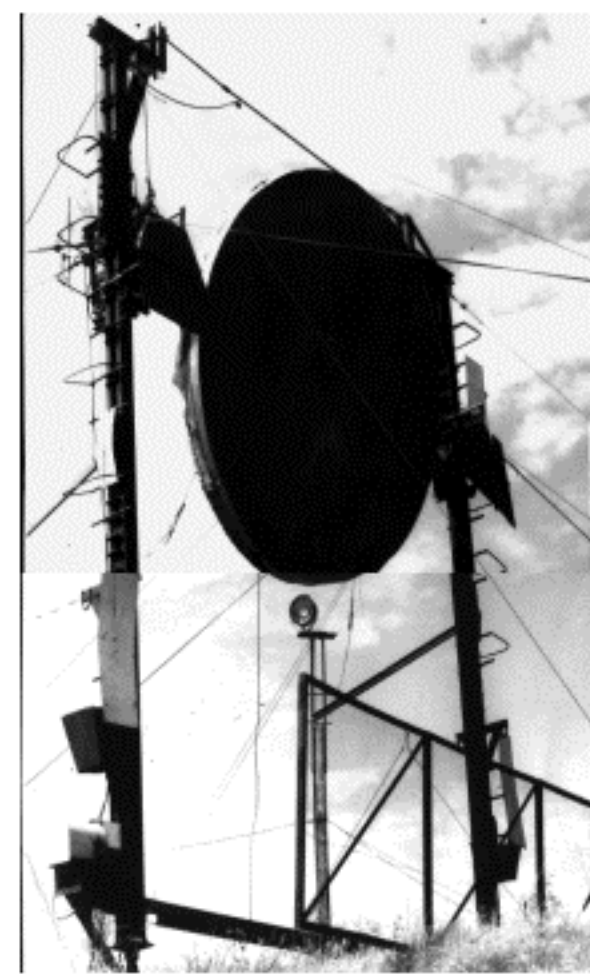


Рис. 2 Эталон радиоизлучения «искусственная луна» - абсолютно чёрный диск



Рис. 3 Радиотелескоп RTФ-32 обсерватории Светлое ИПА РАН

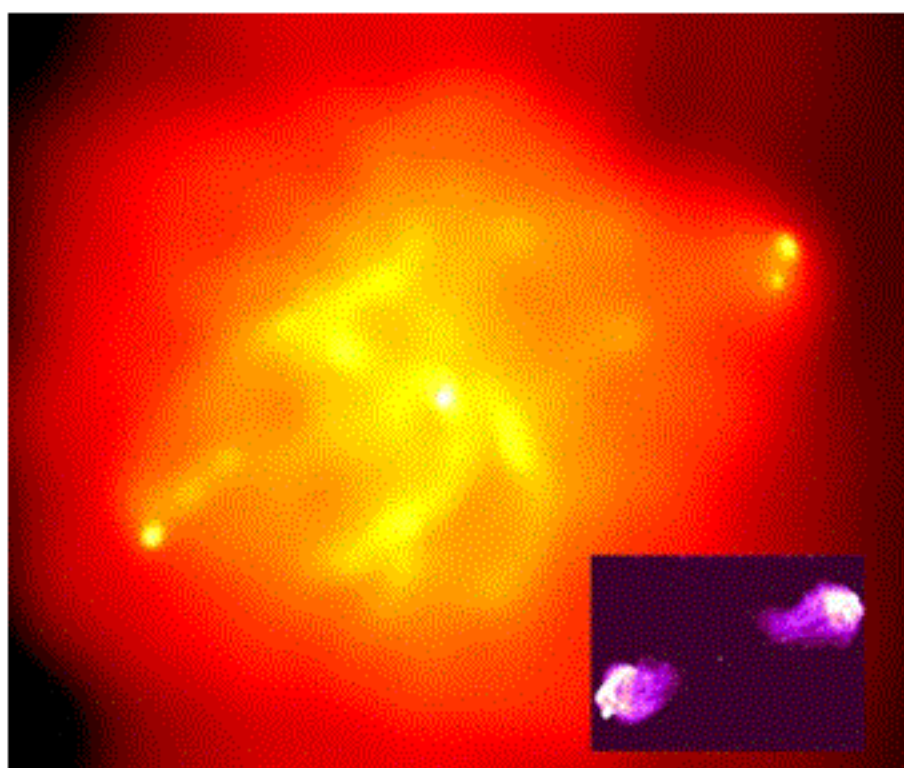


Рис. 4

Рентгеновое изображение (цвета условные) радиогалактики Лебедь А, полученное обсерваторией Чандра. На врезке справа помещено её радиоизображение. Излучающие области простираются на 300000 световых лет по обе стороны от ярко светящегося ядра вдоль одной и той же оси.

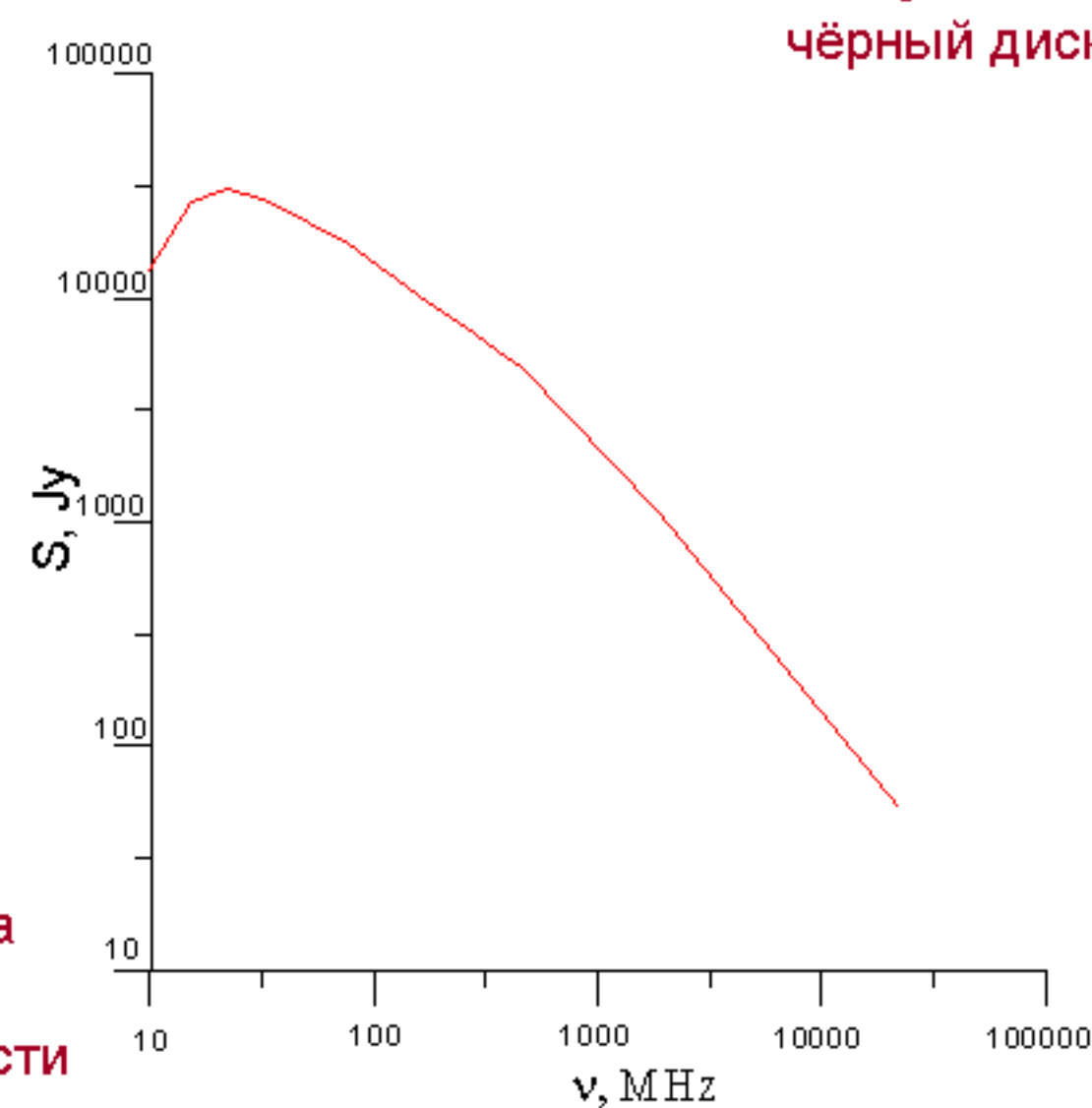


Рис. 5 Спектр первичного стандарта Лебедь А

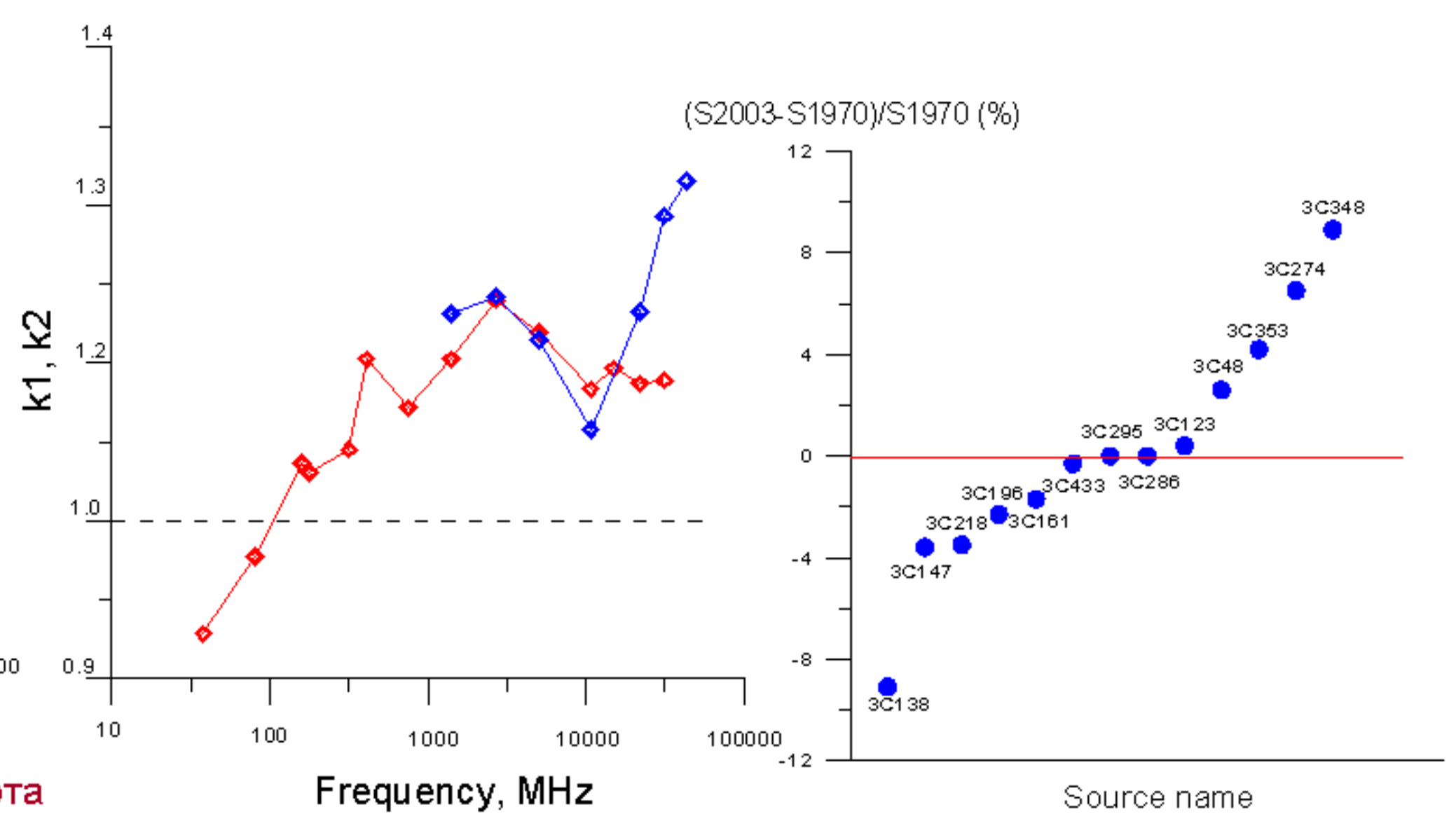


Рис. 7 Зависимость от частоты отношений плотностей потоков в шкалах BGPW (k_1) и Ott et al (k_2) к потокам в шкале «искусственной луны».

Рис. 8 Изменения плотностей потоков стандартных источников между эпохами 1970 и 2003 на волне 6.2 см

3C2	3C161	3C295
3C18	3C196	3C348 (Геркулес А)
3C48	3C218 (Гидра А)	3C353
PKS 0405-12	3C274 (Дева А)	3C405 (Лебедь А)
3C123	PKS 1245-19	NGC7027
3C138	3C286	3C433
3C147		PKS 2128+04

Табл. 1. Стандартные источники шкалы потоков, измеренные на радиотелескопе RTФ-32 обсерватории Светлое ИПА РАН в 2003-2004гг относительно первичных стандартов Лебедь А и 3C 295. Названия стандартных источников с секундными угловыми размерами набраны синим шрифтом.

Спектры радиоизлучения астрофизических объектов определяются путём сравнения интенсивностей излучения исследуемых и стандартных источников с помощью радиотелескопов. Совокупность стандартных источников радиоизлучения, спектры которых точно определены на заданном частотном интервале, образует радиоастрономическую шкалу потоков. Шкала потоков является необходимым элементом технологии обработки информации радиоастрономических измерений, а также измерений параметров антенн. Радиоастрономические методы измерения параметров антенн, включая большие синтезированные апертуры, основаны на применении стандартных источников шкалы потоков в качестве эталонов излучения.

Дискретные источники радиоизлучения отождествляются с объектами, разными по своей природе и свойствам, что отражается в различиях их спектров и светимостей. Внегалактические радиоисточники ассоциируются с радиогалактиками и квазарами. Как выглядят на небе эти объекты в разных диапазонах электромагнитного спектра: радио, оптическом и рентгене? На рисунке 4 представлено изображение радиогалактики Лебедь А в рентгеновских лучах, в правом нижнем углу рисунка 4 - радиоизображение того же источника. Типичным внегалактическим источником является радиогалактика 3C296. На рисунке 9 помещено изображение радиогалактики 3C296, где красное радиоизображение наложено на белое оптическое. Радиоастрономические наблюдения с применением современных информационных технологий дают возможность определять многие физические параметры объектов и вносят существенный вклад в их исследование. Радиоспектры представляют собой частотные распределения плотностей потока радиоизлучения источников. Мощность, форма, переменность спектра несут информацию о физических процессах и параметрах среды в источнике. Поэтому точное измерение спектров относится к числу приоритетных задач наблюдательной радиоастрономии. Для решения этой задачи применяются информационные технологии абсолютных измерений спектров на основе шкал потоков. Следует отметить прикладное значение шкал потоков, как основополагающих элементов информационных технологий в измерениях параметров антенн радиоастрономическими методами.

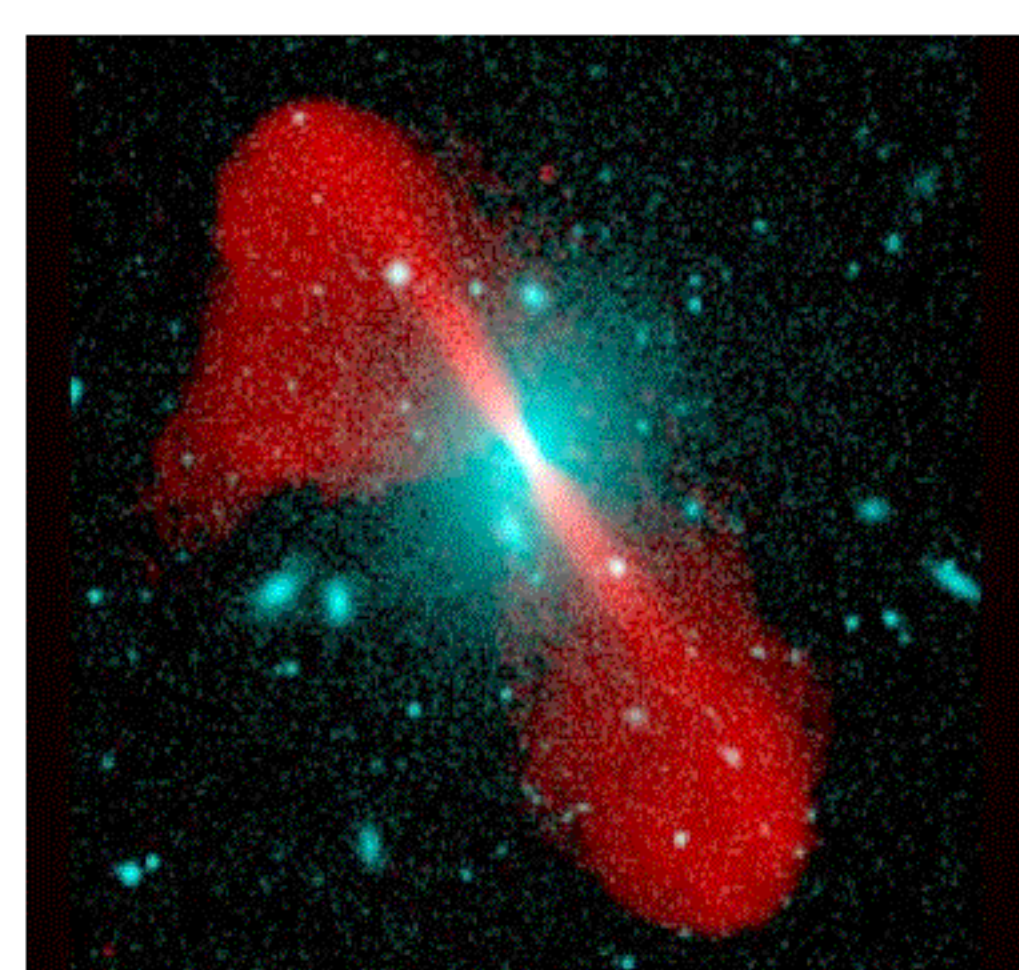


Рис.9 Совмещённые изображения радиогалактики 3C296 (NGC 5532) в видимом свете (голубой цвет) и в радио (красный цвет). Выбросы имеют длину почти миллион световых лет. Радиокарта была построена по данным наблюдений на радиотелескопе VLA.

Рис. 6 Радиотелескоп РАТАН-600 САО РАН, ст. Зеленчукская



Шкала потоков «искусственной луны» определена в диапазоне частот 100 МГц – 43 ГГц с точностью не хуже 3%. Она представлена первичными и вторичными стандартами мощности радиоизлучения. Спектры источников - первичных стандартов - определены путём абсолютных измерений. Наиболее точным методом абсолютных измерений является метод «искусственной луны», состоящий в сравнении сигналов от космического источника и наземного эталонного «чёрного» диска, помещённого в дальней зоне антенны. На рис 2 помещена фотография эталонного диска измерительного стенда РАС ФГНУ «НИРФИ» «Кара-Даг». Абсолютные измерения по методу «искусственной луны» плотностей потока мощных источников на РАС ФГНУ «НИРФИ» «Кара-Даг» (рис 1) превосходят все другие по точности и диапазону частот: погрешность не превышает 2% в диапазоне частот 0.5 – 37 ГГц. Спектр первичного стандарта абсолютной шкалы потоков «искусственной луны» Лебедь А базируется на этих данных; он помещён на рис 5. Превосходя по точности другие шкалы потоков, шкала «искусственной луны» имеет существенные отличия от них. На рис 7 изображены частотные зависимости отношений плотностей потоков в шкалах BGPW (красная линия) и Ott et al, 1994 (синяя линия) к плотностям потоков в шкале «искусственной луны».

Спектры вторичных стандартов определены сравнением с первичными стандартами на больших радиотелескопах с высокой чувствительностью. Чтобы соответствовать требованиям измерений различных по мощности объектов, стандартные источники имеют различные мощности. Известно, что радиоизлучение подавляющего большинства источников переменное. Стандартные источники выбираются из числа объектов с минимальной переменностью, однако с течением времени после эпохи измерений их спектров точность шкалы потоков снижается. Для её сохранения требуются регулярные повторные измерения спектров переменных стандартных источников относительно постоянных стандартов. На рис 8 представлены изменения плотностей потока стандартных источников на волне 6.2 см между эпохами 1970.0 и 2003.0 в виде отклонений от красной горизонтальной линии. 20 стандартных источников перечислены в табл. 1. С 2002г на настоящее время их спектры многократно измерены на радиотелескопе RTФ-32 обсерватории «Светлое» ИПА РАН (рис 3) относительно первичного стандарта Лебедь А. В 2002-2003гг на радиотелескопе РАТАН-600 САО РАН (рисунк 6) измерены спектры 80 стандартных источников. Угловые размеры стандартных источников 3C48, 3C138, 3C147, 3C286, 3C295 не превышают нескольких сек. дуги, они не разрешаются большими антеннами при работе на коротких волнах и составляют отдельную группу универсальных стандартов потока для калибровки любых антенн, в том числе больших синтезированных апертур.



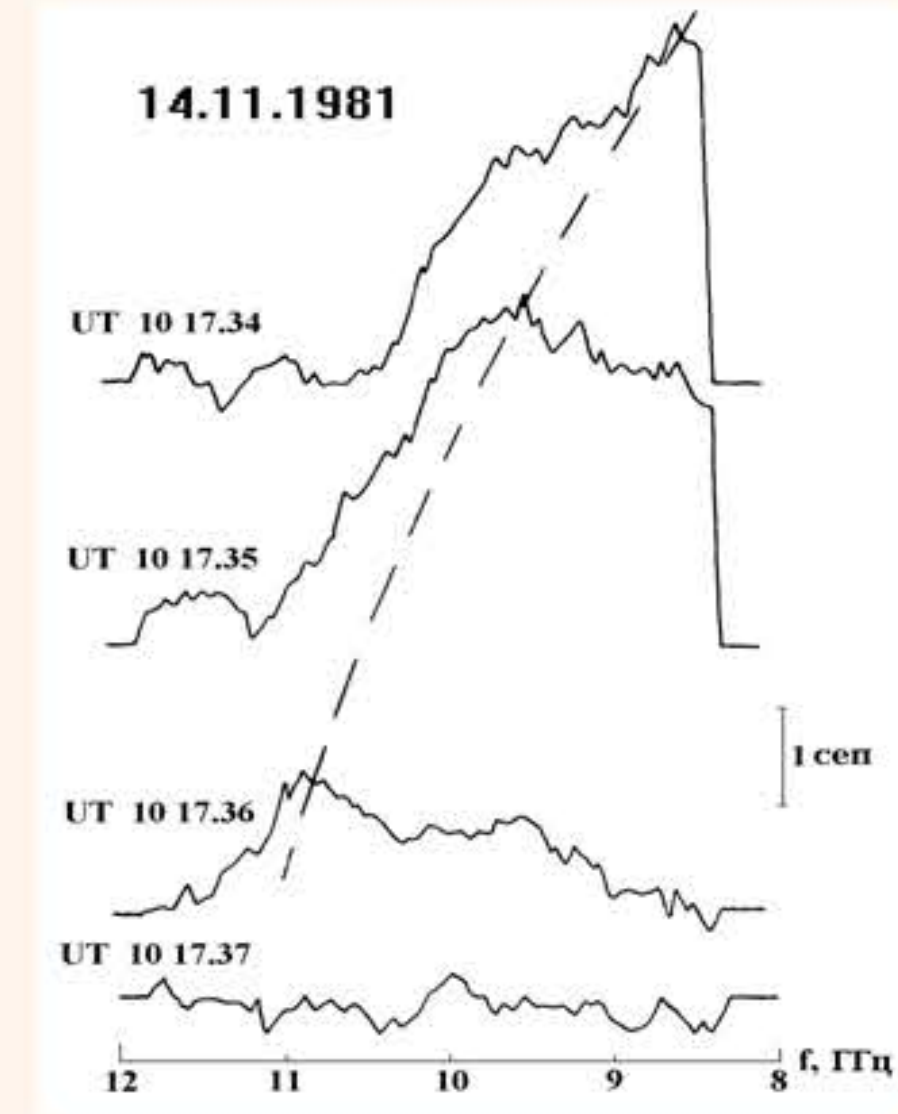
ДИАГНОСТИКА ПРОЯВЛЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО РАДИОДАНЫМ

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРАВЛЕННЫ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ СТРУКТУР С ЦЕЛЮ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЕ, И СОЗДАНИЯ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ЯВЛЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

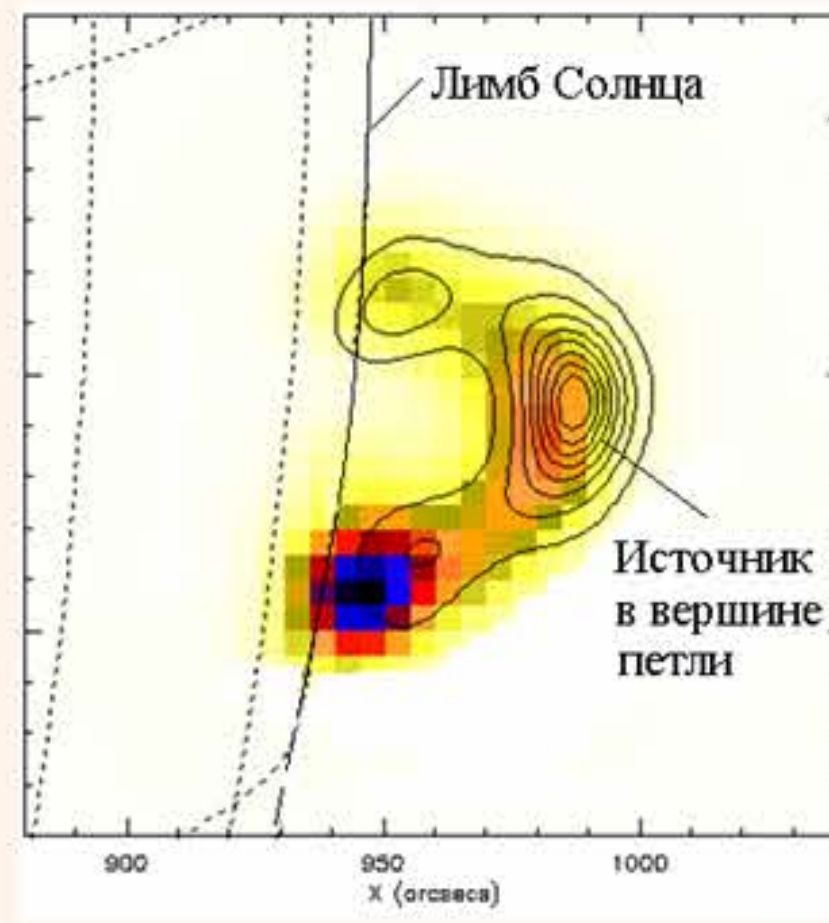
ПАРАМЕТРЫ ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЕЛЬ

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

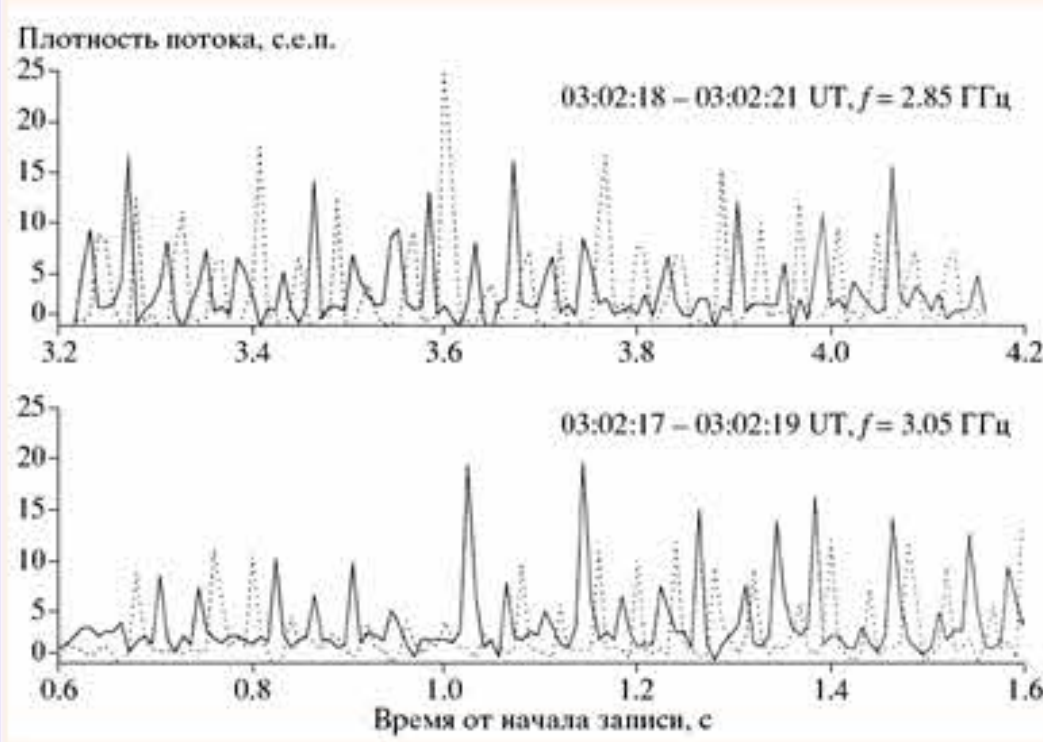
РАДИОГЕЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



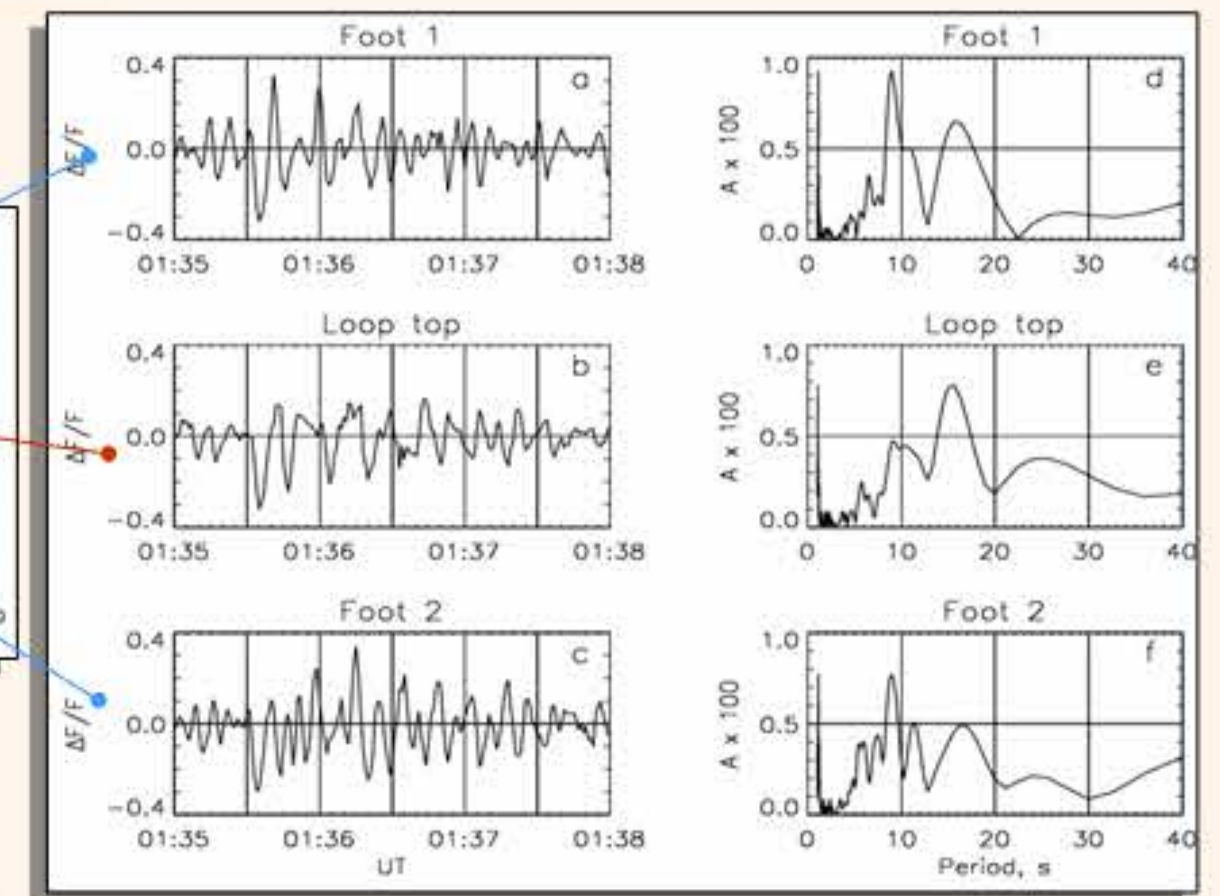
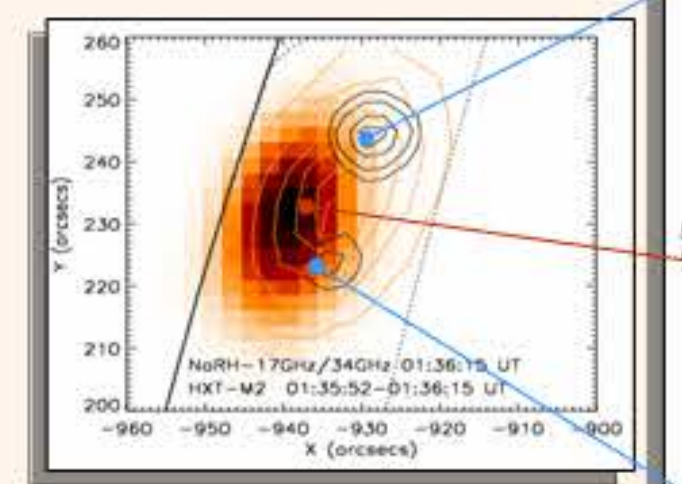
Обнаружена узкополосная ($\Delta f \sim 2 \div 3$ ГГц) с положительным частотным дрейфом ($v_{др} \sim 1 \div 2$ ГГц/с) компонента излучения на импульсной фазе микроволнового всплеска и предвестника. Степень круговой поляризации излучения узкополосной компоненты предвестника достигает $\sim 20\%$, снижаясь затем до необнаружимого уровня ($< 10\%$).



Обнаружены источники оптически тонкого микроволнового излучения в вершинах вспыхивающих петель. Сделан вывод, что пространственное распределение среднерелятивистских электронов на фазе максимума солнечной вспышки является неоднородным с повышенной концентрацией (более, чем в 10 раз) в верхней части петли.



Обнаружено новое явление в событиях с узкополосными квазипериодическими ($T \sim 40$ мс) пульсациями: существование задержки (около 20 мс) между право- и лево-поляризованными компонентами.



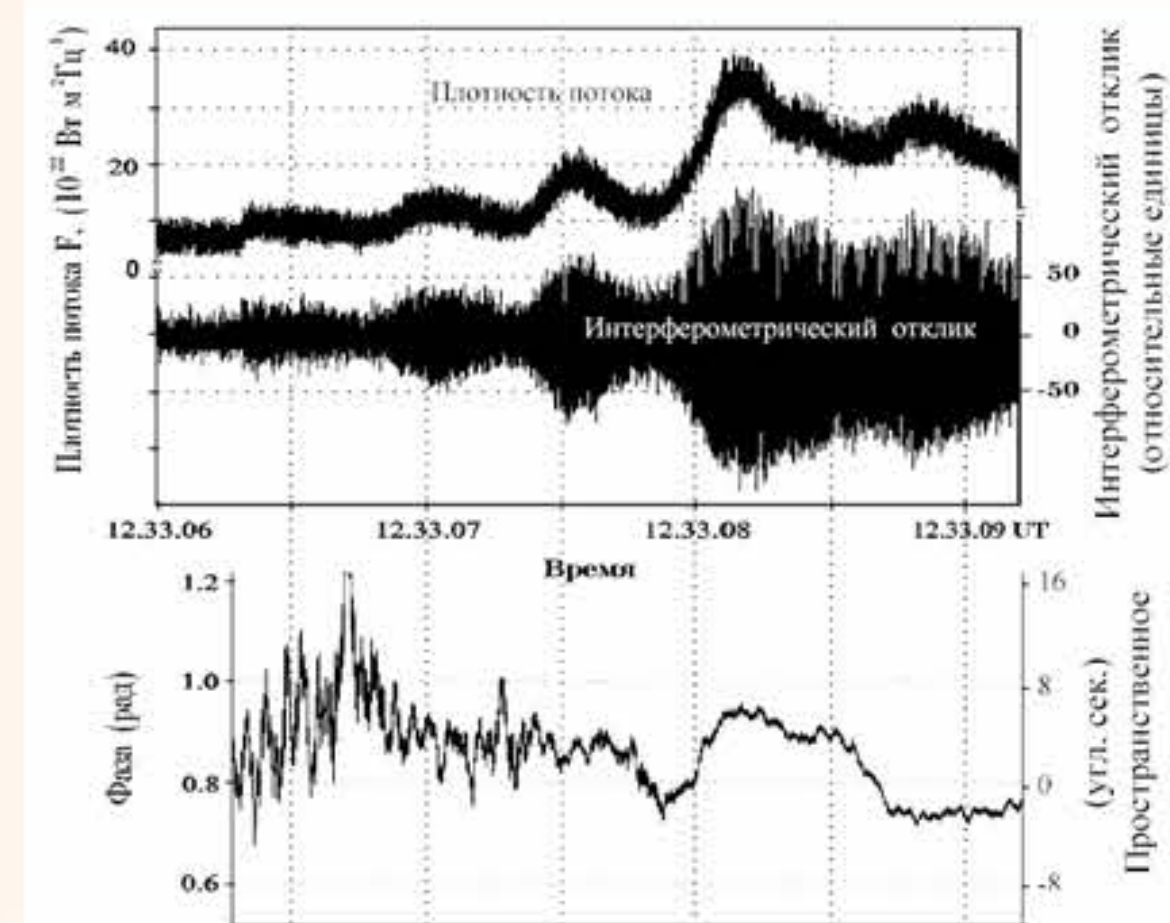
Пульсации микроволнового излучения вспышки с периодами 16 с и 9 с позволили сделать оценки магнитного поля (200 Гс - в вершине и 100 Гс - в основаниях) и плотности плазмы (10^{11} см $^{-3}$) во вспыхивающей петле.

Спектрографические наблюдения позволяют оценить основные физические параметры вспыхивающих петель:

концентрацию $N_0 \sim (2.5 \div 10) \cdot 10^{11}$ см $^{-3}$, масштаб неоднородности плазмы в области источника $L_{N0} \sim 3 \cdot 10^8$ см, поперечный размер области энерговыделения $L_{\perp} \leq 10^8$ см, энергию $E_s \sim 30$ кэВ и плотность потока выпадающих частиц $J_s \sim 10^{15}$ см $^{-2}$ с $^{-1}$, магнитное поле в области источника $H \approx 200 \div 300$ Гс, ширину углового спектра плазменных волн $30^\circ < \theta < 90^\circ$, связанных с развитием конусной неустойчивости

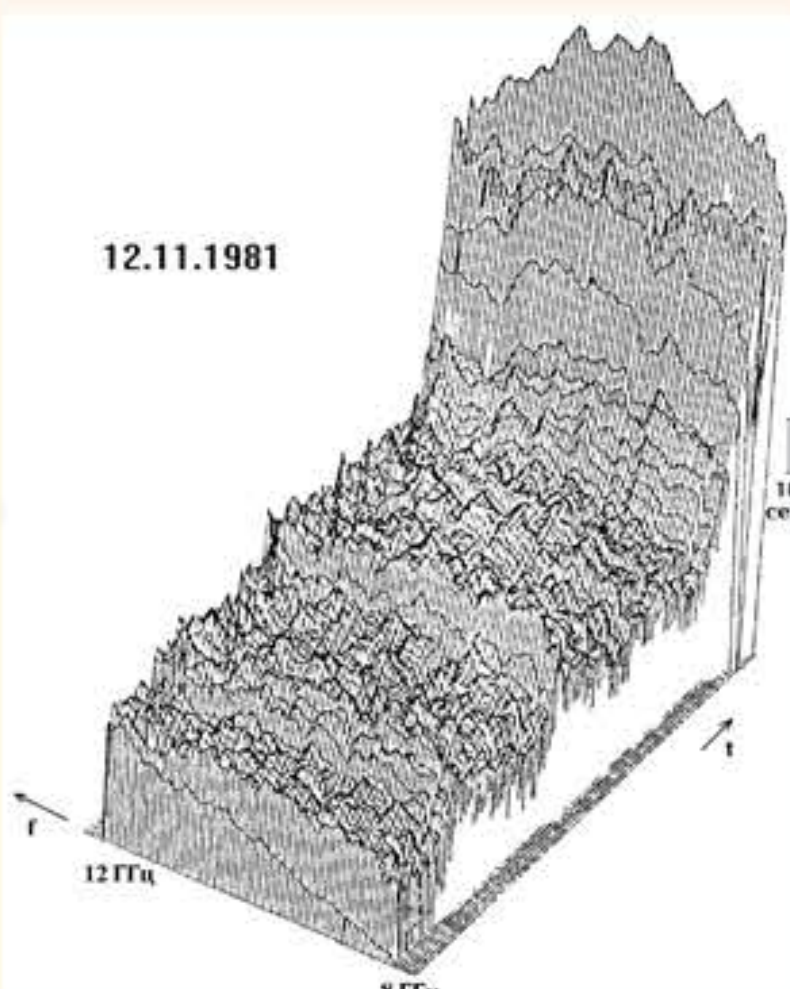
источников миллисекундных пульсаций: плотность плазмы $N_0 = 1.9 \cdot 10^{10}$ см $^{-3}$; кинетическую температуру электронов $T \approx 3 \cdot 10^6$ К; концентрацию ускоренных электронов $N_e = 10^5$ см $^{-3}$; спектральную ширину генерируемых плазменных волн $\Delta\omega/\omega \leq 3\%$; уровень плазменной турбулентности $w = W/N_0 T \approx 10^{-6}$; полный размер источника $l \approx 400$ км; плазменный параметр в источнике $\gamma = \omega_{pe}/\omega_{pe} = 1.7$; характерный масштаб неоднородности в источнике $H \approx 1.5 \cdot 10^9$ см.

ПАРАМЕТРЫ ОБЛАСТЕЙ ПЕРВИЧНОГО ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ



Впервые в мире по радиоинтерферометрическим данным, полученным на двухэлементном интерферометре ФГНУ «НИРФИ» с базой ~ 400 м (два радиотелескопа РТ-7, $f = 540$ МГц) проанализирована пространственная динамика источников солнечных субсекундных всплесков в дециметровом диапазоне длин волн. Миллисекундное (до 0.256 мс) временное разрешение позволило отслеживать смещение центра яркости в источнике по изменению фазы интерференционного отклика в ходе развития сложного радиовсплеска. Вариации положения центра источников в ходе наиболее интенсивных пиков многокомпонентного радиовсплеска 02.10.94 достигали 8 угл. сек., а линейные скорости видимого перемещения источника - 30 тыс. км/с.

ДИНАМИКА ЯВЛЕНИЙ, НАБЛЮДАЕМЫХ НА СТАДИИ, ПРЕДШЕСТВУЮЩЕЙ ВСПЛЕСКАМ И КОРОНАЛЬНЫМ ВЫБРОСАМ МАССЫ, ПО ДАННЫМ РАО «ЗИМЕНКИ» И МИРОВОЙ СЛУЖБЫ СОЛНЦА



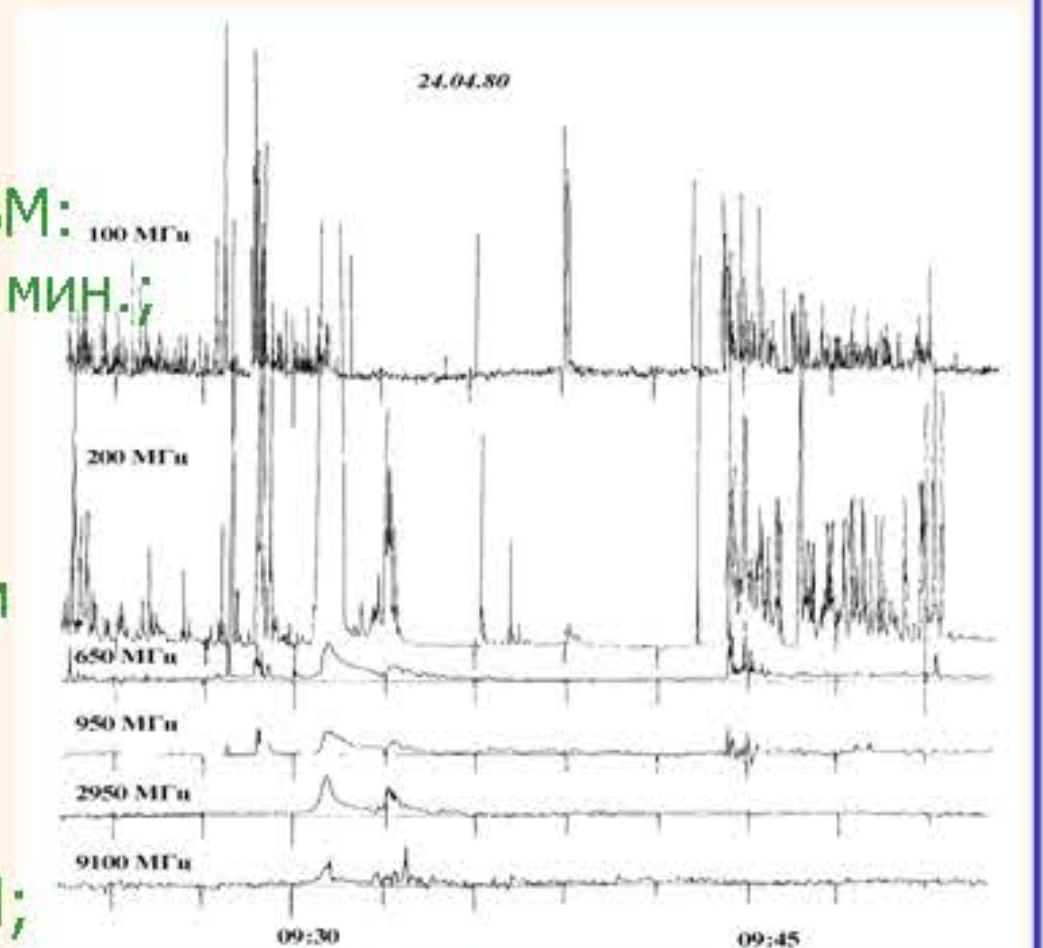
Пример спектрально-временного поведения радио предвестника вспышки

Схематический временной ход микроволновых предвестников КВМ 29.05.03 по данным мировой Службы Солнца

Радио предвестники, обнаруженные в микроволновом излучении перед мощными вспышками:

- ♦ появляются за 60 минут до всплесков;
- ♦ в основном, широкополосны;
- ♦ характерное время широкополосных предвестников мощных всплесков составляет 20-30- минут.
- ♦ спектр предвестников всплесков имеет 2 максимума: в см и дм диапазонах

Спорадическая компонента радиоизлучения, предшествующая регистрации КВМ: ♦ существует в интервале до 100 мин.; ♦ представляет собой: в см и дм диапазоне – всплески типов С (38% от общего числа случаев) и GRF (56%), в метровом диапазоне длин волн – шумовые бури NS (70%) и их вариации; ♦ в 80% общего числа случаев сопровождается формированием КВМ; ♦ в 50% случаев является широкополосной. ♦ Частота событий нестационарного излучения примерно в 4 раза выше для интервалов времени, связанных с существованием КВМ, по сравнению со спокойными периодами.



Пример временных записей спорадической компоненты радиоизлучения перед регистрацией КВМ на 6-ти частотах по данным РАО ФГНУ «НИРФИ» «Зименки»

Наиболее мощные события типа Halo являются геоэффективными, если связанные с ними микроволновые предвестники: - одновременно возникают во всем диапазоне за 60-25 минут до регистрации КВМ; - однотипно развиваются во времени с более высокой интенсивностью и с меньшим характерным временем развития на коротких волнах.



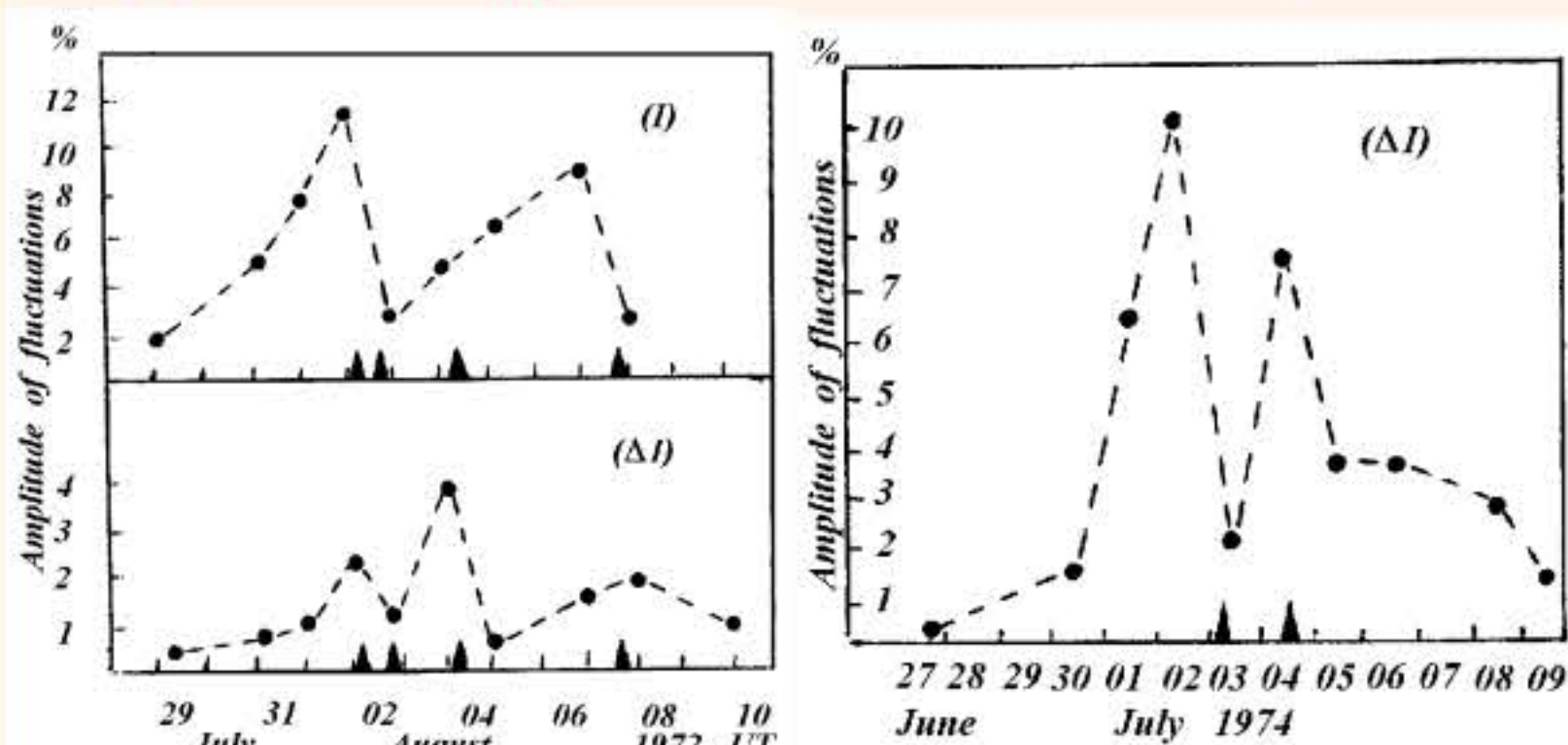
РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОГНОЗА ЯВЛЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ИХ ГЕОЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРАВЛЕННЫ НА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

МЕТОД ДПР – ПРОГНОЗ МОЩНЫХ ВСПЫШЕК ПО ДИНАМИКЕ ФЛУКТУАЦИЙ СОЛНЕЧНОГО МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Метод основан на возрастании амплитуды долгопериодных ($T \geq 20$ минут) квазипериодических пульсаций потока солнечного радиоизлучения за 1-3 суток до мощных вспышек и их спаде после события.

