

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**федеральное государственное бюджетное научное учреждение**  
**«Научно-исследовательский радиофизический институт»**  
**(ФГБНУ НИРФИ)**

## **Препринт № 549**

Результаты научной деятельности ФГБНУ НИРФИ  
за 2011 год

**Нижний Новгород**

**2013**

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФГБНУ НИРФИ  
ЗА 2011 ГОД // Препринт №549. – Нижний Новгород: ФГБНУ  
НИРФИ, 2013. – с.80

УДК 501

В препринте приведены итоги работы ФГБНУ НИРФИ за 2011 год.

© Научно-исследовательский радиофизический институт, 2013



В препринте изложены основные результаты деятельности Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский радиофизический институт» в 2011 году.

### *Итоги научной деятельности*

В 2011 г. в ФГБНУ НИРФИ выполнялись 59 научно-исследовательских, опытно-конструкторских и хозяйственных работ. Из них: 1 – по тематическому плану, 1 – по государственному контракту с Федеральным агентством по науке и инновациям от 08.06.2009 г. №02.518.11.7164 в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по лоту «Проведение исследований в области рационального природопользования с использованием уникальных установок (мероприятие 1.8 Программы)», 3 НИР – по контрактам в рамках ФЦП «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на

2008-2015 годы», 2 НИР – в рамках Научно-технической программы Союзного государства «Нанотехнология-СГ», 1 НИР – в рамках Федеральной космической программы России на 2006–2015 годы, 27 НИР – по грантам РФФИ, в том числе 6 проектов финансируются из средств и РФФИ, и Министерства промышленности и инноваций Нижегородской области, 30 хоздоговорных работ.

По итогам года 2 результата рекомендованы в годичный отчет РАН, 27 результатов направлено в Научные советы РАН.

Опубликованы 110 статей в российских и зарубежных журналах и в трудах конференций и симпозиумов, 58 тезисов докладов и издано 5 препринтов.

При выполнении работ по тематическому плану в 2011 году получены следующие основные результаты:

1. Разработан ряд положений применения радиointерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ) для определения положения искусственных объектов в околоземном космическом пространстве.

2. Проведены комплексные фундаментальные и прикладные исследования распространения радиоволн в естественной и искусственно возмущенной ионосфере с использованием созданного ионозонда/пеленгатора с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ).

3. Проведены научно-методические разработки автоматизированных систем дистанционного микроволнового зондирования природных сред.

4. Создан макет специализированного радиофизического приборного комплекса дистанционной диагностики морской поверхности и осуществлены научные исследования физических параметров пленочного слоя морской поверхности.

5. Разработан метод обнаружения, определения координат и эффективных параметров спорадических литосферных источников электромагнитного поля с уровнем ниже регулярного шумового фона по измерениям горизонтальной составляющей магнитного поля в двух приемных пунктах.

6. Проведено совершенствование методов обнаружения локализованных подповерхностных неоднородностей в грунтах и материалах на основе исследований рассеяния поверхностных акустических волн Рэлея в твердых телах.

7. Разработан и создан лабораторный образец интерферометрического модуля, сочетающий в себе одновременно высокую точность (до единиц нанометров) и высокую производительность (до 75000 точек за 0,5 сек) с возможностью непосредственной поверки его абсолютными квантовыми стандартами длины.

На основе результатов поисковых и прикладных НИОКР по приоритетным направлениям науки, технологий и техники и критическим технологиям федерального уровня в 2011 году произведено 7 наименований научно-технической продукции.

В институте в 2011 году осуществлялась экспертная и патентная деятельность.

Новый Устав института разработан и утвержден в 2011 г.

Отдел аспирантуры ведет образовательную деятельность в сфере послевузовского профессионального образования по специальностям: астрофизика и радиоастрономия (01.03.02), приборы и методы экспериментальной физики (01.04.01), радиофизика (01.04.03). Общая численность аспирантов и соискателей в 2011 году составила 8 человек.

При ФГБНУ НИРФИ функционирует совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по трем специальностям научных работников.

ФГБНУ НИРФИ осуществляет выпуск журнала «Известия вузов. Радиофизика»

Сотрудники института принимали участие в 29 международных и 19 российских конференциях.

В 2011 году 19 сотрудников института занимались учебной и преподавательской работой в вузах и техникумах Нижнего Новгорода.

## Премии и награды

1. **К. С. Станкевич** – Почетная грамота Министерства образования и науки РФ.

2. **В. П. Урядов** – Почетный диплом губернатора Нижегородской области.