Эффект обнаружен по событиям августа 1972 года



Статистический анализ 378 событий показал, что вероятность предсказания мощных событий составляет более 80%, а коэффициент успешности, определяемый, как соотношение числа успешных прогнозов к общему числу прогнозов во всей рассматриваемой совокупности данных, равен $S = 0.80$, что превосходит значения других методов прогноза.

Наблюдения	Да	Нет	Сумма
Прогноз			
Да	36	22	58
Нет	4	316	320
Сумма	40	338	378

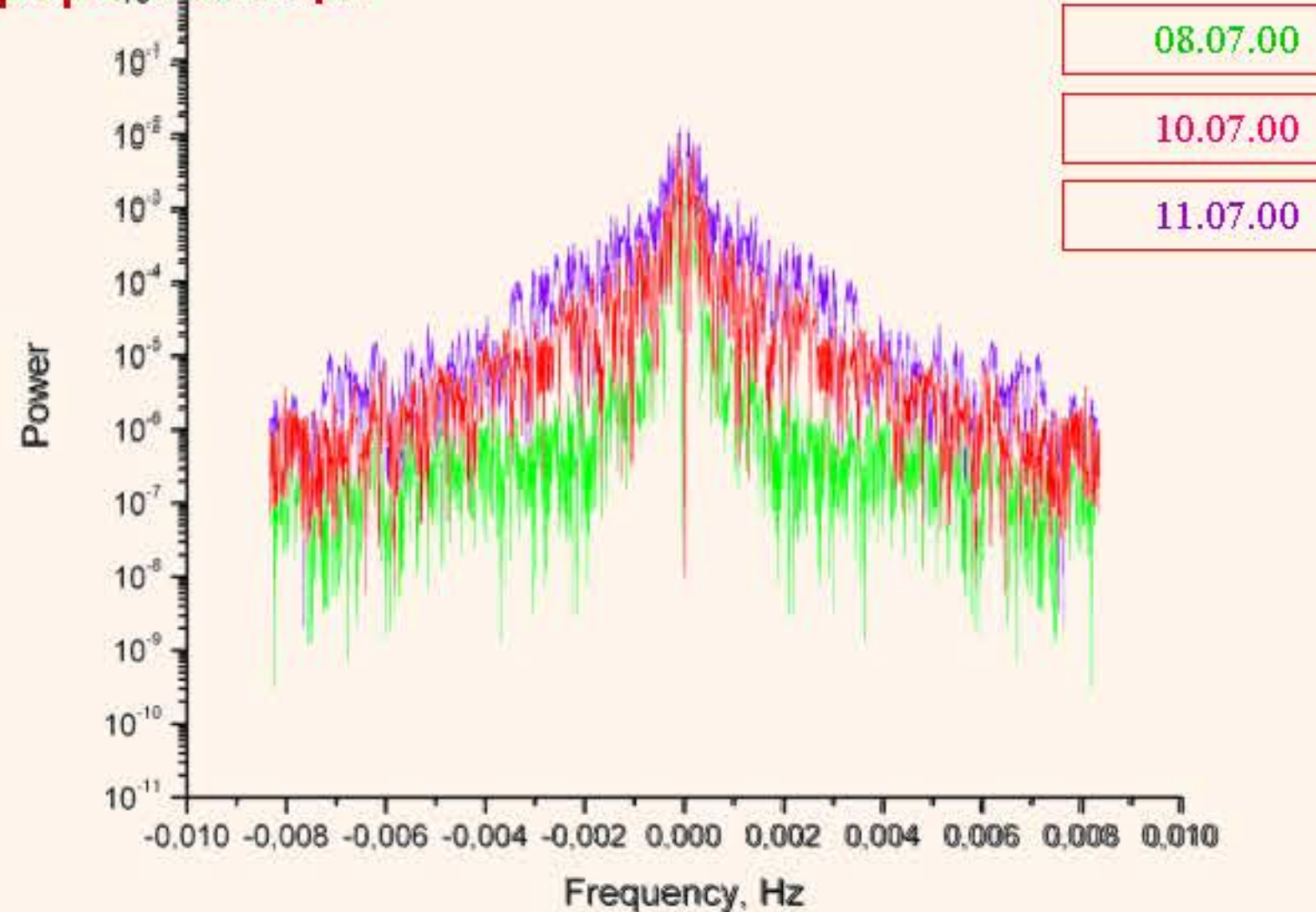
НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МОЩНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО ФЛУКТУАЦИЯМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Метод основан на эффекте возрастания долгопериодных ($T \geq 20$ минут) пульсаций Н-компоненты магнитного поля Земли, предшествующих геоэффективным солнечным вспышкам.

Эффект обнаружен при анализе данных в интервалы времени, совпадающие с протонными событиями на Солнце 2 августа 1972г. и 3 июля 1974г. Показано, что наличие таких пульсаций обусловлено колебаниями ионизирующего излучения (ультрафиолета и рентгена) в атмосфере Солнца.



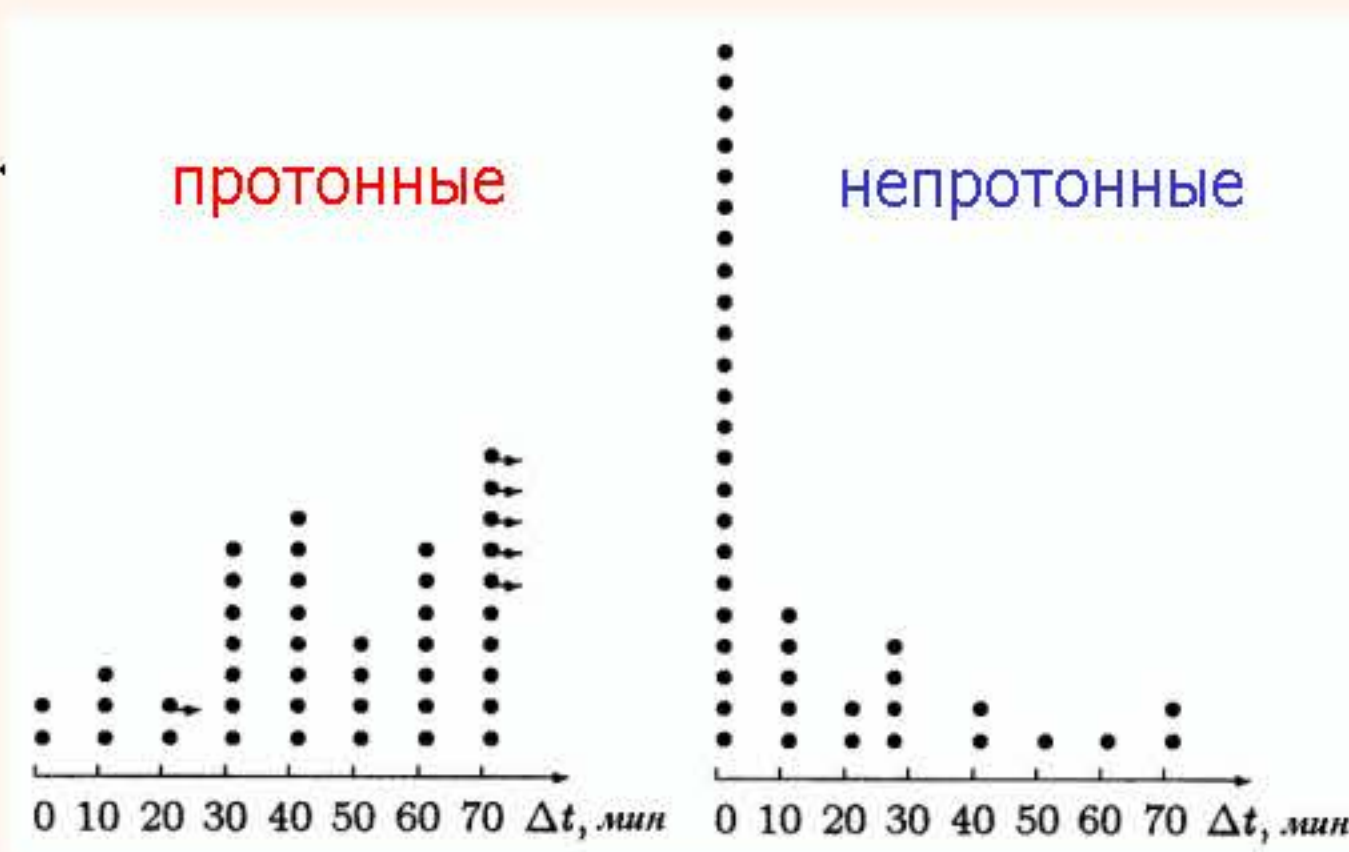
Вариации магнитного поля Земли по данным магнитной обсерватории ИЗМИРАН (событие 14.07.2000.)



Наблюдается рост амплитуд пульсаций в низкочастотной части спектра (периоды 20-60 минут) за 3 дня до вспышки.

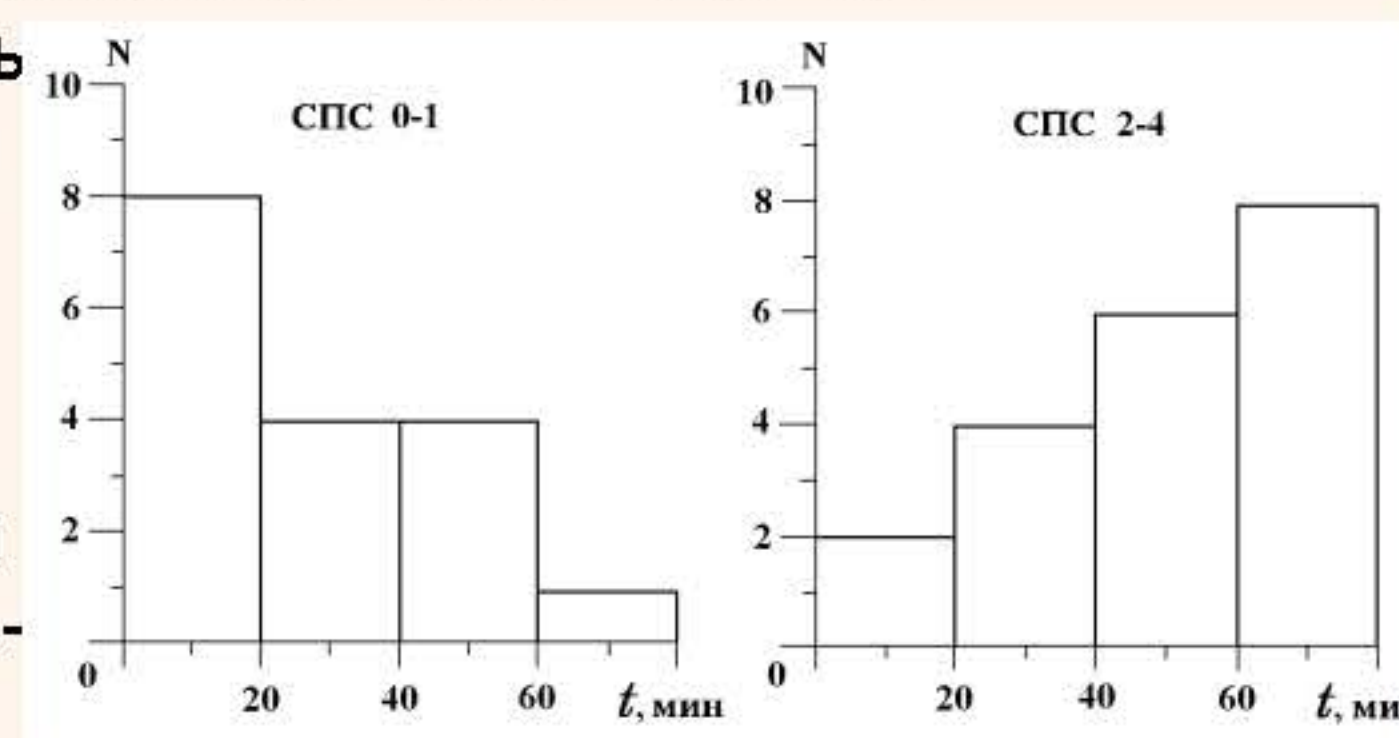
Анализ данных за 1984–2000гг. и данных о рентгеновском излучении со спутников GOES на различных фазах 22-го и 23-го циклов солнечной активности, подтвердил обнаруженный эффект, что может служить основанием для разработки метода прогнозирования геоэффективных вспышек по наблюдениям магнитного поля Земли.

ВЫРАБОТКА КРИТЕРИЕВ СВЕРХКРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПРОТОННОСТИ ВСПЛЕСКОВ

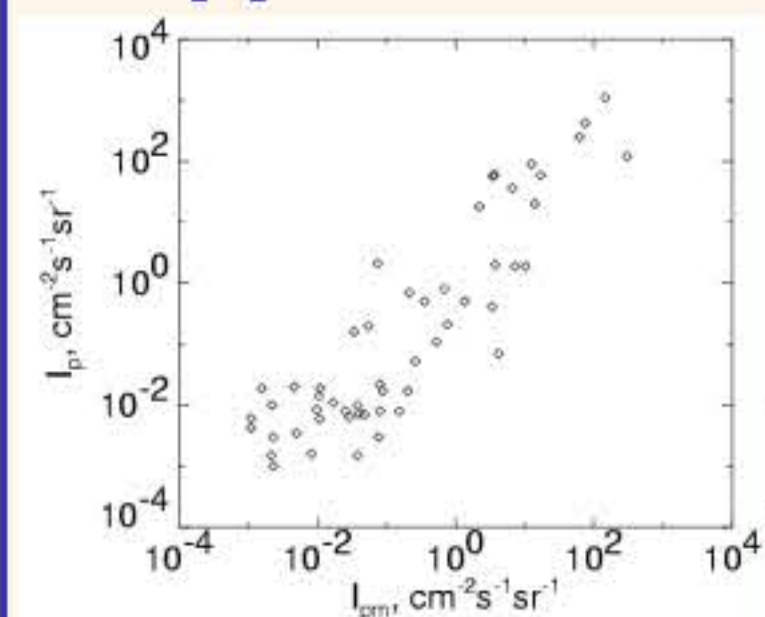


По статистическим исследованиям данных РАО ФГНУ «НИРФИ»

об излучении микроволновым предвестников в широком диапазоне длин волн (3-30 см) установлено: предвестники протонных событий обладают более широкой полосой излучения (проявляются, по крайней мере, на трех частотах сантиметрового и дециметрового диапазонов) и существуют на более длительном интервале времен (более 30 минут) по сравнению с предвестниками всплесков непотонных событий. Такие характеристики являются основой прогностического правила характера предстоящего события.



ДИАГНОСТИКА И КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СКЛ РАДИОМЕТОДАМИ



Множественный корреляционный и регрессионный анализ выявил однозначную связь потоков протонов СКЛ I_p с параметрами микроволнового излучения вспышек - интенсивностью

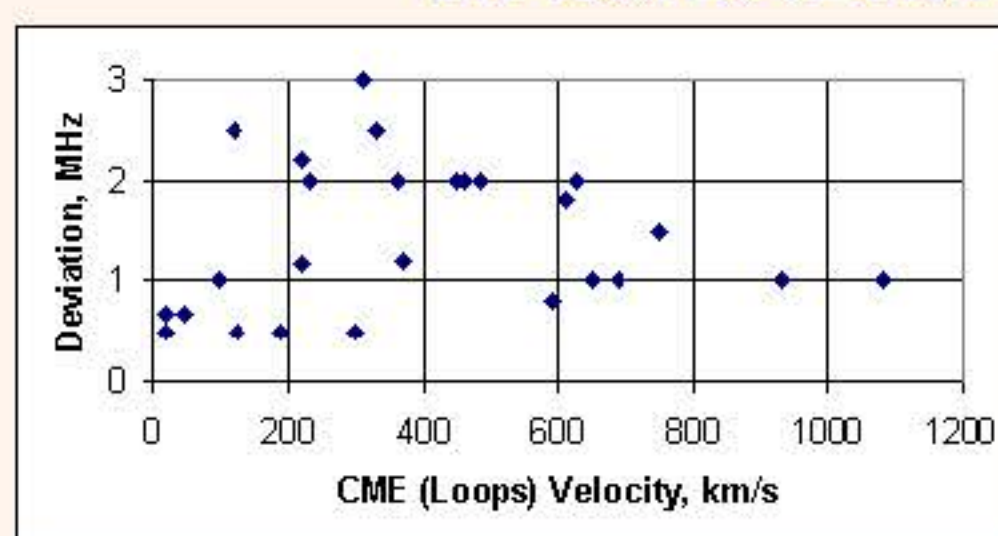
всплеска F_m , его эффективной длительностью T_m и частотой спектрального максимума f_m .

$$\lg I_{pm} = (1.2 \pm 0.2) \lg F_m + (2.0 \pm 0.2) \lg T_m - (2.0 \pm 0.7) \lg f_m - 3,4$$

СВЕРХКРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ПАРАМЕТРОВ КВМ ПО РАДИОИЗЛУЧЕНИЮ

Выявлен ряд новых закономерностей в поведении спорадической компоненты радиоизлучения на этапе формирования и первичного распространения КВМ, таких как: широкополосность предвестников для событий КВМ с углом раскрытия $W > 150^\circ$, широкополосность высокоскоростных предвестников, наличие максимума в интенсивности предвестников для КВМ с углами раскрытия $\sim 50-100$ градусов. Максимальная длительность предвестников наблюдается для событий КВМ с углами раскрытия $\sim 30-100$ градусов. Анализ охватывает XXI-XXIII циклы активности и включает 185 событий.

ПРОЯВЛЕНИЕ КВМ В ИОНОСФЕРЕ



Из рисунка: амплитуда отклонений $\Delta f/F_2$ мала как для очень высоких скоростей КВМ ($v \geq 1000$ км/с), так и для малых ($v \leq 200$ км/с).

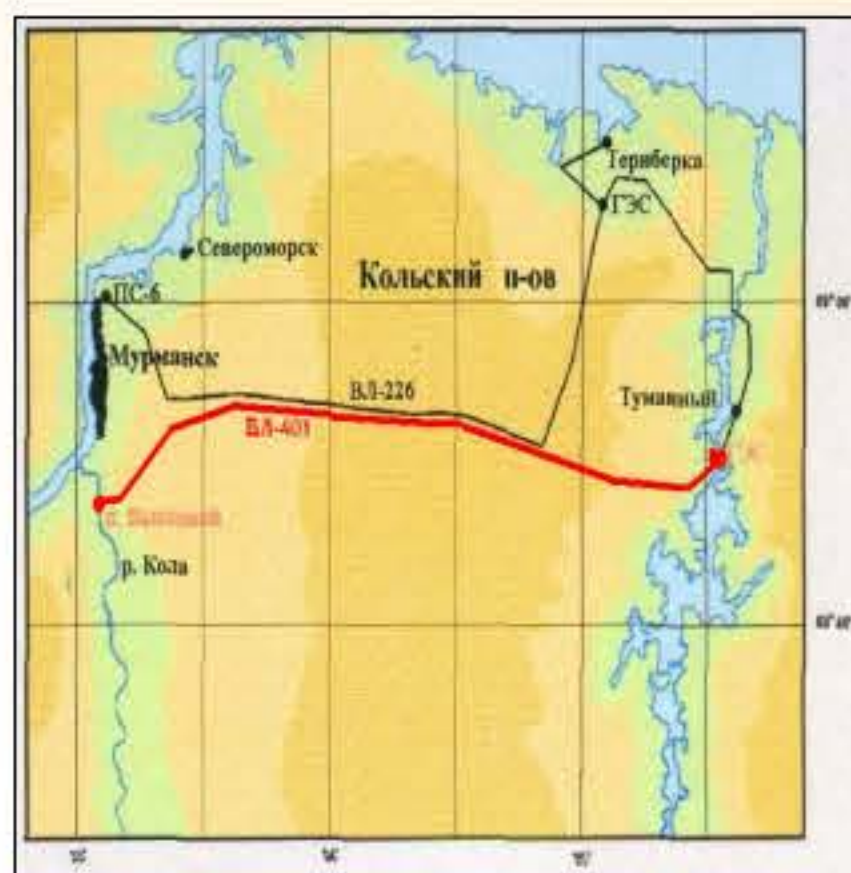
Из исследований второй производной временного поведения критической частоты слоя F_2 ($\Delta f/F_2$), определяемой при вертикальном ионосферном зондировании, показано: основными параметрами геоэффективности Корональных Выбросов Массы (КВМ) являются угол раскрытия КВМ в момент отрыва его от поверхности Солнца, масса и скорость его распространения.



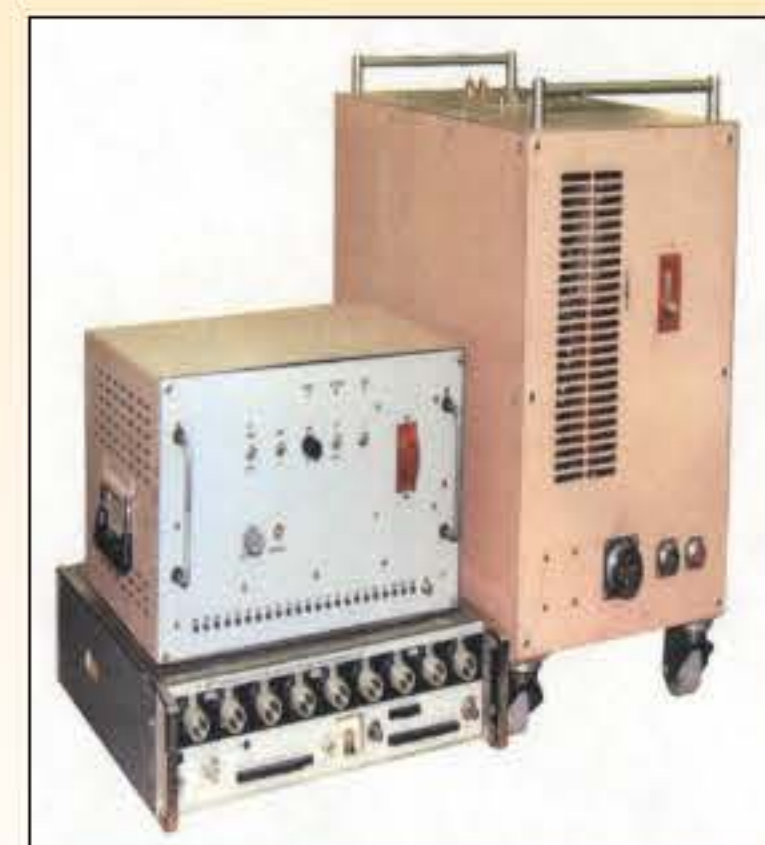
ОСВОЕНИЕ НОВОГО ДИАПАЗОНА РАДИОВОЛН: 0.1 – 30 Гц

Наземный контролируемый УНЧ источник

В последние годы начаты экспериментальные исследования с помощью уникальной УНЧ установки на Кольском полуострове, разработанной в Российском институте мощного радиостроения, состоящей из усилителя мощности и излучателя в виде линии электропередачи ВЛ-401 длиной в 108 км. С помощью данной установки выполнен ряд экспериментов по генерации и исследованию распространения радиоволн в диапазоне (0.1 – 15) Гц. Некоторые результаты данных экспериментов показаны ниже.



Антенна - ЛЭП



Передатчик 50 кВт

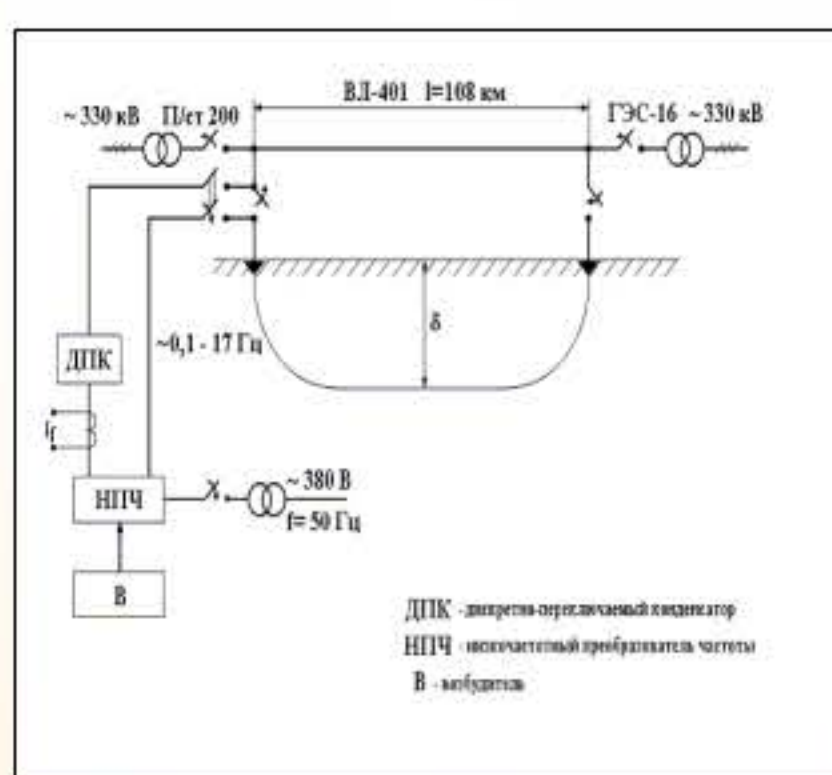


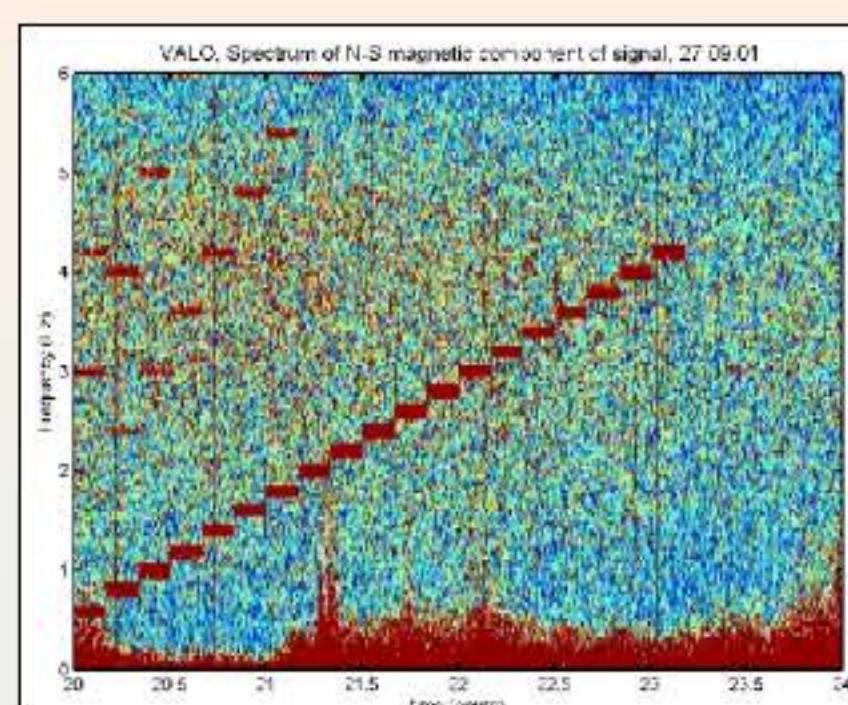
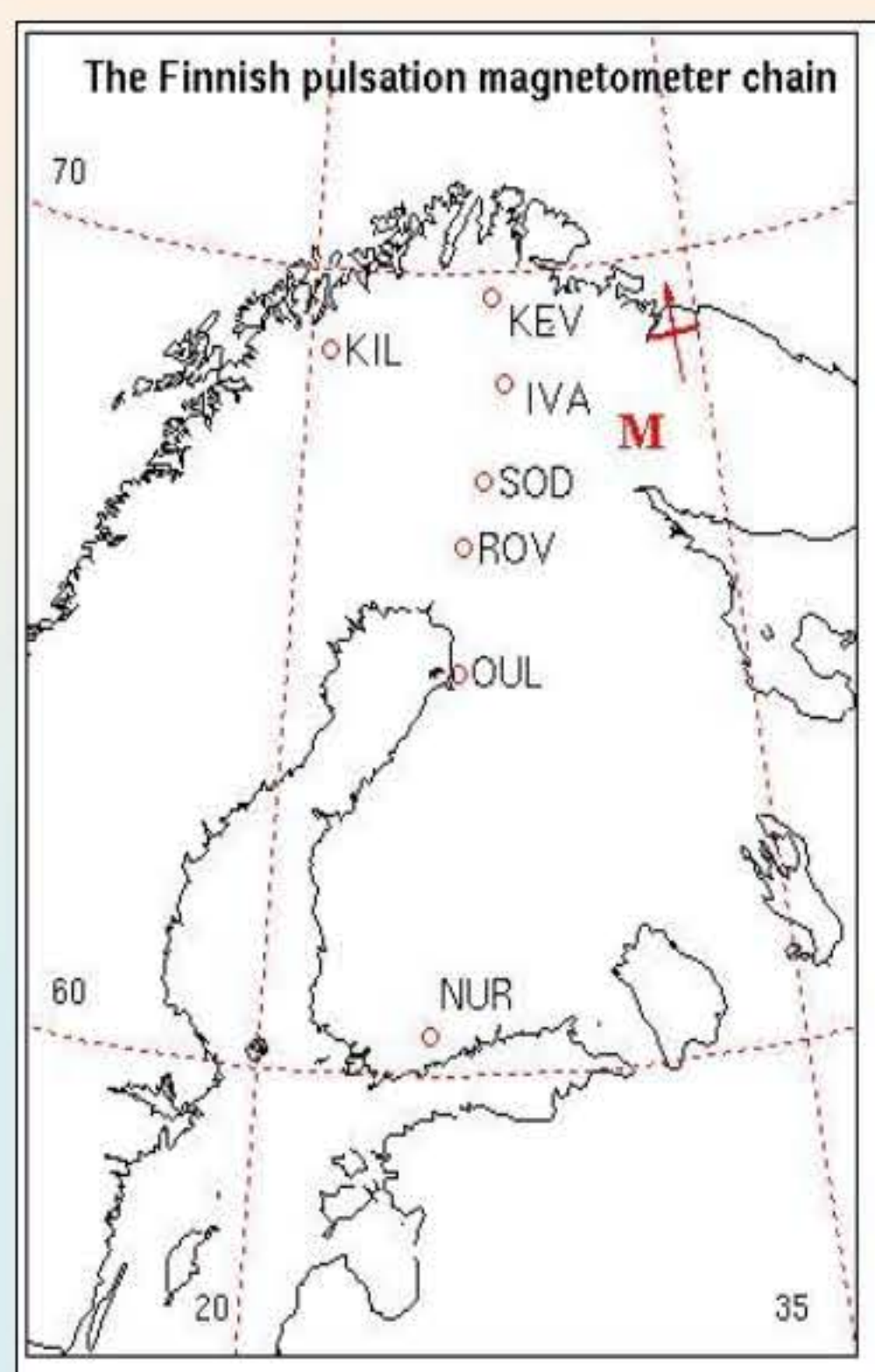
Схема УНЧ излучателя



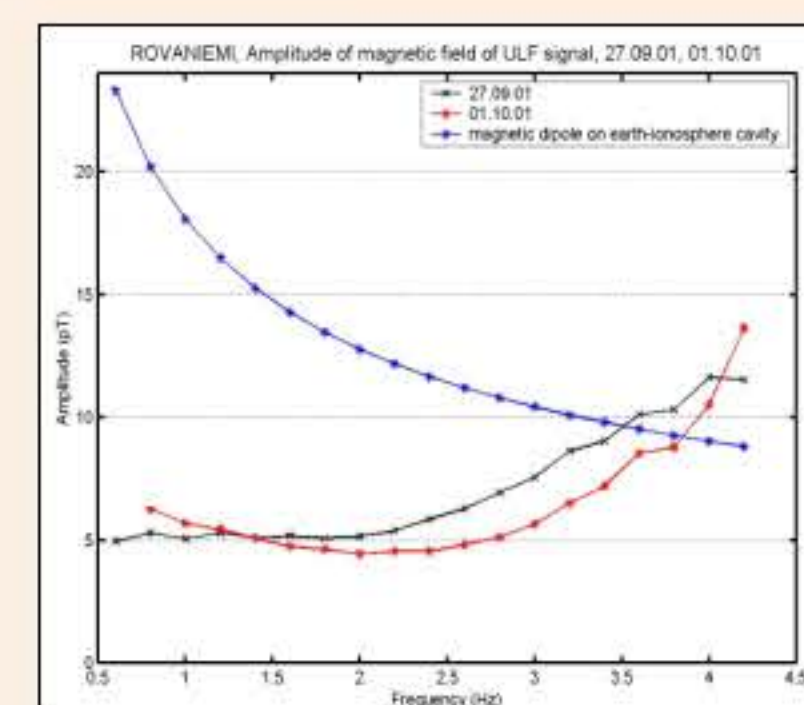
Передатчик и согласующие конденсаторы

Исследования канала распространения искусственных сигналов от контролируемого источника в УНЧ диапазоне.

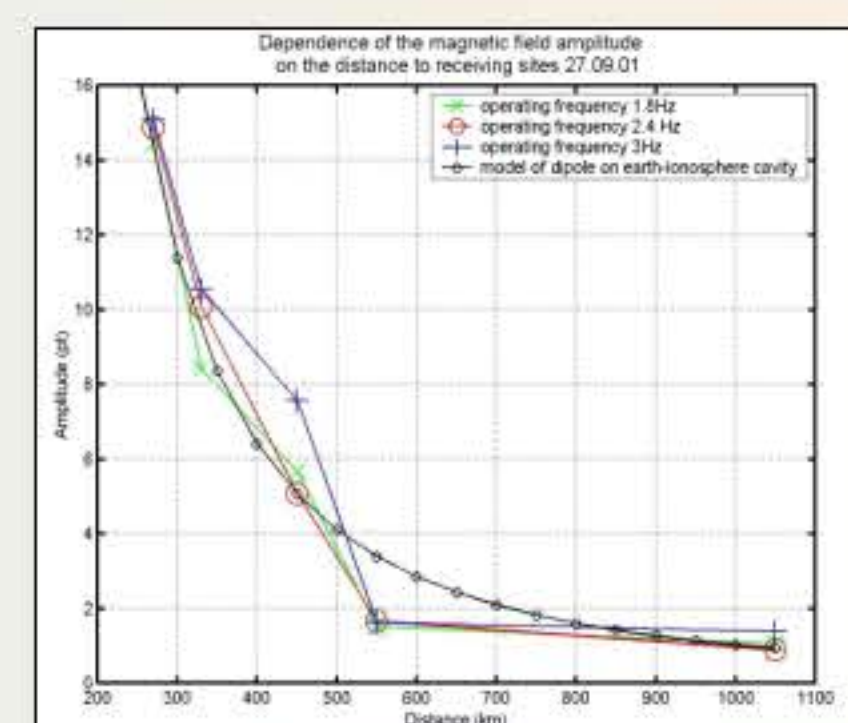
В УНЧ комплекс, кроме представленного на предыдущем планшете передатчика, входят также приемные пункты Новая Жизнь (ФГУН НИРФИ) и финская сеть магнитометров. С помощью данного комплекса проведено исследование характеристик сигналов, генерируемых Кольской установкой в диапазоне 0.1 – 15 Гц, на расстояниях до 1500 км. Установлены зависимости характеристик сигналов от дальности, геофизических и ионосферных условий. По спектральным свойствам сигнала выявлен высоко проводящий слой непосредственно под антенной на глубине порядка 10 км.



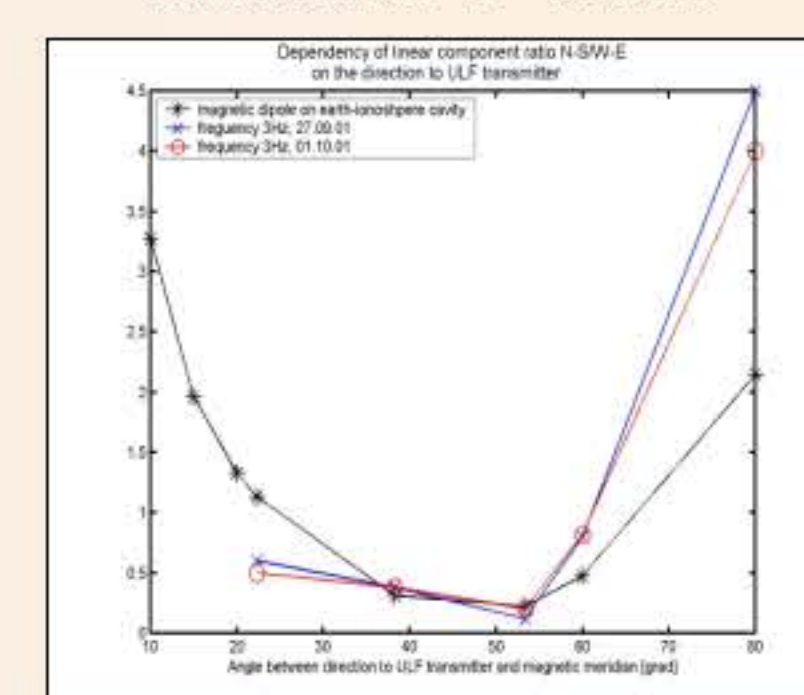
Спектрограмма сигнала



Зависимость от частоты



Зависимость от расстояния



Зависимость отношения компонент H_x -ю/ H_z -з от направления на источник

УНЧ радиоволны как магнитосферный радар (проект ULFRAD)

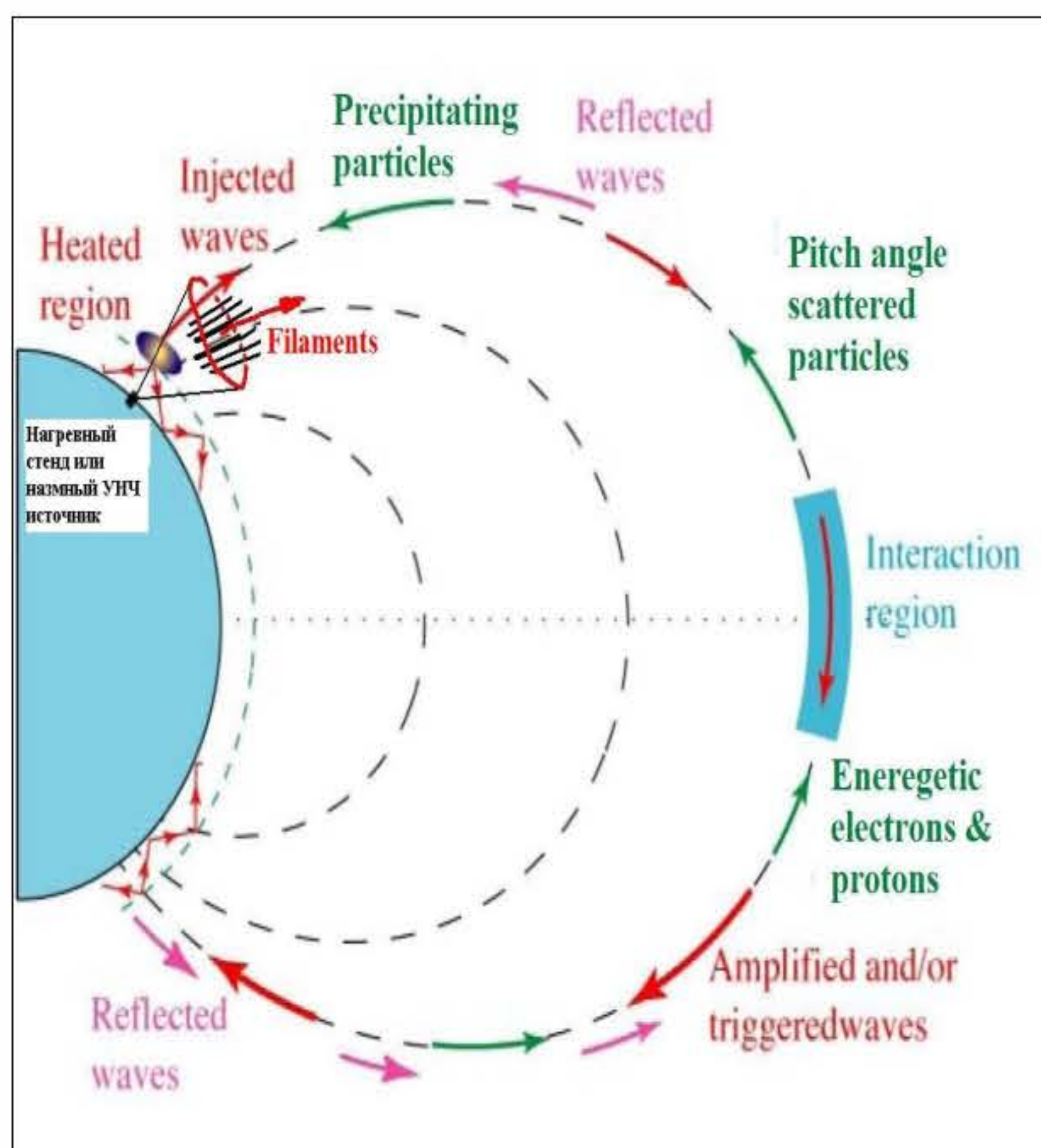
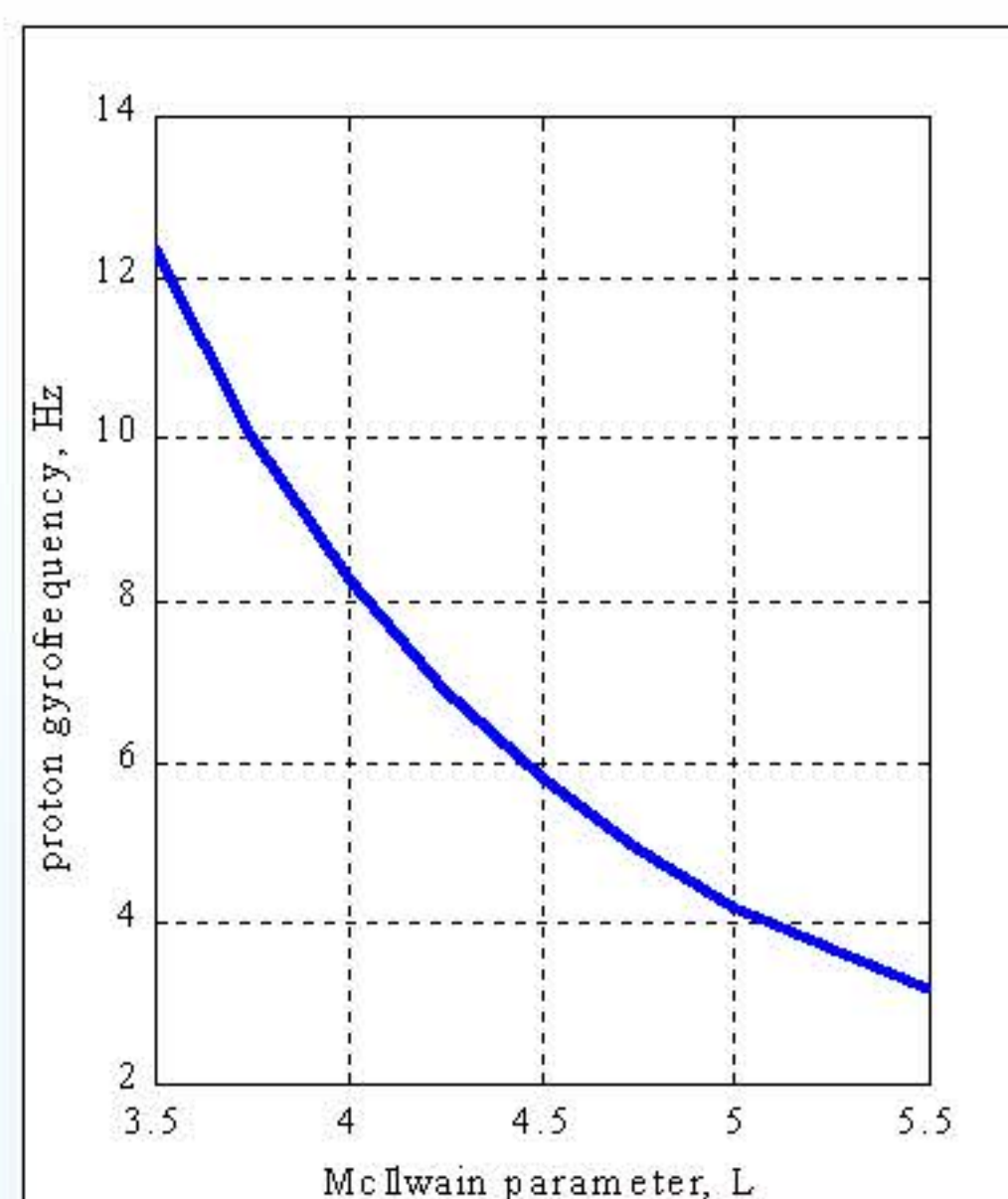
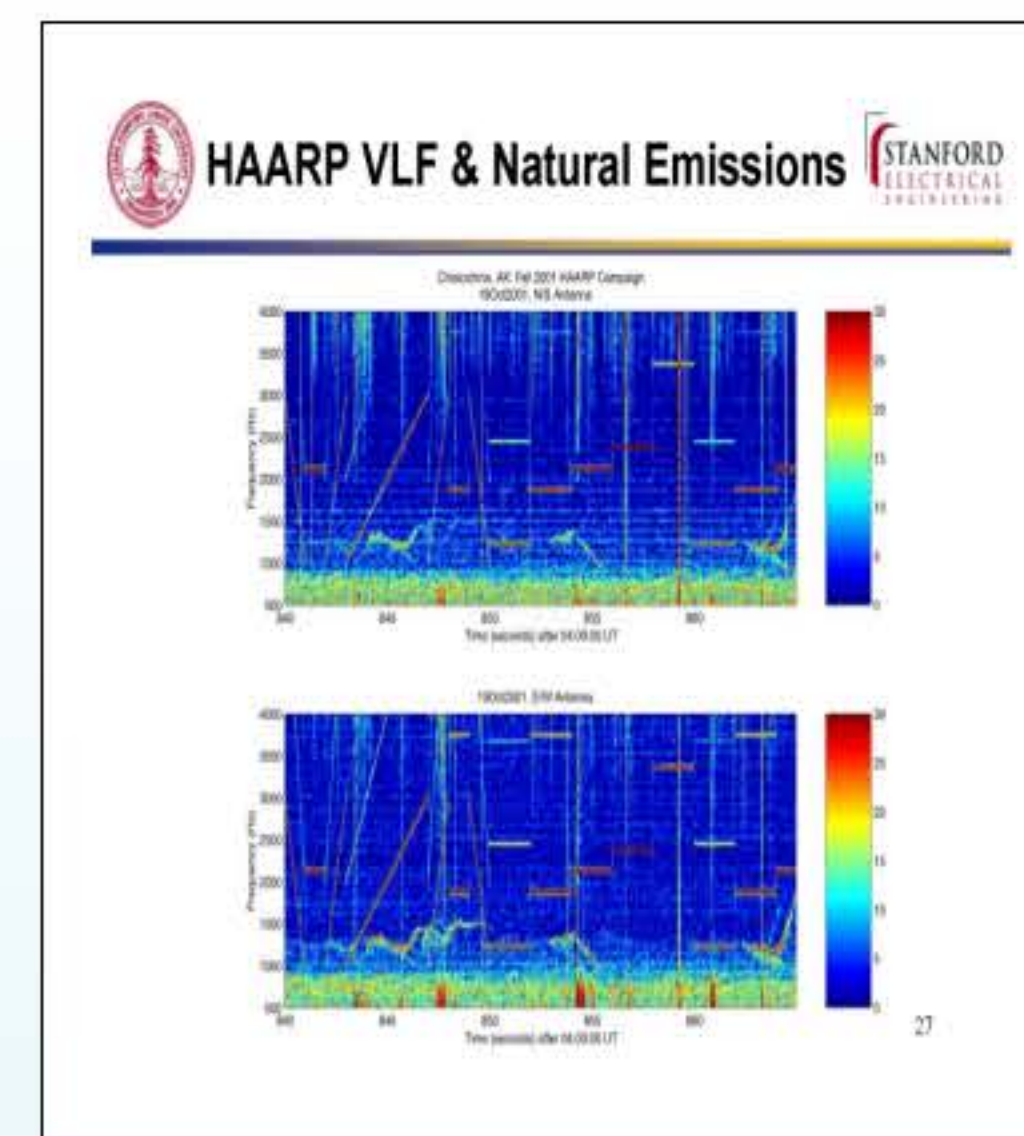


Схема взаимодействия УНЧ излучения с высокоэнергичными частицами радиационных поясов в магнитосфере Земли



Соответствие рабочих частот УНЧ установки протонным гирочастотам на силовых линиях магнитного поля в районе ее расположения



Пример регистрации триггерного излучения при инъектировании ОНЧ радиоволн стандом HAARP на Аляске.



ИССЛЕДОВАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ РАДИОВОЛН В ФГНУ НИРФИ

Километровое радиоизлучение в магнитосфере Земли

Исследования в диапазоне длинных радиоволн были начаты в ФГНУ НИРФИ с наступлением спутниковой эры еще в шестидесятых годах. Так, на первых советских научных спутниках Электрон-2 и Электрон-4 в 1964г. были установлены созданные в НИРФИ, приемники радиоизлучения в диапазоне 0,7 - 1,5 МГц. В этих экспериментах впервые было обнаружено интенсивное спорадическое излучение магнитосферы, впоследствии получившее наименование Авроральное Километровое Излучение (АКР), а также тесная корреляция интенсивности АКР с величиной потока электронов с энергиями выше 100 эВ. Интенсивность излучения на 2-3 порядка превышала интенсивность космического фона. Практически впервые было обнаружено проявление неустойчивости сильно неравновесной плазмы в магнитосфере Земли.

Обнаружение АКР дало толчок к интенсивным исследованиям явления в семидесятых годах на спутниках ISIS1, IMP6, IVP8, Voyager 2; исследования продолжаются и поныне (спутники FREYA, ИНТЕРБОЛ-2 и др). Эти исследования показали, что область генерации АКР находится на расстоянии 2-3 радиуса Земли и тесно связана с ярким явлением в энергетическом спектре электронов, получившим название "перевернутое V", а интенсивность АКР максимальна на частотах 200-300 кГц.

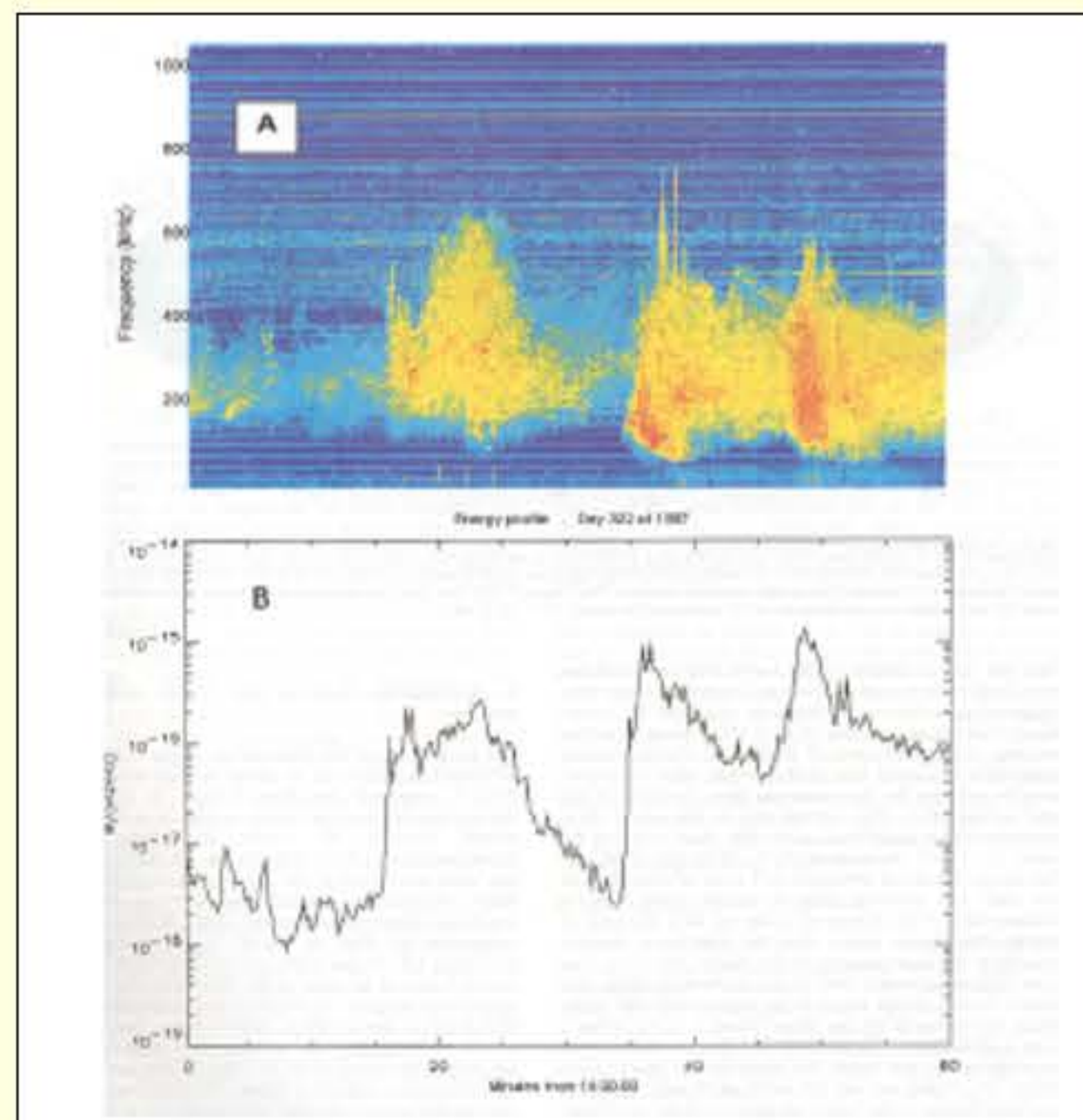


Рис.1. Пример барстерной структуры АКР, зарегистрированной на спутнике ИНТЕРБОЛ-2

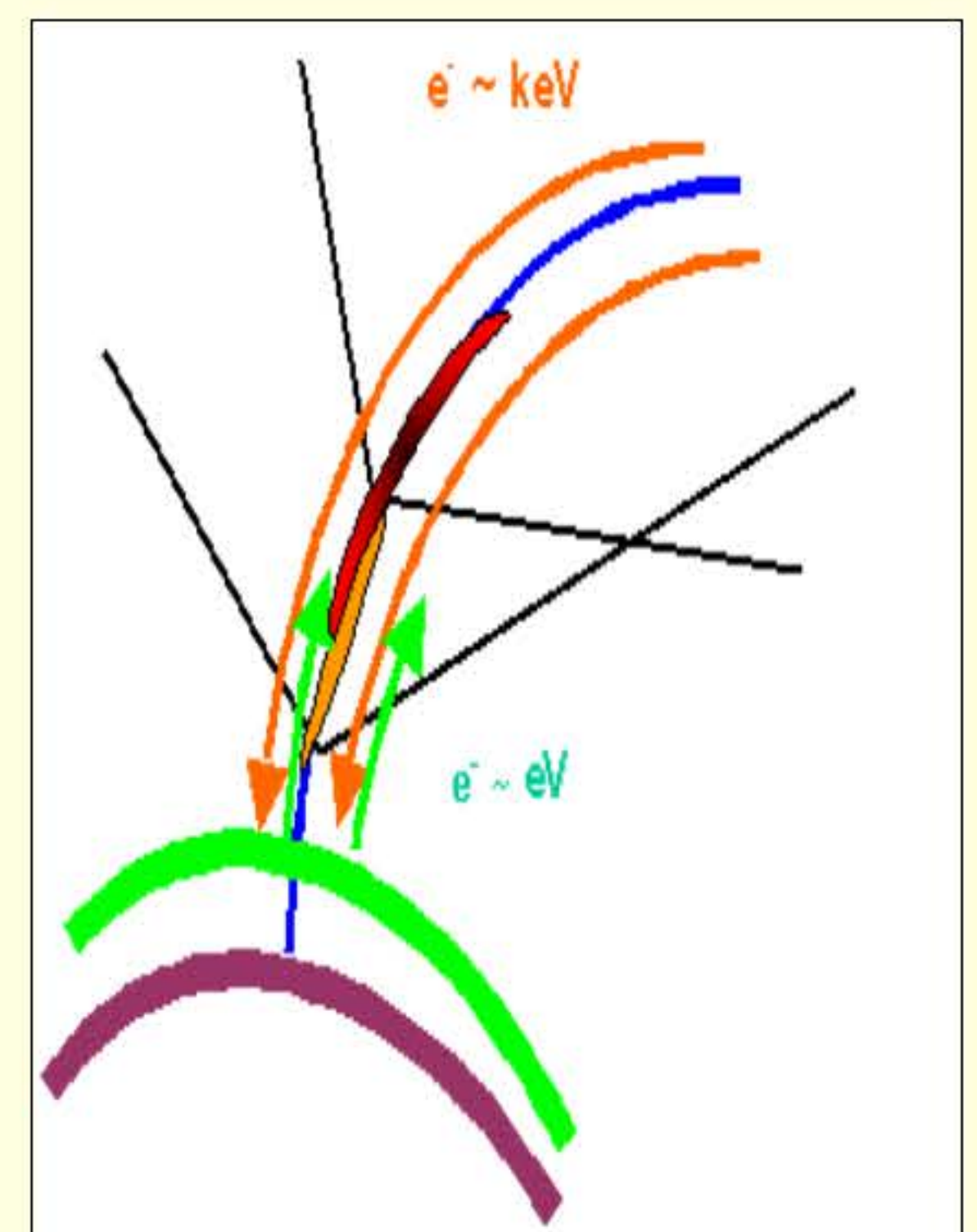


Рис.2. Схема возникновения барстеров.

Исследования эффекта Гетманцева

Новый многолетний этап в низкочастотных исследованиях был связан с обнаружением низкочастотного радиоизлучения на частоте модуляции (сигналы комбинационных частот – СКЧ) в диапазоне нескольких килогерц, генерируемого в ионосфере в результате взаимодействия плазмы с мощным модулированным КВ-излучением. Была предложена модель генерации на основе тепловой нелинейности и модуляции квазистационарных ионосферных токов. Позднее (в 1980г.) группа ученых из НИРФИ и ПГИ получила диплом на открытие №231, а сам эффект получил название - "эффект Гетманцева" (Открытия в СССР, ВНИИПИ, М. 1981, с.25). В течение двух десятилетий "эффект Гетманцева" интенсивно и всесторонне исследовался как на мощном стенде ФГНУ НИРФИ СУРА, так и во всех мировых центрах, обладающих мощными коротковолновыми нагревными средствами (Аресибо, Тромсё, Фербенс). В настоящее время исследования продолжают на стендах HAARP (Аляска) и SPIRE (Шпицберген).

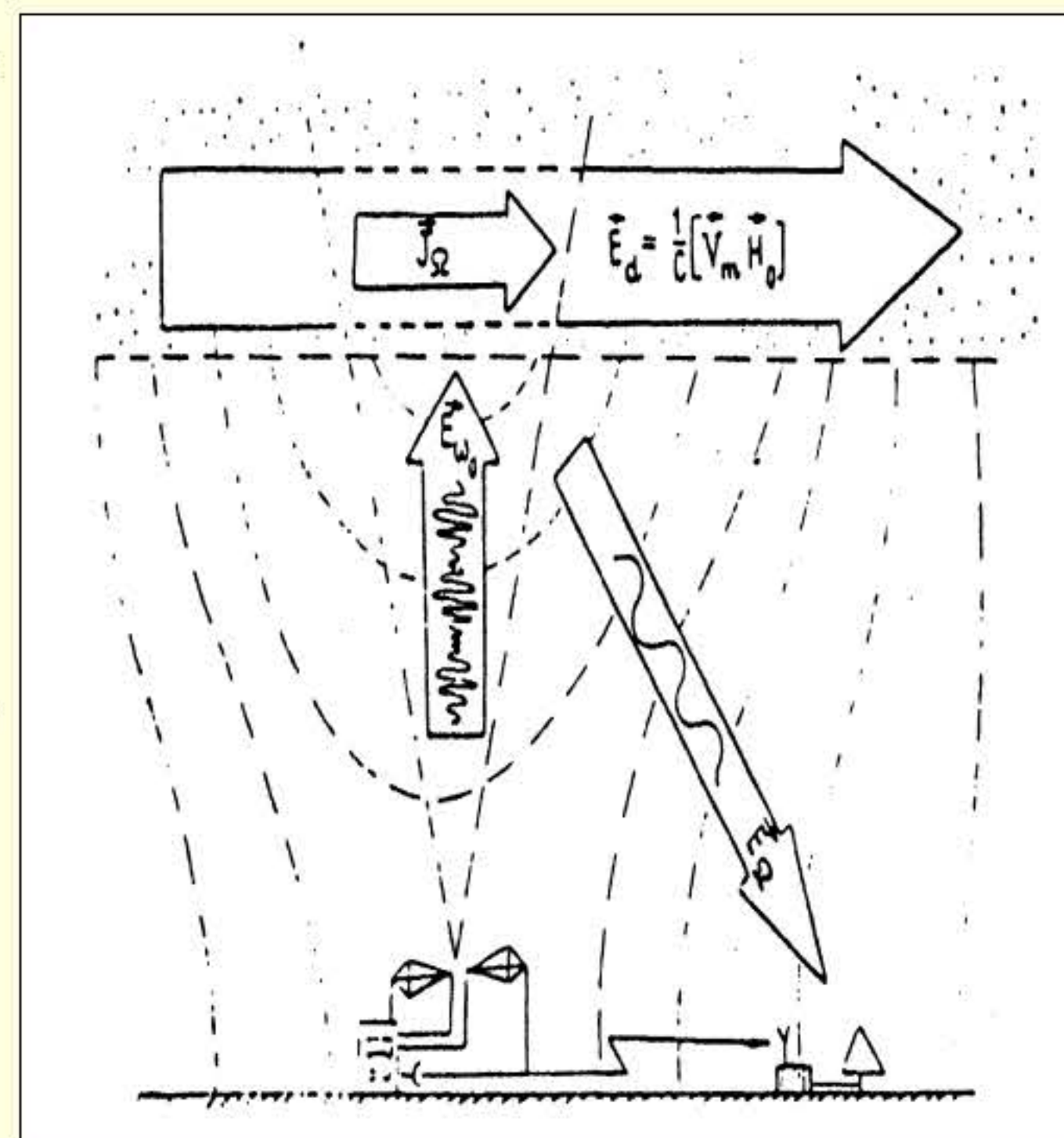
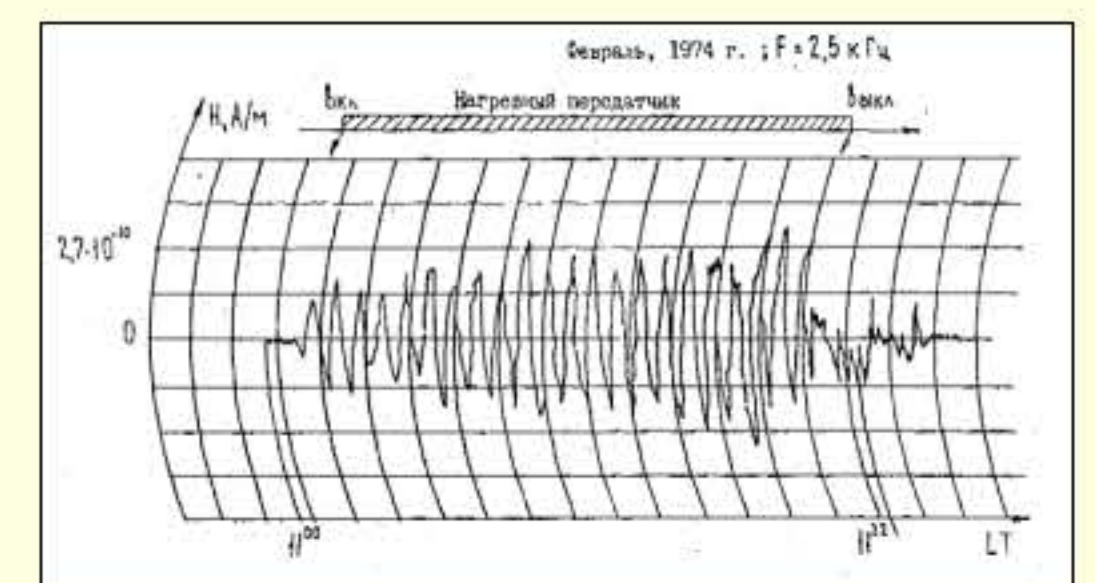
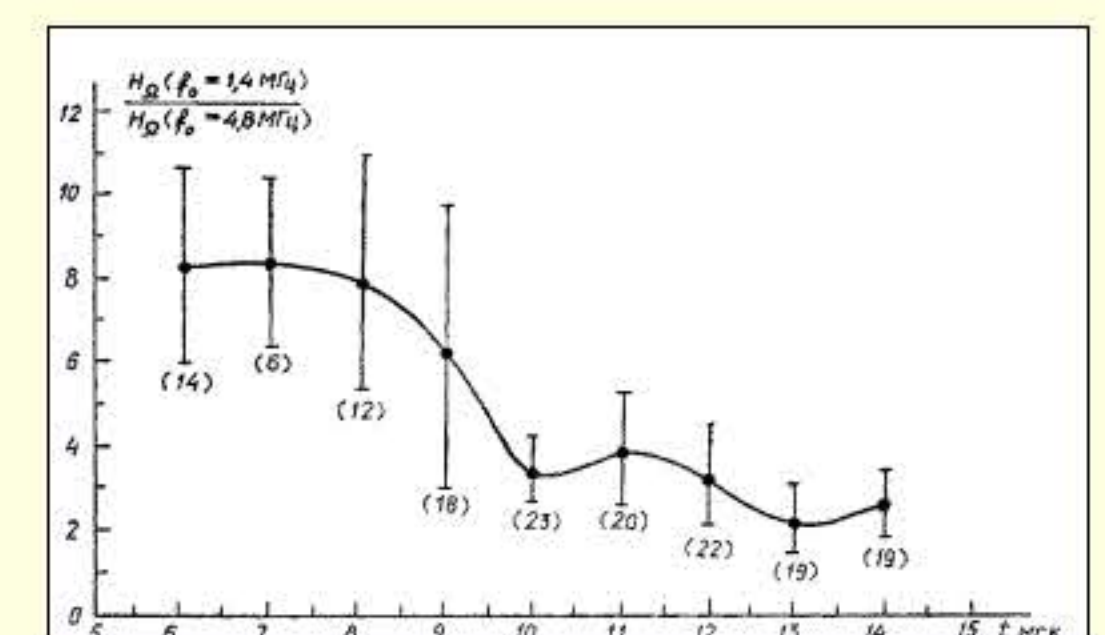


Схема эксперимента



Впервые обнаруженный сигнал



Сравнение эффективности генерации СКЧ на частотах 1,4 и 4,8 МГц.

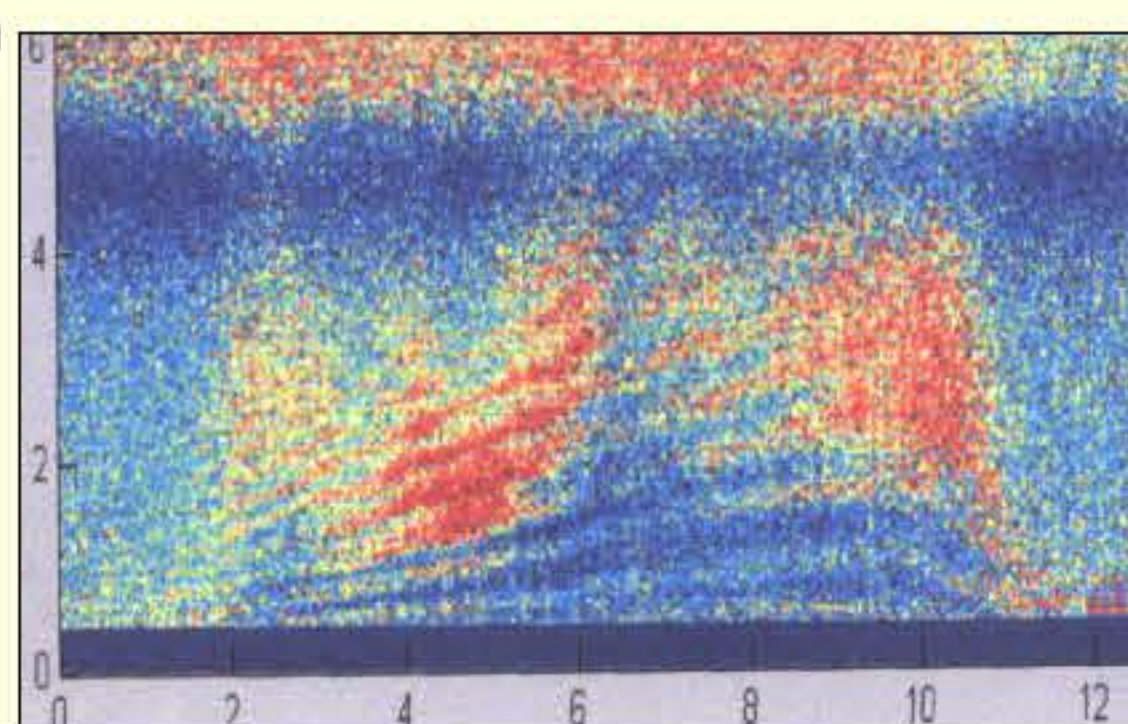
Исследования шумов в УНЧ диапазоне –

обнаружение резонансной структуры спектра шума (РСС) – как проявления ионосферного альвеновского резонатора (ИАР), и широкополосного максимума – как проявления ионосферного резонатора на высотах 80-250 км (суб-ИАР)

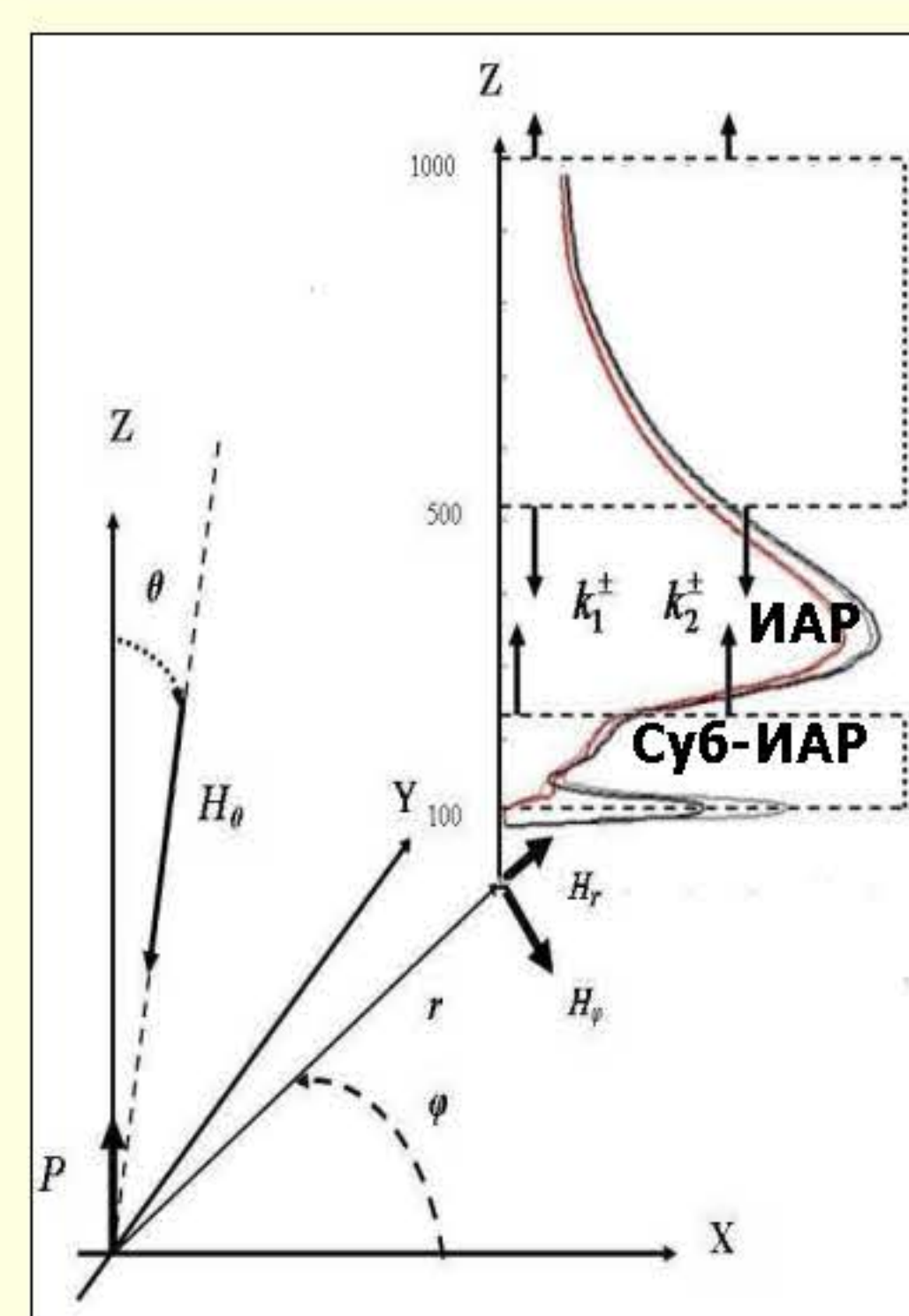
С помощью нового поколения сверхчувствительных датчиков и, опираясь на теоретические модели ионосферного альвеновского резонатора, были проведены целенаправленные исследования спектральных характеристик атмосферных шумов на частотах ниже 10 Гц. Эти исследования выявили неизвестную ранее резонансную структуру спектра (РСС) в диапазоне 0,1-10 Гц, обусловленную свойствами ионосферного альвеновского резонатора, и широкополосный спектральный максимум (ШСМ), как проявление резонансных свойств нижней ионосферы. Детально исследованы характеристики РСС, имеющие четко выраженные дневные, сезонные и солнечно-цикловые зависимости.



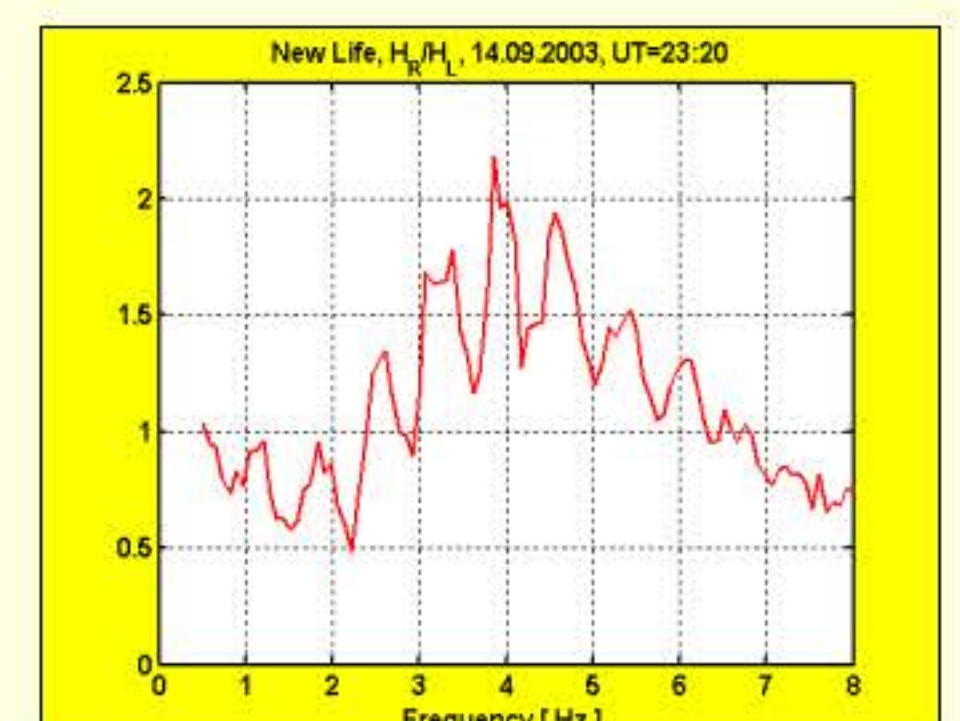
Молнии – главный источник шума в исследуемом диапазоне



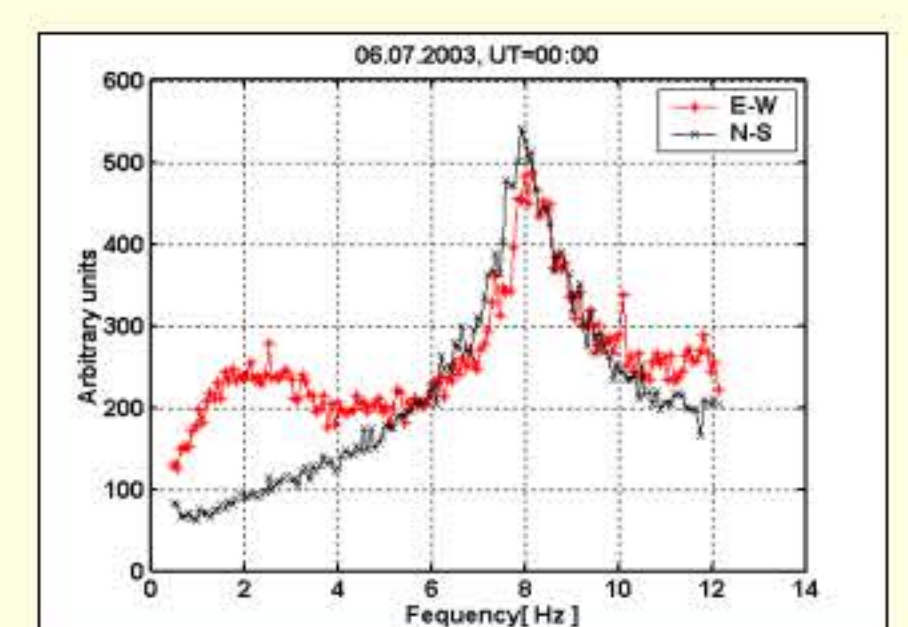
Типичная спектрограмма РСС



Теоретическая модель



Спектр РСС



Широкополосный спектральный максимум



РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНЫХ РАДИОВОЛН

Электромагнитное зондирование на суше и морском шельфе

В 2001 – 20004 гг в ФГНУ НИРФИ разработан комплекс для магнитотеллурического зондирования земных недр на суше и морском шельфе с целью поиска углеводородного сырья. В состав комплекса входят индукционные датчики, аналоговые блоки предварительной обработки сигнала и сопряжения с компьютером, программное обеспечение. Комплекс позволяет производить зондирование как по естественным шумам, так и по сигналам от контролируемого источника УНЧ сигнала. Проведены морские испытания на глубинах до 100 м и осуществлена поставка всего комплекта оборудования в Китайскую Народную Республику.



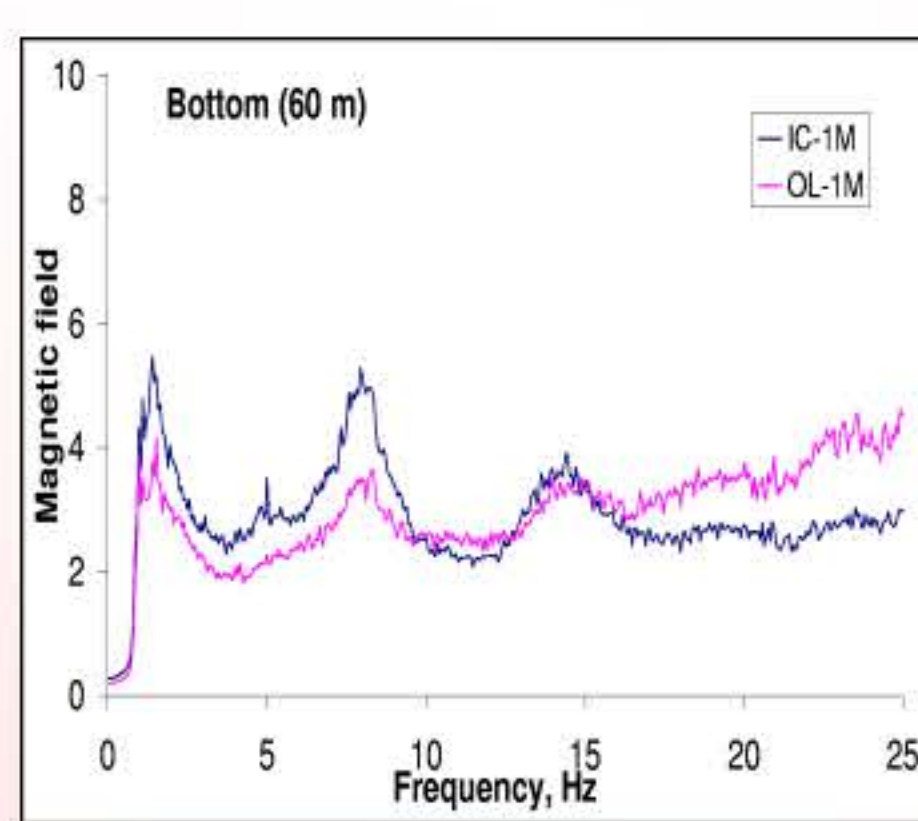
Индукционные датчики



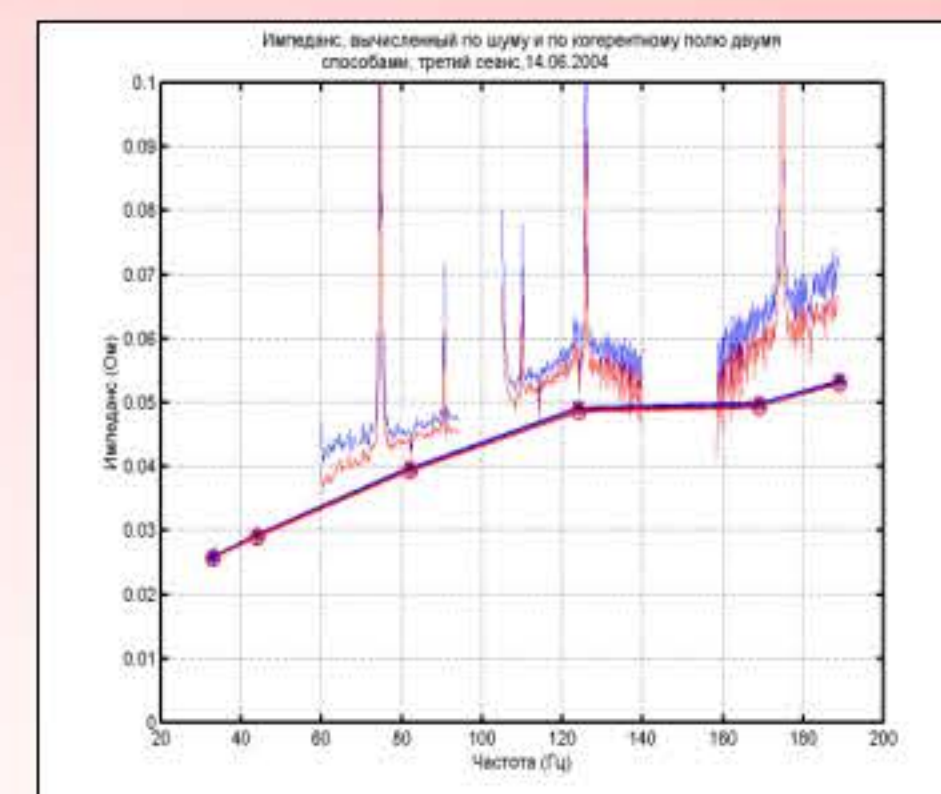
Морские испытания



Блок аналоговой обработки и связи с компьютером



Магнитные шумы на морском дне



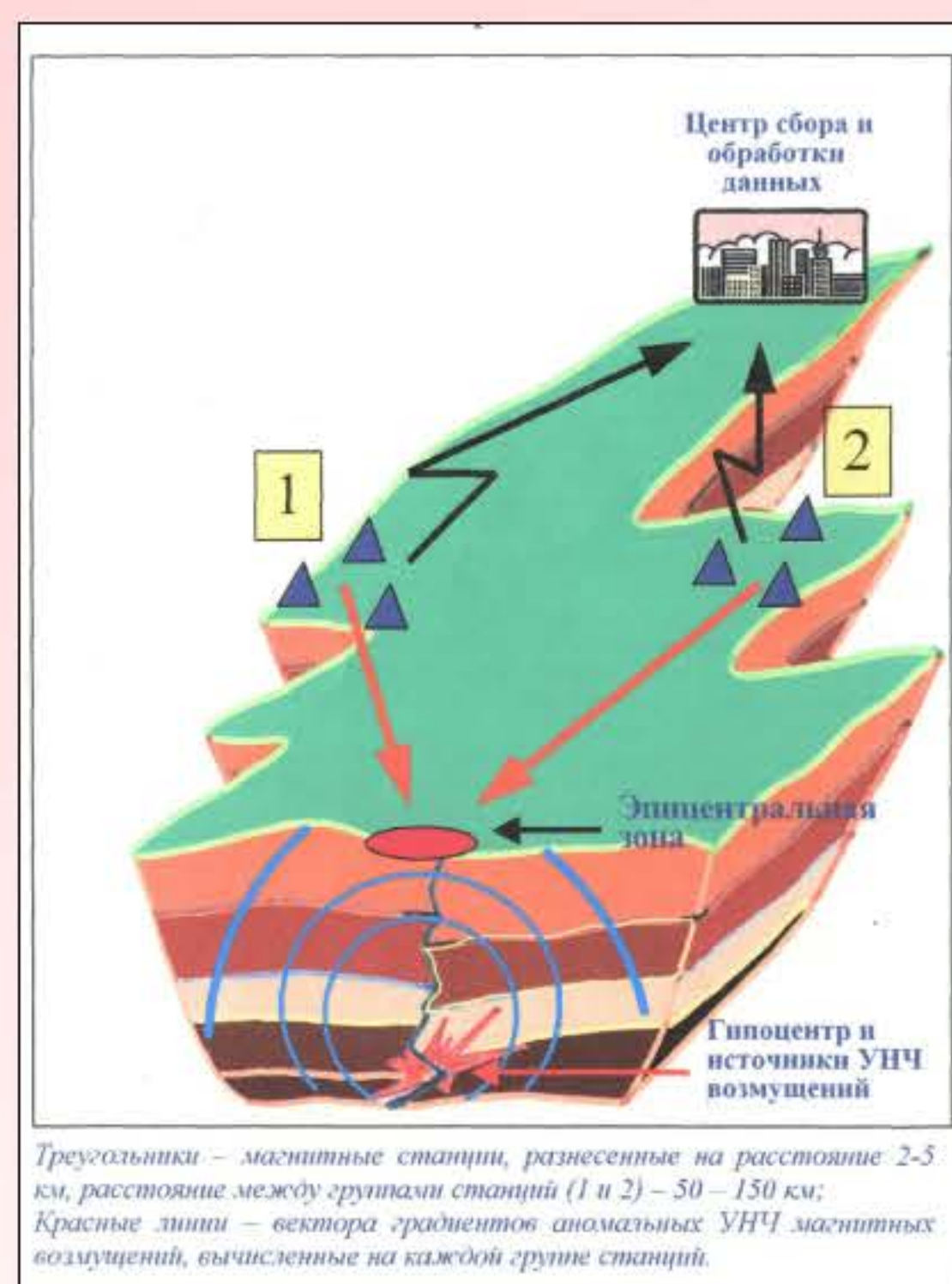
Сравнение измерений поверхностного импеданса по шумам и когерентному источнику



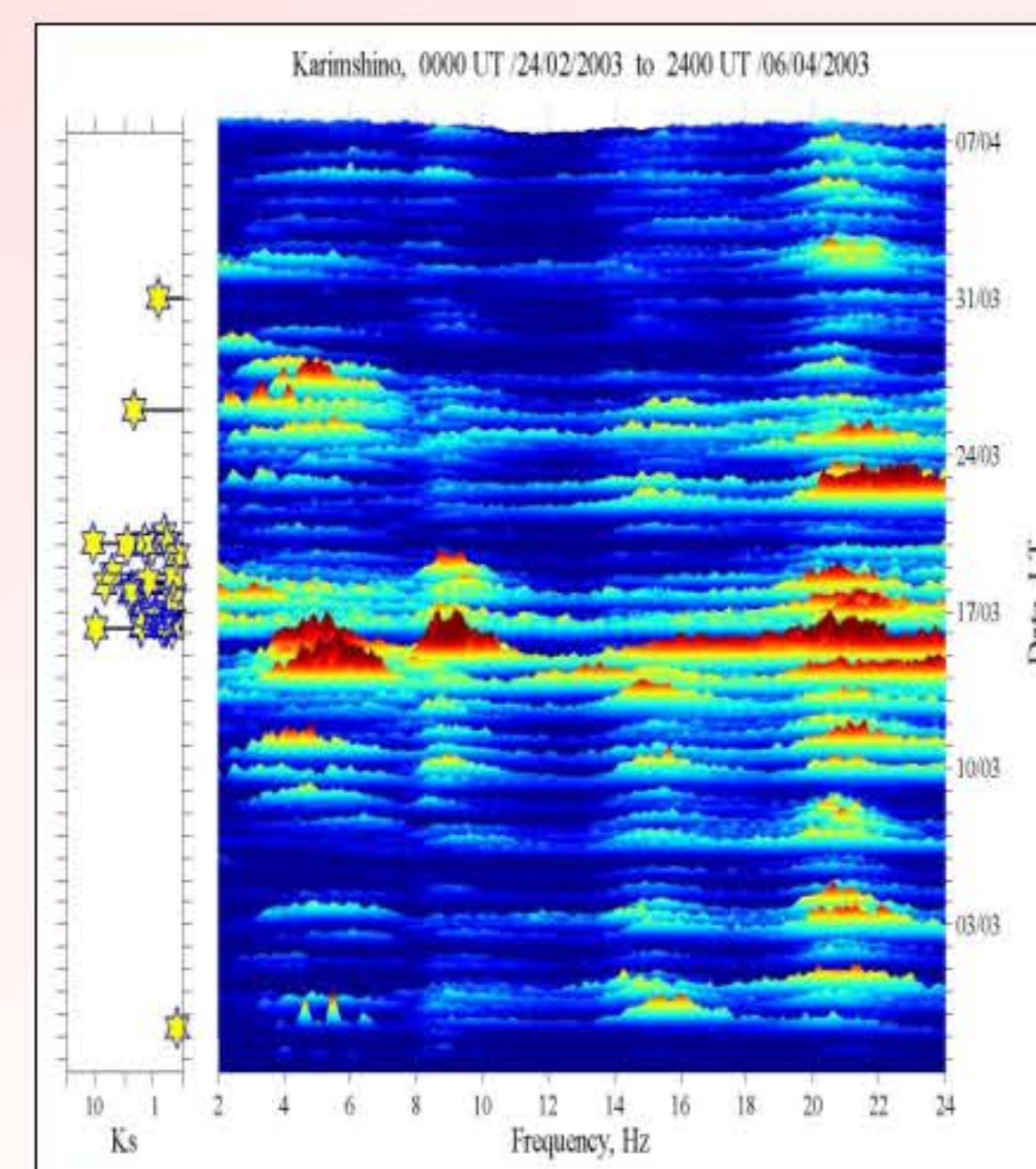
Экспериментально подтвержденная зона уверенного приема сигнала от Кольской установки

Прогноз землетрясений и катастрофических явлений в районах шахтных разработок минерального сырья

В настоящее время в ФГНУ НИРФИ в рамках государственного контракта "Исследование и развитие радиофизических методов и технологий для информационных систем дистанционного исследования сред и объектов" проводится разработка и макетирование градиентометрического комплекса для прогноза катастрофических явлений типа землетрясений и выброса газов в районах подземных разработок минерального сырья. Проведенные ранее исследования учеными из СПб ИЗМИР РАН в Японии и ИФЗ РАН на Камчатке, приведенные на рисунках, свидетельствуют о явных проявлениях предвестников в КНЧ диапазоне. Нами предложен новый метод, основанный на нашем опыте исследований в этом диапазоне, позволяющий существенно повысить информативность и надежность прогнозирования.



Треугольники – магнитные станции, разнесенные на расстояние 2-5 км, расстояние между группами станций (1 и 2) – 50 – 150 км; Красные линии – вектора градиентов аномальных УНЧ магнитных возмущений, вычисленные на каждой группе станций.

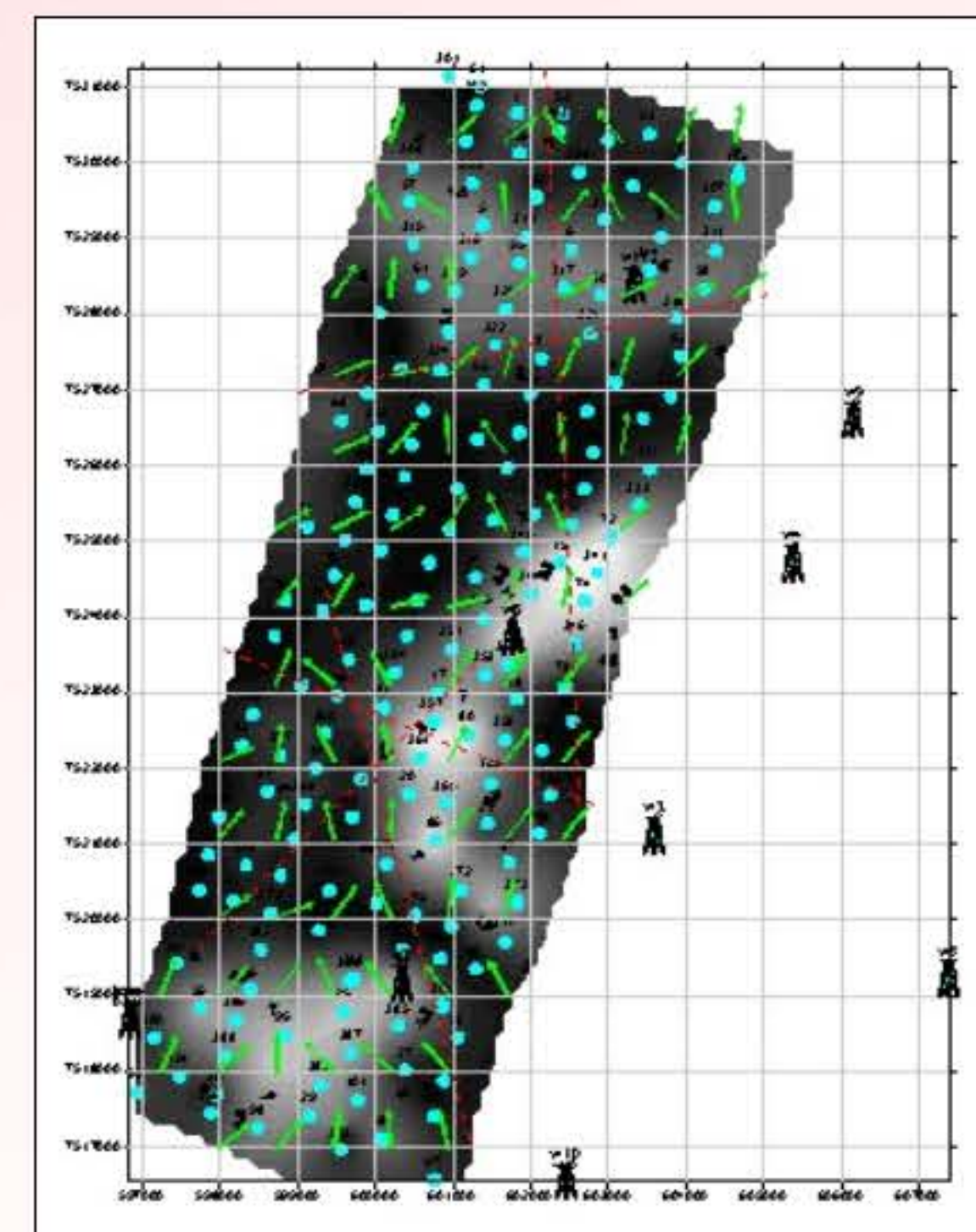
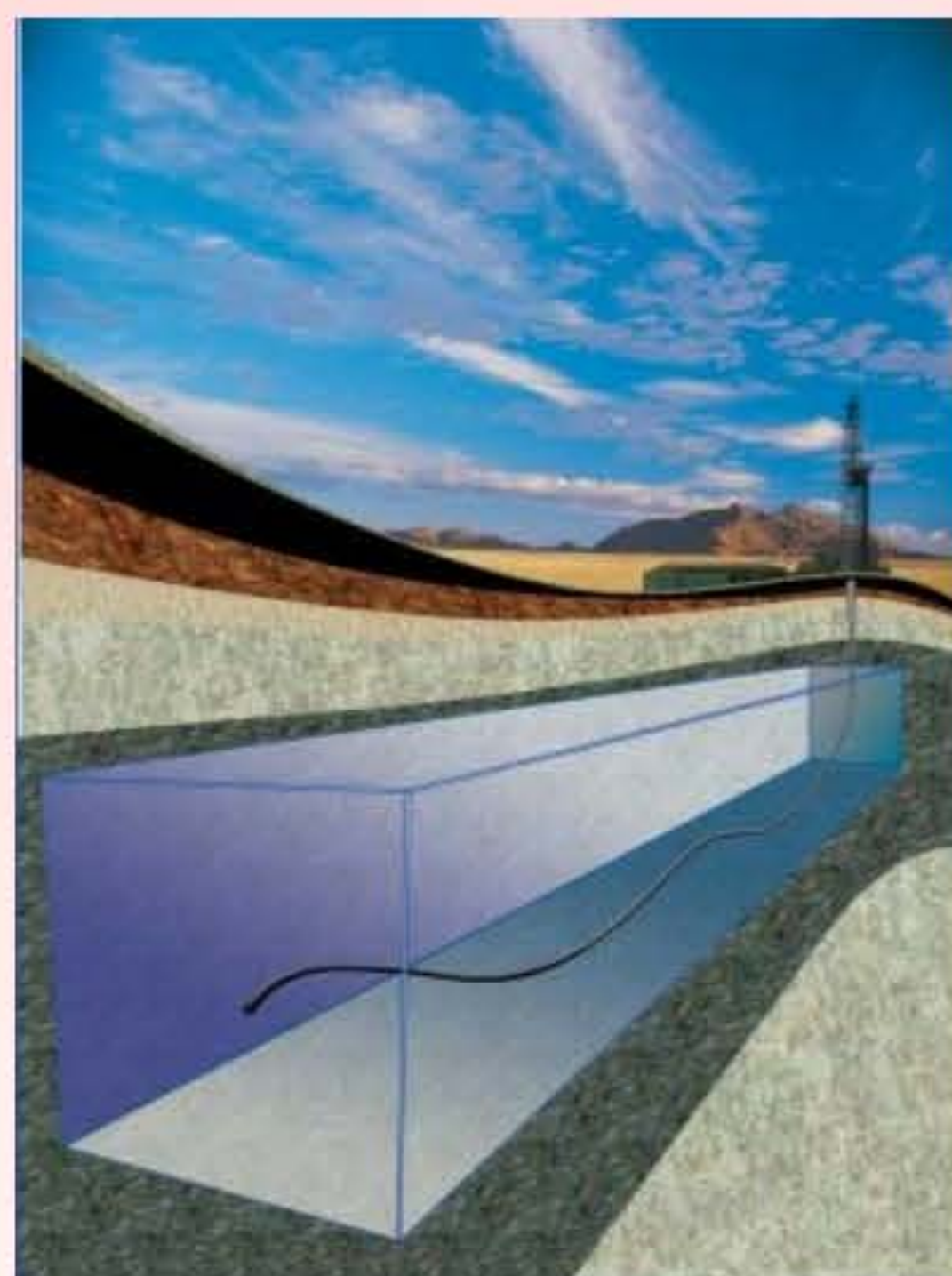


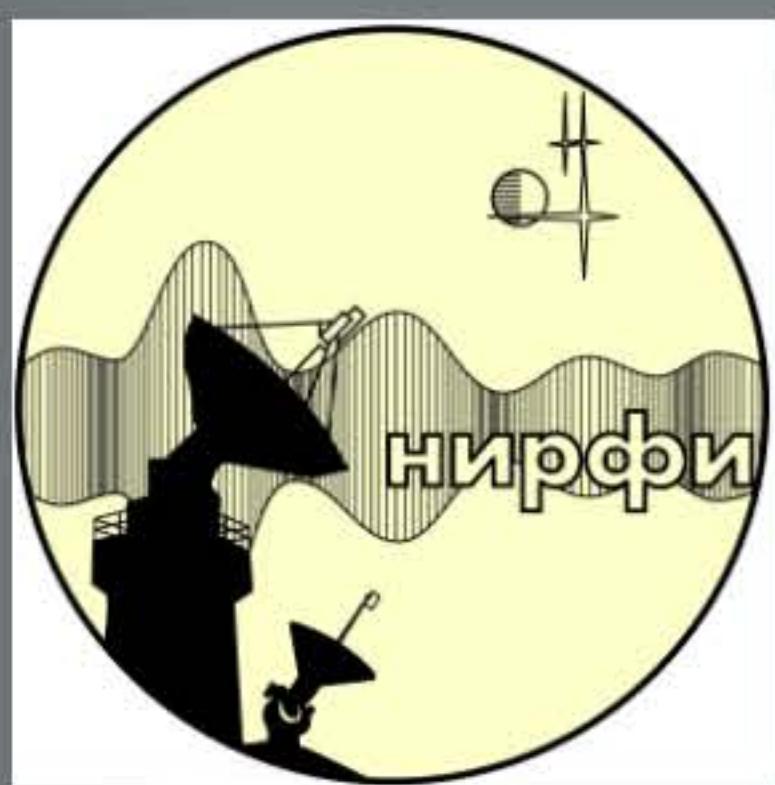
Рельеф N/D спектров за период с 24 февраля по 6 апреля 2003 г совместно с сейсмическим индексом Ks. Спектральные максимумы, связанные с сейсмичностью, появляются на частотах F=4-6 Гц и F~20-24 Гц

Мониторинг подземной среды в районах нефтепромыслов

Одной из проблем на нефтепромыслах является изменение структуры пластов в результате эксплуатации по сравнению с первоначально разведанной. Поэтому становится актуальным постоянный мониторинг состояния подземной среды в районах интенсивной добычи.