3. **А. В. Рябов** – Диплом 2-й степени по естественно-научным дисциплинам на 16-й Нижегородской Сессии молодых ученых.

4. **В. Л. Фролов** – Медаль им. Ю. В. Кондратюка, награжден Федерацией космонавтики России.

5. **Ю. В. Токарев** – памятная медаль им. Юрия Гагарина, посвященная 50-летию первого полета человека в космос.

6. **Г. П. Комраков** – памятная медаль им. Юрия Гагарина, посвященная 50-летию первого полета человека в космос.

**Результаты,  
рекомендованные Ученым советом  
в годичный отчет РАН**

**Экспериментально доказано, что периодическое воздействие мощным КВ радиоизлучением на ионосферу Земли приводит к генерации (усилению) перемещающихся ионосферных возмущений, распространяющихся от возмущённой области ионосферы. Характеристики обнаруженных перемещающихся возмущений близки к характеристикам внутренних гравитационных волн.\***

***В. Л. Фролов, В. П. Урядов, Г. П. Комраков (ФГБНУ НИРФИ)***

*(МГУ им М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия).*

*(Институт ионосферы МОН и НАН Украины, г. Харьков, Украина).*

*(Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, г. Харьков, Украина).*

Эксперименты по обнаружению генерации перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) и изучению их свойств проводились на стенде СУРА (ФГБНУ НИРФИ, Нижний Новгород, Россия) с использованием таких методов диагностики ионосферных возмущений, как:

- 1) радар некогерентного рассеяния, расположенный вблизи г. Харьков;
- 2) доплеровский радар для вертикального зондирования ионосферы, расположенный вблизи г. Харьков;
- 3) низкоорбитальная спутниковая радиотомография;
- 4) прием сигналов GPS/ГЛОНАСС.

При проведении измерений с использованием различных режимов излучения мощной радиоволны (частота, мощность, поляризация, длительность и период повторения импульсов) были обнаружены ПИВ, которые имели следующие характеристики:

- скорость распространения от возмущённой области (ВО) ионосферы в направлении диагностического пункта (г. Харьков) составляет 300 – 500 м/с;
- пространственный период возмущений составляет 200 – 250 км;
- период наиболее эффективно возбуждаемых возмущений составляет десятки минут;
- относительная амплитуда возмущений концентрации электронов составляет 1 – 4% (до 10% в отдельных случаях).

Отмечается, что генерация ПИВ более эффективна при использовании для нагрева ионосферы мощных радиоволн *O*-поляризации, когда они отражаются вблизи максимума её *F2*-слоя.

---

\* Результат направлен также в Научный совет РАН по распространению радиоволн



Наблюдаемый эффект можно объяснить генерацией внутренних гравитационных волн периодическим нагревом ионосферной плазмы в режиме, близком к симметричному меандру, с частотой меньше или порядка частоты Брента-Вяйсяля и последующим их распространением от возмущённой области ионосферы.

**Основные публикации:**

1. Бурмака В. П., Домнин И. Ф., Урядов В. П., Черногор Л. Ф. Вариации параметров рассеянных сигналов и ионосферы, сопутствовавших воздействию на плазму мощным радиоизлучением. // Изв. вузов Радиофизика. Т.52, №11, с.859, 2009.
2. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л., Комраков Г. П., Пушин В. Ф. Вариации спектра ионосферных волновых возмущений при периодическом нагреве плазмы мощным высокочастотным радиоизлучением. // Изв. вузов Радиофизика. Т.54, №2, с.81, 2011.
3. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л. Перемещающиеся ионосферные возмущения, генерируемые периодическим нагревом плазмы мощным высокочастотным радиоизлучением. // Изв. вузов Радиофизика. 2011 (подготовлена к печати).
4. Куницын В. Е., Андреева Е. С., Падохин А. М., Фролов В. Л. Пространственная структура ионосферных возмущений, вызванных мощным КВ-радиоизлучением стенда СУРА, по данным спутниковых навигационных систем. // Письма в ЖЭТФ. 2011 (подготовлена к печати)

Для крупных небесных тел Пояса Койпера (диаметр более 900 км, плотность более 2000 кг/м<sup>3</sup>) методами математического моделирования процессов формирования и тепловой эволюции определены границы значений физических параметров аккреционного материала и предельная величина содержания в нем радионуклидов, обеспечивающие как само существование тел в настоящее время, так и наличие в его недрах обширных областей, заполненных жидкой водой.\*

**О. Б. Шуко** (ФГБНУ НИРФИ)

**С. Д. Шуко** (НГТУ)

**D. V. Kartashov** (Technische Universität Wien (TUW) Institut für Photonik, Wien, Österreich),

**R. Orosei** (Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario, Rome, Italy)

Рассматриваются модели тепловой эволюции крупных тел Пояса Койпера (КВО) со средней плотностью, превышающей 2000 кг/м<sup>3</sup>. Такими телами являются, например, (90482) Orcus, (55565) AW197, (50000) Quaoar.

Предполагается, что строительным материалом этих тел являлось твердое пылевое вещество периферийных областей протосолнечной туманности и тонко фракционированный конденсат H<sub>2</sub>O в виде аморфного льда. При этом высокая плотность вещества КВО предполагает более высокое содержание твердой компоненты, чем в ледяных телах.

Твердое пылевое вещество аккреционного материала представляло собой мелкие пылевые частицы, имеющие различный химико-минералогический состав. Частицы одного типа состояли, в основном, из минералов алюмосиликатного ряда, характерных для вещества каменных метеоритов. Эти частицы являлись носителями радионуклидов <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K, которые и становились источниками радиогенного тепла. Частицы другого типа, состоящие, в основном, из минералов, характерных для вещества железных и железокремнистых метеоритов, обладая значительно большей плотностью, не содержали радионуклиды.

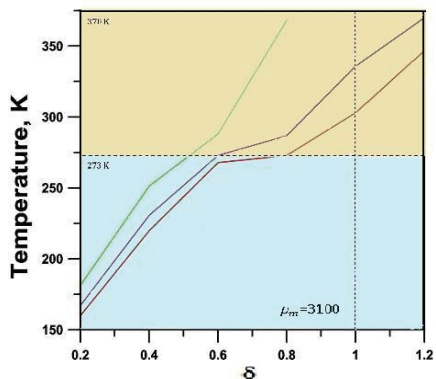
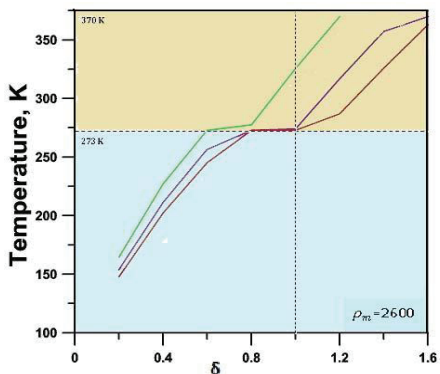
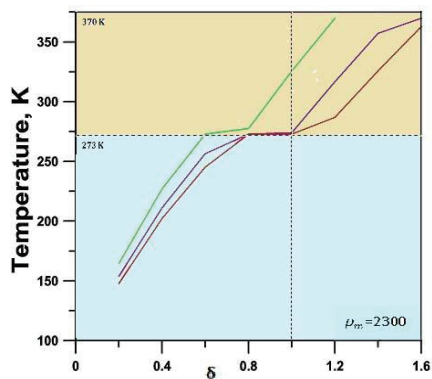
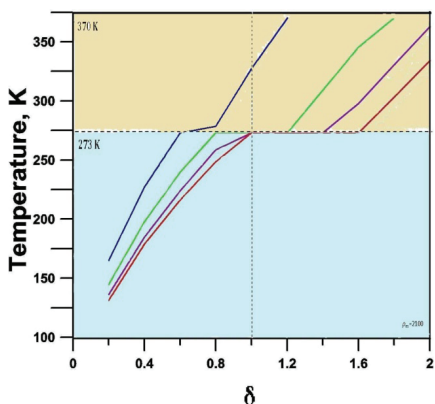
Конденсат H<sub>2</sub>O обеспечивал наличие аморфного льда в сформированном веществе тела. Радиогенное тепло приводило к фазовым переходам H<sub>2</sub>O, определяющим степень дифференциации вещества небесного тела. При этом количественное содержание радионуклидов в момент начала формирования тела определяло динамически меняющуюся степень дифференциации вещества на различных глубинах КВО от начала формирования тела вплоть до настоящего времени.

---

\* Результат направлен также в Научный совет РАН по астрономии

Для рассматриваемых моделей определены свойства вещества аккреционного материала, обеспечивающие возможность существования в настоящее время небесного тела с экспериментально определенными физическими характеристиками. Определены границы сферически симметричных областей с различной степенью дифференциации вещества в них в зависимости от его средней плотности, удельного содержания в аккреционном материале твердой пылевой компоненты того и другого типа, а также от содержания в нем радионуклидов и аморфного льда.