В настоящее время в ФГНУ НИРФИ разрабатываются предложения по проекту комплекса для подобного рода мониторинга, основанного на методе электромагнитного зондирования подземной среды с помощью локального контролируемого УНЧ/СНЧ источника и естественного фонового электромагнитного шума.





МАЛОБАЗОВАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ



Радиоинтерферометр дециметрового диапазона:

антенны параболические полноповоротные с диаметром зеркал 7 м;
расстояние между антеннами 417 м,
ориентация базы близка к линии Восток–Запад; рабочая частота – 540 МГц;
приемник корреляционный супергетеродинный с квадратурным выходом
с двойным преобразованием частоты, выполненный по смешанной
одно-двухполосной схеме; полоса частот 5,5–10 МГц,
первая промежуточная частота – 60 МГц, вторая – 2,5 (5) МГц;
первое преобразование частот - однополосное с подавлением зеркального
канала фильтром, второе преобразование – двухполосное с сохранением
обоих каналов приема; чувствительность – 0,3 К при постоянной времени 1 с,
чувствительность по потоку ~ 40 Ян;
погрешность системы фазовой калибровки порядка 2–3°;
эквивалентное угловое разрешение 5" при ошибке измерения фазы 5°.

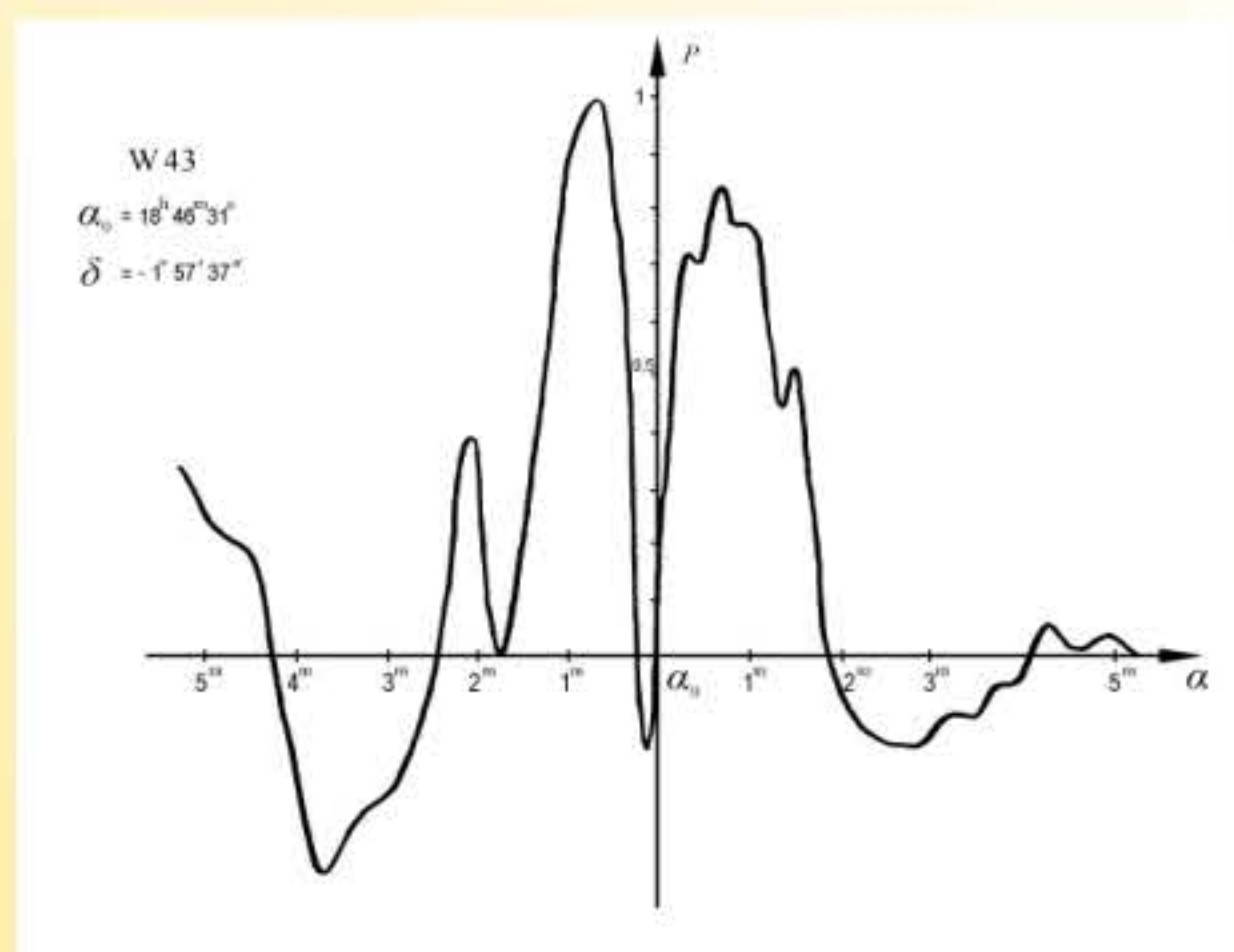


Радиоинтерферометр метрового диапазона:

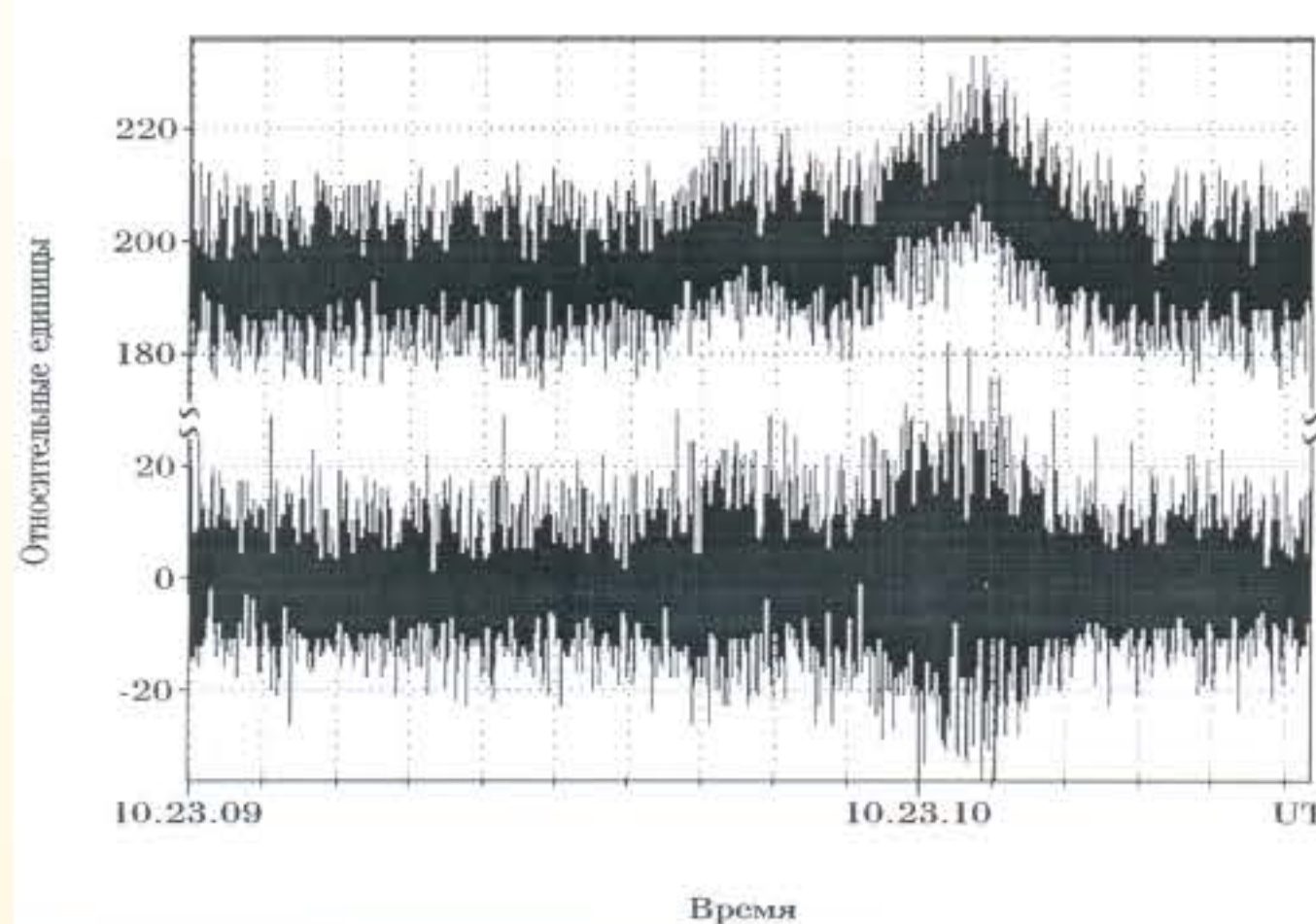
антенны параболические полноповоротные
с диаметром зеркал 14 м;
расстояние между антеннами 15–130 м,
ориентация баз близка к линии Восток–Запад;
рабочая частота 152 МГц;
приемник четырехканальный корреляционный
супергетеродинный с квадратурным выходом (по схеме,
аналогичной приемной системе дециметрового диапазона), полоса
частот – 2 МГц, первая промежуточная частота – 45 МГц, вторая –
2 МГц;
чувствительность 0,7 К при постоянной времени 1 с;
погрешность системы фазовой калибровки порядка 2°;
эквивалентное угловое разрешение 40" при ошибке измерения
фазы 2°.

Решаемые задачи:

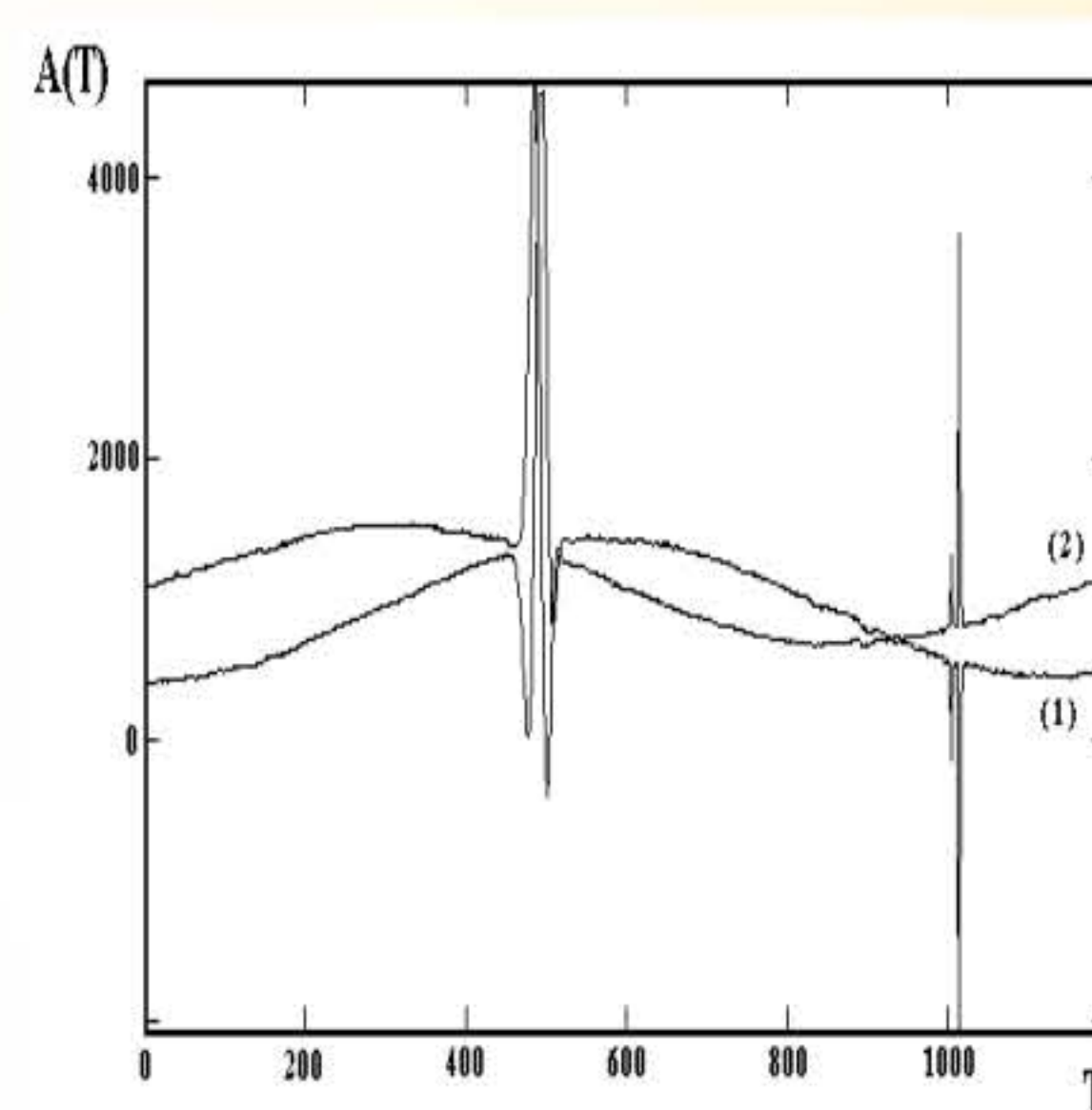
- исследование источников внеземного радиоизлучения методом апертурного синтеза;
- исследования кратковременных солнечных вспышек ("спайков");
- определение расстояний и местоположения на поверхности Земли для геодезии и геодинамики;
- применение интерферометров для координатных и траекторных измерений;
- контроль состояния ионосферы по фазе интерферометрического сигнала;
- разработка субблоков аппаратуры и подсистем интерферометрических комплексов для достижения их максимальной эффективности.



Стрип-распределение радиоизлучения W43 на частоте 540 МГц

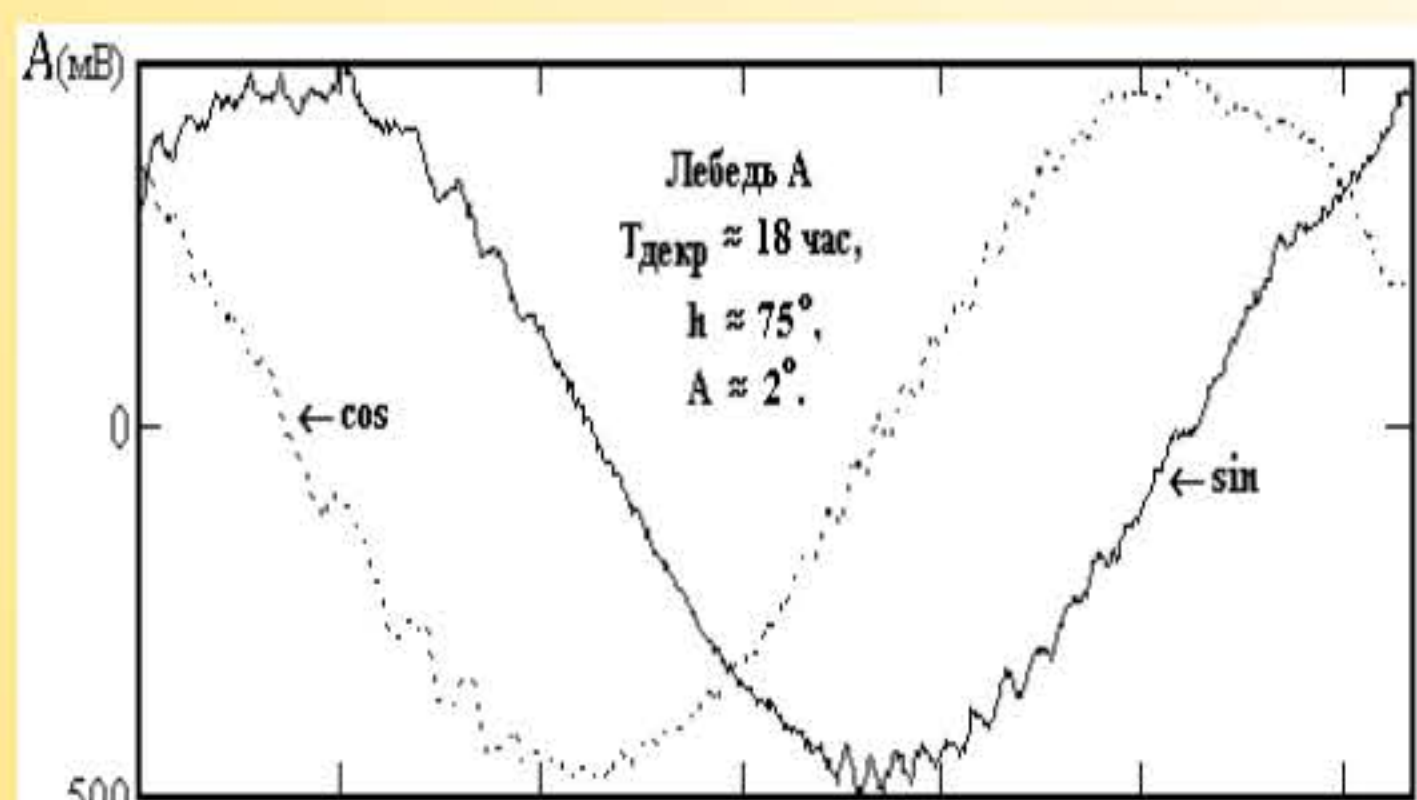


Запись радиоинтерферометрического сигнала от спайкоподобной солнечной вспышки

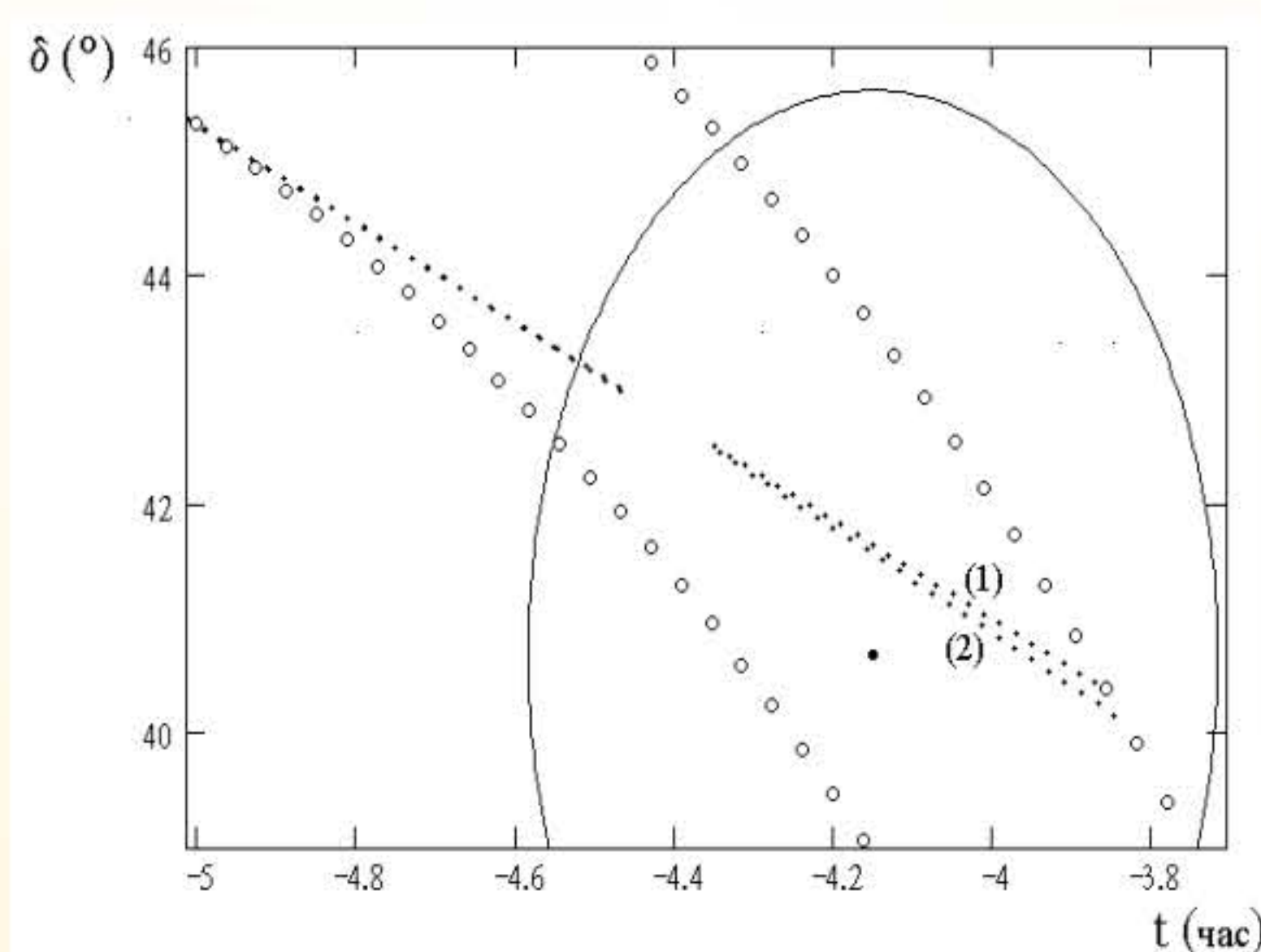
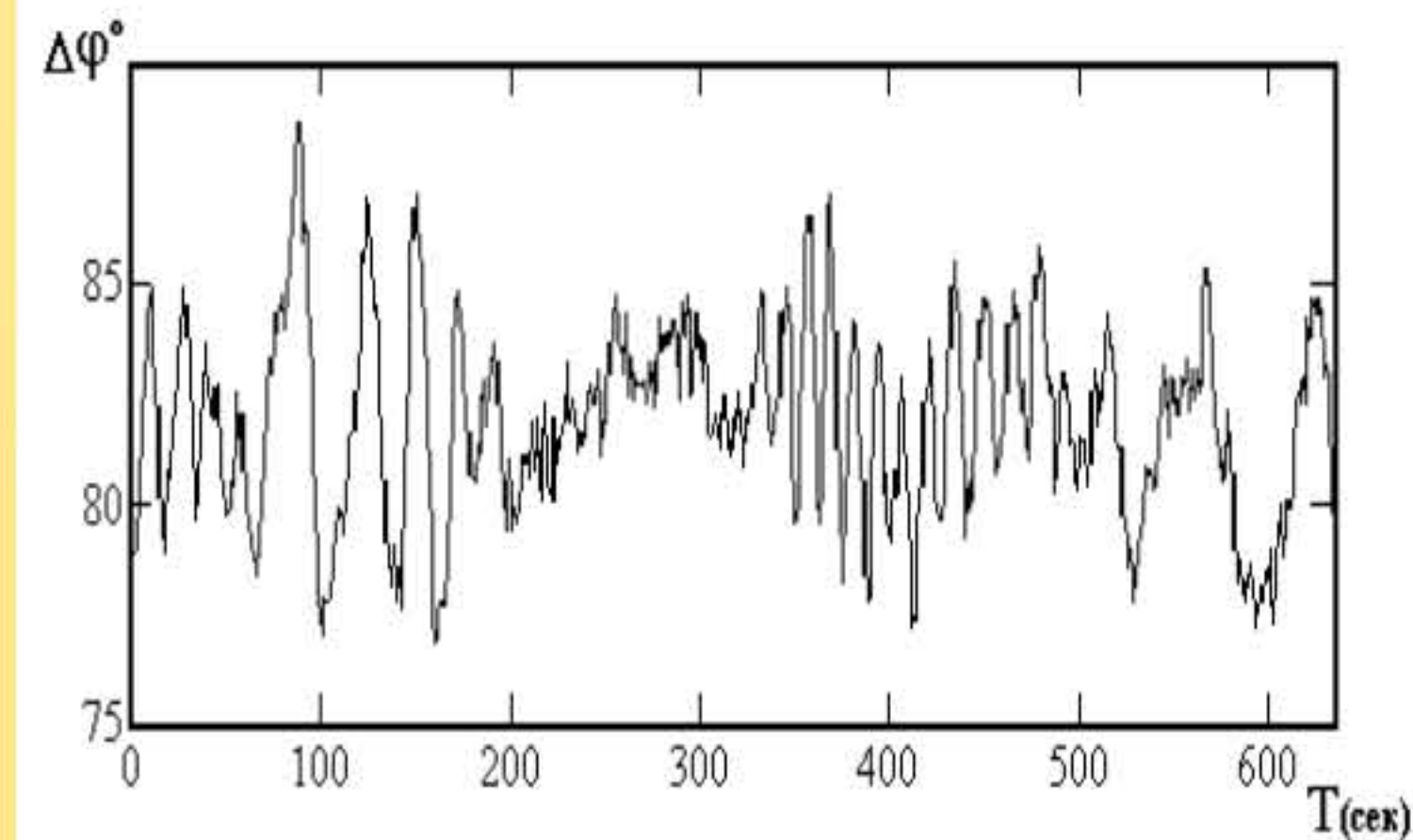


Кривая (1) - выход сигнала канала, (2) - косинус при записи радиометрической Лебедь А; всплеск справа - импульсная помеха.

Определение фрагментов траектории полёта космических аппаратов двухэлементным интерферометром.
Верху – запись сигнала от ИСЗ на полярной орбите.
Внизу – результат обработки



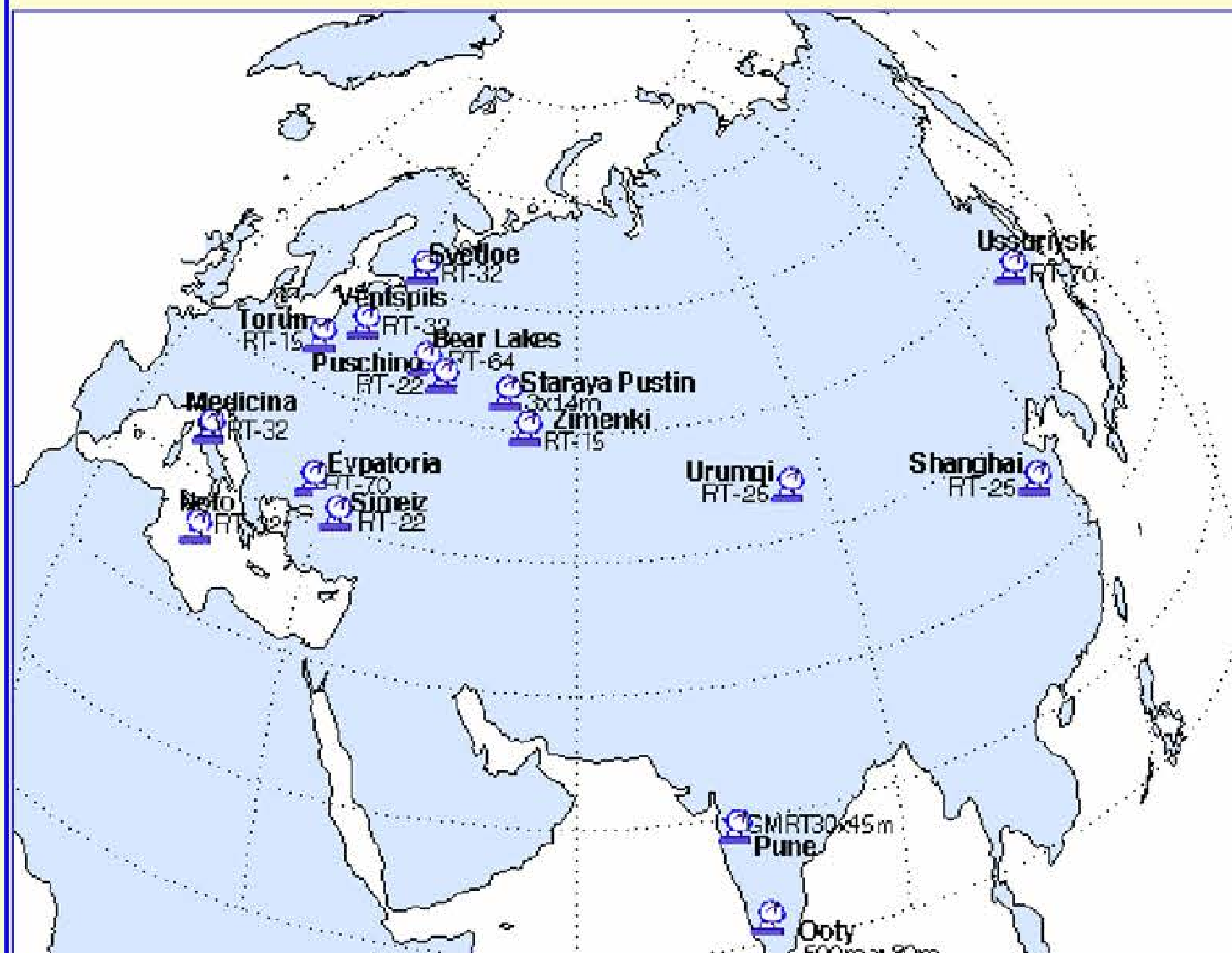
Обнаружение коротко-периодических (15-30 сек) вариаций фазы сигнала радиоинтерферометра на частоте 152 МГц





РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ СО СВЕРХДЛИННОЙ БАЗОЙ (РСДБ)

Метод радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ) позволяет проводить измерения параметров излучения (яркости, поляризации, частотного спектра) космических источников с угловыми размерами менее 1 мсек дуги и является незаменимым инструментом для астрометрических, астронавигационных и геодезических измерений.



ФГНУ «НИРФИ» имеет 40-летний опыт экспериментальной работы в области РСДБ. На основе применения техники собственной разработки были проведены одни из первых в мире экспериментов на интерферометрах со сверхдлинной базой.

- Предложены основы дифференциальной интерферометрии для установления фундаментальной инерциальной системы небесных координат, систем земных координат и их взаимной связи.
- Разработаны методики радиоинтерферометрического определения координат космических аппаратов относительно внегалактических радиоисточников в целях навигационного обеспечения их полетов. Проведены успешные эксперименты по определению текущих координат межпланетных аппаратов "Вега" и "Фобос", орбитальных аппаратов "Гранат" и "Астрон".
- Впервые привязаны геодезические координаты больших антенн РСДБ-пунктов в Уссурийске, Евпатории и Медвежьих Озерах с погрешностью менее метра.
- Выполнены эксперименты по локации объектов «космического мусора» в околоземном пространстве разработанным методом РСДБ-локации.

РСДБ-АППАРАТУРА ФГНУ «НИРФИ»

Одним из важнейших направлений работ лаборатории РСДБ является создание, поддержание работоспособности и совершенствование приемной и регистрирующей аппаратуры. РСДБ-наблюдения проводятся в тесном сотрудничестве с организациями, владеющими крупными антенными комплексами.



«Медвежьих Озера» (ТНА-1500, ОКБ МЭИ)

В настоящее время приемно-регистрирующими комплексами ФГНУ «НИРФИ» оснащено пять РСДБ-пунктов: «Медвежьих Озера» (ТНА-1500, ОКБ МЭИ), «Евпатория» (РТ-70, НЦУИКС, Украина); РАО «Старая Пустынь» (РТ-14, ФГНУ «НИРФИ»); РАС «Зименки» (РТ-15, ФГНУ «НИРФИ»); «Уссурийск» (РТ-70, РНИИКП).

КОРРЕЛЯТОР «НИРФИ-3»

В ФГНУ «НИРФИ» создана и функционирует система обработки РСДБ-данных коррелятор «НИРФИ-3». Система позволяет обрабатывать данные РСДБ-экспериментов по исследованию быстропеременных процессов в солнечном ветре, короткоживущих всплесков солнечного радиоионизации, излучения пульсаров, а также сигналов, отраженных от орбитальных космических объектов и планет земной группы, в экспериментах по РСДБ-локации.

Основные характеристики коррелятора «НИРФИ-3»:

Тип коррелятора	XF
Длительность обрабатываемой записи	1000 с
Частота выборки (МГц)	4 (8, 16)
Время интегрирования	0.064 - 33 мс
Количество сдвигов по задержке в одном цикле	100
Формат представления данных	FITS

(Flexible Image Transport System)



РСДБ-РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТР ФГНУ «НИРФИ» «ЗИМЕНКИ - СТАРАЯ ПУСТЫНЬ»

В ФГНУ «НИРФИ» создан и введен в действие радиоинтерферометр независимого приема «Зименки» (РТ-15) – «Старая Пустынь» (РТ-14), оборудованный приемными системами в диапазонах 327 МГц, 610 МГц, 1660 МГц. Интерферометр предназначен для исследований космических сред (межпланетной, межзвездной среды, солнечного ветра) и компактных вспышек солнечного радиоионизации. Длина базы интерферометра равна 70 км; пространственное разрешение интерферометра в диапазоне 1660 МГц составляет 0.5"

«Старая Пустынь» (РТ-14, ФГНУ «НИРФИ»)



Инструмент оснащен системами регистрации MARK-II (с записью на магнитные ленты) и NRTV (с записью информации на жесткий диск компьютера и возможностью трансляции РСДБ-данных через Интернет непосредственно во время наблюдений).

РСДБ-пункты «Старая Пустынь» и «Зименки» обеспечены рубидиевыми стандартами частоты и времени с синхронизацией местных шкал времени по телевизионным сигналам и по сигналам GPS (VCH-311 со встроенной GPS-антенной, Ч1-78 с GPS-антенной Acutime 2000).

«Зименки»
(РТ-15, ФГНУ «НИРФИ»)





НАУЧНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ РСДБ-ИССЛЕДОВАНИЯ



**Евпатория RT-70,
НЦУИКС, Украина**



**Медвежьи Озера
РТ-64, ОКБ МЭИ**



**Ното РТ-32,
Италия**



Урумчи РТ-25, Китай



**Симеиз РТ-22,
КРАО, Украина**

Направления современных работ РСДБ-лаборатории: разработка методической и аппаратной базы для решения задач фундаментальной и прикладной радиоастрономии и радиоинтерферометрии, астрометрии, космической навигации, исследования свойств космических сред, а также тел Солнечной системы методом радиолокационной радиоинтерферометрии.

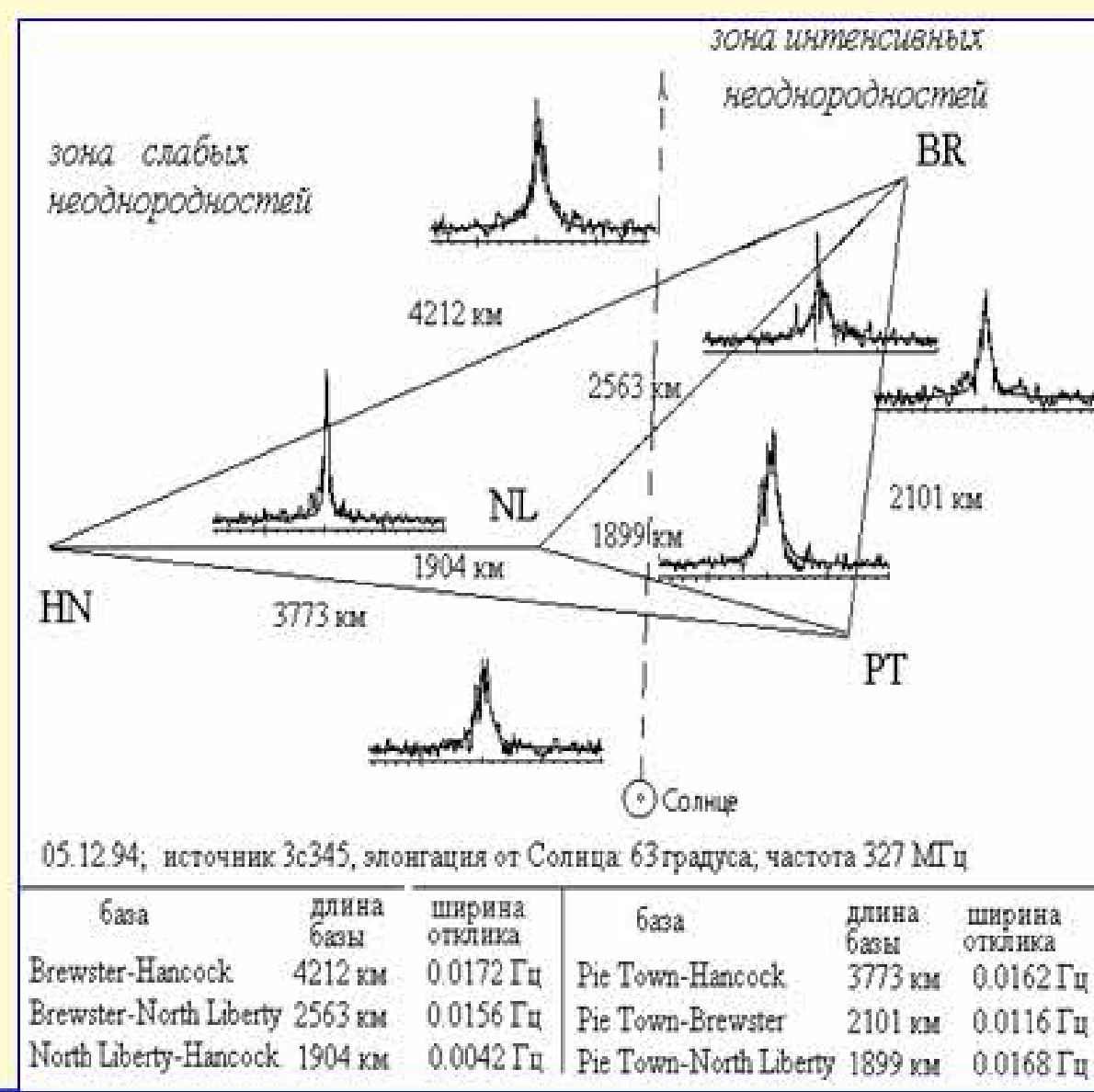
С начала 90-х годов ФГНУ «НИРФИ» активно участвует в проведении РСДБ-экспериментов на глобальных базовых линиях в составе международных радио-интерферометрических сетей, включающих крупнейшие зарубежные и российские радиотелескопы.

С 1996 по 2005 годы осуществлено 23 научных РСДБ-эксперимента на длинах волн 92 см, 18 см, 6 см с участием партнеров из 12 стран мира в составе международной Низкочастотной РСДБ-сети LFVN (Low Frequency VLBI Network), организованной в 1996 году при участии ФГНУ «НИРФИ».

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА МЕТОДОМ ПРОСВЕЧИВАНИЯ

Данный метод основан на измерении взаимной когерентности полей прошедшего через турбулентную среду по разным трассам излучения от радиоисточника до разнесенных антенн интерферометра.

РСДБ-комплекс позволяет исследовать неоднородности электронной концентрации, имеющие размеры сравнимые с проекциями базовой линии; получать мгновенную пространственную картину распределения неоднородностей; проводить оценки скорости солнечного ветра и показателя пространственного спектра флуктуаций электронной концентрации.



ИССЛЕДОВАНИЕ КОРОТКИХ ВСПЫШЕК СОЛНЕЧНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

Исследование спайков – мощных всплесков солнечного радиоизлучения с узким частотным спектром и малыми угловыми размерами 0.1-0.001" – с целью получения характеристик пространственной структуры нестационарных источников солнечного радиоизлучения; развития на основе этих данных представлений об областях энерговыделения вспышек, ускорения энергичных частиц.

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ ДЛИННОБАЗОВАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ



Метод РСДБ-локации состоит в облучении исследуемых объектов радиоизлучением мощного передатчика и приеме отраженных сигналов комплексом антенн в РСДБ-режиме.

С участием ФГНУ «НИРФИ» создан уникальный комплекс, который объединяет:

- планетный радиолокатор в Евпатории (РИН АНУ (Украина), РТ-70, передатчик непрерывного излучения; $F=5010$ МГц, $P=75$ кВт);
- приемные пункты РСДБ: Медвежьи Озера (ТНА-1500, ОКБ МЭИ), Ното (РТ-32, Италия), Урумчи (РТ-25, Китай), Симеиз (РТ-25, Украина);
- центр обработки - РСДБ-коррелятор «НИРФИ-3».

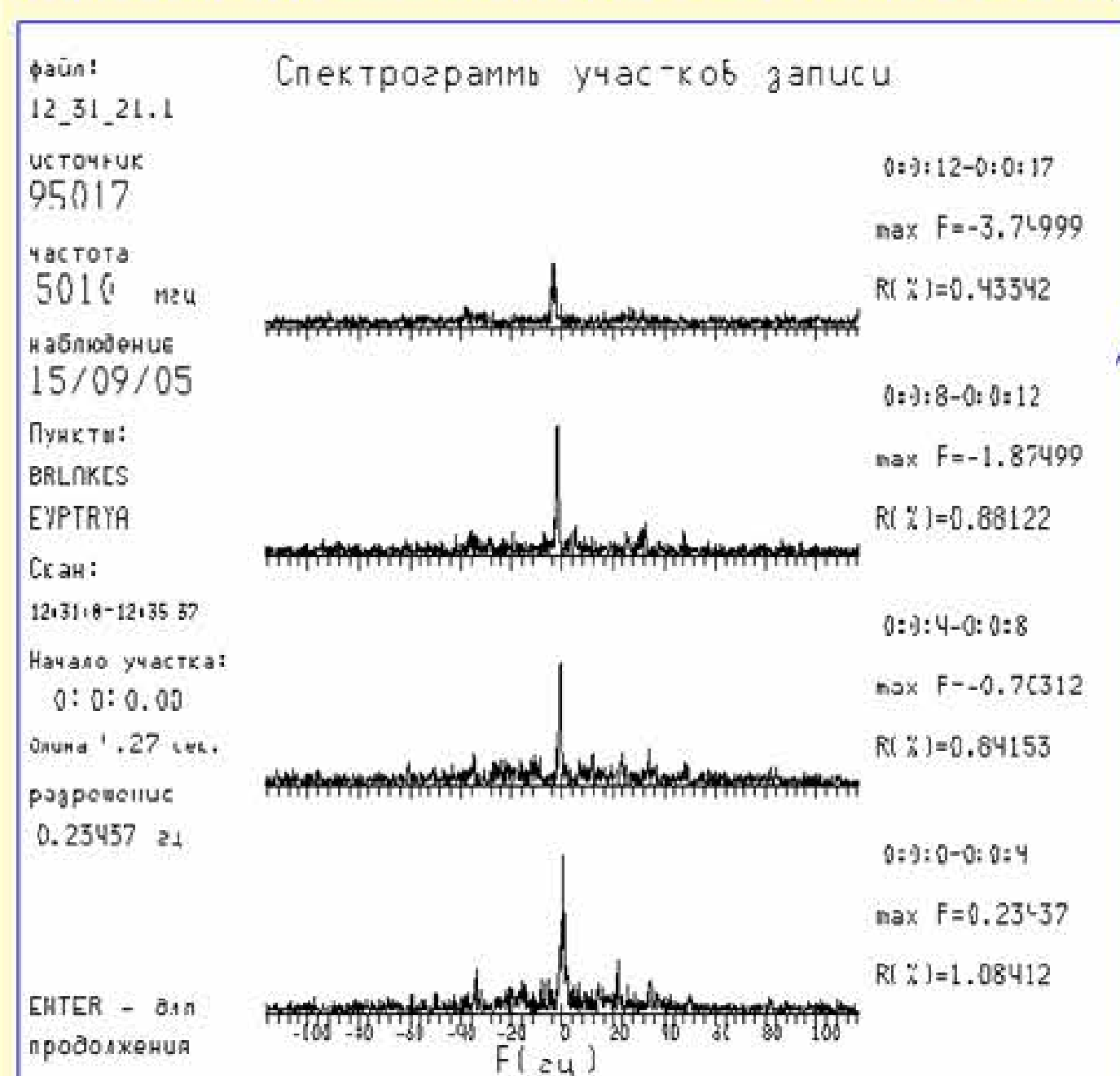
Методом РСДБ-локации решаются следующие задачи:

- определение точных траекторий движения центров масс планет земной группы в квази-инерциальной системе координат Radio Reference Frame;
- определение параметров векторов собственного вращения планет земной группы, включая их короткопериодические вариации.

ИССЛЕДОВАНИЕ «КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА» МЕТОДОМ РСДБ-ЛОКАЦИИ

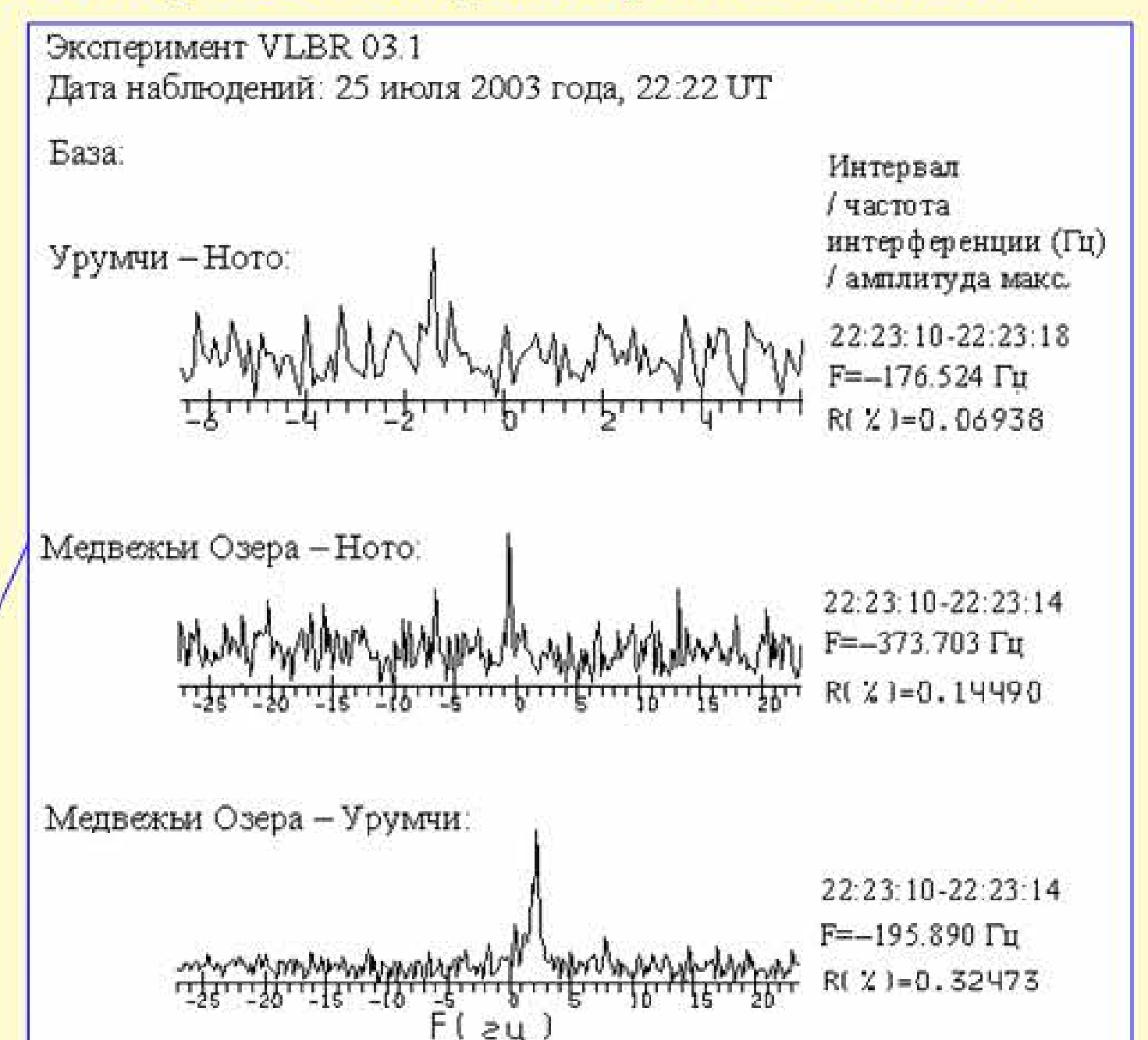
Метод РСДБ-локации нашел применение для определения и уточнения траекторий астероидов, потенциально опасных для Земли, и фрагментов "космического мусора" – крупных объектов в ближнем космосе (нефункционирующих космических аппаратов, ступеней ракет и т.д.), которые представляют опасность для космических станций, а также для экологии Земли в случае падения крупных или радиоактивных объектов.