Для определенности рассматривалось небесное тело типа КВО (50000) Quaoar с моделируемыми параметрами состава его вещества. Температура вещества определяется содержащимся в нем количеством радионуклидов, динамически меняющимся в процессе тепловой эволюции от момента формирования тела до настоящего времени. За единицу измерения содержания радионуклидов (параметр  $\delta=1$ ) было принято их содержание в веществе Земли (*Morgan J. W., Anders E. Chemical composition of Earth, Venus and Mercury // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1980. 77 (12), 6973-6977*), пересчитанное на момент начала формирования объектов Солнечной системы  $4,5 \cdot 10^9$  лет назад. Допустимыми моделями вещества небесного тела считались те модели, температура вещества которых не превышала 370 К.



На рисунках приведена зависимость от параметра  $\delta$  температуры вещества центральной области небесного тела в настоящее время. Эта температура, определяя фазовые состояния  $H_2O$ , характеризует степень дифференциации вещества тела для различных моделей его состава, то есть для различных значений средней плотности вещества:  $\rho_m=2100, 2300, 2600, 3100 \text{ кг/м}^3$ ; и средней плотности пылевой компоненты  $\rho_d$ :  $\rho_d = 2600$  (синяя линия),  $\rho_d = 3600$  (зеленая линия),  $\rho_d = 4600$  (фиолетовая линия),  $\rho_d = 5600$  (красная линия).

***Основные публикации:***

*Shchuko O. B., Shchuko S. D., Kartashov D. V., Orosei R. Kuiper Belt objects: interior matter differentiation as dependent on accretion material composition // Congress European Geosciences Union, Viena, 3-8 April 2011.*

**Результаты,  
направленные в Научный совет  
по астрономии  
при отделении Физических наук РАН  
3. Солнце**

Установлены на основе статистического анализа событий в отдельные периоды XXI-XXIII циклов солнечной активности закономерности существования микроволновых радиопредвестников геоэффективных корональных выбросов массы, заключающиеся в следующем:

- наличие широкополосного радиоизлучения, по крайней мере, в одном из диапазонов сантиметрового или дециметрового излучения;
- длительность радиопредвестников – более 10 минут

Показано, что такие радиопредвестники предшествуют корональным выбросам, обладающим наибольшей потенциальной геоэффективностью.\*

*О. А. Шейнер, В. М. Фридман*

На примере 339 корональных выбросов массы, наблюдавшихся на различных фазах XXI-XXIII циклов солнечной активности (1980, 1984-1988, 1989, 1998, 1999 и 2003 гг.), проанализировано поведение спорадического радиоизлучения Солнца на двухчасовом интервале, предшествующем регистрации геоэффективных корональных выбросов на коронографах. В качестве критерия геоэффективности событий корональных выбросов массы принимался рост последовательных значений  $Kp$ -индекса на 2 единицы и понижение уровня  $Dst$ -индекса ( $-30 \text{ nT} \leq Dst$ ) в течение 1-3 дней после регистрации выбросов на коронографах.

Из анализа следует, что наличие шумовых бурь не является признаком, по которому можно судить о геоэффективности солнечных корональных выбросов массы.

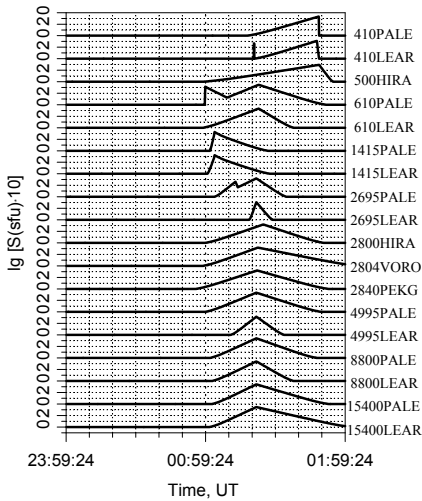
Поэтому в дальнейших исследованиях рассматривалось только микроволновое (сантиметровое и дециметровое) спорадическое радиоизлучение Солнца.

Примеры спорадического радиоизлучения, наблюдаемого перед регистрацией геоэффективных корональных выбросов массы в виде схематических временных профилей приведены на рисунке.

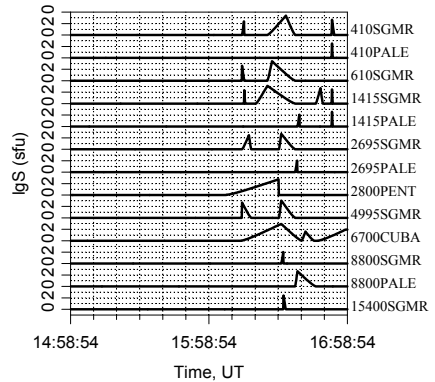
---

\* Результат направлен также в Научный совет РАН по физике солнечно-земных связей

02-03.11.03



29.04.98



Правый край оси X – момент регистрации выбросов на коронографе LASCO/C2. По оси Y справа обозначены наблюдаемые частоты в МГц и аббревиатуры названий обсерваторий. Слева на оси Y – наблюдаемые потоки радиоизлучения в логарифмическом масштабе.

Следует подчеркнуть, что учёт явлений в широком спектре электромагнитных волн, включая микроволновое излучение, на стадии формирования и начального распространения корональных выбросов массы, является, на наш взгляд, необходимым этапом комплексного подхода к рассмотрению геоэффективности корональных выбросов и их влияния на параметры околоземного пространства.

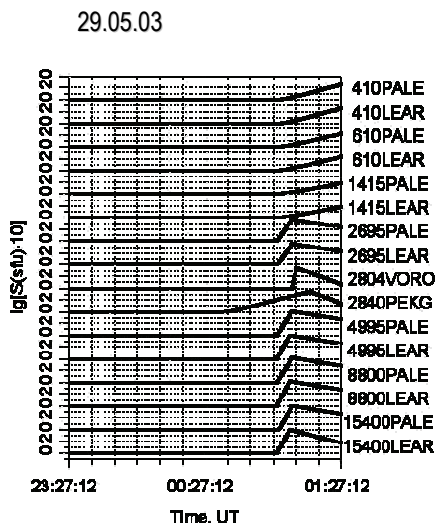
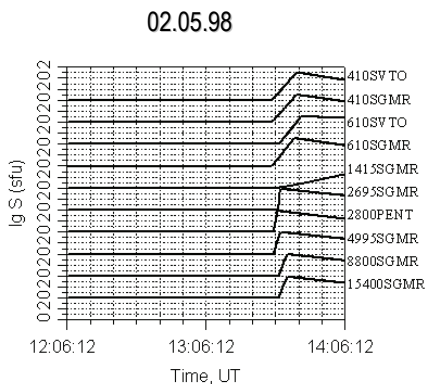
#### **Основные публикации:**

1. Шейнер О.А., Фридман В.М. Характер микроволнового солнечного излучения, наблюдаемого на стадии формирования и начального распространения геоэффективных корональных выбросов массы // Изв. Вузов. Радиофизика. 2011. Т. 54, № 10. С. 727-740.

Подтверждено на основе статистического анализа событий в отдельные периоды XXIII цикла солнечной активности, что корональным выбросам массы классов гало и частичное гало предшествуют радиопредвестники, охватывающие сантиметровый и дециметровый диапазоны и обладающие особыми свойствами: одновременно возникающей во всем микроволновом диапазоне компонентой излучения с подобным временным поведением на различных частотах микроволнового диапазона с постепенным нарастанием и последующим уменьшением потока.\*

*О. А. Шейнер, В. М. Фридман*

На рисунках приведен временной профиль микроволновых предвестников (по данным Мировой службы Солнца) на интервале времени 2 часа до регистрации корональных выбросов массы прибором LASCO/C2. Правая вертикальная ось – момент регистрации, указаны аббревиатуры станций наблюдений, частоты наблюдений и наблюдаемые потоки в логарифмическом масштабе.



Как видно из приведенных примеров, за 60–25 минут перед регистрацией выбросов на коронографе во всем спектральном интервале возникает спорадическая компонента радиоизлучения (типа *GRF* или *RF* по международной классификации), существующая до момента регистрации

\* Результат направлен также в Научный совет РАН по физике солнечно-земных связей



коронального выброса массы. Спорадические явления других видов, кроме *GRF* и *RF*, предшествующие регистрации выбросов типа гало, внутри двухчасового интервала времени не наблюдаются.

Временная и спектральная динамика таких микроволновых предвестников может свидетельствовать о проявлении в их излучении одновременно процессов формирования выброса и начального распространения глобальной структуры корональных выбросов класса гало. На импульсное излучение с его характерным временем существования, меньшим или равным нескольким минутам, накладывается постепенное, связанное, на наш взгляд, с увеличением теплового излучения плазмы, в первую очередь, за счет нагрева источника коронального выброса. Одновременность возникновения предвестников при этом свидетельствует, о высоких скоростях прогрева плазмы в солнечной хромосфере и нижней короне.

Установленный факт поведения широкополосных микроволновых предвестников в период, предшествующий регистрации корональных выбросов массы типа гало на коронографах, может служить дополнительным условием для корректной идентификации событий на видимой стороне Солнца и стать еще одним отличительным признаком последующей высокой геоэффективности указанных событий.