В процессе экспериментов отлаживается процедура получения координатной информации: измерение скорости движения объекта по частоте Доплера, дальности по измерениям задержки, периода вращения, размеров объектов.



Примеры спектра мощности результата корреляции излученного сигнала передатчика и сигнала, отраженного от фрагмента «космического мусора» на геостационарной орбите, принятого в пункте «Медвежьи Озера».

Примеры кросскорреляционных спектров эхо-сигналов от спутника («Космос 1366»), полученных одновременно на трех базовых линиях комплекса Медвежьи Озера - Ното - Урумчи.





РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН И РАДИОТЕЛЕСКОПОВ



Задачи и направления исследований

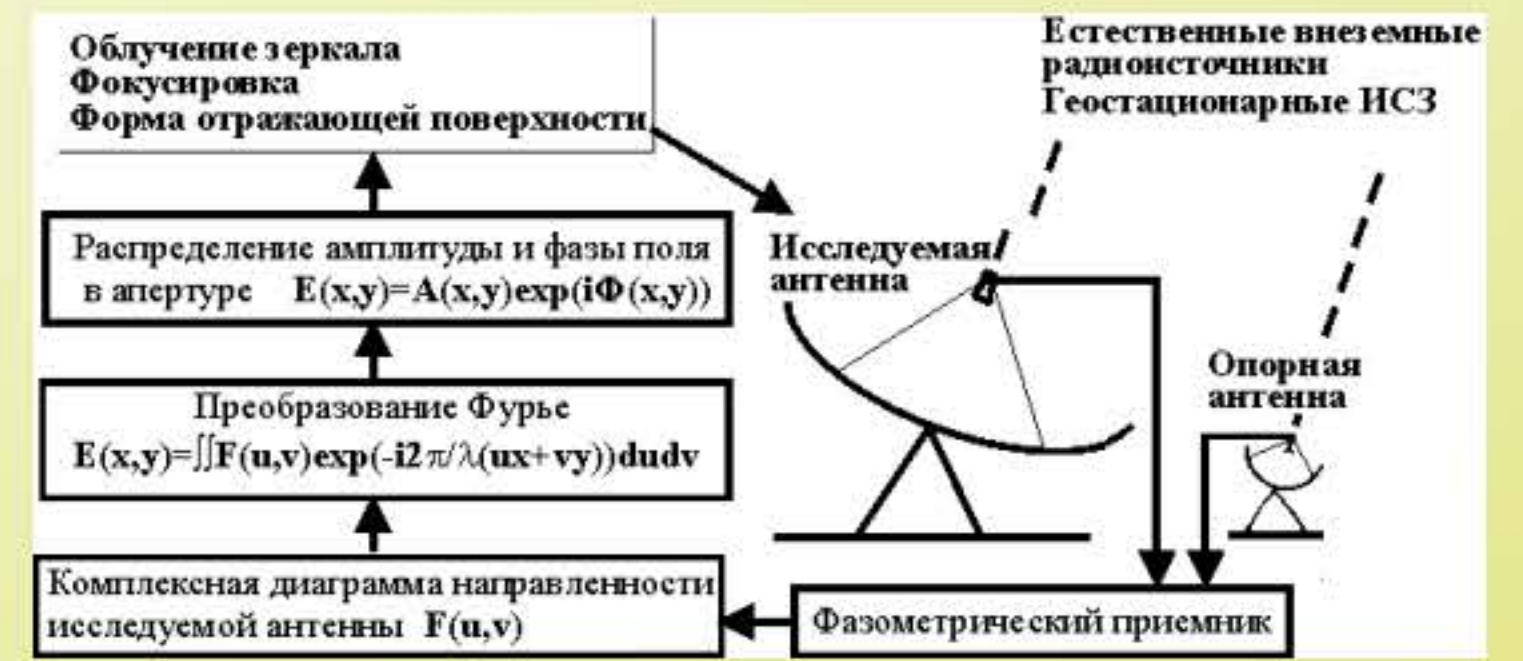
Разработка высокоточных технологий измерения характеристик излучения и восстановления распределений поля в апертуре полноповоротных зеркальных антенн, обеспечивающих возможность их юстировки с целью расширения рабочей полосы частот и повышения усиления в сантиметровом диапазоне.

Объекты исследований

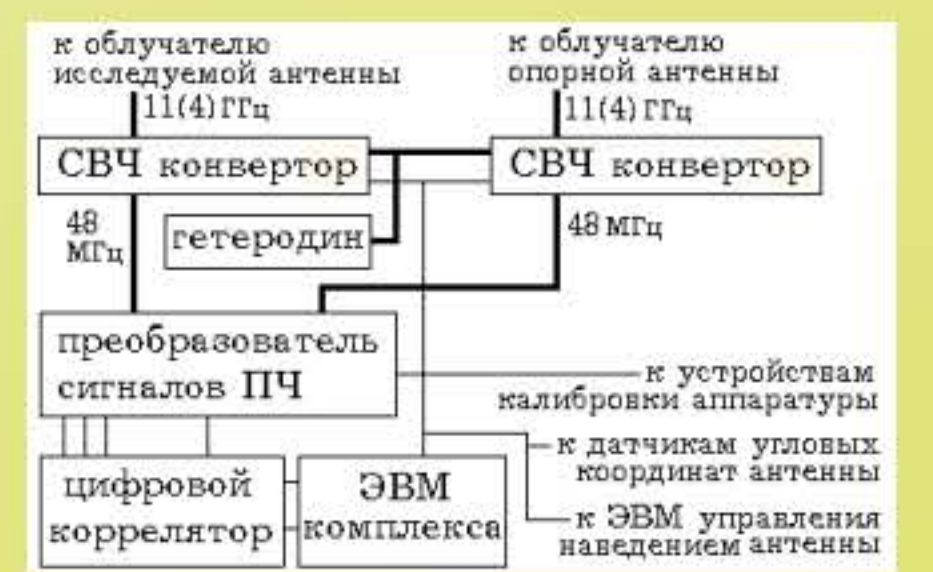
Действующие и вновь создаваемые большие полноповоротные зеркальные антенны радиоастрономических комплексов наблюдения, систем дальней космической связи, космических систем специального назначения.

Аппаратура

Создан аппаратно-программный комплекс для автоматизированных измерений характеристик остронаправленных полноповоротных зеркальных антенн по сигналам геостационарных ИСЗ, а также естественных радиоисточников в частотных диапазонах 4 и 11 ГГц. Комплекс, включающий в себя быстродействующий цифровой коррелятор с тактовой частотой 10 МГц, позволяет проводить измерения диаграммы направленности (ДН) в широком динамическом диапазоне и восстанавливать распределение поля в апертуре антенны.



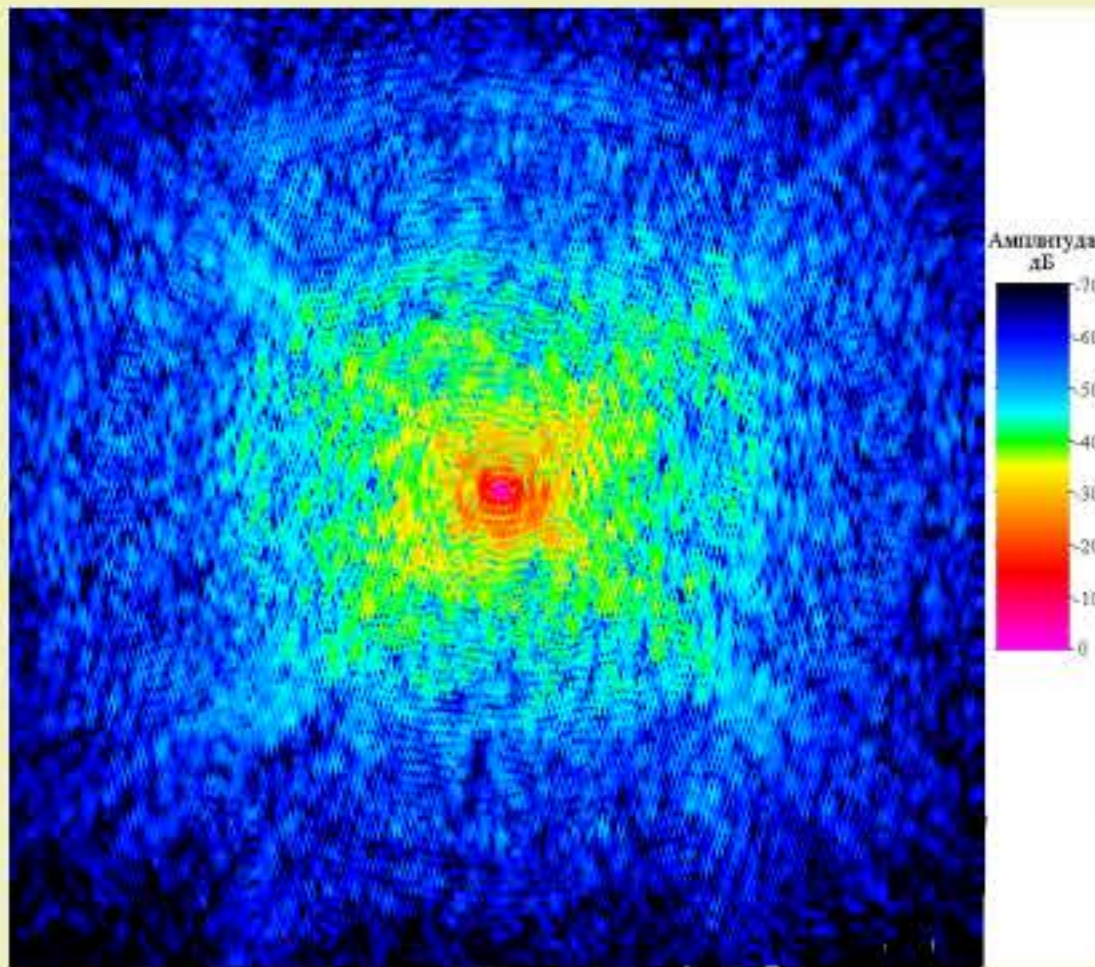
Блок-схема радиоголографического метода измерения характеристик антенн по сигналам внеземных источников.



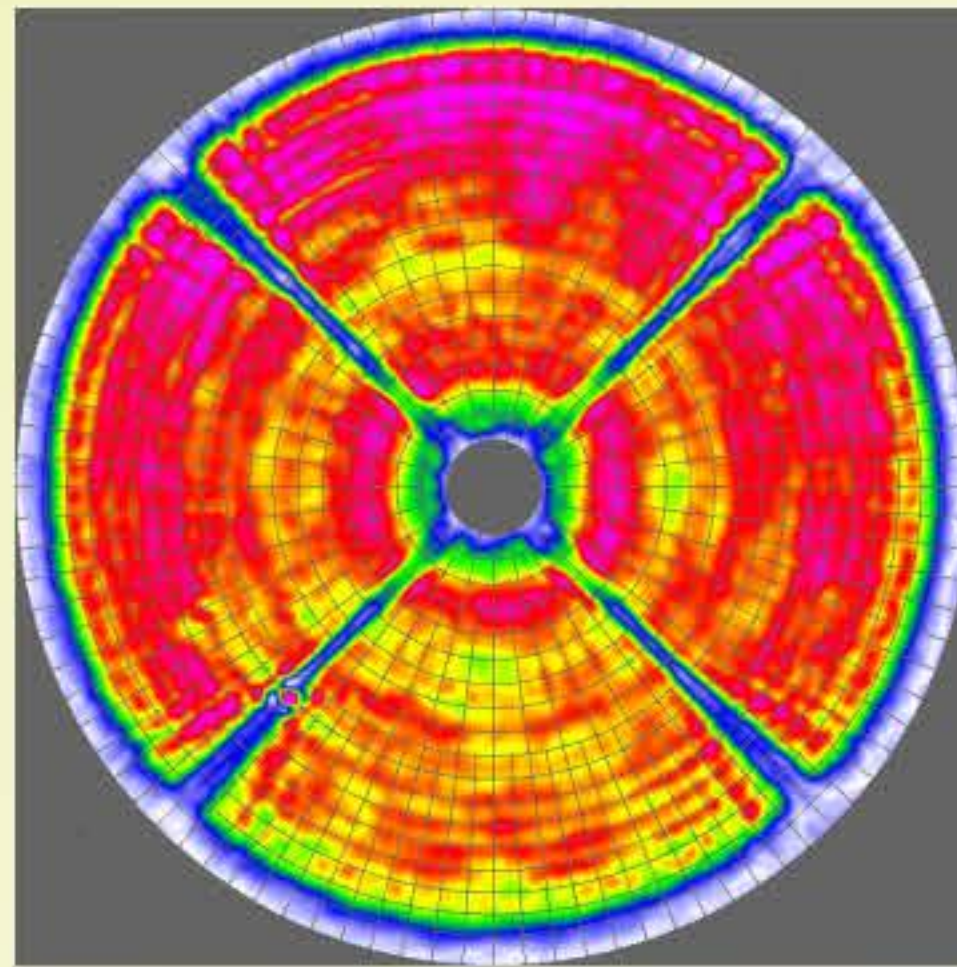
Методики измерений по сигналам ИСЗ и аппаратно-программный комплекс внедрены во ФГУП ОКБ МЭИ (г. Москва) для исследования характеристик и юстировки 64-метровых полноповоротных зеркальных антенн ТНА-1500 в пунктах дальней космической связи «Медвежье Озеро» и «Калязин».



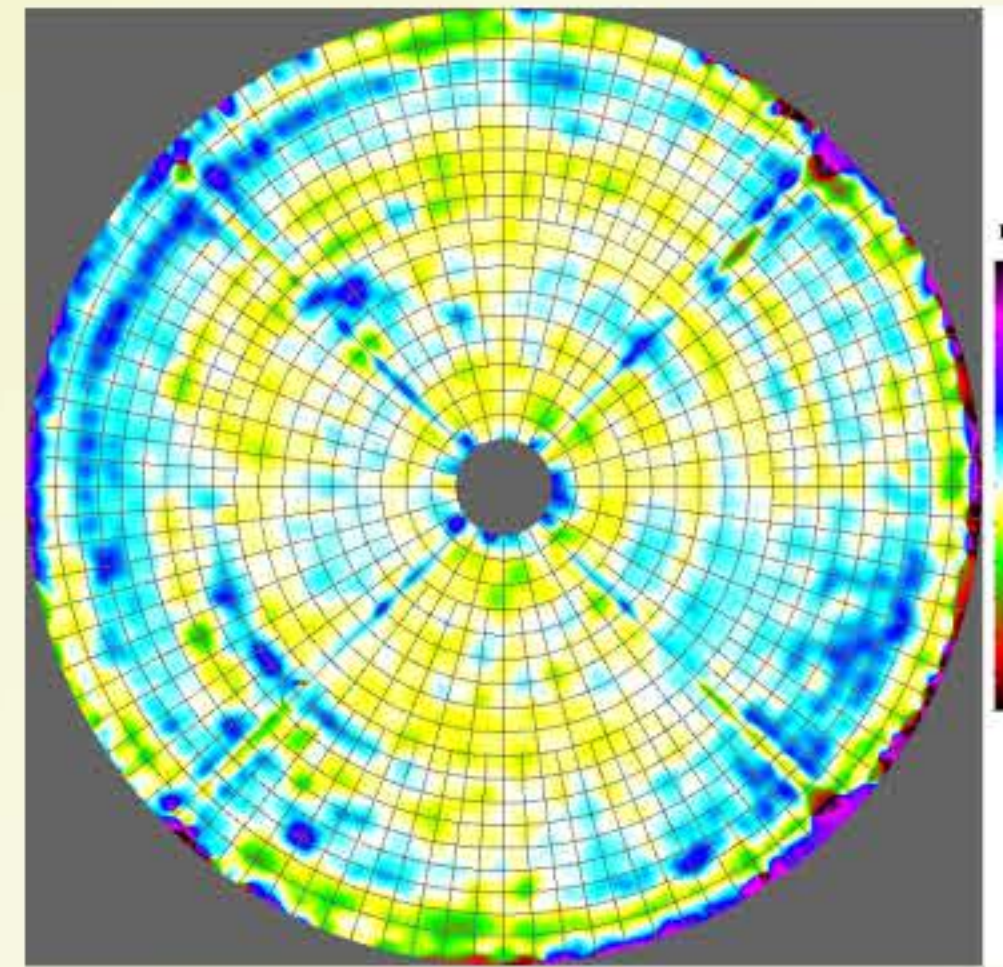
Антенна ТНА-1500 в Медвежьих Озерах.



ДН в угловом секторе ±3,5°x±3,5°.

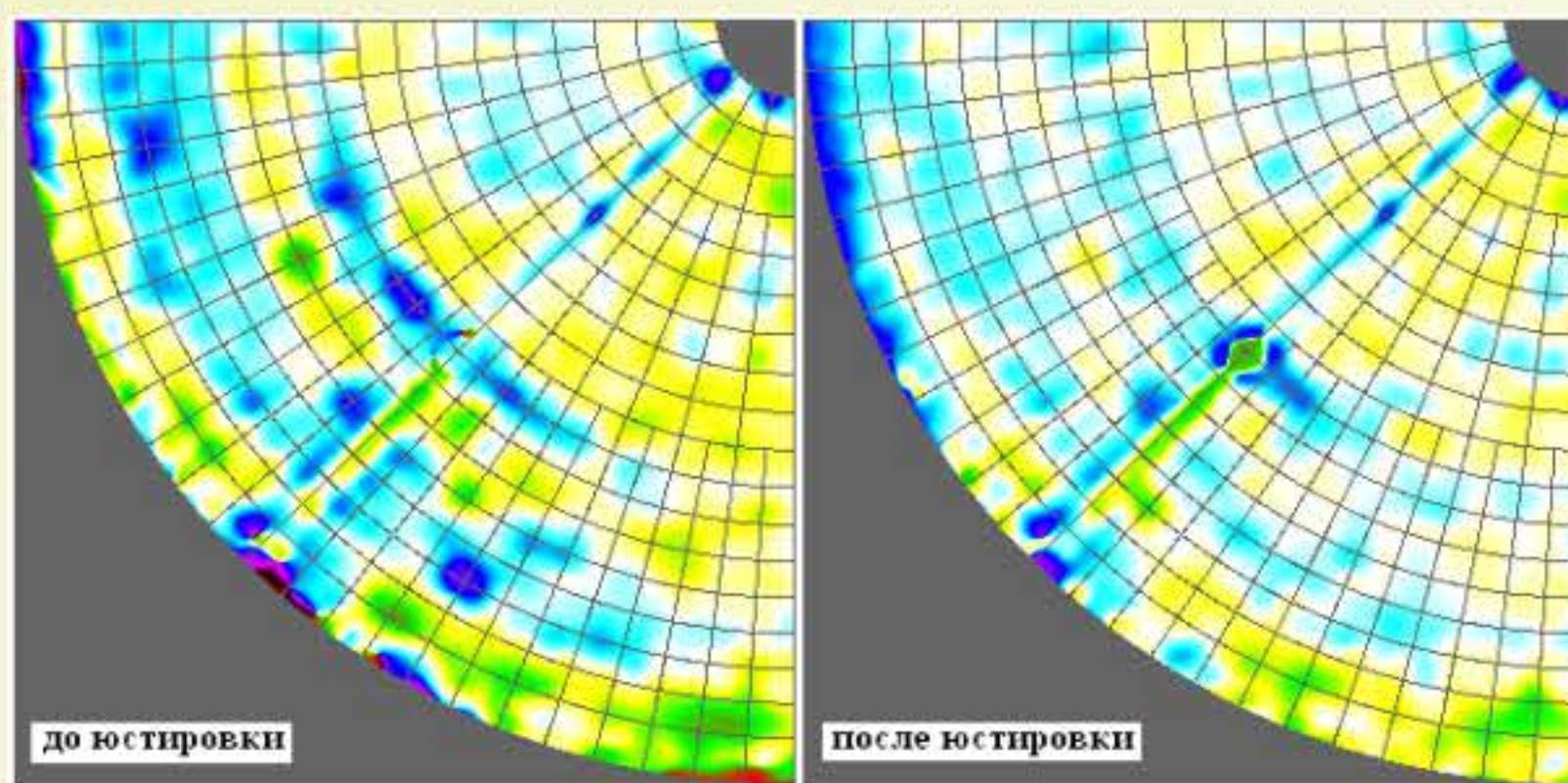


Распределение амплитуды и фазы поля в апертуре.

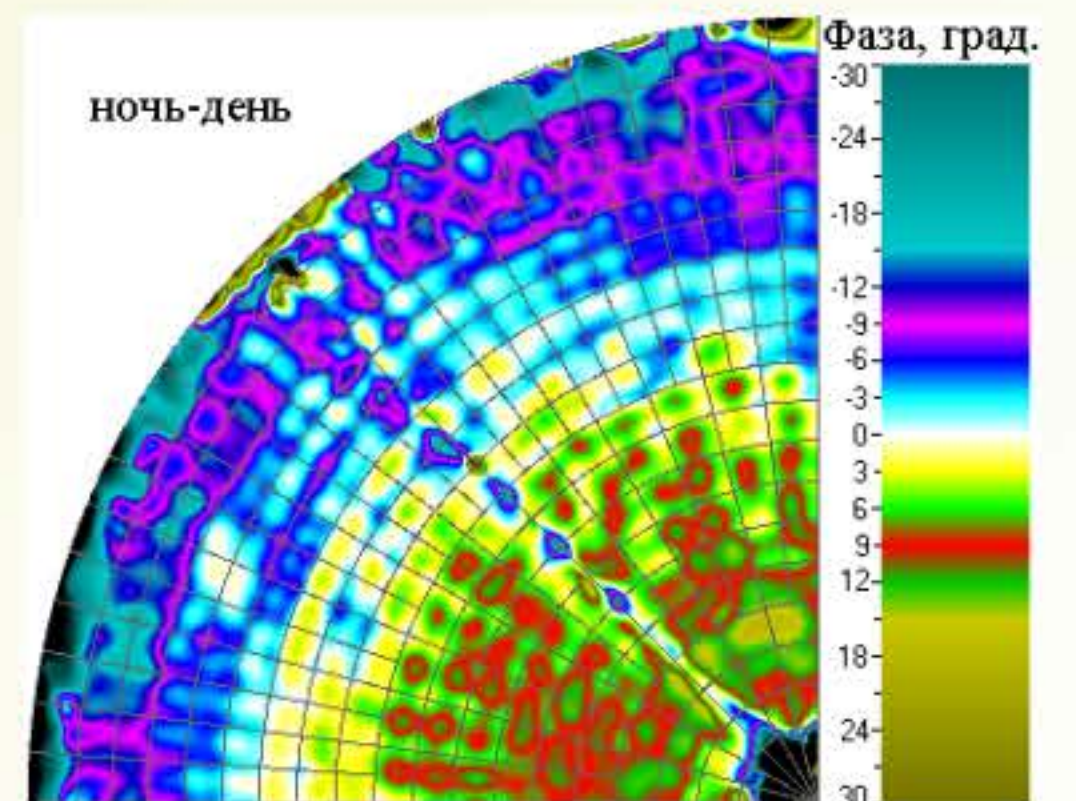


ИСЗ, λ=7.5см.

По результатам измерений на антенне в «Медвежьих Озерах» выполнена регулировка положений щитов главного зеркала, приведшая к существенному повышению усиления антенны.



Сравнение фрагментов распределения фазы поля в апертуре до и после юстировки зеркала.

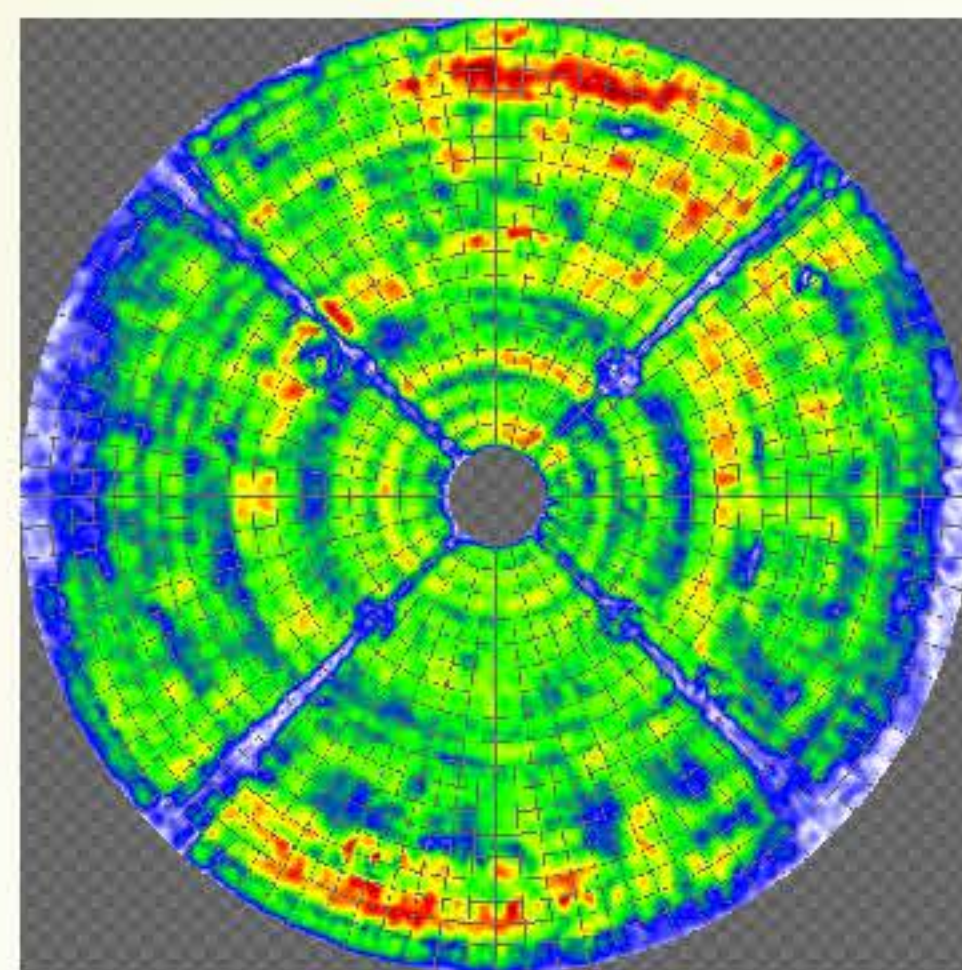


Суточные температурные деформации зеркала.

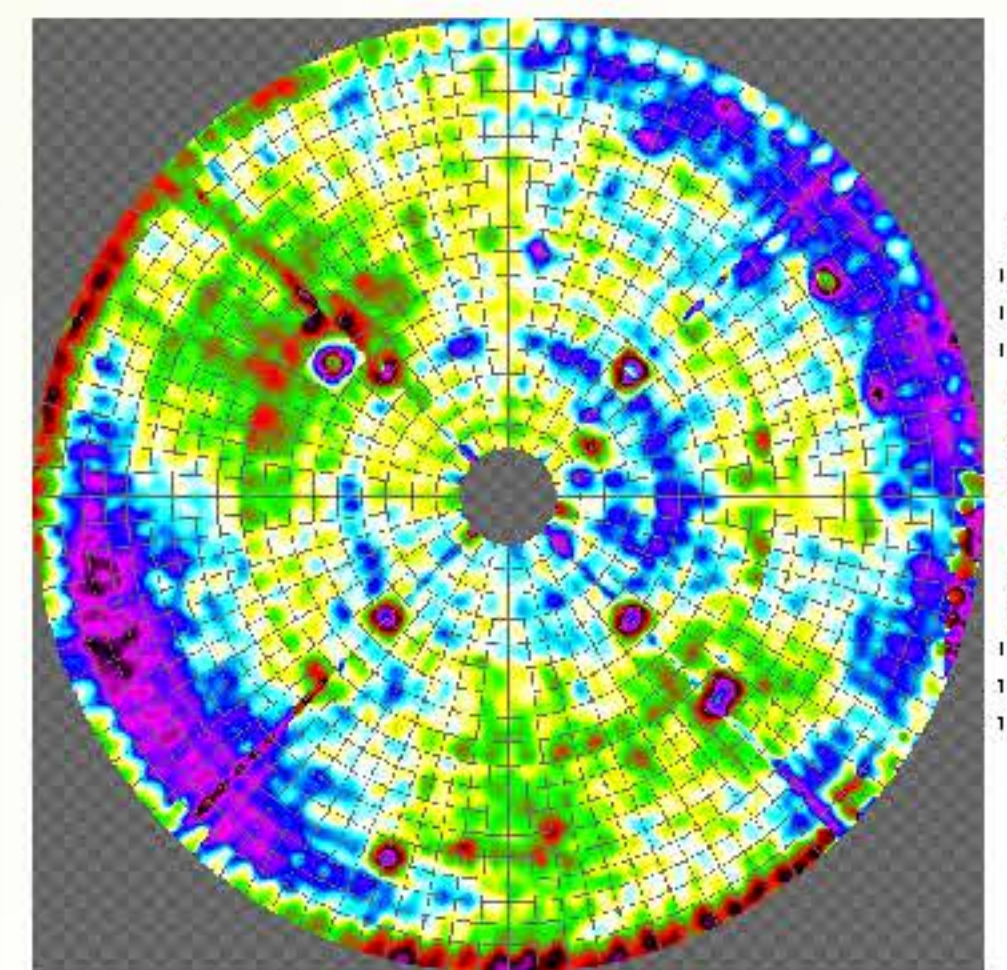
По результатам первой серии измерений на антенне в Калязине определены пути модернизации её многодиапазонной облучающей системы с целью повышения КИП в коротковолновой части сантиметрового диапазона.



Антенна ТНА-1500 в Калязине.



Распределение амплитуды и фазы поля в апертуре.

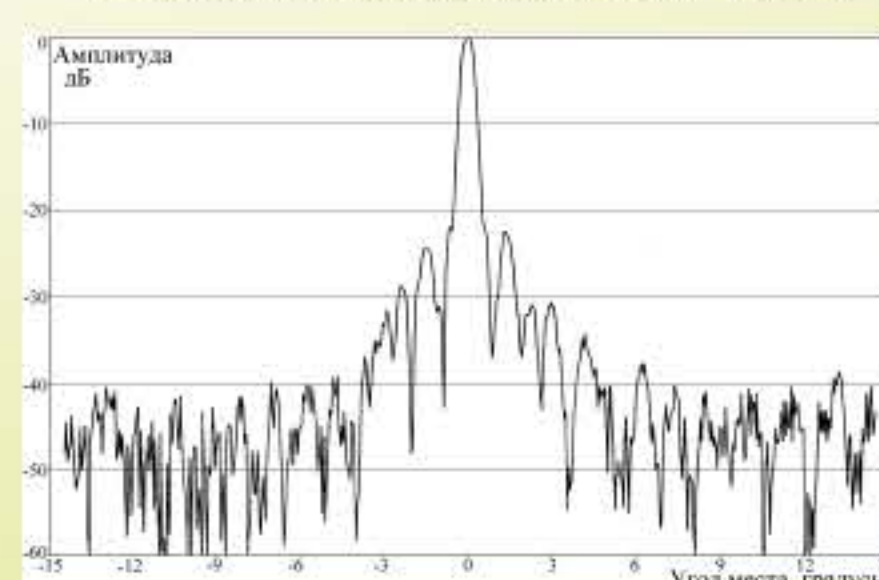


ИСЗ, λ=2.6см.

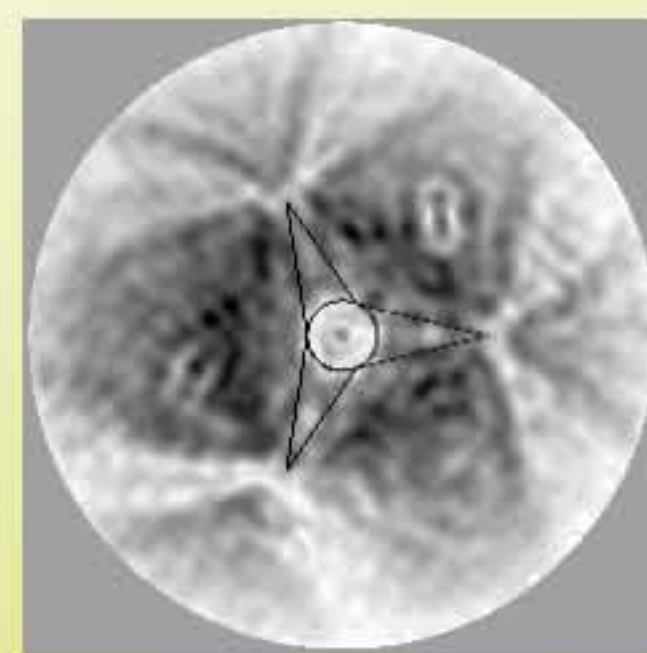
Методики измерений по сигналам дискретных радиоисточников внедрены во ФГУП ЦНИИ «Комета» (г. Москва) в ходе работ по исследованию характеристик 25-метровых зеркальных параболических антенн космической связи.

Получены двумерные распределения диаграмм направленности антенн и их отдельные детали сечения в динамическом диапазоне около 50 дБ, восстановлено распределение поля в апертуре с разрешением около 0,5 м. Результаты измерений явились основополагающими при оценке электромагнитной совместимости и помехозащищенности станций космической связи.

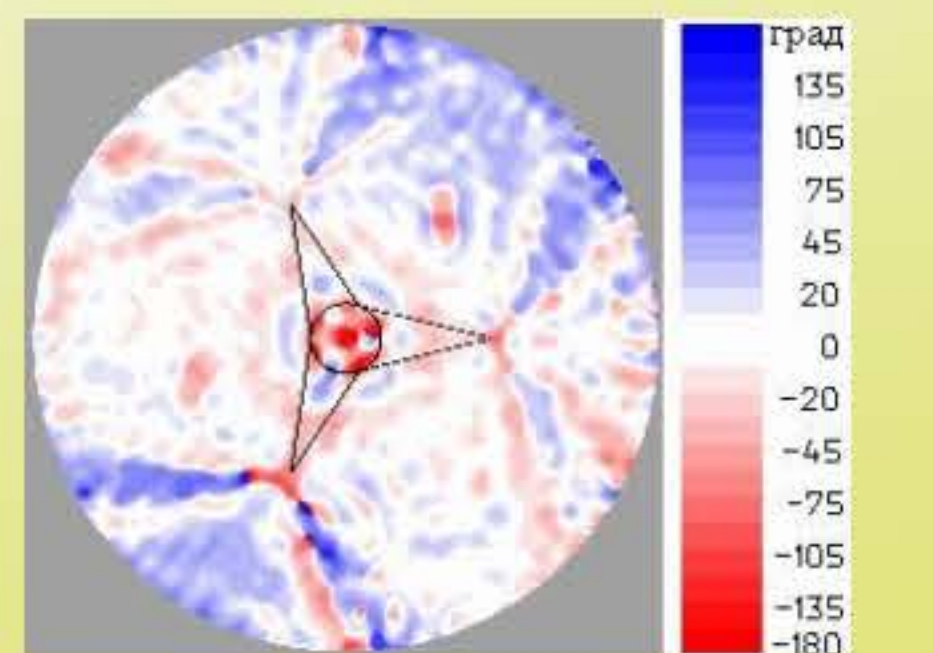
Радиоисточник Лебедь-А, λ≈10см.



ДН 25-м антенны.



Распределение амплитуды и фазы поля в апертуре.





АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАДИОАСТРОНОМИИ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основное направление разрабатываемых информационных технологий – уникальные распределенные измерительные системы для радиоастрономических и прикладных исследований, состоящие из приборов и устройств высокой сложности от разных зарубежных и отечественных производителей радиоаппаратуры.

Заказчики работ – академические и промышленные организации: Научно-исследовательский радиофизический институт, Пушчинская и Калязинская радиоастрономические обсерватории Астрономического центра Физического Института им. П.Н. Лебедева, Особое Конструкторское Бюро Московского Энергетического Института, Научно –

исследовательский институт измерительных систем Минатома России и др.

Создаваемые системы программно и аппаратно соответствуют передовому состоянию вычислительной и измерительной техники на время разработки. На планшете представлены три последние, наиболее значительные, разработки уникального характера:

- аппаратура Пульсарной шкалы времени, обладающая долговременной стабильностью не хуже современных атомных хранителей времени, использующая ОС Windows 95 и DOS и интерфейс САМАС;
- автоматизированная система и программное обеспечение измерения характеристик антенн и облучателей радиотелескопов для широкого диапазона

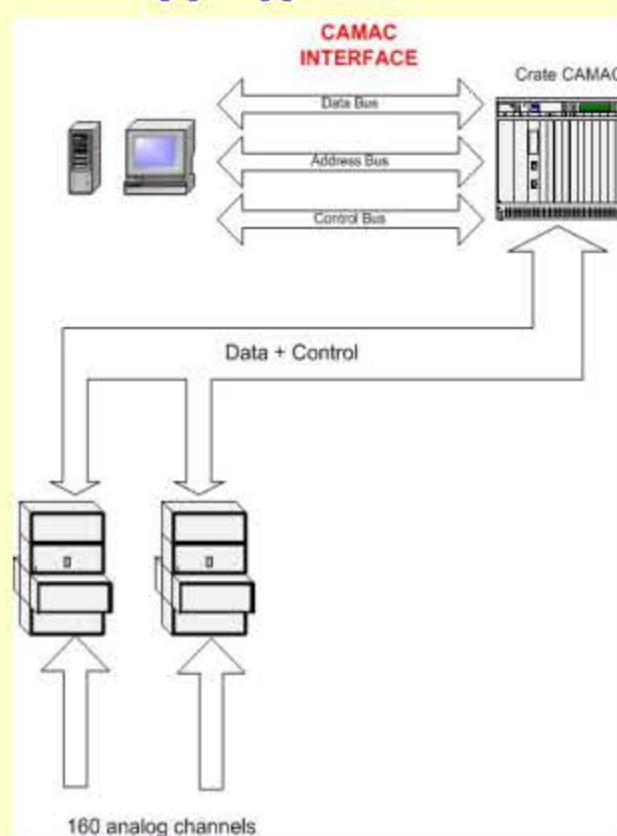
радиоволн, установленная в одной из крупнейших в России и в мире безэховых камер и использующая ОС Windows 98 и интерфейс HPIB ;

- контроллер тепловизионной камеры для медицинских исследований, анализа потерь тепла в зданиях, сооружениях и др., задач, использующий ОС Windows XP и интерфейс USB.

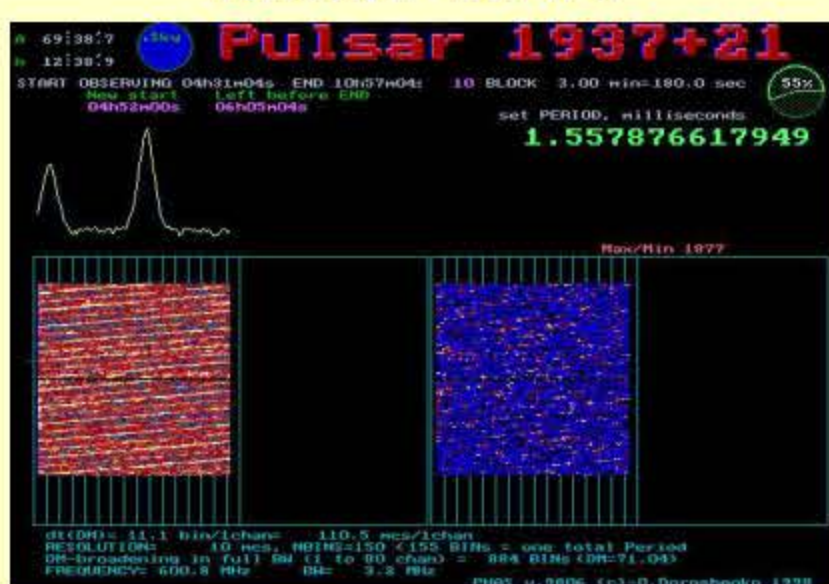
Материальная база для разработок в настоящее время состоит из лабораторных помещений площадью около 50 кв. м., оснащенных контрольно-измерительной аппаратурой, средствами разработки цифровых и аналоговых измерительных систем, электронной вычислительной техникой.

Регистратор – накопитель на 160 каналов для пульсарного приемника на 600 МГц

Структурная схема



Результат накопления сигнала пульсара 1937+21

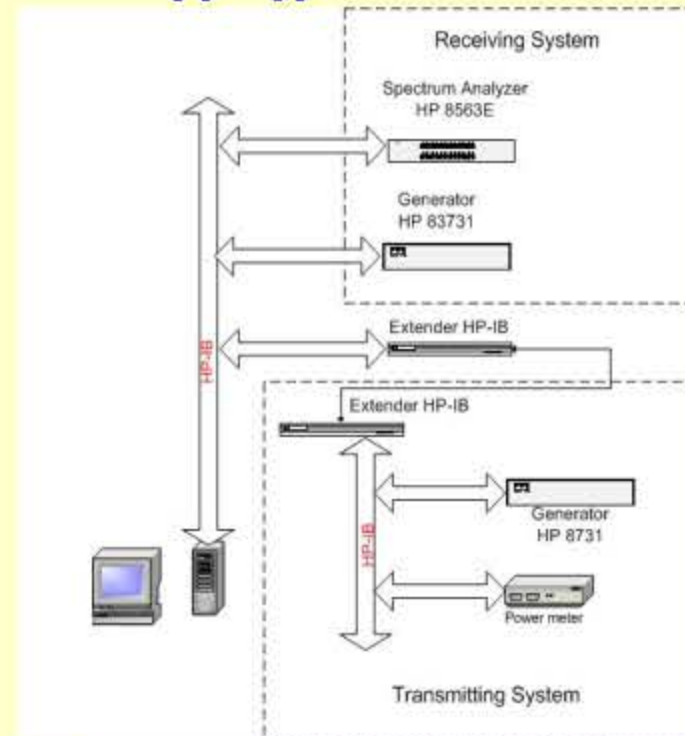


Основные технические характеристики:

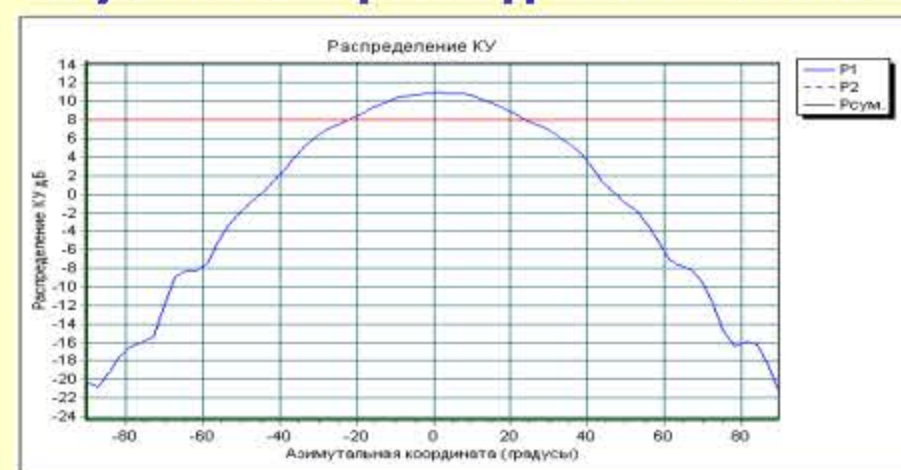
- частота наблюдений 600 МГц
- количество аналоговых каналов 160
- ширина полосы канала 40 кГц
- минимальный период наблюдаемого сигнала 1,5 мс
- опорная тактовая частота 5 МГц
- количество циклов накопления (3 мин) 1000000

ИИС для измерения параметров антенн в дальней зоне в широком диапазоне частот

Структурная схема



Результат измерений ДН антенны П6-23

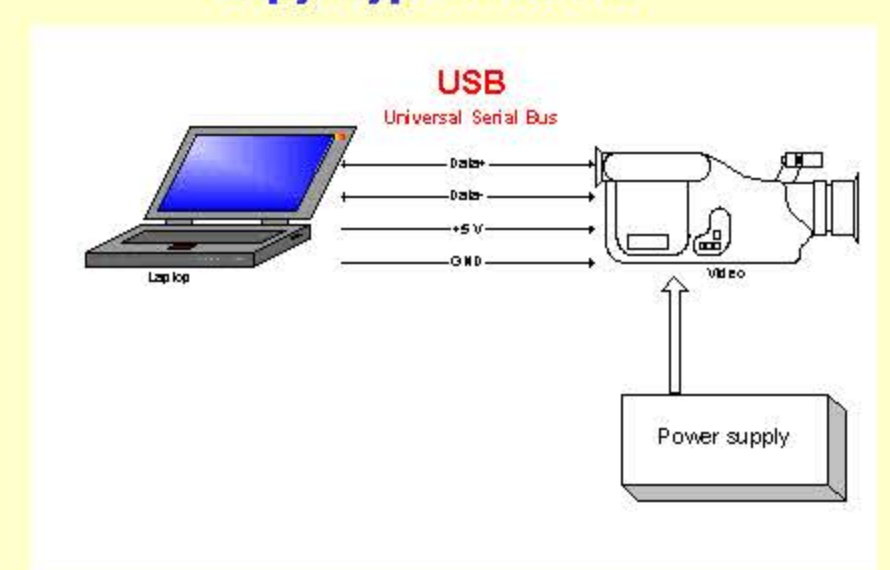


Основные технические характеристики:

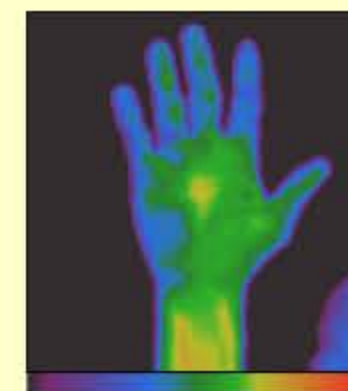
- длина волны от дециметров до миллиметров
- сканирование по азимуту от +180 до -180 градусов
- сканирование по поляризации от 0 до 360 градусов
- динамический диапазон измерений 40 дБ
- погрешность измерений 0,5 дБ
- расстояние между передающей и приемной системой от 2 до 40 метров
- измерительные задачи:
 1. измерение коэффициента усиления антенн
 2. поиск главного максимума
 3. главное сечение
 4. поляризационные измерения

Контроллер тепловизионной камеры

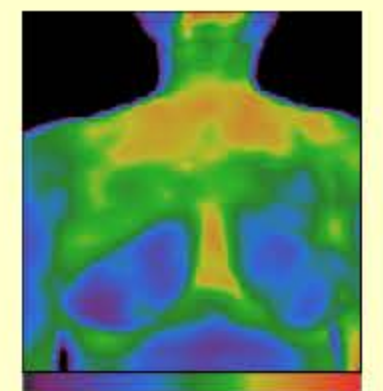
Структурная схема



Примеры термограмм



Правая ладонь.
Гипотермия точек
С.7 и С.8



Гипотермия в
проекции
мастопатии

Основные параметры тепловизора:

- частота кадров 0,4 Гц
- частота строк 50 Гц
- разрешающая способность кадра изображения 128 X 128 пикселей
- разрешающая способность по температуре 0,047 °С
- количество цветовых градаций изображения 1024
- связь с PC по интерфейсу USB 1.1
- длина USB – кабеля до 5 м



Радиотелескоп ТНА 1500 Калязинской радиоастрономической обсерватории



Приемник и регистратор – накопитель для пульсарного тайминга

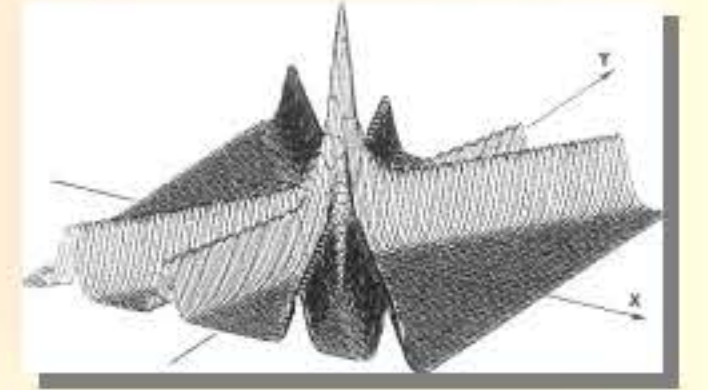


Оборудование БЭК



МАЛОРАКУРСНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Информационно-телекоммуникационные технологии и системы: томографическая обработка информации



Разработка методов и приложений для решения фундаментальных и прикладных задач

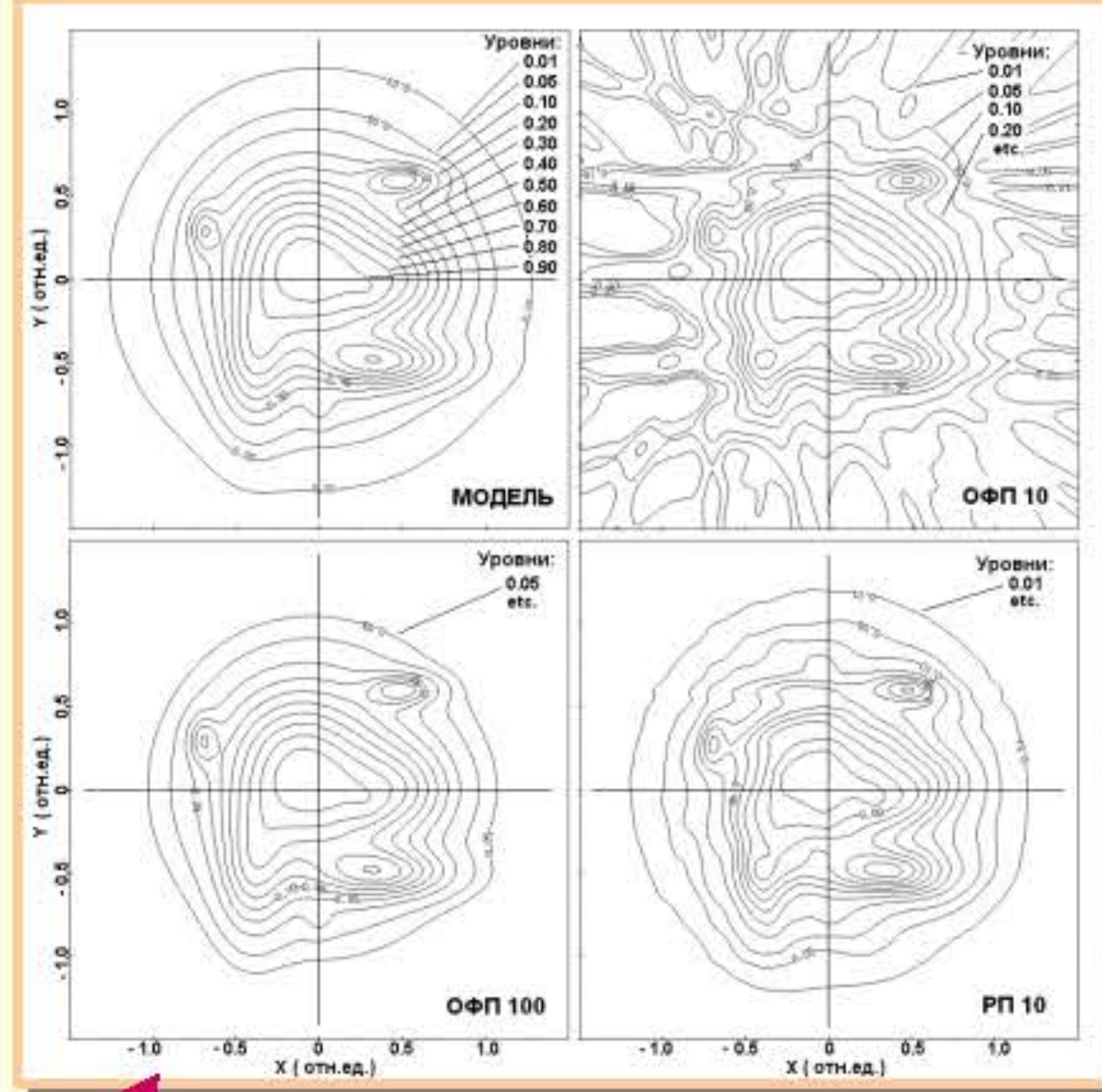
РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕКОНСТРУКЦИИ ДВУМЕРНЫХ И ТРЕХМЕРНЫХ ТОМОГРАММ

Разработан метод реконструкции двумерных и трехмерных томографических изображений, который позволяет использовать неравномерное распределение ракурсов в пространстве и в несколько раз сократить требуемое число проекций по сравнению с методами, основанными на фильтрации.