**Основные публикации:**

1. Шейнер О.А., Фридман В.М. Характер микроволнового солнечного излучения, наблюдаемого на стадии формирования и начального распространения геоэффективных корональных выбросов массы // Изв. Вузов. Радиофизика. 2011. Т. 54, № 10. С. 727-740.

Предложен гиросинхротронный механизм одновременной генерации двух спектральных пиков (микроволнового и суб-терагерцового) радиоизлучения солнечных вспышек в рамках модели одиночной тонкой вспышечной петли. Ключевым в модели является образование повышенной концентрации релятивистских электронов в нижней части петли, где соотношение плотности плазмы  $n_0$  к магнитному полю  $B$  достаточно велико, чтобы частота Разина  $f_R = 20 n_0 / B$  достигала значений  $f_R \sim 200$  ГГц. Установлено, что в этом случае суб-терагерцовая и микроволновая спектральные компоненты излучения генерируются в различных частях вспышечной петли - вблизи оснований и в ее вершине, соответственно. Низкочастотная часть суб-терагерцового спектрального пика синхротронного излучения формируется за счет эффекта Разина и ее источник является оптически тонким. Последнее позволяет получить суб-терагерцовый пик излучения как суммарное излучение от протяженной аркады вспышечных петель с общим размером до десятков угловых секунд.\*

**В. Ф. Мельников** (Главная астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург; ФГБНУ НИРФИ, Нижний Новгород)

**Ж. Э. Р. Коста** (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, S.J. Campos, Brazil)

**П. Ж. А. Симоес** (Centro de Radio Astronomia e Astrofisica Mackenzie, Sao Paulo, Brazil)

#### **Основные публикации:**

Melnikov V.F., Costa J.E.R., Simoes P. A model of microwave and Sub-THz emission from a single flaring loop. // *Solar Physics 2011* (submitted)

Мельников В.Ф., Коста Ж.Э.Р., Симоес П.Ж.А. Суб-ТГц излучение солнечных вспышек: формирование спектра. - Труды Пулковской конференции «Солнечная и солнечно-земная физика 2011», 3–8 октября 2011 г., ГАО РАН, СПб, СС. 159-162.

Melnikov V.F., Costa J.E.R., Simoes P.J.A. Formation of the two component frequency spectrum in microwave and Sub-THz emission. // *Book of abstracts of JENAM-2011*, (Saint-Petersburg, Russia, 4-8 July, 2011), 2011

Melnikov V.F., Costa J.E.R., Simoes P.J.A. A model of microwave and Sub-THz emission from a single flaring loop. // *Programme and Abstract Book of the 13th European Solar Physics Meeting (Rhodes, Greece 12-16 September 2011)*. Edited by K. Tziotziou & C. Gontikakis. PP.146.

---

\* Результат направлен также в Научный совет РАН по физике солнечно-земных связей

На основе радиоинтерферометрических наблюдений одиночной вспышечной петли с квазипериодическими пульсациями (КПП) ее микроволнового излучения впервые обнаружено пространственное разделение источников отдельных спектральных компонент КПП. Установлено, что источник пульсаций с периодом  $P_1 \approx 30$  с локализован во внутренней части вспышечной петли, а источник с периодом  $P_2 \approx 20$  с локализован на периферии петли, вблизи ее оснований. Сравнение пространственных и спектральных свойств КПП с результатами решения дисперсионного уравнения для собственных колебаний магнитной трубки позволило сделать выбор между потенциально возможными модами стоячих МГД волн (радиальной, изгибной, баллонной и другими) в исследуемой вспышечной петле. Исходя из жестких ограничений, полученных из данных о пространственной структуре пульсирующей области, показано, что наблюдаемые свойства спектральных компонент наиболее точно описываются первой и второй гармониками изгибной (кинк) моды быстрых МГД волн.\*

**В. Ф. Мельников** (Главная астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург; ФГБНУ НИРФИ, Нижний Новгород)

**Е. Г. Куприянова** (Главная астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург)

**К. Шибасаки** (Солнечная радиообсерватория Нобеяма, NAO, Япония)

#### **Основные публикации:**

*Kupriyanova E. G., Melnikov V. F., Shibasaki K. Spatially resolved microwave observations of multiple periodicities in a flaring loop // Solar Physics. 2011. (принята в печать)*

*Куприянова Е.Г., Мельников В.Ф. Пространственная структура квазипериодических пульсаций на основной и второй гармониках кинк моды в одиночной вспышечной петле // Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца "Солнечная и солнечно-земная физика — 2011", Сборник трудов конференции, ISSN 0552-5829, с.147.*

---

\* Результат направлен также в Научный совет РАН по физике солнечно-земных связей

Установлены области корреляции спектральных компонент ( $T \sim 30$ - $60$  минут) горизонтальной составляющей геомагнитного поля на основе анализа данных наблюдений различных станций, что предположительно можно рассматривать, как границы токовых систем ионосферы для дневного и ночного интервалов времени. Обнаружено, что при приближении к моменту вспышечного события происходит увеличение области корреляции.\*

*А. С. Смирнова, С. Д. Снегирев, О. А. Шейнер*

*Основные публикации:*

*Смирнова А.С., Снегирев С.Д., Шейнер О.А. О возможностях использования наблюдений магнитного поля Земли в прогнозе солнечной вспышечной активности // Вестник ННГУ, 2011, №5(3), с.145-152.*

---

\* Результат направлен также в Научный совет РАН по физике солнечно-земных связей

В 2011 году продолжены работы на международной РСДБ сети, включающей приемные пункты ФГБНУ НИРФИ, РТ-32 (Вентспилс, Латвия) и РТ-70 (Евпатория, Украина). Проведено несколько циклов РСДБ-измерений солнечного радиоизлучения (рабочая частота 327 МГц), плазмы солнечного ветра и искусственно возбужденной ионосферы (327 и 1665 МГц), сигналов НКА СРНС (диапазон 1,6 ГГц) для решения задачи высокоточного определения их координат.\*

*А. А. Антипенко, А. Ф. Дементьев, Н. А. Дугин, М. Б. Нечаева,  
Ю. В. Тихомиров, С. Д. Снегирев, А. К. Чагунин*

Из-за сложности организации совместных измерений на разнесенных пунктах международной сети основное внимание в проведенных работах уделялось совершенствованию и модернизации приемных систем, синхронизации времени и связи между пунктами во время сеансов наблюдений.

На пункте РТ-32 «Ирбене» (Вентспилс) изменена схема облучения антенны на частоте 327 МГц. В предыдущих сеансах использовалась двухзеркальная схема облучения, которая была крайне неэффективной из-за малых относительно длины волны (0,92 м) размеров контррефлектора и неоптимального облучателя, рассчитанного для работы в первичном фокусе зеркала. Летом 2011 г. облучатель был помещен вблизи первичного фокуса у края контррефлектора. Контрольные замеры по радиоисточникам Кассиопея А и Лебедь А определили величину разъюстировки примерно 7° по обеим координатам. Тем не менее, эффективность зеркала возрасла примерно на порядок. Имеется возможность увеличения КПД приемного тракта на 2 дБ при установке ВЧ-блока приемника рядом с облучателем.

На РТ-70 (Евпатория) протестированы приемные системы на 327 и 1600 МГц, а также новая система привязки и хранения точного времени. Проведены пробные наблюдения НКА СРНС на частоте 1,6 ГГц для согласования работы приемных систем НИРФИ и РТ-70, имеющих различные схемы частотных преобразований.

В июле и августе проведены совместные сеансы наблюдений вспышечного излучения Солнца. Во всех сеансах длительностью не более 2-3 часов зафиксированы группы коротких всплесков солнечного радиоизлучения. Для исследования влияния ионосферы на работу РСДБ во всех сеансах были предусмотрены наблюдения источников излучения через зону

---

\* Результат направлен также в секцию «Радиотелескопы и методы» Научного совета РАН по астрономии

ионосферы, возмущенную мощным коротковолновым излучением нагретого стенда СУРА (НИРФИ, Васильсурск).

С 20 по 22 сентября 2011 года был проведён международный РСДБ-эксперимент с задействованием телескопов в Евпатории (РТ-70, Украина), Старой Пустыни (РТ-14, Россия), Вентспилсе (РТ-32, Латвия), а также стенда СУРА (Россия). В программу эксперимента были включены исследования ионосферы Земли в спокойном и искусственно возмущённом состоянии и плазмы солнечного ветра методом радиопросвечивания среды сигналами естественных радиоисточников и навигационных космических аппаратов, а также задача калибровки базы интерферометра по сигналам НКА.