Отличительные признаки метода: решение задачи деконволюции в пространстве изображений; введение суммарного изображения и суммарной передаточной функции (СПФ); исключение откликов от боковых лепестков этой функции с использованием радиоастрономических алгоритмов чистки.

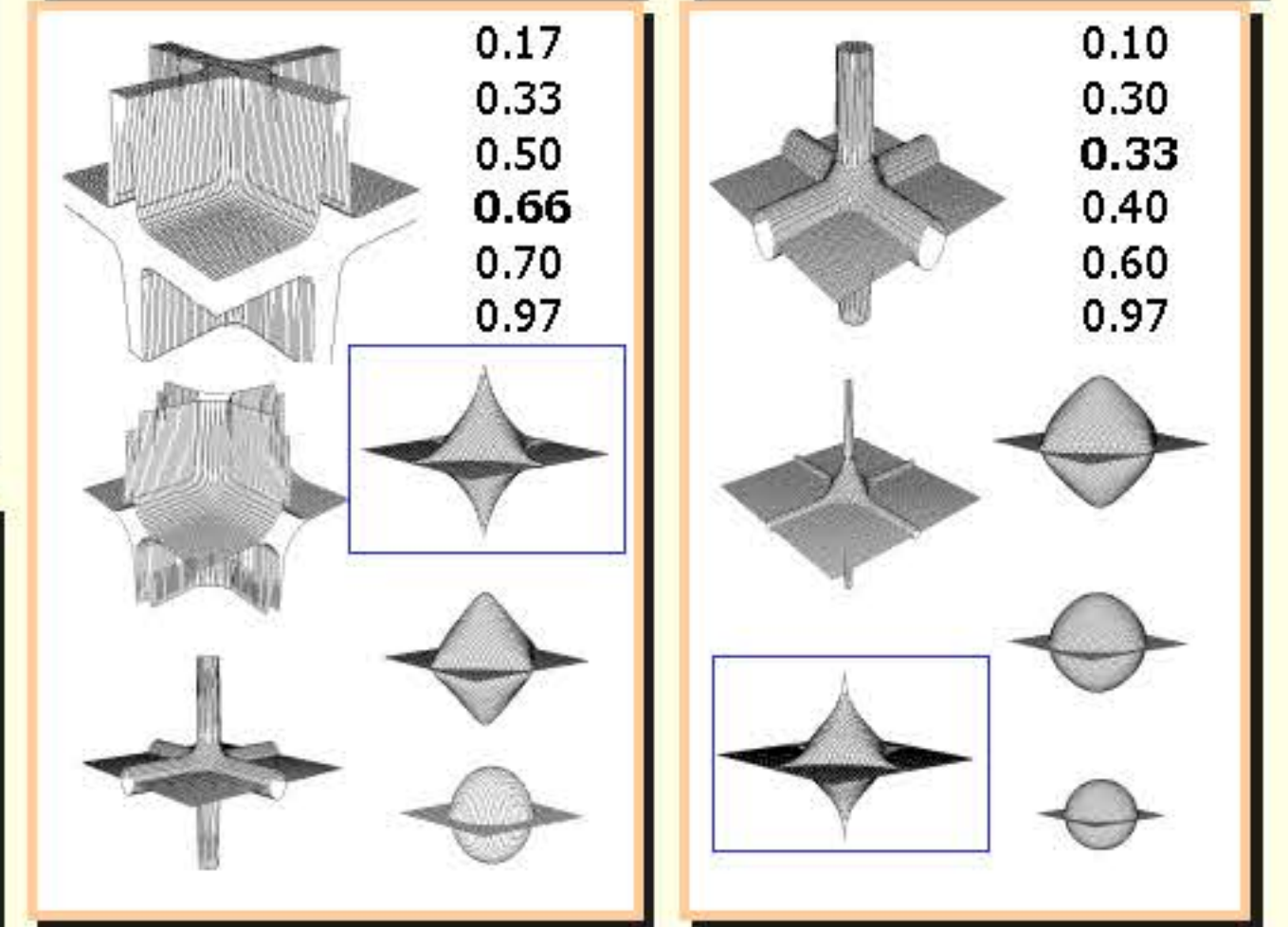
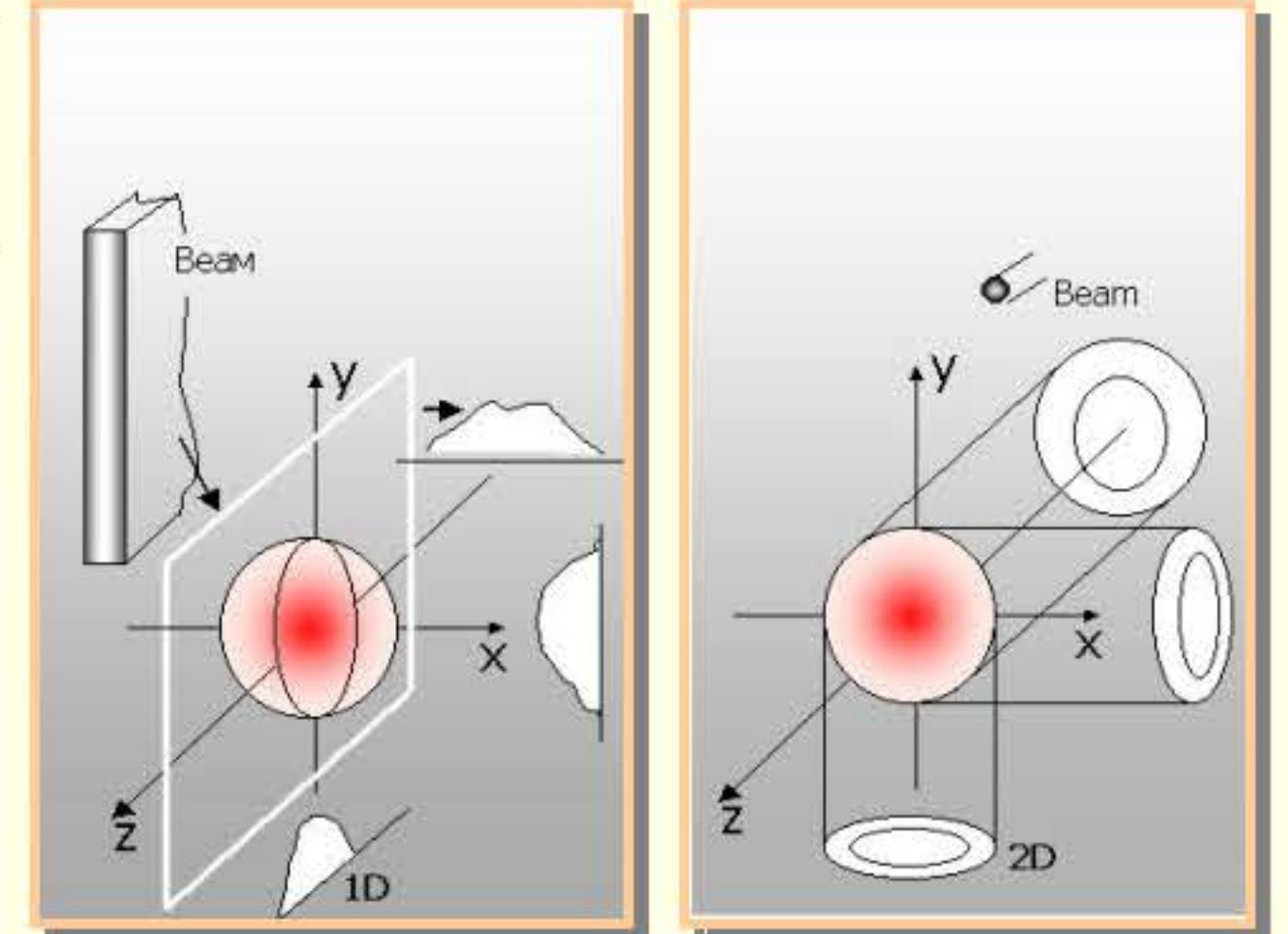
Название метода: РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЙ ПОДХОД (РП)

Приложение: в зависимости от характера решаемой задачи суммарная эквивалентная передаточная функция может быть построена как на основе приемных диаграмм, так и на основе различных других передаточных функции (временного разрешения, разрешения спектрографов и т.д.).

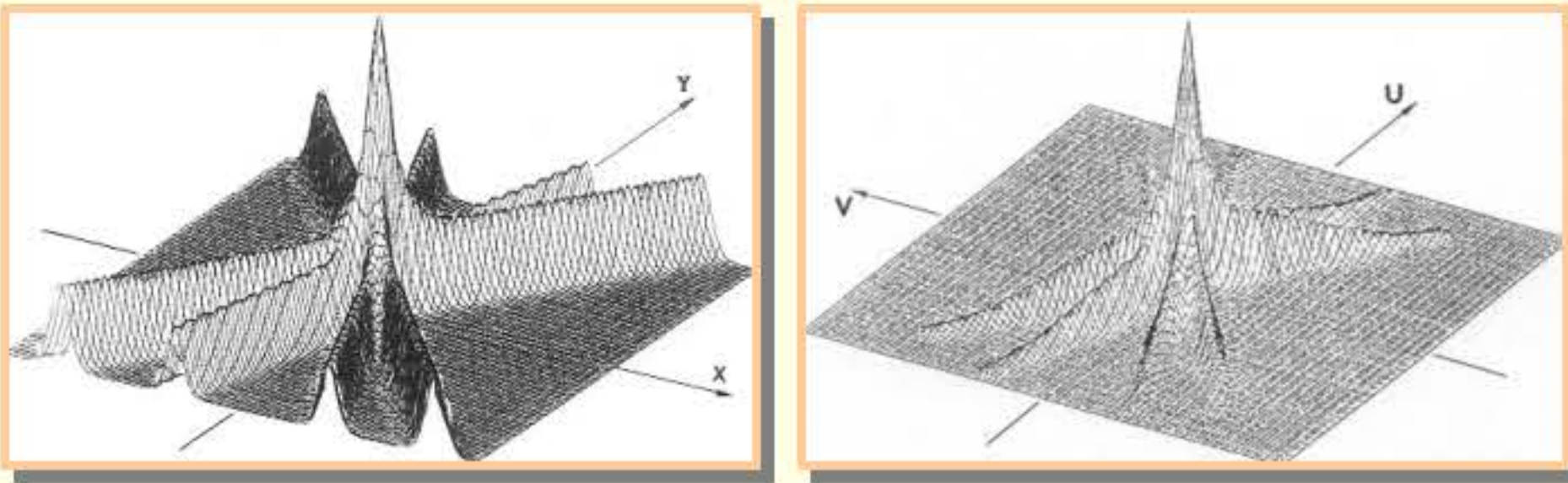


Сопоставление возможностей реконструкции при десятикратном сокращении числа ракурсов.

На рисунке показаны результаты, полученные на основе разработанного радиоастрономического подхода (РП) и методом суммирования обратных фильтрованных проекций (ОФП): **МОДЕЛЬ**, результаты реконструкции методом ОФП при 100 и при 10 ракурсах; результат реконструкции на основе РП при 10 ракурсах - РП 10.



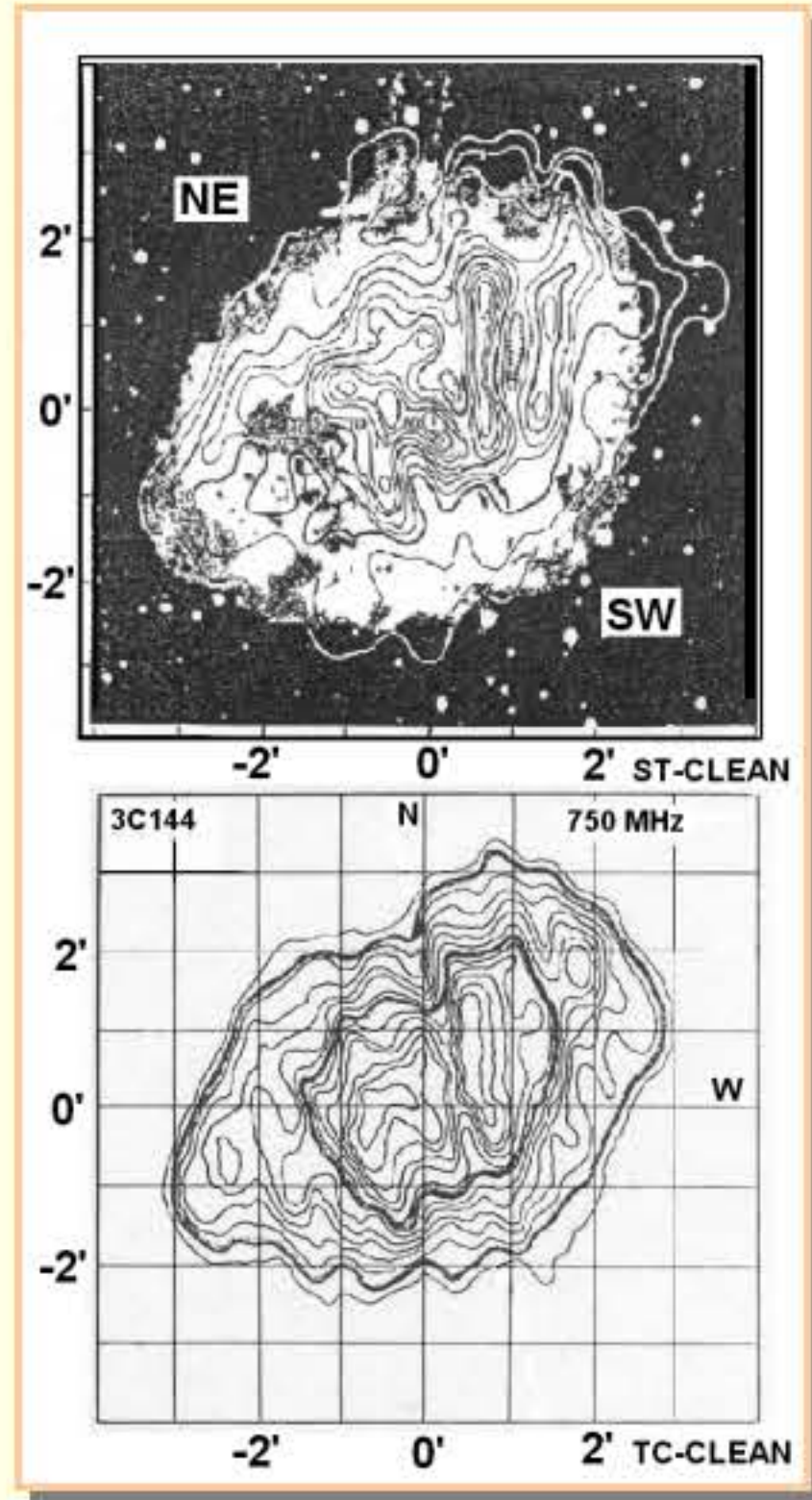
Примеры суммарных передаточных функций в случае трех ракурсов для реконструкции в трехмерных задачах по одномерным и двумерным проекциям: вверху слева – на основе передаточных функций ножевой формы; справа – на основе приемных диаграмм карандашного вида (построение выполнено в виде семейства изоповерхностей для шести уровней интенсивности).



Пример построения эквивалентной суммарной передаточной функции в двумерной задаче в случае четырех ракурсов: слева - в координатном пространстве; справа - в области пространственных частот.

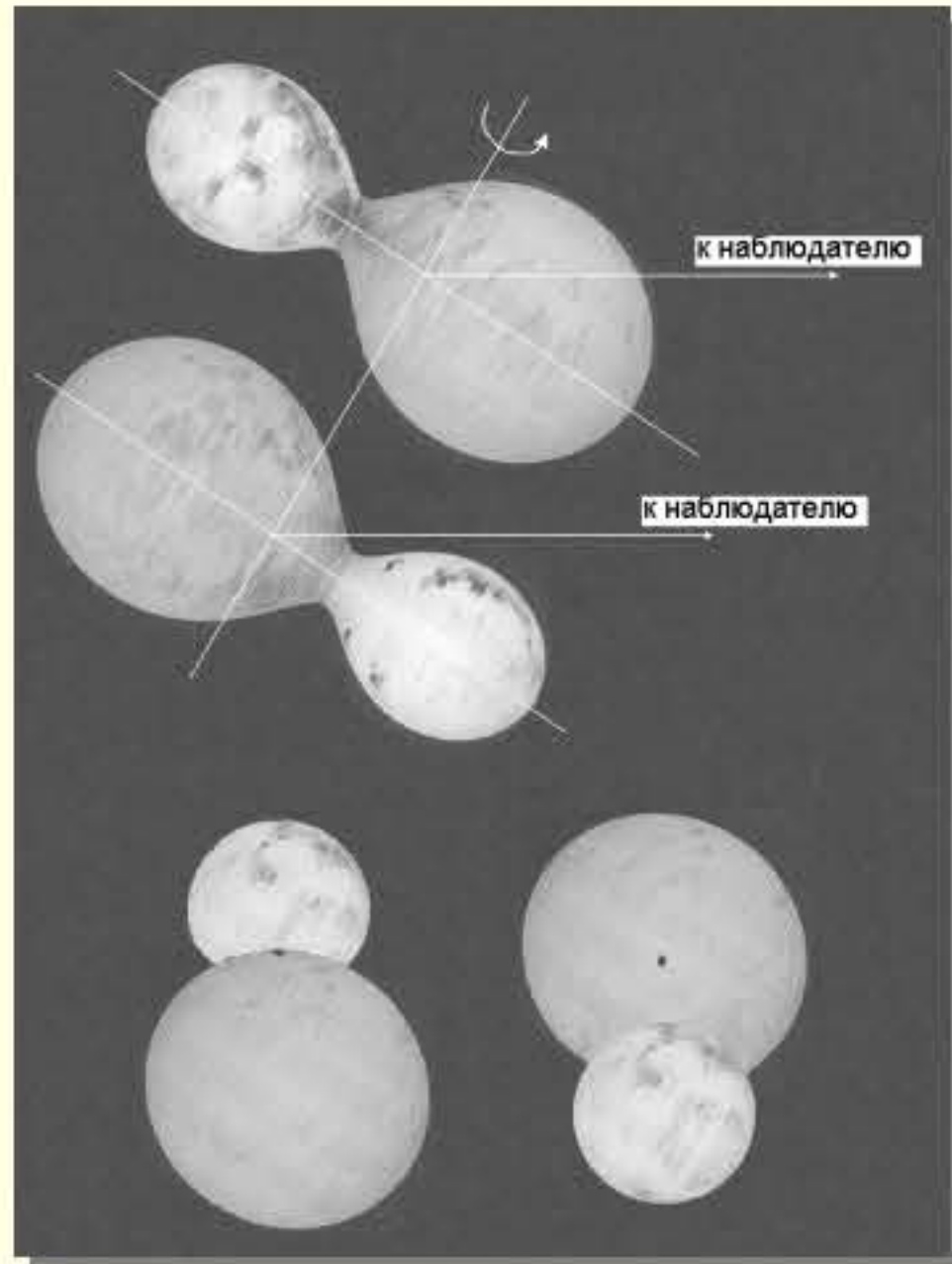
МАЛОРАКУРСНАЯ АСТРОТОМОГРАФИЯ

Построение изображений Крабовидной туманности по профилям радиояркости при ее затмениях Луной

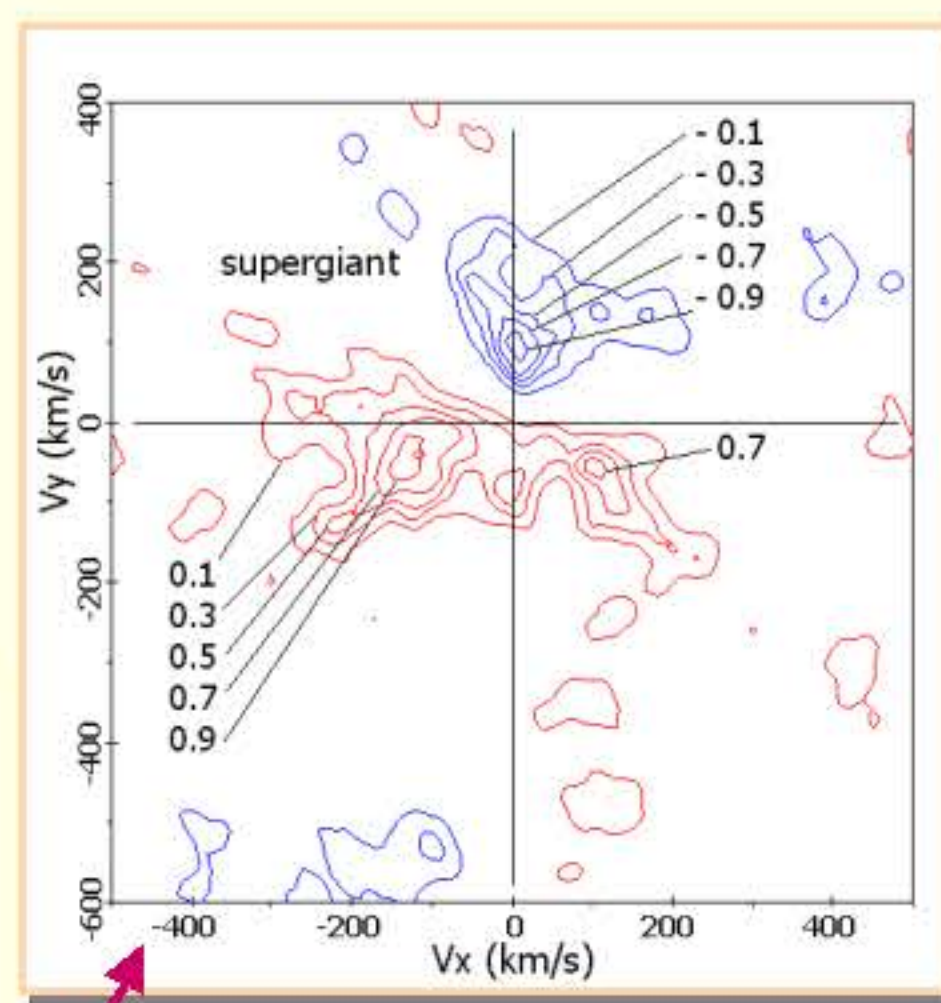


Радиоизображения построены по четырем профилям радиояркости наблюдений двух лунных затмений туманности на частоте 750 МГц. Было реализовано разрешение 20"x35", что превосходило возможности систем апертурного синтеза на эпоху построения карт.

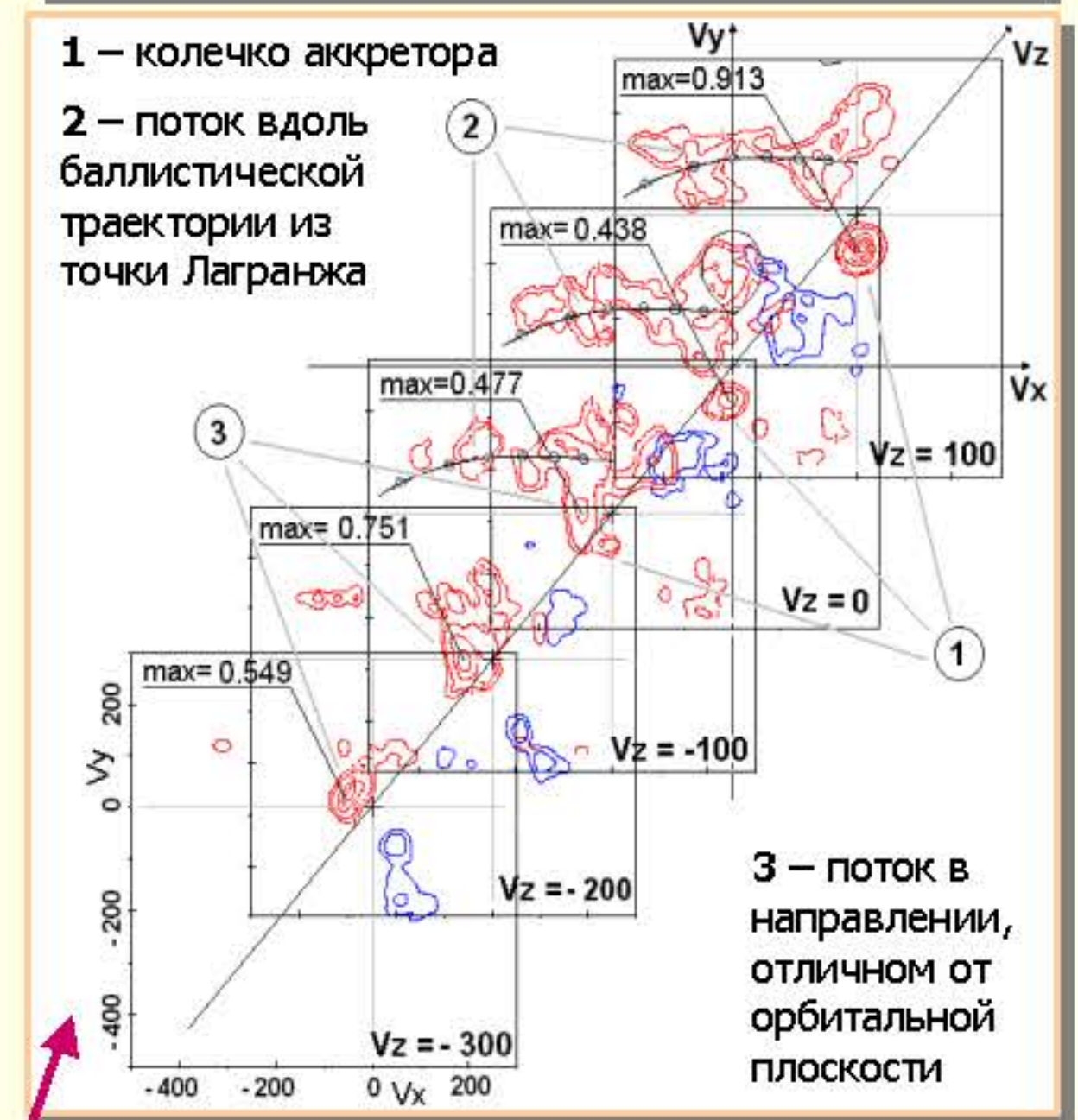
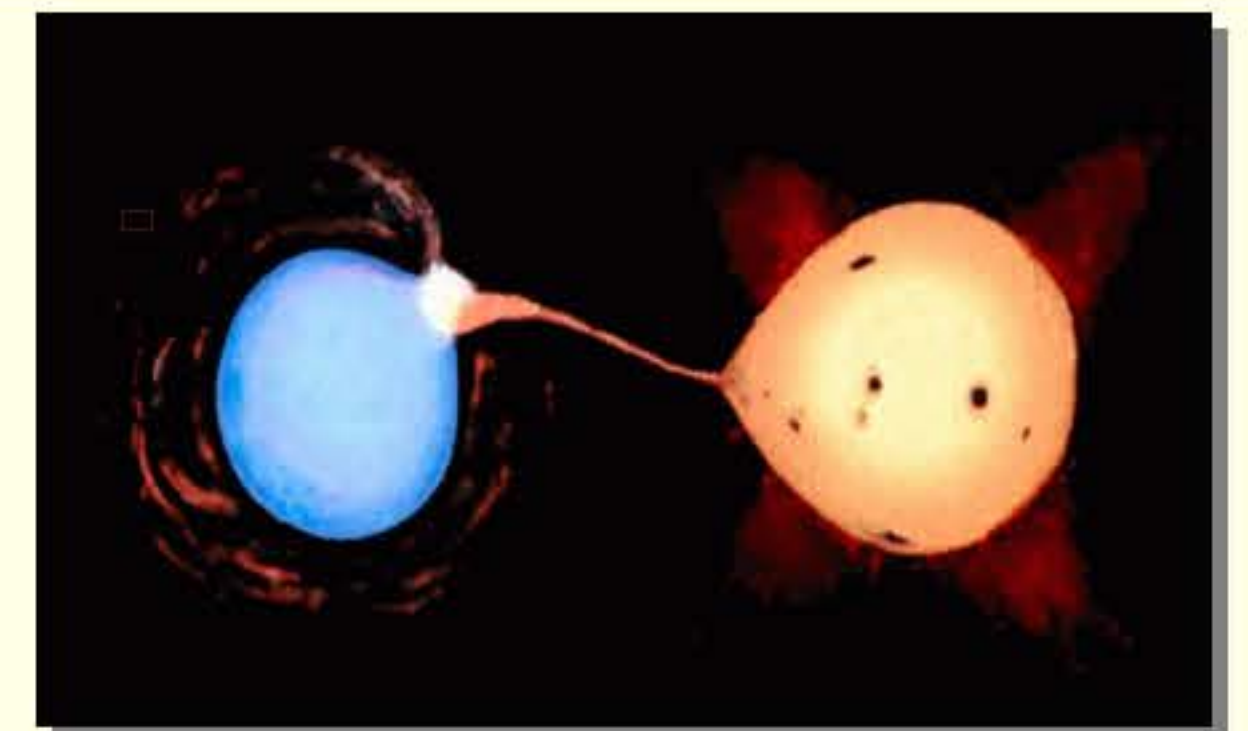
Исследование движений потоков в двойных звездных системах: реконструкция двумерных и трехмерных доплеровских томограмм при ограниченном числе орбитальных фаз



Построение доплеровских томограмм дает ценную информацию о движении потоков в таких системах. Радиоастрономический подход позволил проводить реконструкцию двумерных томограмм при малом числе орбитальных фаз и открыл хорошие перспективы исследованиям на основе трехмерных доплеровских томограмм.



Реконструкция доплеровской томограммы двойной рентгеновской системы **Лебедь X-1** по 9 профилям спектров линии Ni II (4686Å), полученным при различных орбитальных фазах.



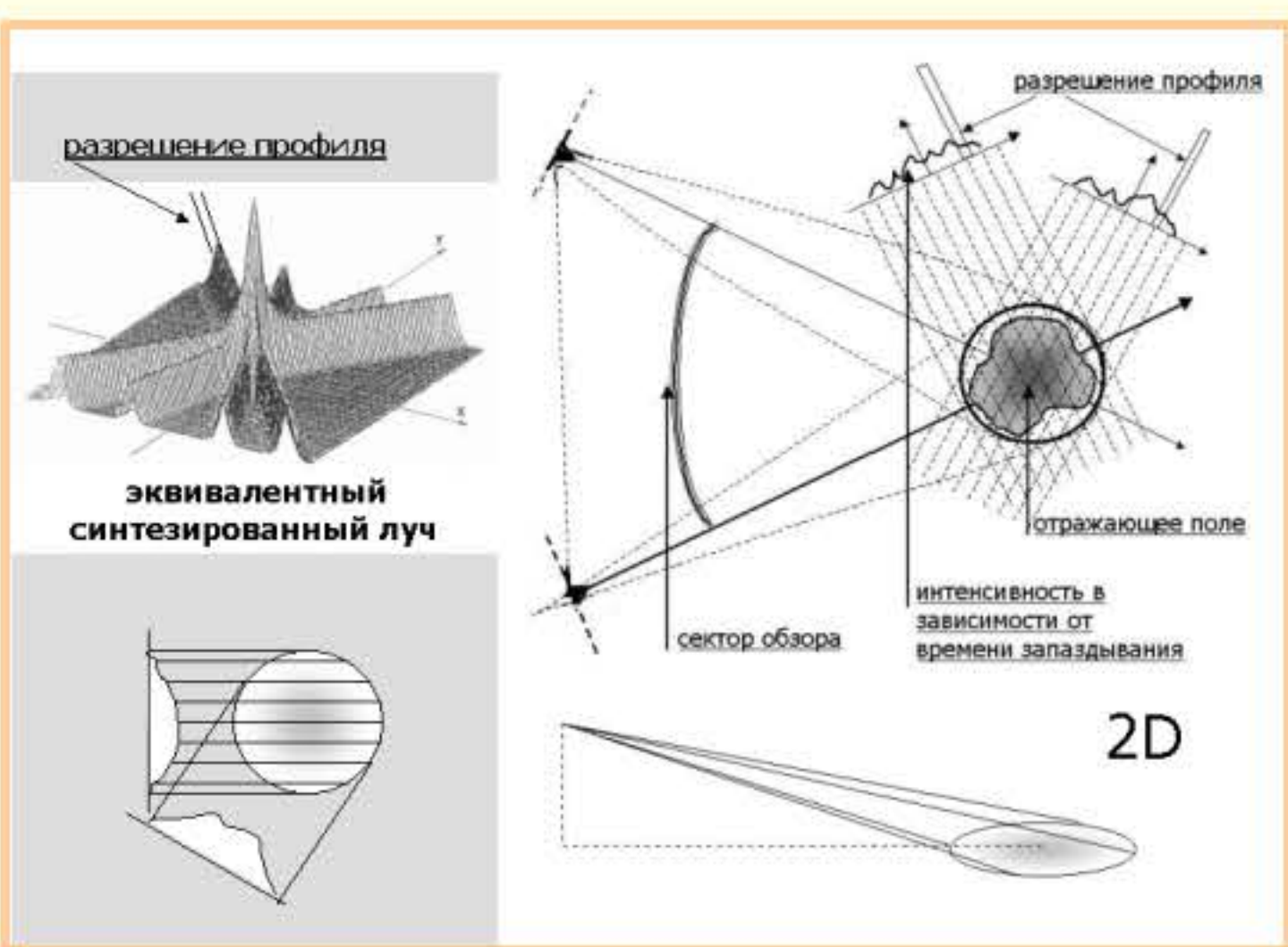
Впервые построена трехмерная доплеровская томограмма по экспериментальным данным. По 47 спектрам в линии $\text{H}(\alpha)$ **алголя U Coronae Borealis** получено распределение интенсивности в трехмерном пространстве скоростей, которое позволяет регистрировать движения потоков в направлениях, отличных от орбитальной плоскости системы.

Сотрудничество:

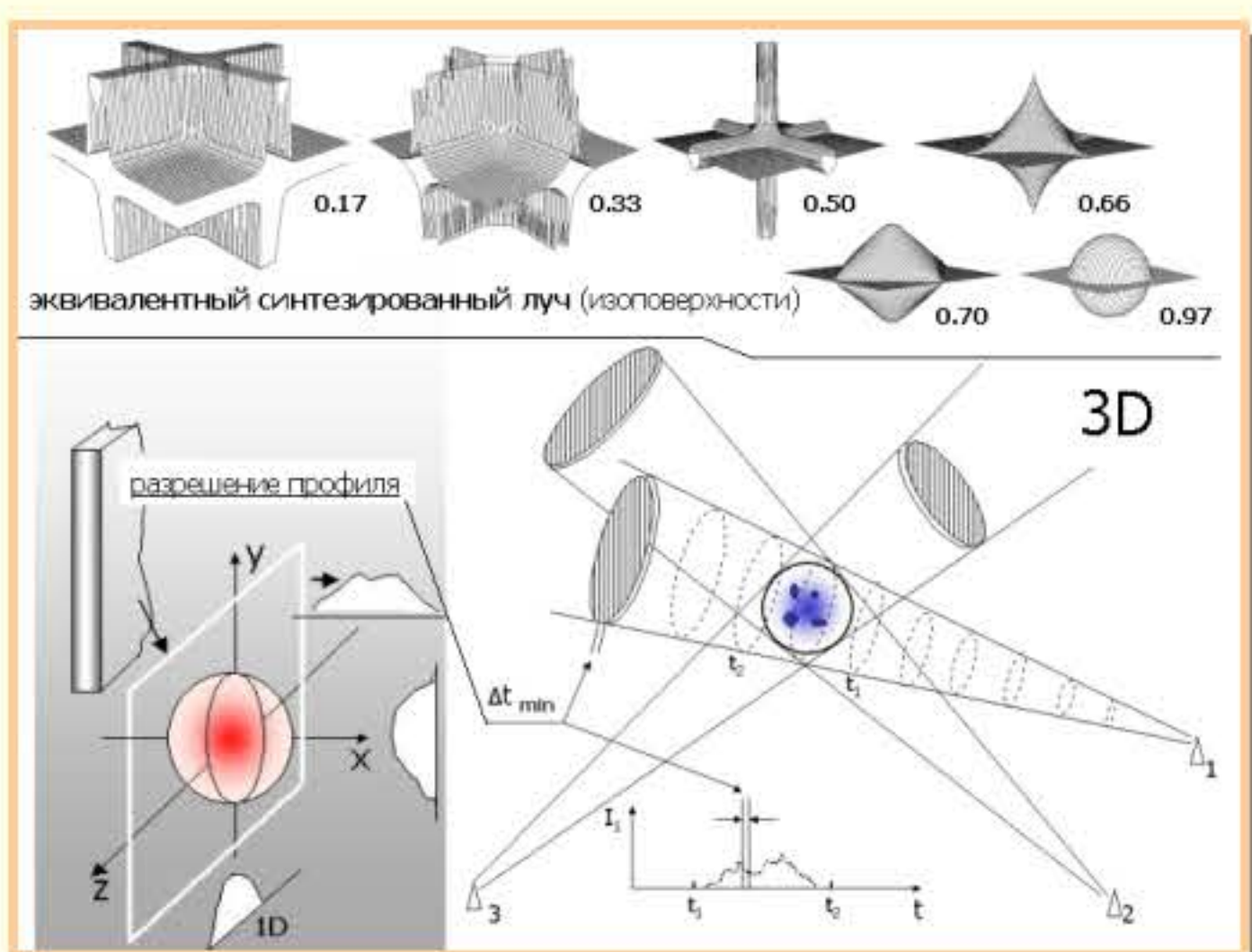
Институт астрономии РАН, ГАИШ им П.К.Штернберга МГУ

Department of Astronomy & Astrophysics, Pennsylvania State University

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ: ПРИНЦИП ПРИЛОЖЕНИЯ К РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ЗАДАЧАМ



Построение эквивалентной суммарной передаточной функции на основе аппаратных функций, определяющих временное разрешение профилей для разных ракурсов, позволяет использовать Радиоастрономический подход для получения высокоинформативных изображений на основе томографической обработки. Слева показан принцип приложения метода к задаче землеобзора в прожекторном режиме. Правый рисунок иллюстрирует использование в многопозиционном режиме. Возможно приложение для получения изображений объектов ближнего космоса, таких как астероиды, либо космический мусор.





СБОРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ, ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ, ЛАЗЕРНЫХ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящее время ФГНУ «НИРФИ» является единственным разработчиком и производителем опытных образцов современного сборочного оборудования для обеспечения микроэлектронных, оптоэлектронных, лазерных и радиоэлектронных технологий в России. Для ведущих отраслей промышленности, например, авиационной, атомной, судостроительной, космической и т.д. требуется создание нового класса электронной компонентной базы, в которой необходимы 100% отбраковочные испытания методом неразрушающего контроля прочности проволочных выводов для серии ОС.

С целью выполнения вышеперечисленных требований создается сборочное оборудование для присоединения выводов к элементам БИС, полупроводниковых приборов и микросборок методом микросварки, а также разрабатываются встроенные высокоинтеллектуальные системы неразрушающего контроля прочности выводов, что позволит гарантировать надёжность собираемых изделий. Разработана унифицированная система управления на базе процессоров «Atmega 103», «Atmega128» фирмы «Atmel» для сборочного оборудования. Предлагаем Вашему вниманию следующие виды сборочного оборудования

УМС-1УК	Ультразвуковая (УЗ) сварка Al проволочных выводов Ø до 50 мкм с неразрушающим контролем прочности каждого вывода.
УМС-1УП	Сварка внешних и внутренних балочных выводов полиимидного носителя с контактными площадками коммутационной платы и кристалла.
УМС-1УТ	Термовзвукосварка Au проволоки диаметром 27-50мкм внахлест.
УМС-1ШК	Термовзвукосварка Au проволоки методом "шарик-клин" Ø до 40 мкм.
УМС-2У	УЗ сварка проволочных Al выводов диаметром до 500мкм.
УМС-1К	Микроконтактная сварка Au проволочных выводов Ø до 80мкм и золотой фольги толщиной до 20 мкм.



ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ МОДЕЛЕЙ

Проволока, Au, Al, мкм.....	27-500
Усилие сжатия соединяемых элементов, Н... 0,3-1,0	
Время сварки, мс.....	1-1000
Выходная мощность, УЗ генератора, Вт.....	0,01-25,0
Температура рабочего стола, град.С.....	250
Контрольное растягивающее усилие, Н.....	0,01-0,2
Разновысотность контактных площадок, мм.....	3,0
Обрабатываемое поле прибора, мм.....	30x30
Ход сварочной головки по осям У, Z, мм.....	15,0
Габаритные размеры, мм.....	500x250x370
Масса, кг.....	30

ВОЗМОЖНОСТИ УСТАНОВОК:

1. Программирование до 6 типов перемычек и стежков.
2. Автоматическая подстройка резонансной частоты, программирование амплитуды УЗ колебаний и диагностирование акустической системы.
3. Программирование до 100 технологических параметров: высота, длина, угол наклона перемычки и т. д.
4. Встроенная система контроля прочности: к каждой перемычке прикладывается контрольное растягивающее усилие.
5. Работа в полуавтоматическом режиме при непосредственном контроле оператора.



ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

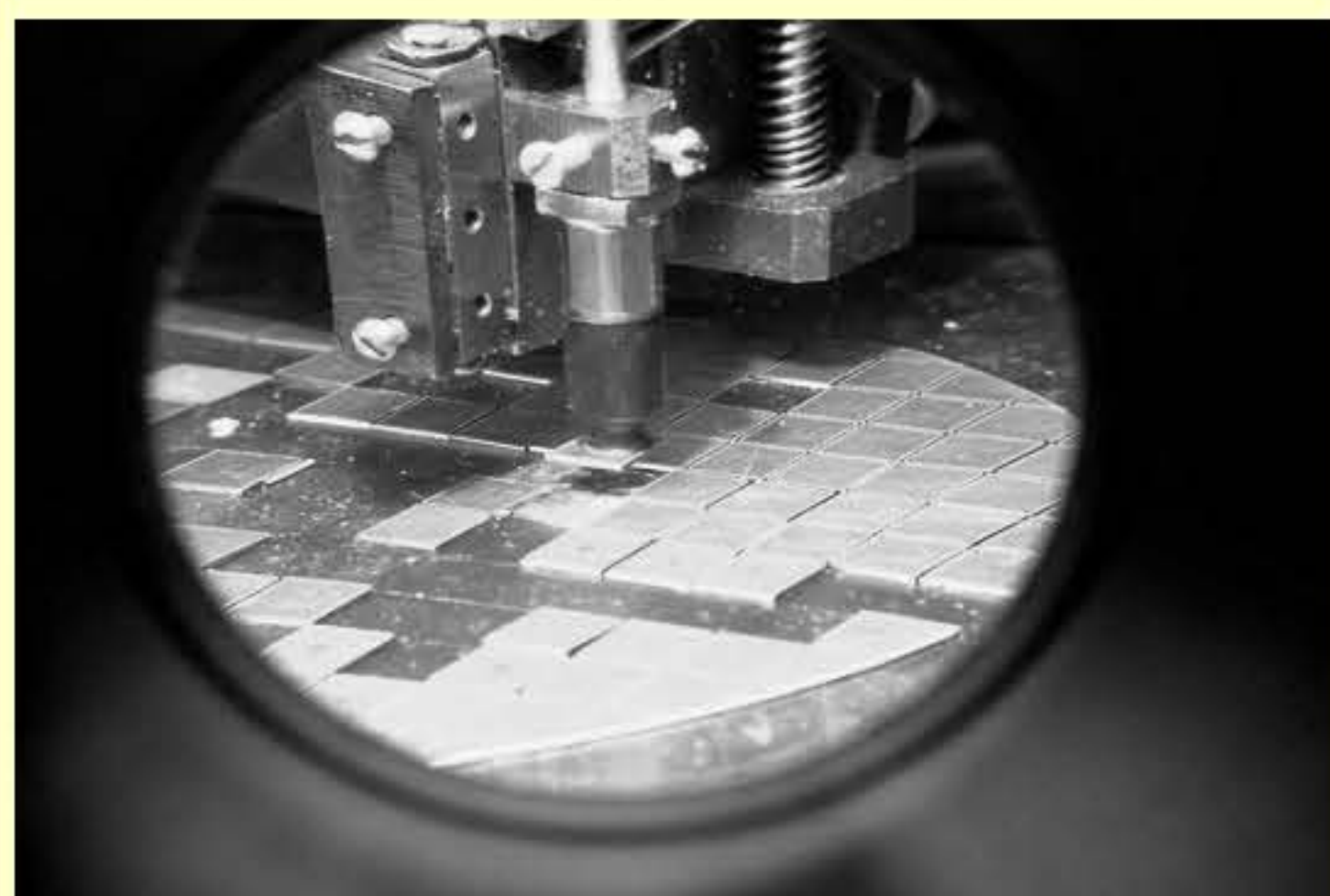
Установка монтажа кристалла с растяжки в корпус, на плату или в кассету УПК-01

Назначение.

Установка предназначена для выборки кристалла с растяжки с помощью ручного манипулятора; автоматического переноса на позицию монтажа в корпус прибора, на плату или в кассету по заданным координатам посадки; автоматического нанесения дозы клея в точку монтажа и автоматической загрузки-выгрузки прибора из зоны монтажа.

Основные технические данные.

- Кинематическая производительность 1500 шт/час.
- Ход координатного стола на позиции выборки кристалла с липкого носителя 230x230 мм.
- Диаметр растяжки с кристаллами 150 - 200 мм.
- Ход переносающей каретки с позиции выборки в зону монтажа 600 мм.
- Ход координатного стола на позиции постановки кристалла на плату 100 x 100 мм.
- Каретка для переноса кристалла с позиции выборки выполнена на воздушном подшипнике.
- Вертикальный ход каретки с инструментом захвата 10 мм.
- Размер обрабатываемого кристалла от 280 X 280 мкм до 15 X 15 мм.
- Система наблюдения на позиции выборки кристалла с липкого носителя и позиции монтажа на плате состоит, соответственно, из двух видеокамер и видеомонитора.
- Подкол кристалла с липкого носителя может осуществляться как одной иглой, так и тремя одновременно, что позволяет снять напряженное состояние кристалла при снятии его с липкого носителя.
- Способ нанесения клея с помощью штемпеля или дозирующего устройства.



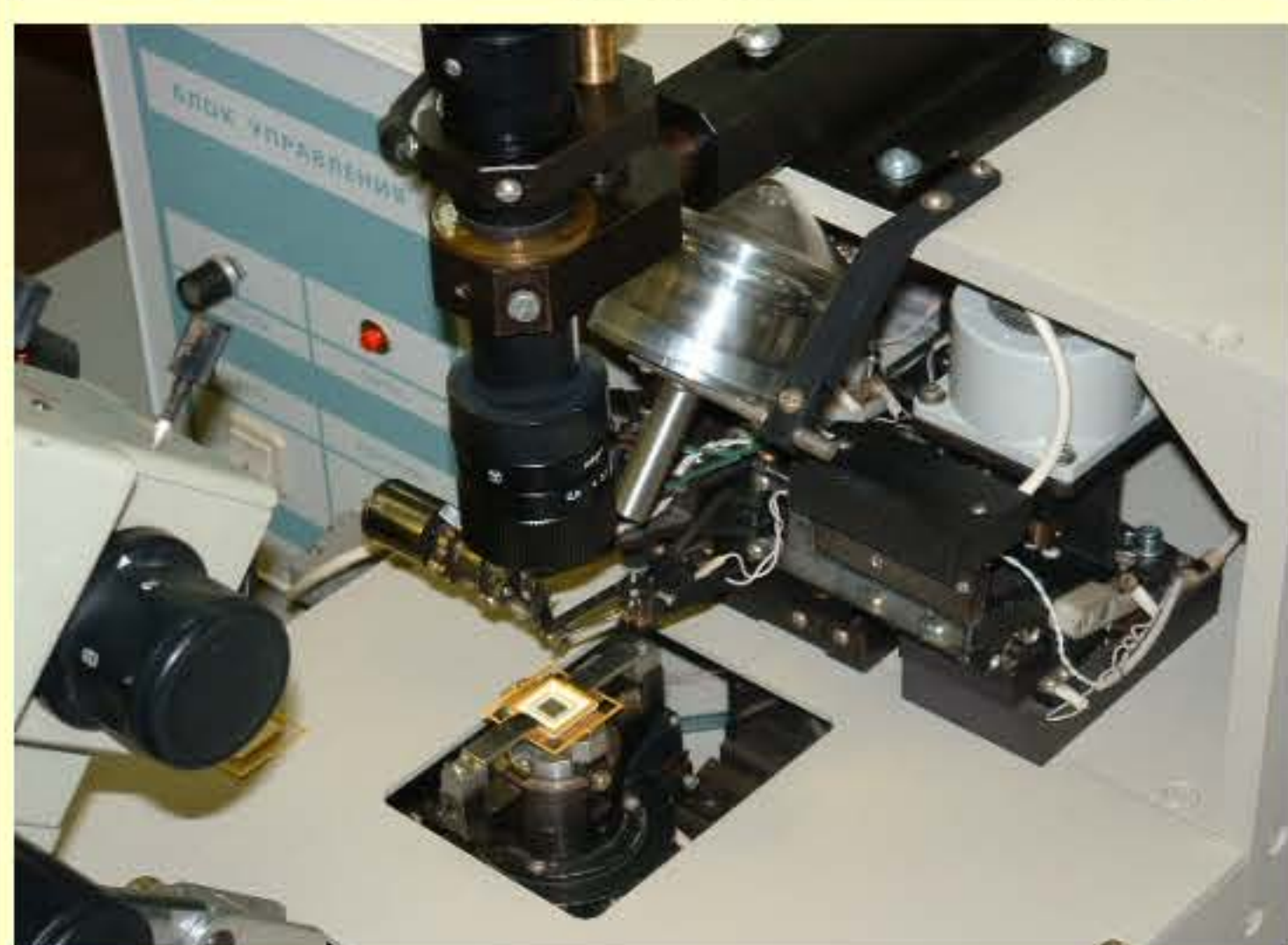
Полуавтоматическая установка ультразвуковой сварки алюминиевых выводов УЗС. П-01К.

Назначение.

Установка предназначена для автоматического присоединения алюминиевых проволочных выводов к элементам больших интегральных схем и полупроводниковых приборов методом ультразвуковой сварки. Установка может быть оснащена встроенной системой неразрушающего контроля прочности проволочных выводов. Широкая номенклатура быстросменной технологической оснастки даёт возможность обрабатывать приборы во всех известных типах корпусов при крупносерийном и мелкосерийном производстве.

Основные технические данные.

Проволока, Al мкм.....	20-50
Усилие сжатия соединяемых элементов, Н.....	0,1- 0,6
Время сварки, мс.....	1-1000
Выходная мощность, УЗ генератора, Вт.....	0,01-6,3
Усилие нагружения проволочных перемычек при контроле, мЛН.....	10 -200
Разновысотность контактных площадок, мм.....	5,0
Обрабатываемое поле прибора по координатам X, У, мм.....	30x30
Ход сварочной головки по оси Z, У мм.....	15,0
Минимальные размеры контактных площадок, мкм	110 X 110
Количество перемычек до	500
Время формование одной перемычки при длине 1,5 мм, млс.....	700
Потребляемая мощность, Вт.....	350





ПАССИВНО-АКТИВНАЯ РАДИОМЕТРИЯ В СИСТЕМЕ БЛИЖНЕГО РАДИОВИДЕНИЯ 8-МИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

МИКРОВОЛНОВЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

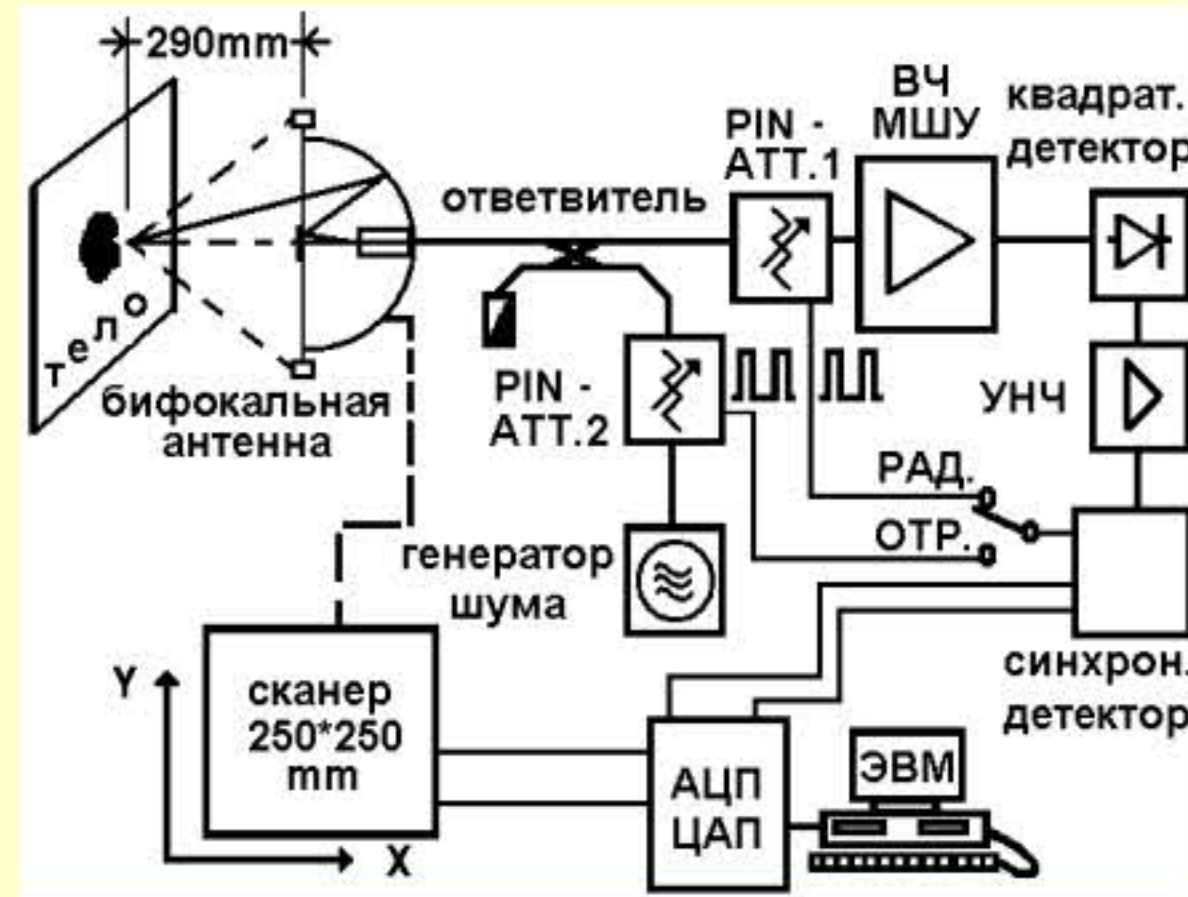
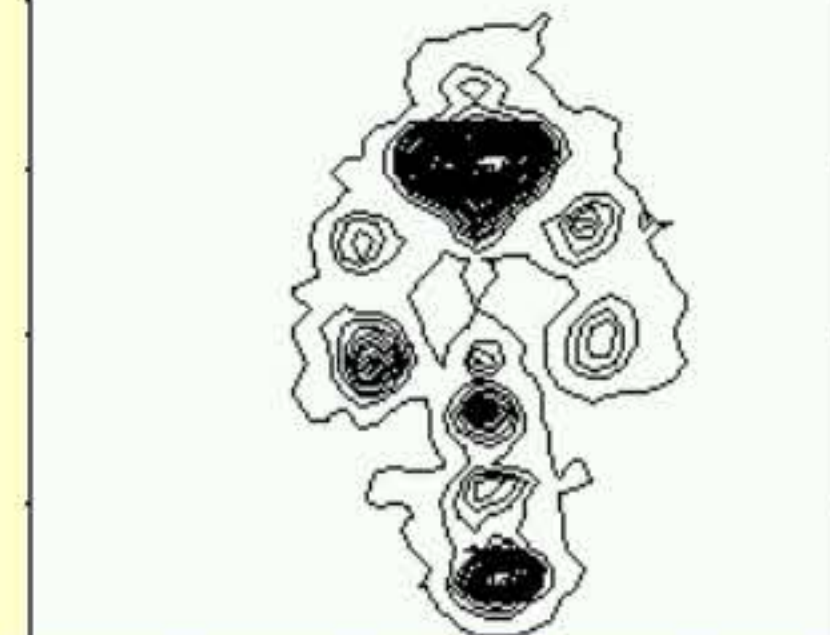
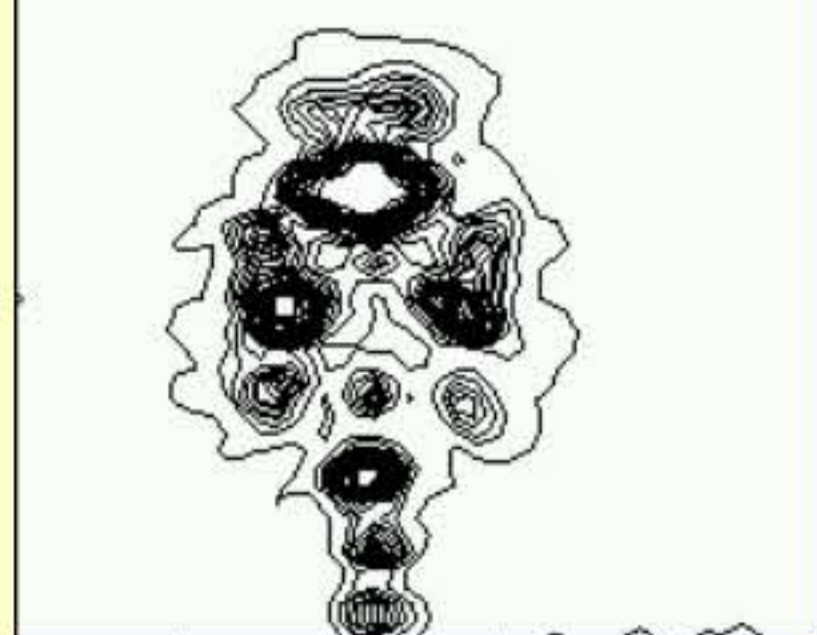


Фото и функциональная схема радиовизора в варианте медицинского исполнения

ПАССИВНО-АКТИВНЫЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС БЛИЖНЕГО РАДИОВИДЕНИЯ 8-МИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ИМЕЕТ ФОКУСИРУЮЩУЮ АНТЕННУ И РАБОТАЕТ В ДВУХ РЕЖИМАХ: ПАССИВНЫЙ - ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОБСТВЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИССЛЕДУЕМОГО ТЕЛА, АКТИВНЫЙ (РЕЖИМ ПОДСВЕТКИ) - ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ИССЛЕДУЕМОГО ТЕЛА С ПОМОЩЬЮ ИЗЛУЧЕННОГО ЧЕРЕЗ ПРИЁМНУЮ АНТЕННУ ШИРОКОПОЛОСНОГО ШУМОВОГО СИГНАЛА МАЛОЙ МОЩНОСТИ ВСТРОЕННЫМ ВНУТРИ ПРИЁМНОГО МОДУЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ГЕНЕРАТОРОМ. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА В СИСТЕМЕ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОЗВОЛЯЕТ ПОЛУЧИТЬ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ СИНТЕЗИРОВАННЫХ В ДВУХ РЕЖИМАХ РАДИОИЗОБРАЖЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РАДИОМЕТРА В ПЯТНЕ РАЗРЕШЕНИЯ (9ММ) - 0.04К.

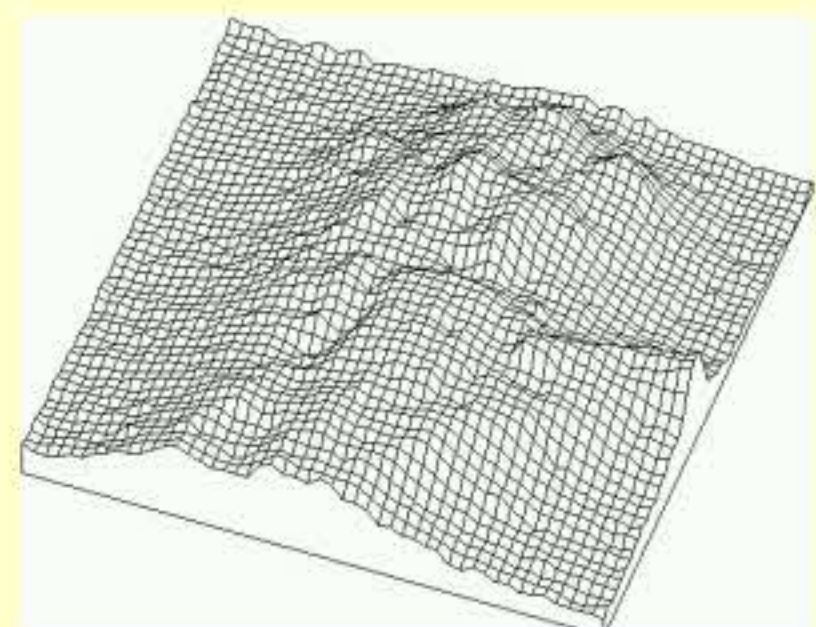


Радиоизображение лица человека в пассивном (верхнее) и активном (нижнее) режимах

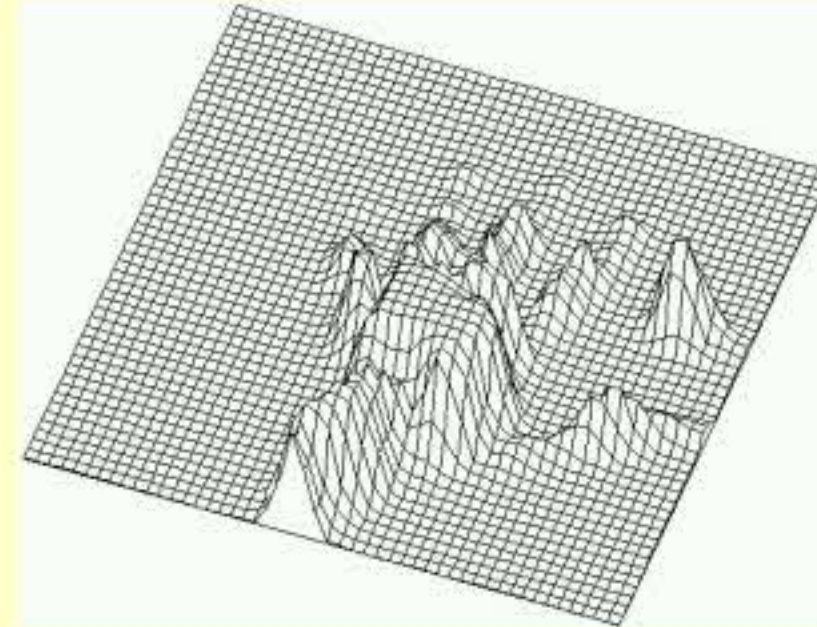
Радиоизображение лица человека в пассивном режиме



Радиоизображение ладони человека в пассивном режиме (верхнее-яркость, правое - поверхность)



Радиоизображение лица человека в пассивном режиме



Радиоизображение ладони человека в активном режиме (верхнее-яркость, левое - поверхность)

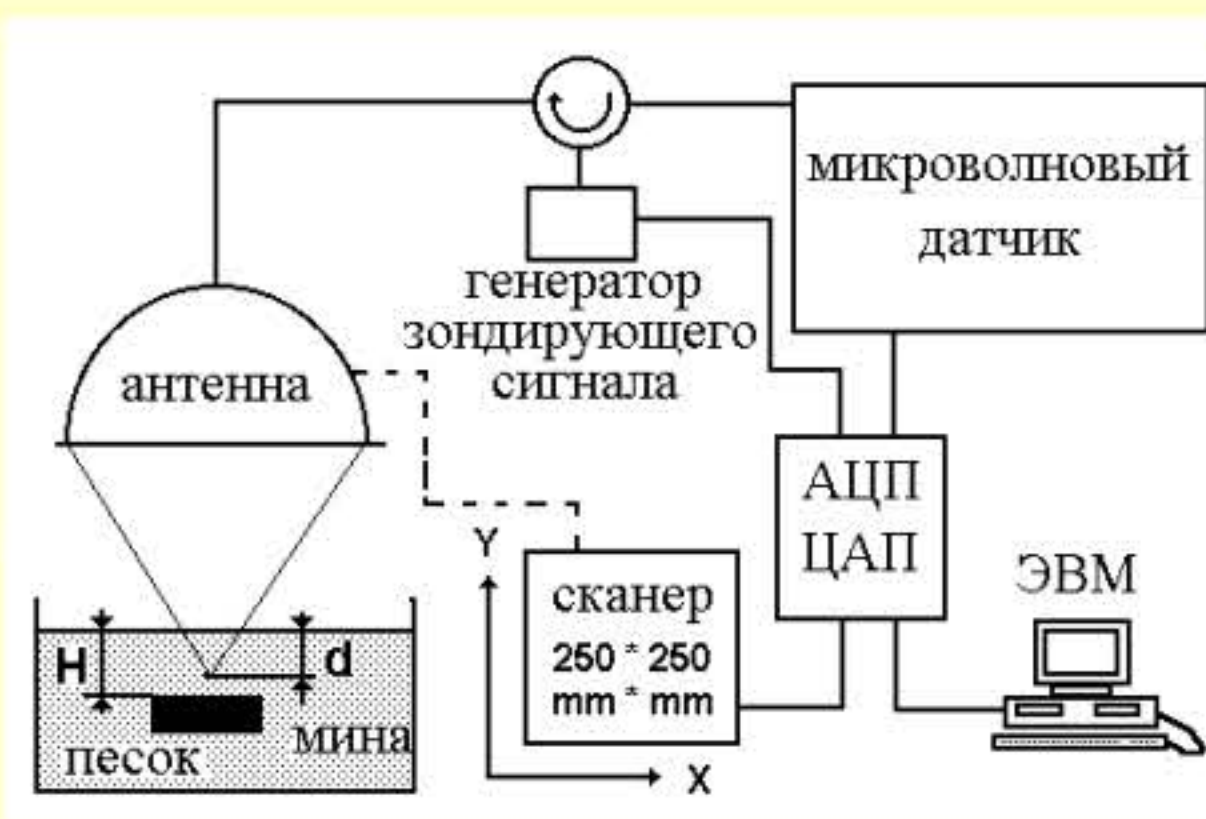
МИКРОВОЛНОВЫЙ ДАТЧИК ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ОБНАРУЖЕНИЕ ПРОТИВОПЕХОТНЫХ МИН В УСЛОВИЯХ ГУМАНИТАРНОГО РАЗМИНИРОВАНИЯ



Радиоизображение следа ладони на поверхности песка, под которой находится мина на глубине 90мм



Фотография следа ладони на поверхности песка



Блок - схема ОМД (активный режим)



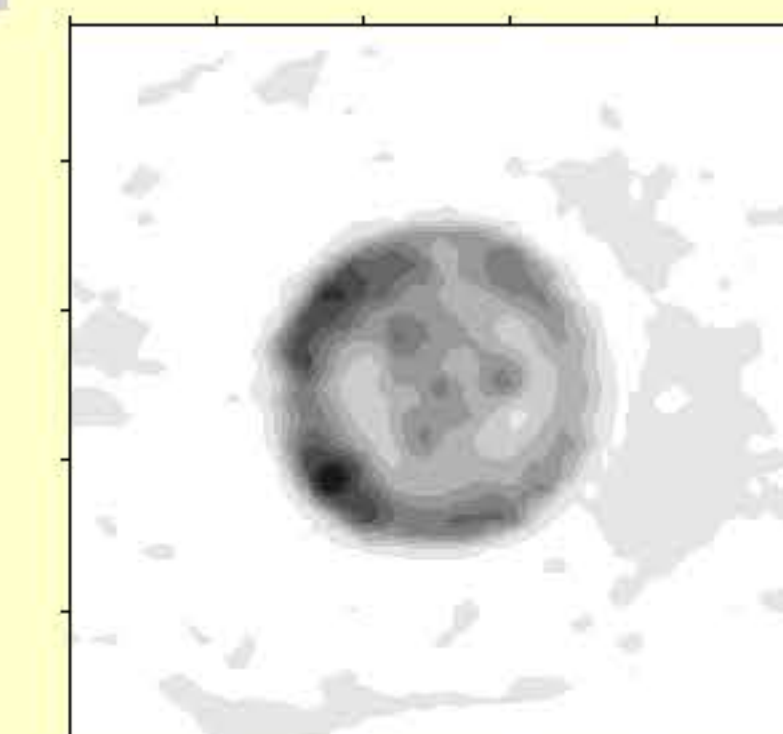
Фотография мины



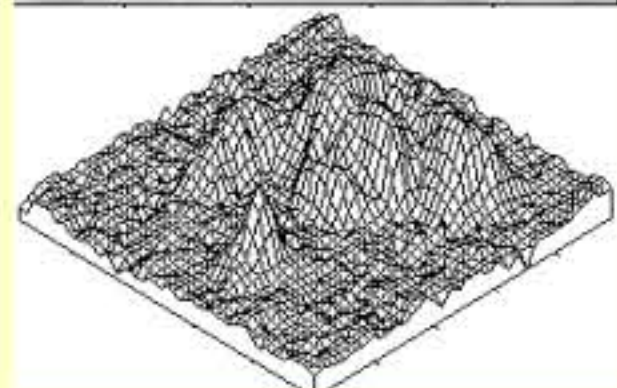
Радиоизображение мины расположенной на поглощающем материале в воздухе



Радиоизображение мины, находящейся на глубине 90мм под поверхностью песка, на которой выдавлен след ладони



Радиоизображение мины расположенной в песке под ровной поверхностью на глубине 60 мм



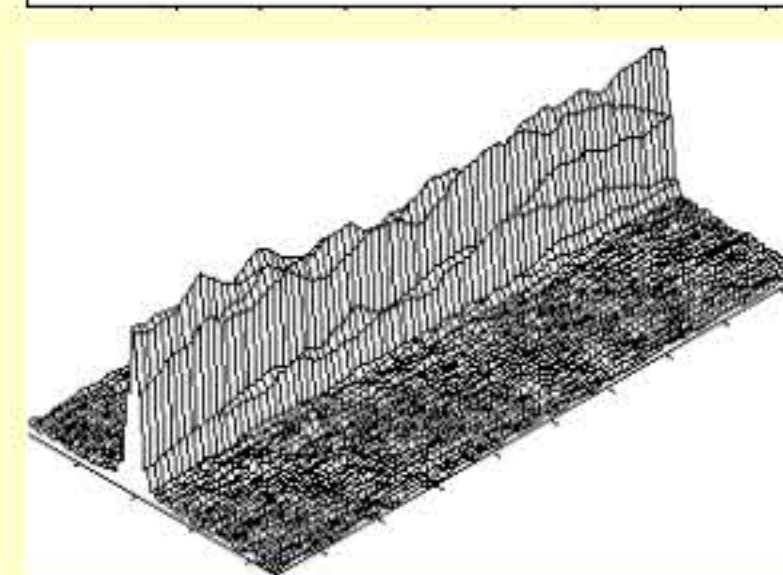
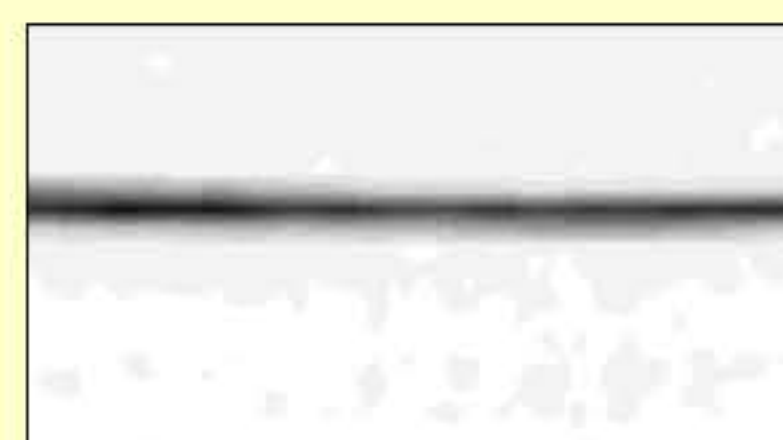
Радиоизображение газового пистолета

В последние годы существенно возросло внимание международных организаций и правительств многих стран к проблеме продолжающегося производства и применения противопехотных мин в региональных конфликтах. В мирное время наличие минных полей в этих странах оказывает негативное влияние на развитие транспорта, туризма и затрудняет нормальное экономическое развитие. Кроме того, по данным международных организаций за год погибает от противопехотных мин около 30000 человек, из которых 70 процентов составляет мирное население. Поэтому особое внимание уделяется проблеме рекультивации минных полей в этих странах после окончания вооруженного конфликта - гуманитарному разминированию. По сравнению с периодом вооруженного конфликта гуманитарное разминирование может проводиться в благоприятных погодных условиях и состоянии земных покровов, но должно быть обеспечено при этом почти 100% обнаружение мин.

В настоящее время в целях разминирования используются как стоящие на вооружении технические средства разминирования, так и перспективные роботизированные комплексы, в которых используются передовые методы и технологии. Особое внимание уделяется технологиям, которые позволяют обнаруживать малым содержанием металлических компонент.

В Научно-исследовательском радиофизическом институте (НИРФИ) разработан макет радиометрического датчика подповерхностного обнаружения противопехотных мин и проведены лабораторные испытания обзорного микроволнового датчика - ОМД по обнаружению пластмассовых противопехотных мин. Датчик работает в 8 мм диапазоне длин волн, используя принцип активной подсветки исследуемой среды широкополосным шумовым сигналом через фокусирующую антенную систему, что обеспечивает пространственное разрешение не хуже 9 мм в рабочем секторе обзора 250x250 мм. При испытаниях мина типа ПРМ (диаметром 120 мм) устанавливалась на глубине до 90 мм под поверхностью сухого песка. Расстояние от приемной антенны до поверхности земли составляет 300 мм. На иллюстрациях приведены в виде радиоизображений результаты испытаний микроволнового датчика по обнаружению противопехотной мины типа ПРМ, установленной на различной глубине под поверхностью песка.

В ходе испытаний датчика ОМД получены также результаты по обнаружению проволочной растяжки диаметром 1 мм, установленной на высоте 80 мм над поверхностью земли, и, для примера, синтезировано радиоизображение газового пистолета, которые характеризуют возможности разработанного макета микроволнового детектора по распознаванию обнаруживаемых объектов и их локализации.



Радиоизображение растяжки мины

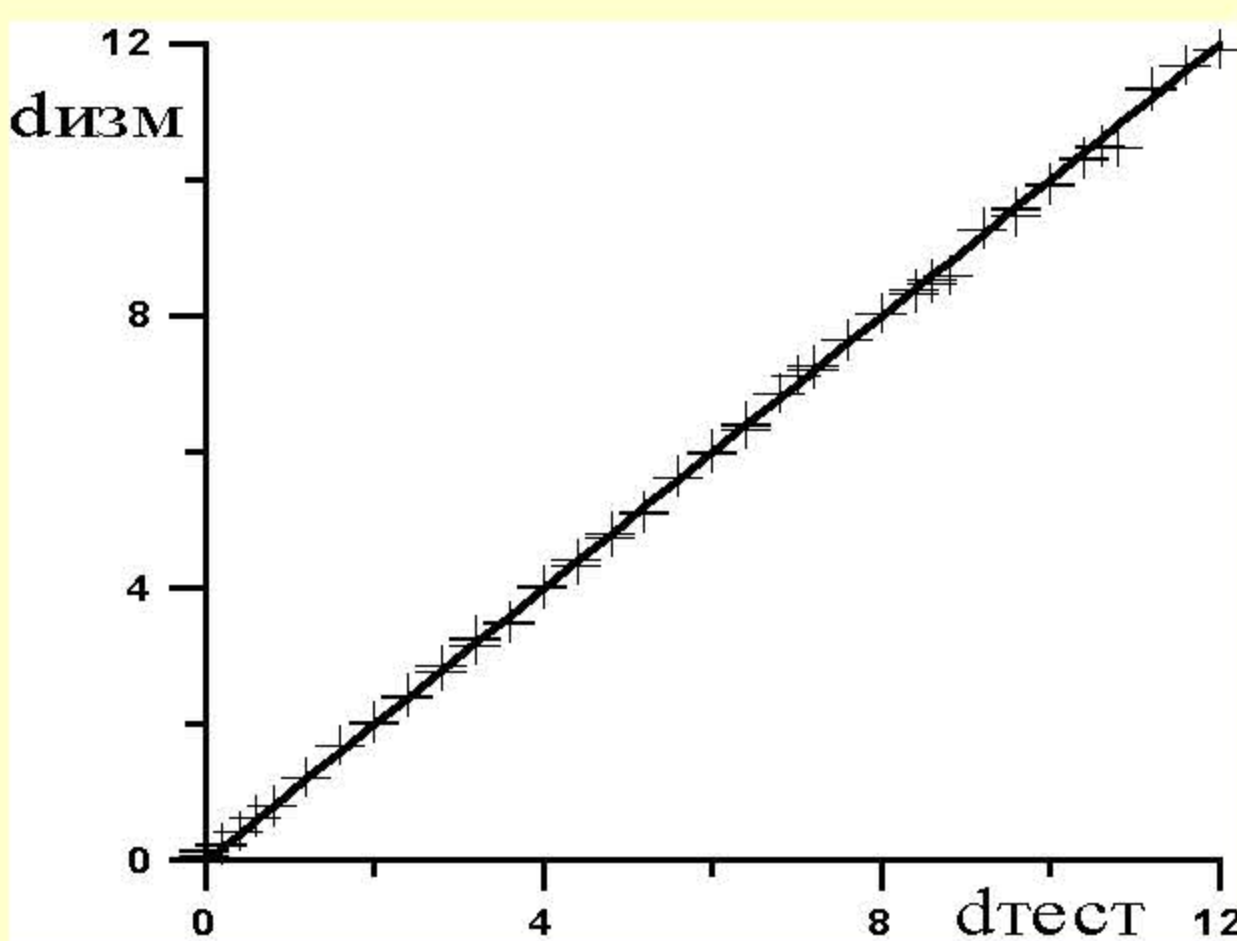


ПОРТАТИВНЫЕ РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИВОВ НЕФТИ



**Прибор «ПРИНТ-3» (третье поколение).
Разработка ФГБУ «НИРФИ» 2002г.
Сертификат RU.E27.011.A 13919 Госстандарта России.
Бронзовая медаль и диплом ВВЦ 28.02.2004г.**

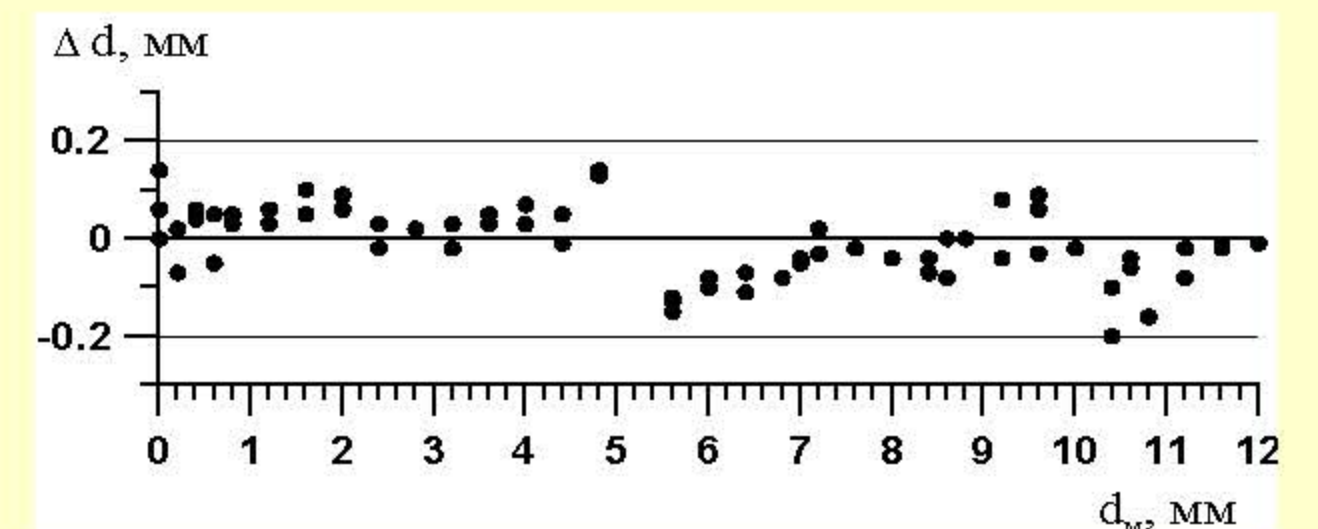
**Прибор «КТС-ПРМ-Н» (второе поколение)
Разработка 2000г. НПП «Полёт» совместно с ФГБУ «НИРФИ». Золотая медаль. Женева. 03.05.2002г.**



Измеренная прибором «ПРИНТ-3» толщина плёнки нефти относительно налитой в интервале от 0.2 до 12 мм при натуральных испытаниях в НИРФИ.



Стенд для государственной поверки приборов «ПРИНТ-3».



Абсолютные погрешности измерений прибором «ПРИНТ-3» толщины плёнки нефти на воде на частотах 12.2 и 34 ГГц.



Измерение параметров разлива нефти прибором «ПРИНТ-3» при проведении природоохранных мероприятий в Ханты-Мансийском автономном округе в 1998г. =>

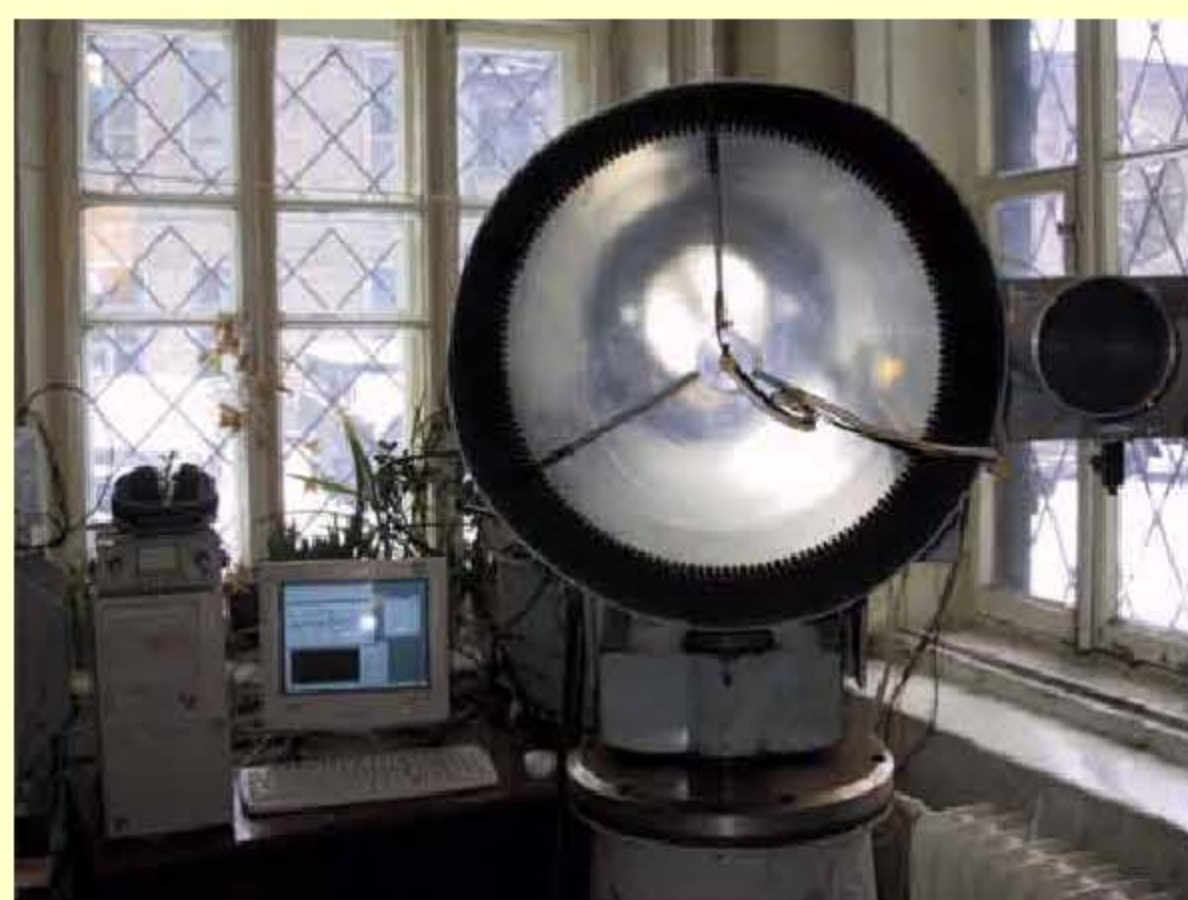


ФОТО ПАСИВНО-АКТИВНОЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДАЛЬНОГО РАДИОВИДЕНИЯ 3-Х МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА.

ПАСИВНО-АКТИВНАЯ РАДИОМЕТРИЯ В СИСТЕМЕ ДАЛЬНОГО РАДИОВИДЕНИЯ 3-Х МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

ПАСИВНО-АКТИВНЫЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДАЛЬНОГО РАДИОВИДЕНИЯ 3-Х МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА РАБОТАЕТ В ТРЁХ РЕЖИМАХ:

1. ПАСИВНЫЙ - для определения собственного излучения окружающей среды и объектов в ней расположенных,
2. АКТИВНЫЙ - для определения отражательной способности окружающей среды и объектов в ней расположенных с помощью излучения подсветки,
3. ПАСИВНО - АКТИВНЫЙ - для приёма суммарного сигнала от действующих излучений в пассивном и активном режимах.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПОЗВОЛЯЕТ МЕТОДОМ СРАВНЕНИЯ РАДИОИЗОБРАЖЕНИЙ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В РАЗЛИЧНОЕ ВРЕМЯ ДНЯ И ГОДА С ПОМОЩЬЮ ТРЁХ РЕЖИМОВ, ОПРЕДЕЛЯТЬ ИЗМЕНЕНИЯ РЯДА ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ДЕЛАТЬ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ, НАПРИМЕР,

- для сельского хозяйства - о состоянии **ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПОСЕВОВ**,
- о наличии **ОЧАГОВ ВОЗГОРАНИЯ** и присутствии **НЕУЧЁТНОЙ ТЕХНИКИ**,
- о **ТОЛЩИНЕ ЛЕДЯНОГО И СНЕЖНОГО ПОКРОВА** НА ВОДЕ И ЗЕМЛЕ,
- для целей **НАВИГАЦИИ** - о наличии на водной поверхности единиц водного транспорта, их взаимного расположения и перемещения **(в условиях плохой видимости).**



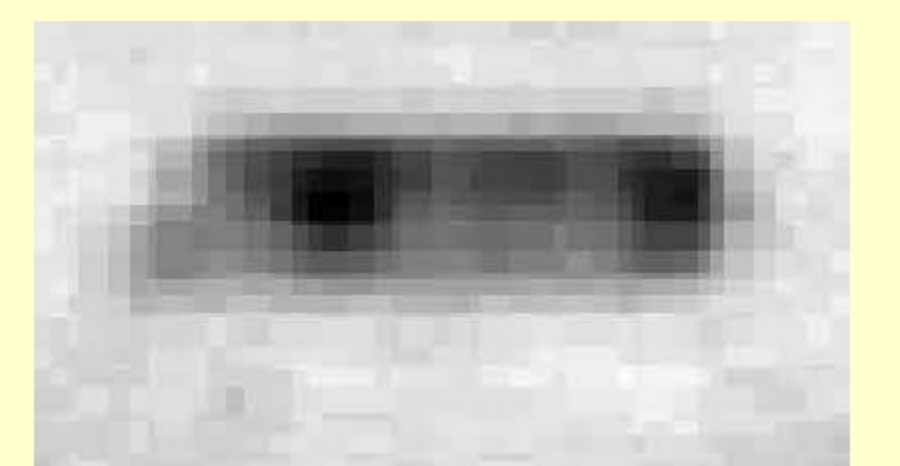
ФОТО ГАЗ-66 НА УДАЛЕНИИ 100м.



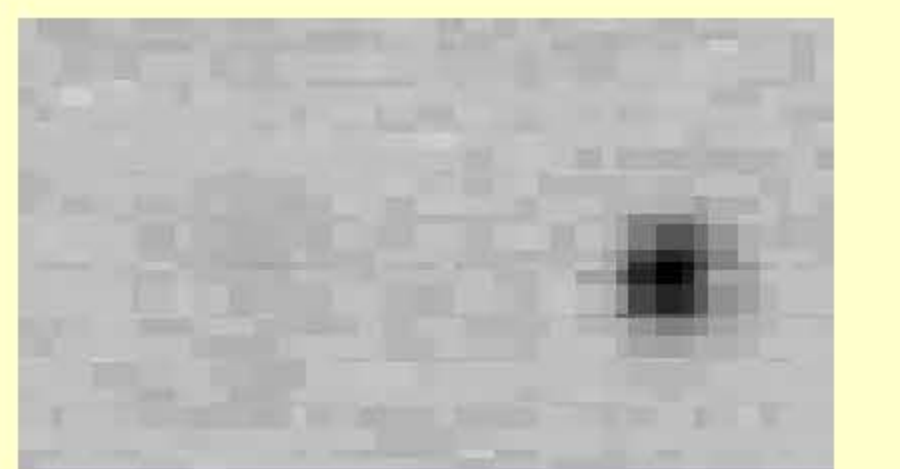
РАДИОИЗОБРАЖЕНИЕ ГАЗ-66 В ПАСИВНОМ РЕЖИМЕ.



ФОТО УАЗ НА УДАЛЕНИИ 100М.



РАДИОИЗОБРАЖЕНИЕ УАЗ В ПАСИВНОМ РЕЖИМЕ.



РАДИОИЗОБРАЖЕНИЕ УАЗ В АКТИВНОМ РЕЖИМЕ



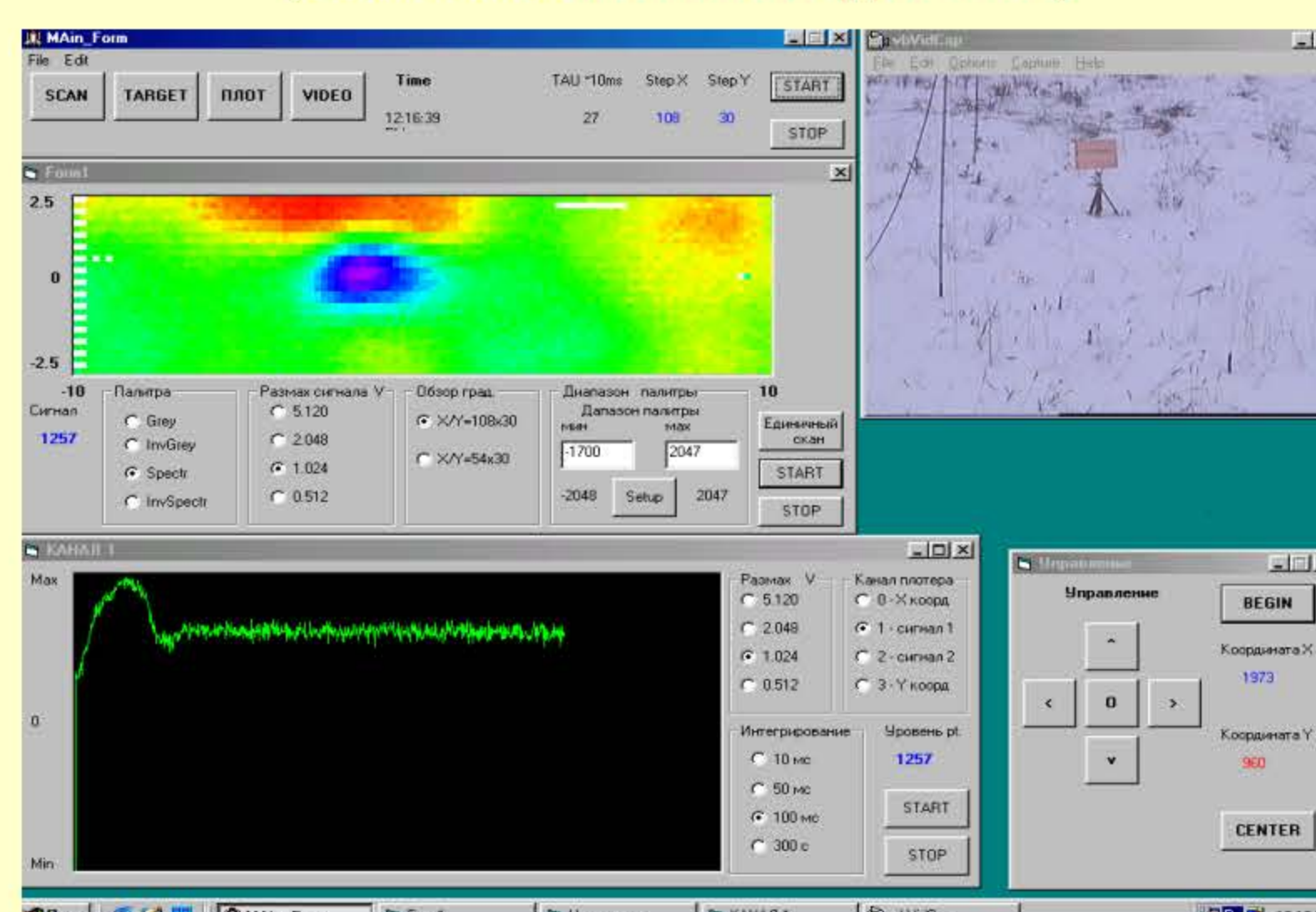
ФОТО МЕСТНОСТИ НА УДАЛЕНИИ 25м.



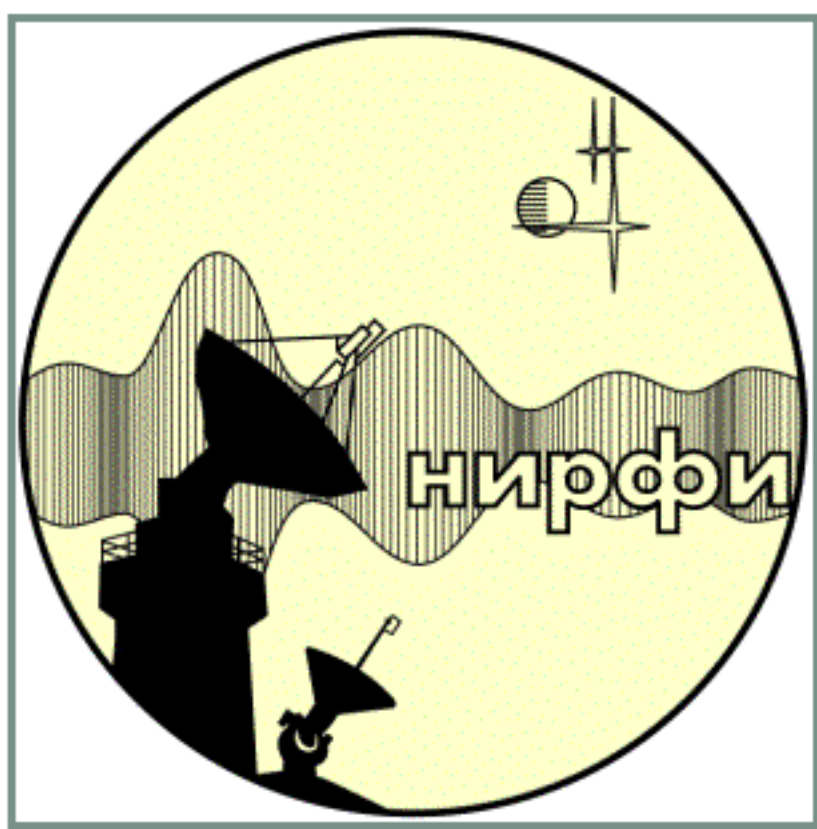
РАДИОИЗОБРАЖЕНИЕ МЕСТНОСТИ В ПАСИВНОМ РЕЖИМЕ.



РАДИОИЗОБРАЖЕНИЕ МЕСТНОСТИ В ПАСИВНО-АКТИВНОМ РЕЖИМЕ.



ЭКРАН МОНИТОРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, СБОРА, ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ (ОПОРНЫЙ РЕПЕР НА РАССТОЯНИИ 35м, ПАСИВНЫЙ РЕЖИМ).



РАДИОМЕТРИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛЁНКИ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Современные информационные технологии в изучении природных сред

Тепловая поверхностная пленка морской поверхности (толщиной меньше миллиметра) граничит с атмосферой, и все обменные процессы тепло- и влаго- переноса из моря в атмосферу или обратно (имеющие важное значение для погоды и тенденций развития климата) осуществляется через этот слой. Для него характерна малая тепловая инерционность и тесная зависимость от атмосферных процессов. В этом же слое концентрируются поверхностно активные вещества, распределены взвеси и оптически активные вещества. В реальных условиях морского волнения возможны только дистанционные измерения температурных и диэлектрических свойств воды в поверхностной пленке, полученные по данным об интенсивности собственного излучения моря в инфракрасном и радио диапазонах, которое формируется в слое толщиной от 0.002 до 1 мм внутри пленочного слоя.



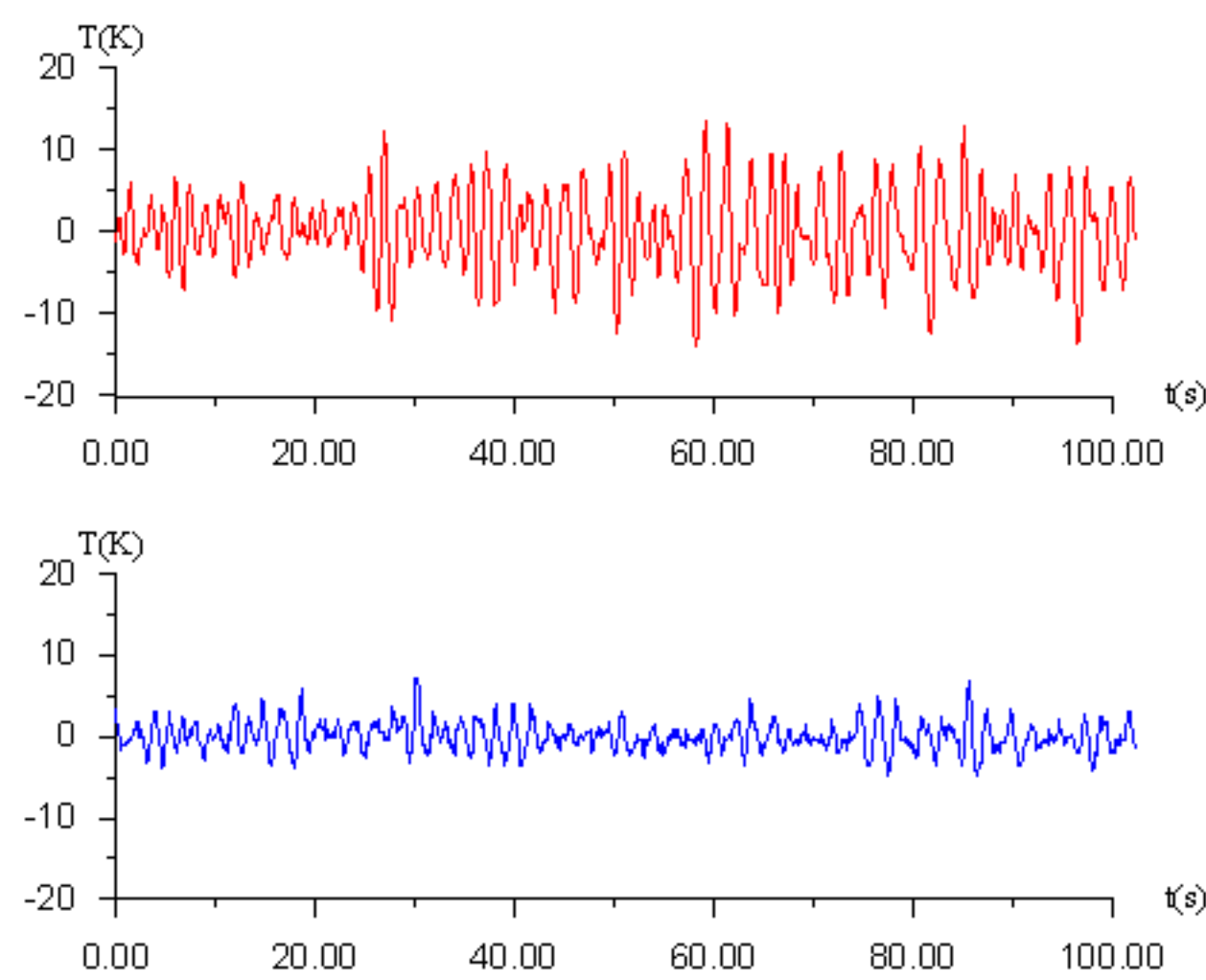
Прецизионные измерения собственного излучения моря являются единственным способом получения информации о плёночном слое морской поверхности в условиях волнения



Аппаратурный комплекс для дистанционного измерения температуры и диэлектрических характеристик плёночного слоя морской поверхности на пирсе Карадагского природного заповедника и вид на Отузский залив Чёрного моря (юго-восточный Крым)

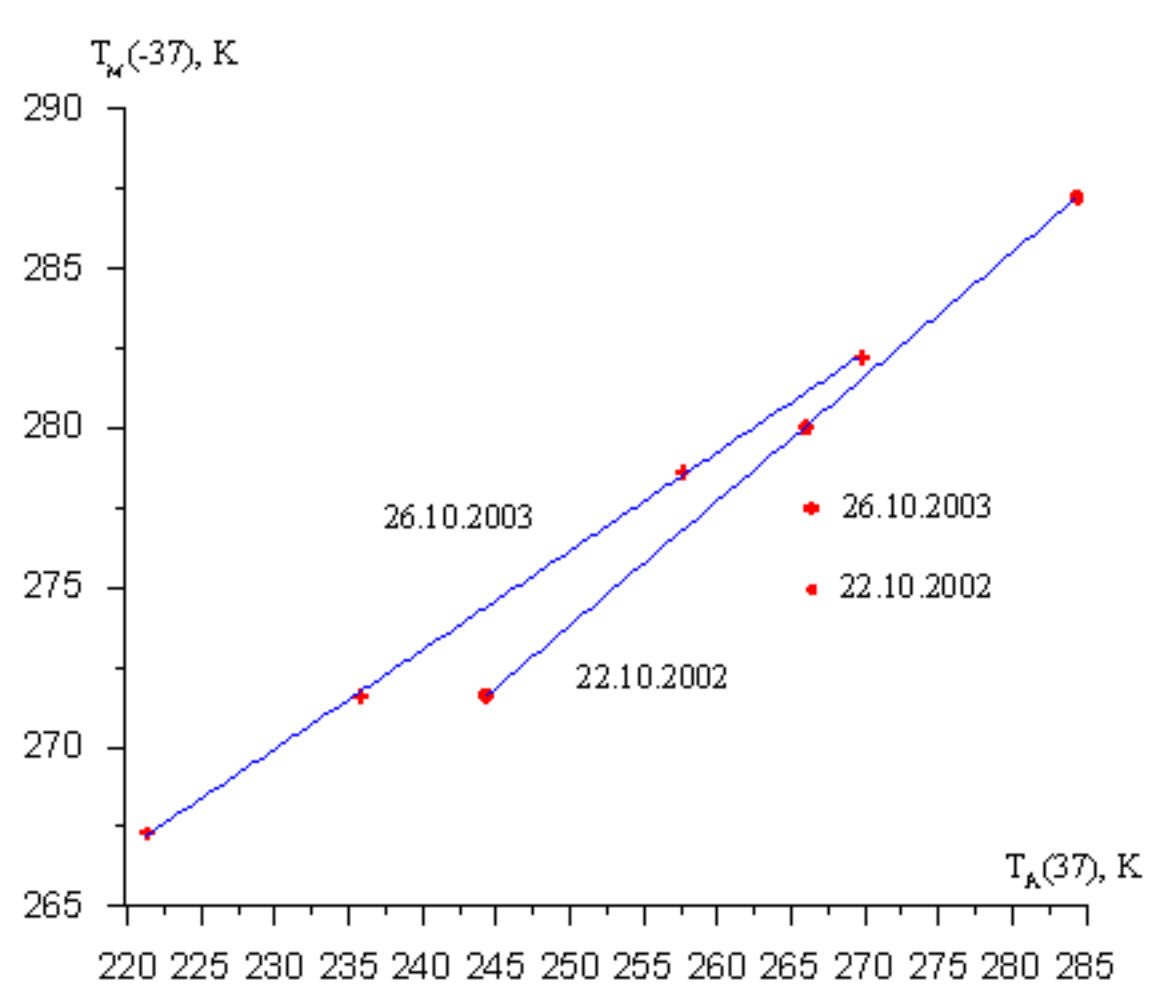
В результате многолетних (более 20 лет) теоретических и экспериментальных исследований обнаружены новые флуктуационно-поляризационные свойства радиоизлучения поверхности моря, на их основе был создан уникальный метод одновременного дистанционного определения температурных и диэлектрических свойств пленочного слоя морской поверхности. Создан и апробирован в условиях реального морского волнения (научная станция НИРФИ "Кара Даг") аппаратный комплекс, реализующий новые информационно-телекоммуникационные технологии, основанные на этом методе. Обнаружено, что в натуральных условиях в пленочном слое морской поверхности диэлектрические свойства воды изменчивы и могут существенно отличаться от стандартных моделей.

Полученные результаты могут быть использованы для мониторинга состояния морской поверхности и атмосферы и обнаружения слабоконтрастных объектов на морской поверхности.



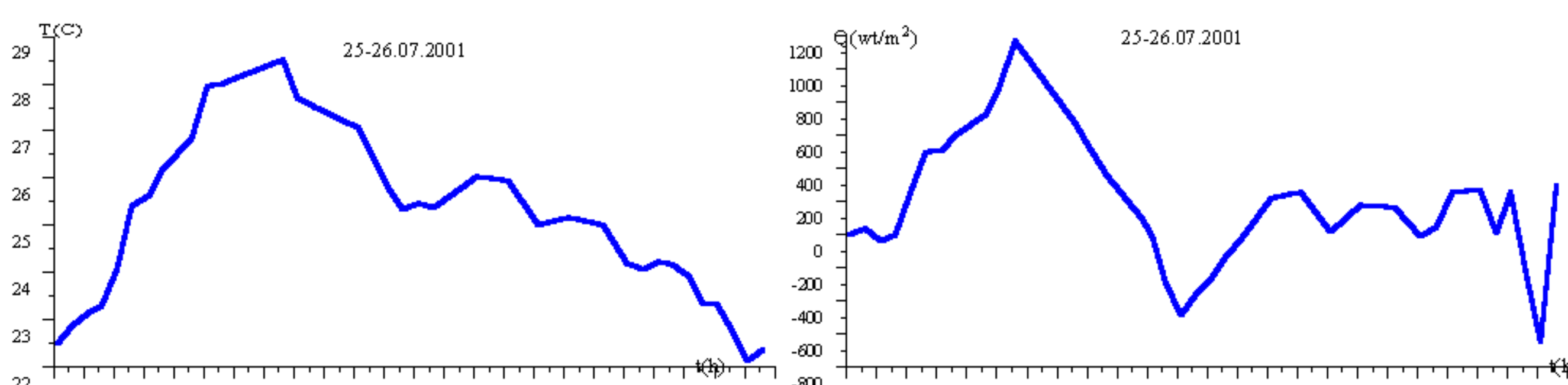
Флуктуации радиоизлучения моря вызванные волнением на выходе фазово-поляризационной системы (нижний график) по сравнению с обычной (верхний).

На основе фазово-поляризационных свойств радиоизлучения моря разработана методика подавления флуктуаций, связанных с ветровым волнением. Это позволяет существенно (до 10 раз) уменьшить флуктуации радиоизлучения моря, связанного с волнением и улучшить соотношение сигнал-шум. Технологии, созданные на этой основе, могут быть использованы при создании нового поколения радиофизических приборов для определения температурных распределений на морской поверхности, в том числе при сильном волнении.



Зависимости между радиоизлучением моря и атмосферы по которым определяются коэффициенты отражения морской поверхности

Разработан и апробирован в натуральных условиях метод радиометрических дистанционных одновременных измерений температуры и излучательной способности верхнего слоя температурной пленки морской поверхности толщиной 0.2 мм в натуральных условиях при ветровом волнении, отличающийся повышенной точностью. Повышение точности достигнуто благодаря применению методики измерений, основанной на измерении интенсивности радиоизлучения поверхности при подсветке ее излучением известной, но изменяющейся мощности. В эксперименте такой подсветкой являлось радиоизлучение атмосферы, яркостная температура которой значительно изменяется в зависимости от частоты на склоне полосы поглощения (52.5+56 ГГц) молекулярного кислорода. В результате по корреляционной зависимости между яркостными температурами излучений поверхности и атмосферы, измеренными радиометром – спектрометром на ряде каналов, разнесенных по частоте, определяется излучательная способность и температура в скин-слое.



Суточный ход температуры по измерениям в СВЧ диапазоне (слева) и теплового потока (справа) в плёнке на границе море-атмосфера по натуральным измерениям в июле-августе 2001 г. в районе научной станции Кара Даг.

Разработанные методы и аппаратные комплексы позволяют измерять температуру плёночного слоя морской поверхности на разных глубинах. По одновременным измерениям в инфракрасном (8-14 микрон) и СВЧ (4см) диапазонах в условиях ветрового волнения могут быть измерены температурные градиенты в поверхностной температурной плёнке и определён тепловой поток на границе морская поверхность – атмосфера.



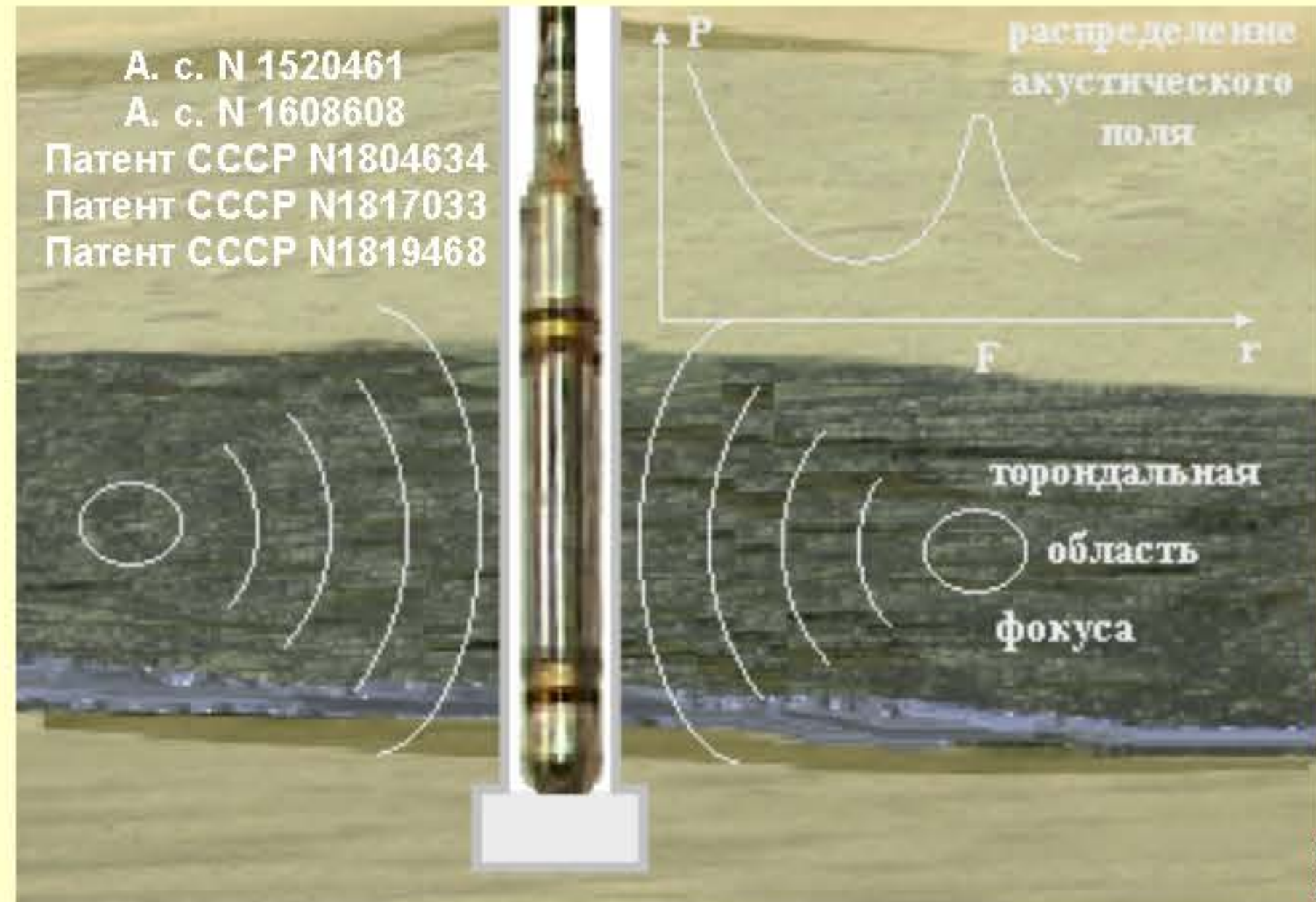
АКУСТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

АКУСТИЧЕСКАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

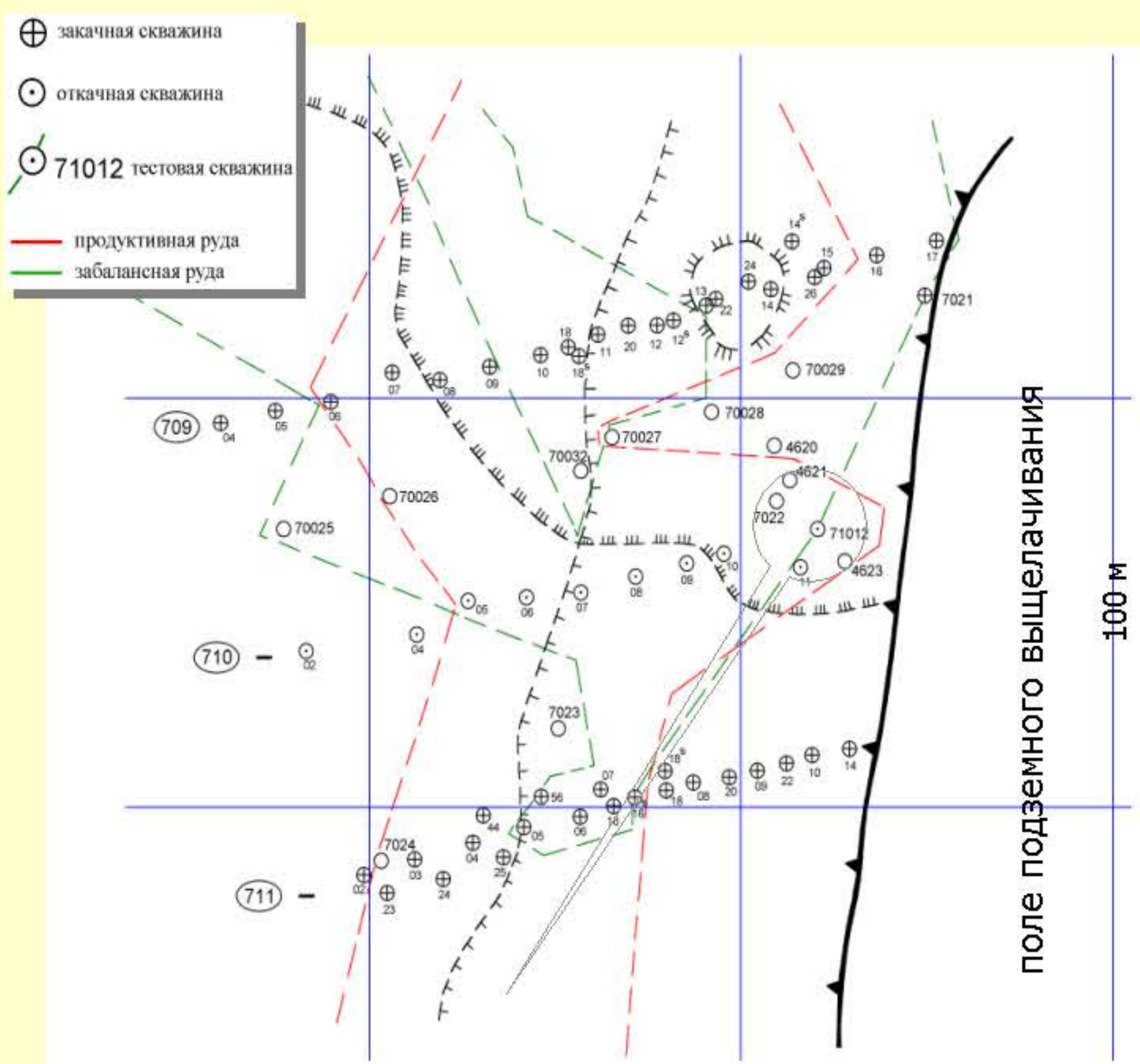
Современный подход к добыче
твёрдых полезных ископаемых



Новый тип скважинных акустических излучателей
(Касьянов Д. А., Шалашов Г. М., ФГНУ НИРФИ)



**Первый в мире полевой эксперимент по акустической интенсификации
подземного выщелачивания редких металлов (НИРФИ – НГМК, 1988-1992 гг)**

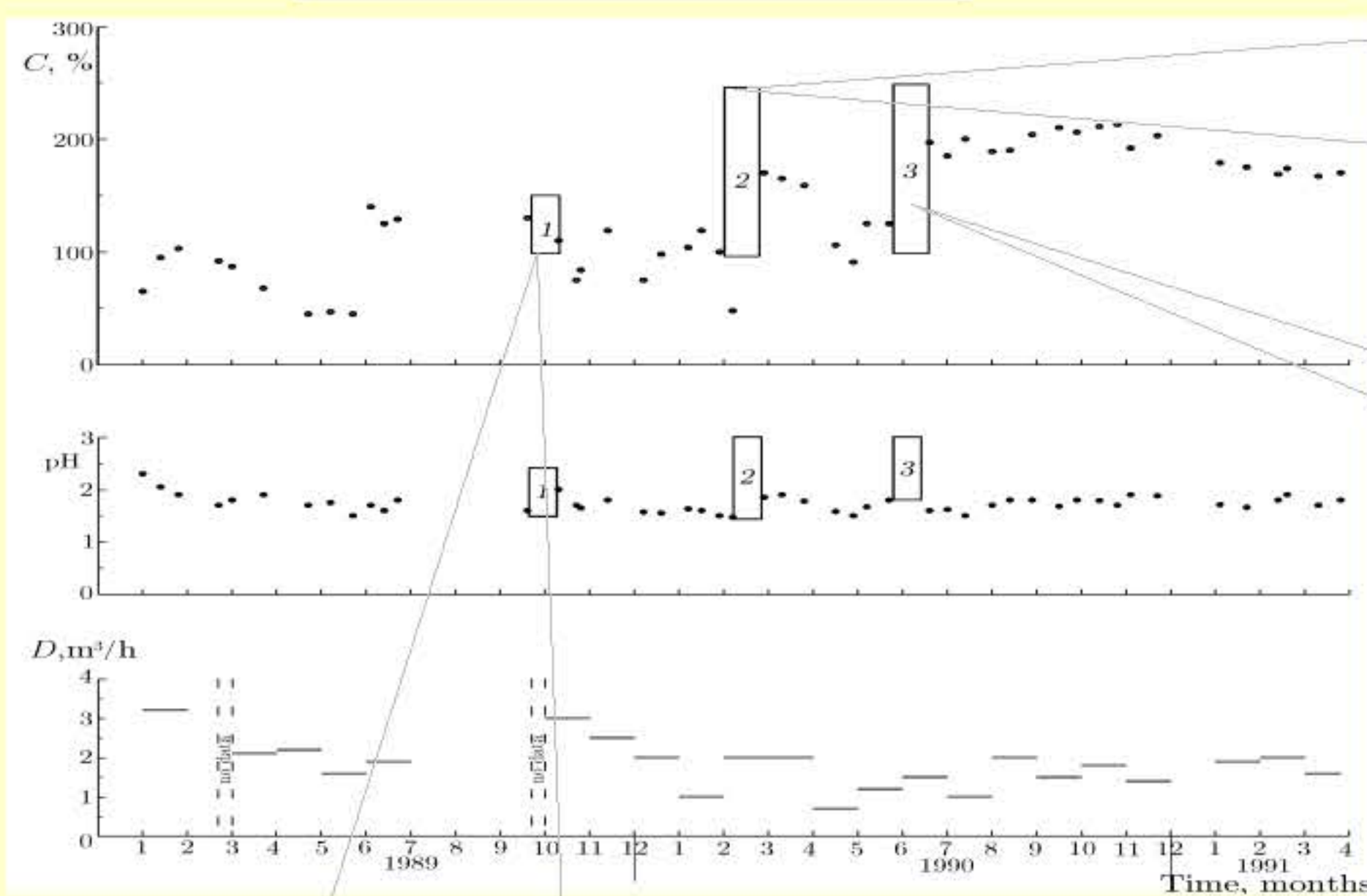


Характеристики фокусирующей
скважинной антенны
(цилиндрической зонной линзы),
использованной для интенсификации
подземного выщелачивания:

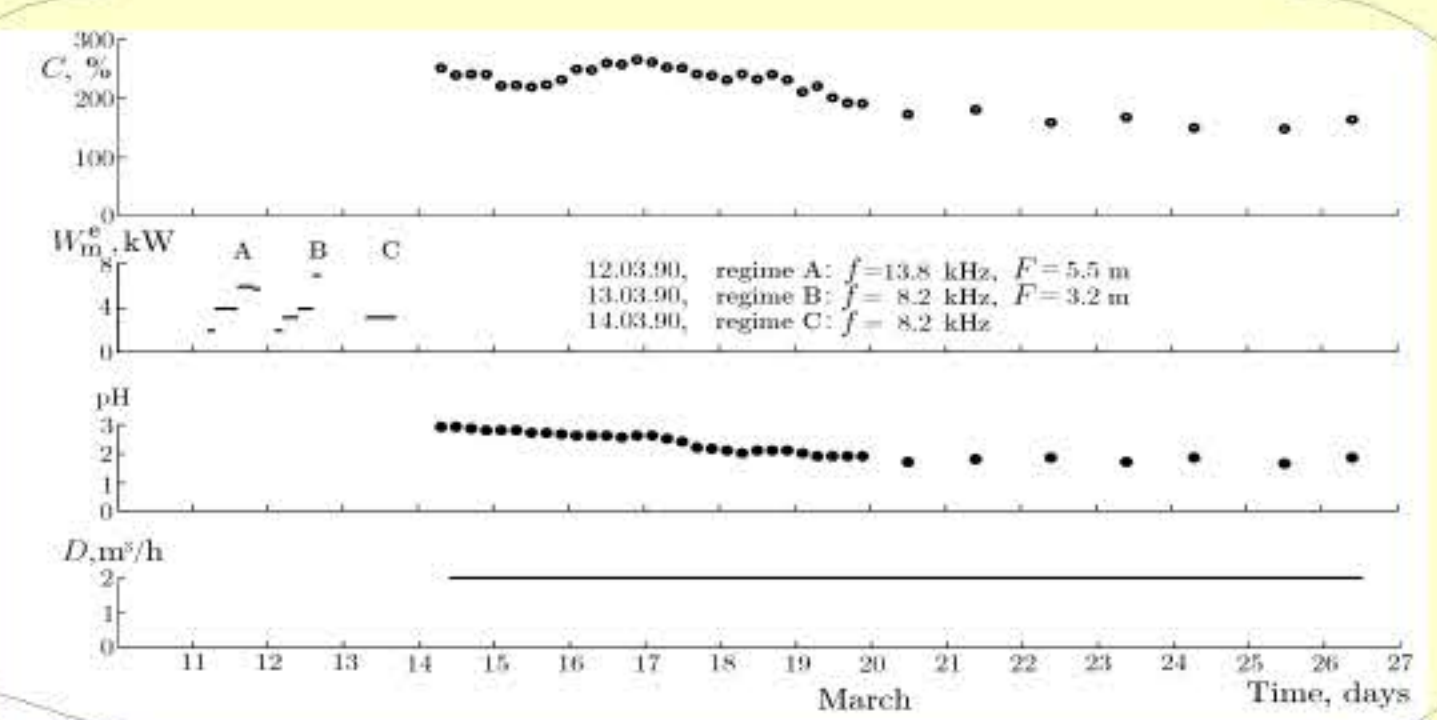
- Резонансная частота в воде: ~ 15 кГц
- Добротность: не более 10
- Диаметр антенны: 80 мм
- Начальная интенсивность: до 2 Вт/см²
- Длина антенны: ~ 5 м (5 модулей, длиной от: 0.5 - 1.5 м)
- Глубины в эксперименте: 170 - 210 м
- Длина фокуса в воде: 7.5 м
- Коэффициент усиления: 0,45 (антенна содержала 7 зон Френеля)
- Возможные глубины: до 1 км.
- Режимы работы в эксперименте: частота 13,8 кГц, фокус – 5,5 м; частота 8, 2 кГц, фокус – 3,2 м.



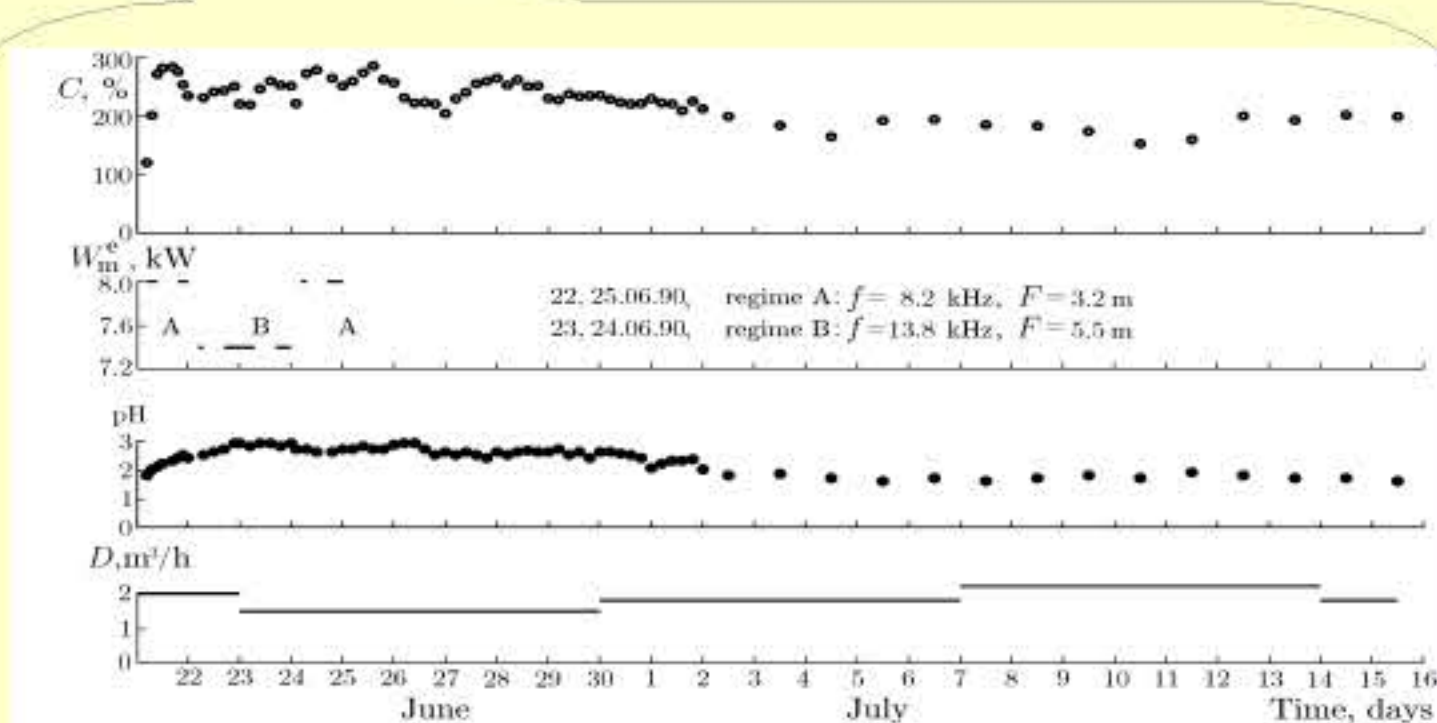
История скважины № 71012



Пробные эксперименты по исследованию около
скважинного пространства. Получены данные:
Скорость продольных волн: 1900±100 м/с
Скорость поперечных волн: 980±120 м/с
Декремент затухания продольных волн: 1,5...3·10⁻³



Первая
фаза
интенсификации



Вторая
фаза
интенсификации

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Можно получить долговременный эффект (6 – 12 месяцев), выражающийся в резком увеличении выхода полезного компонента в продуктивный раствор (200 – 300%), при кратковременном воздействии мощным акустическим полем (50 – 80 часов).
2. Долговременный эффект является пороговым по отношению к акустическому полю. В обрабатываемой зоне необходимо создать плотности потока энергии акустического поля порядка 0.1 Вт/см²
3. Механизм долговременного эффекта увеличения содержания полезного компонента в откачиваемом растворе связан, по всей видимости, с тем, что в результате действия акустического поля стало возможно действие активного раствора на полезный компонент, находящийся в слабопроницаемых пропластках. Таким образом, действие акустического поля определённой интенсивности в течение определённого промежутка времени переносит реакцию взаимодействия полезного компонента с активным раствором из обеднённых слоёв в слой с более высоким содержанием полезного компонента. Подобное явление можно объяснить снятием внутрипластовой газовой кольматации, появившейся из-за химических процессов, связанных с выделением газа.
4. Наиболее эффективным средством воздействия из скважин на процесс подземного выщелачивания является сфокусированное акустическое поле, создаваемое фокусирующими скважинными антеннами, принципы и методы построения которых разработаны в ФГНУ НИРФИ.



РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

АКТУАЛЬНОСТЬ

Задача высокоточного контроля изделий машиностроения является насущной проблемой современной промышленности. Ресурсные возможности машин, их надежность и экологическая безопасность напрямую связана с чистотой обработки ответственных деталей: внутренних поверхностей цилиндров двигателей, шеек валов, плунжерных пар, подшипников и т.д. Известно, что при одинаковой массе и конструкции отечественные двигатели обладают почти трехкратно меньшими ресурсами, и существуют проблемы с их международной экологической сертификацией.

В настоящее время на российском рынке, несмотря на огромную потребность промышленности в высокопроизводительных нанометровых средствах и технологиях контроля поверхностей, доступной и массовой альтернативы механическим микрометрам нет.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В промышленно развитых странах в зависимости от уровня технологической оснащенности разработано и уже используется три поколения устройств прецизионного контроля формы и качества машиностроительных деталей.

I - «тактильные»

Измерения производятся путем механического касания щупа поверхности контролируемой детали. Недостатки: опасность повреждения образца; низкая производительность; малый ресурс.

II - оптические, точечные

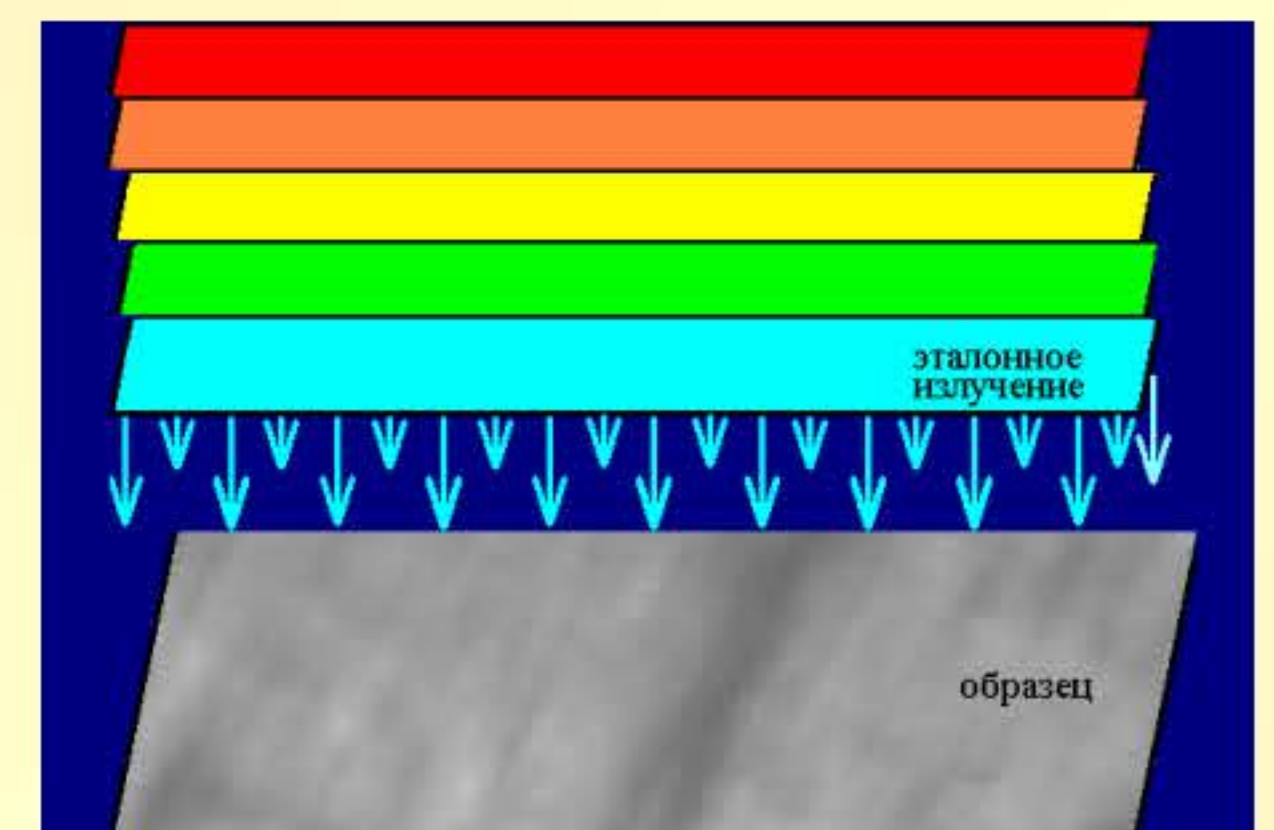
Механический щуп заменен лазерной головкой. Измерения производятся бесконтактно и последовательно. Недостатки: высокая чувствительность к вибрация и низкая производительность.

III - оптические, параллельные

Измерения производятся бесконтактно, одновременно в целом массиве точек от 100000 и более. Недостатки: малый динамический диапазон высотных измерений, ограничение размеров исследуемых деталей.

В ФГУП НИИРФИ разработан интерференционный оптический метод удаленного прецизионного контроля линейных размеров и формы поверхностей. В основе метода лежит явление интерференции высоких порядков широкополосного оптического излучения, открытое и исследованное сотрудниками лаборатории оптических измерений отдела сейсмологии и акустики. Использование оптического зондирующего излучения со сложным изменяющимся во времени спектральным составом позволило преодолеть неоднозначность измерений при больших перепадах высот, проводить измерения со значительных расстояний и осуществлять привязку данных измерений к самым точным метрологическим стандартам (длина волны спектральной линии криптона).

Это стало принципиальным шагом к созданию основ для четвертого поколения технологий контроля высокоточных деталей машиностроения.



Модуляция фазы интерферограммы осуществляется за счет сканирования спектральным составом зондирующего излучения.

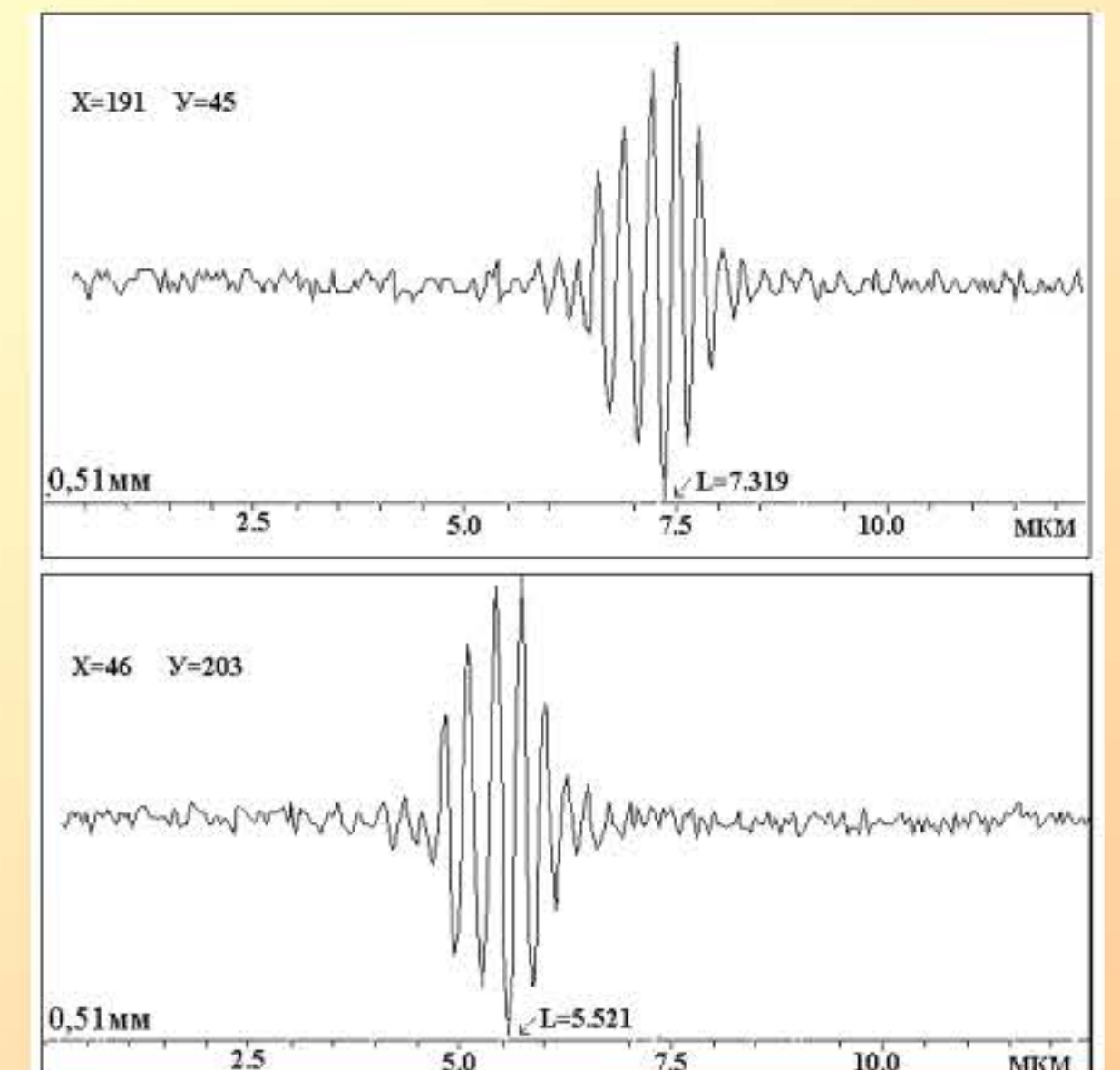


Прецизионный оптический профилометр для 3-х мерного контроля высотных микронеровностей поверхностей плоской формы с размерами до 200 мм в диаметре.

(Патенты РФ № 2085680, 2085843 от 30.09.1994)

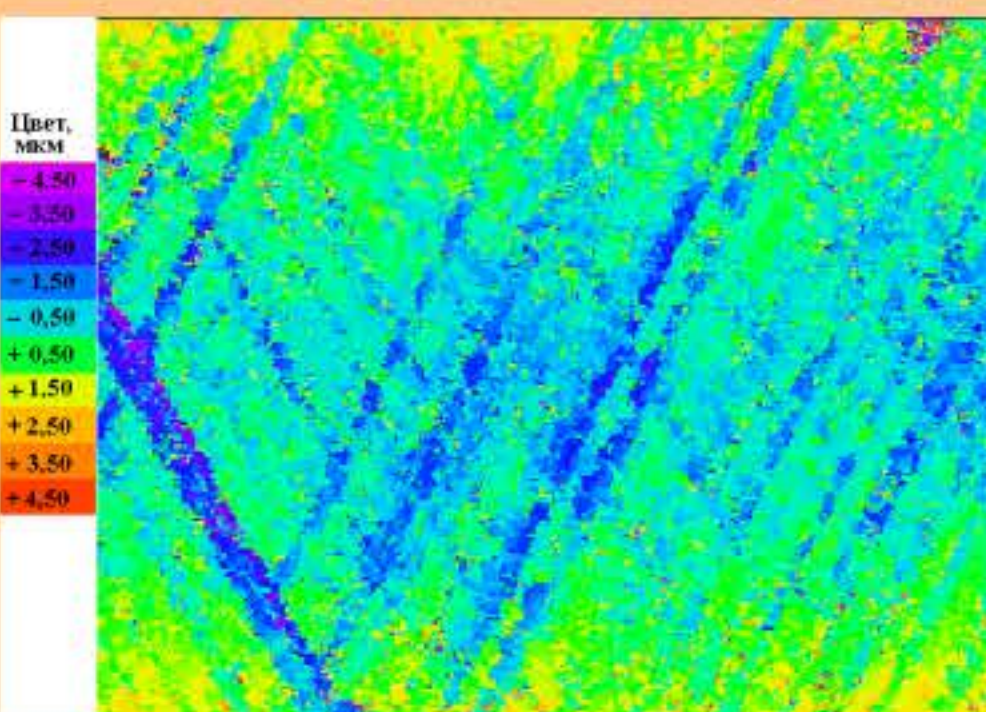
ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА разработанных методов и устройств прецизионного контроля поверхностей

- ➔ высокая точность (до единиц нанометров);
- ➔ большой динамический диапазон (от 1 мкм до 100 мм);
- ➔ возможность абсолютной калибровки измерительного устройства атомными эталонами длины;
- ➔ возможность «in situ» контроля, т.е. в режиме «нон стоп» в процессе технологической обработки;
- ➔ снятие ограничений на размеры и вес исследуемых деталей.

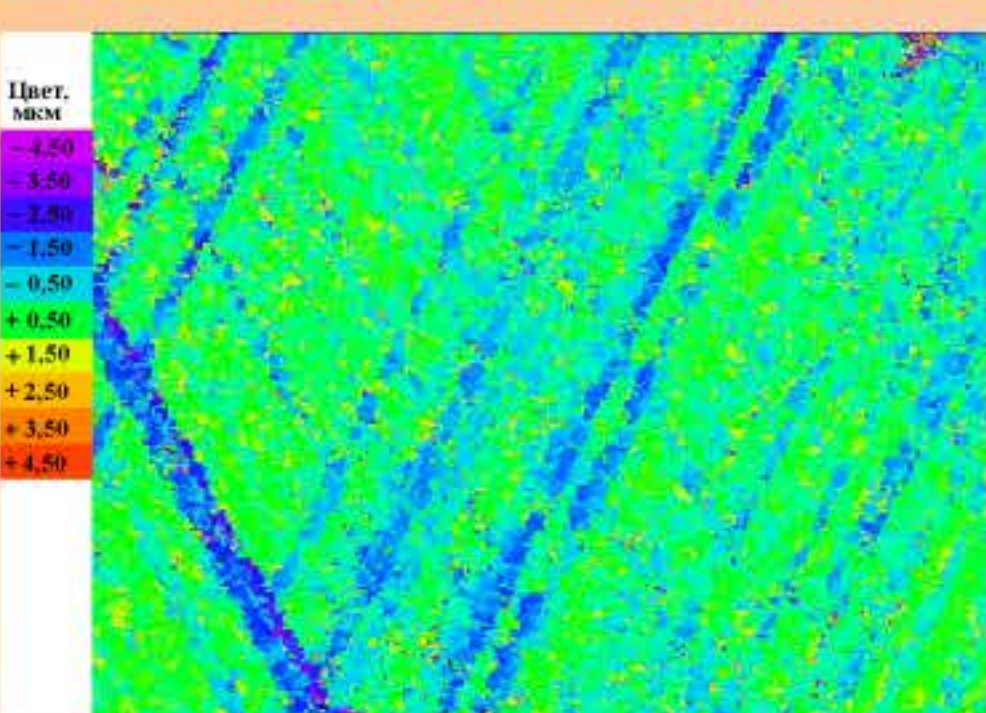


Осциллограммы интенсивности в 2 пикселях CCD-камеры, полученные при измерении шлифованной поверхности. Расстояние до поверхности исследуемого образца определяется по максимуму огибающей.

Результаты измерений реальных образцов машиностроительных деталей

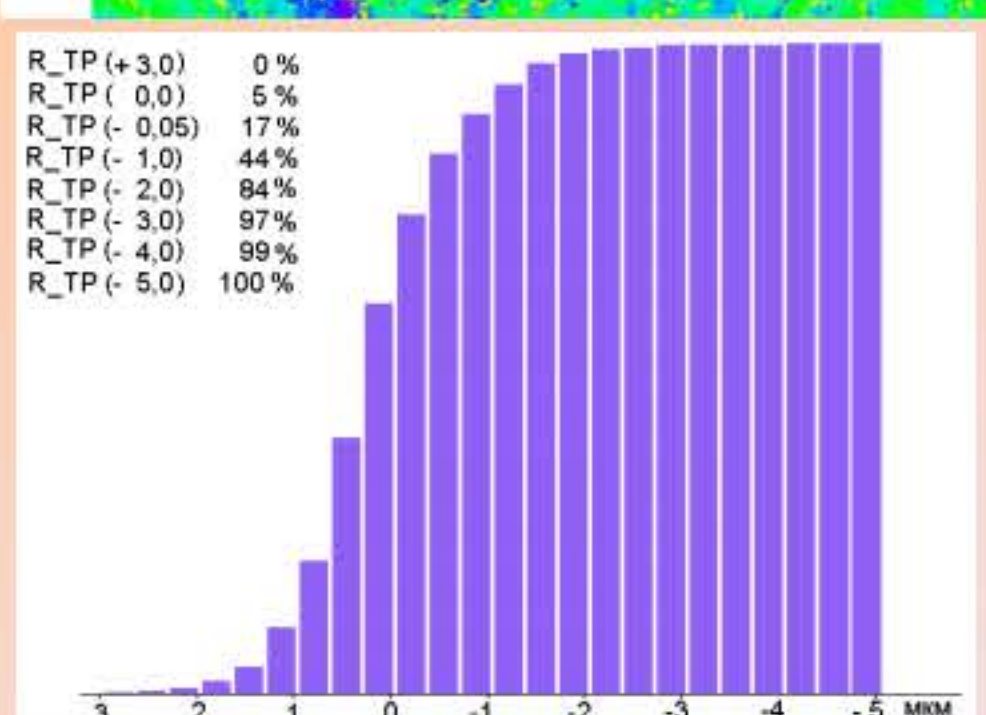


3-х мерный профиль участка поверхности внутренней стенки цилиндра автомобильного двигателя (1,5x1,5мм², диаметр цилиндра - 120мм). Усложнение структуры поверхности (наклонные полосы) обусловлено технологической операцией «хонингования» стенок цилиндра. Наличие глобального перепада высот ~2мкм (сверху вниз по рисунку) связано с цилиндричностью поверхности.



3-х мерный профиль того же участка поверхности внутренней стенки цилиндра за вычетом цилиндрической составляющей.

Пространственное разрешение - 5мкм, высотное разрешение - 0.01 мкм



Гистограмма распределения высот в профиле поверхности исследуемого образца, описывающая относительную площадь поверхности, отклонения в которых не превышают определенного уровня от среднего. Именно эта функция определяет потери на трение, ресурсы двигателя на износ стенок цилиндров и колец, а также потери масел и экологические характеристики выхлопных газов.

Унифицированный интерферометрический модуль для контроля качества внутренних стенок цилиндров



50 лет НИРФИ
1956 – 2006
Часть II

Оригинал макет подготовлен в
Редакционно-издательском отделе ФГНУ «НИРФИ»

Подписано в печать 02.06.2006 г. Формат 60 × 84/8
Бумага писчая. Объем 4,42 усл. п. л. Заказ 5560. Тираж 50.

Отпечатано в ФГНУ «НИРФИ».
603950 Н.Новгород, ул. Б.Печерская, 25