**Основные публикации:**

*Гавриленко В.Г., Дугин Н.А., Нечаева М.Б. Применение метода радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой для исследований пространственно-временной структуры турбулентности области ионосферы, возмущённой мощным радиоизлучением (теория, подготовка экспериментов) – Препринт № 539. Нижний Новгород, 2011, 24с.*

**Результаты,  
направленные в Научный совет  
по астрономии  
при отделении Физических наук РАН  
9. Астрометрия, небесная механика и  
прикладная радиоастрономия**

**Впервые в отечественной практике исследована эффективность методов измерения параметров антенных систем (диаграмм направленности, разъюстировки, коэффициента усиления) по сигналам навигационных космических аппаратов (НКА) глобальных спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и НАВСТАР.**

**Отработана методика подготовки и проведения измерений; проанализированы источники ошибок, в том числе погрешности координат НКА, публикуемых в открытых источниках.**

**Выполненные эксперименты и полученные результаты показали возможность и эффективность измерения параметров антенн по сигналам НКА.\***

*А. А. Антипенко, А. Ф. Дементьев, Н. А. Дугин, М. Б. Нечаева,  
Ю. В. Тихомиров, А. К. Чагунин*

Экспериментальные исследования проводились на радиотелескопах РТ-14 и РТ-15, расположенных в радиоастрономических обсерваториях ФГБНУ НИРФИ и являющихся приемными пунктами радиоинтерферометра НИРФИ, работающего в диапазонах 327, 610 и 1600 МГц. Проведены две серии наблюдений около двадцати НКА. Погрешности измерения диаграмм направленности составили 3-7%, погрешности юстировки – 3-8 угл. минут при ширине ДН около 1°.

При подготовке антенных систем к регулярной работе необходимо провести тестовые испытания на соответствие параметров всех ее элементов проектным техническим требованиям, а в процессе эксплуатации необходим оперативный контроль стабильности параметров, особенно при работе в экстремальных условиях. Основными измеряемыми параметрами обычно являются коэффициент усиления или эффективная площадь, шумовая температура антенны, диаграмма направленности, совмещение электрической и геометрической осей антенны (разъюстировка), точность наведения и сопровождения источника излучения.

Радиоастрономические методы измерений параметров антенн можно считать наиболее простыми и эффективными для антенных систем средних и больших размеров. Основной проблемой при применении радиоастрономического метода является выбор точечных источников излучения с большой и известной плотностью потока радиоизлучения и с простой структурой, желателен близкой к «точной». Вместе все эти требования выполняются редко, большинство внеземных радиоисточников имеют малую интенсивность излучения, что требует применения приемников с предельно возможной чувствительностью.

---

\* Результат направлен также в секцию «Радиотелескопы и методы» Научного совета РАН по астрономии



Появление в ближнем космосе большого числа ретрансляционных и навигационных космических аппаратов на геостационарных и высокоэллиптических орбитах позволяет проводить измерения ряда требуемых параметров антенны. При этом методика измерений и обработки данных близка к радиоастрономической, т.к. скорости движения искусственных объектов на высоких орбитах сравнимы со скоростями естественных источников излучения. Кроме того, космические аппараты практически всегда находятся в дальней зоне антенны и являются «точечными» излучателями. Навигационные аппараты спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и НАВСТАР (GPS) распределены на небесной сфере достаточно равномерно, в любом пункте должны быть видны одновременно не менее четырех аппаратов каждой из систем. При малой эффективной площади антенн и требованиях быстрой калибровки антенных систем вопрос применения методов измерений по сигналам спутников в ближнем космосе является достаточно актуальным.

Эксперименты по вводу в действие антенн приемного РСДБ комплекса НИРФИ на частоте 1,6 ГГц проводились по мощным сигналам навигационных спутников ГЛОНАСС и НАВСТАР. Отрабатывались методики работы по аппаратам глобальных навигационных систем, в числе которых основными были: процедура выбора требуемого объекта и определения целеуказания антенн, измерение диаграммы направленности, отработка методики определения разъюстировки антенн, оснащенных трехчастотными облучателями.

Средняя величина разъюстировки  $\Delta\theta_0$  антенны РТ-14 получилась равной:  $\Delta\theta_0 = 0,33' \pm 8,32'$  по сигналам космических аппаратов ГЛОНАСС и  $\Delta\theta_0 = 0,59' \pm 7,29'$  по сигналам космических аппаратов НАВСТАР, т.е. среднее отклонение близко к нулю, что подтверждает правильность измерений разъюстировки на частотах 327 и 610 МГц, полученной по Солнцу, и ее постоянство для всех рабочих частот совмещенного облучателя. Погрешности измерений лежат в пределах точности наведения антенны, определяемой приводными и отсчетными системами ( $\pm 5'$  по обеим координатам и соответственно с суммарной погрешностью  $\pm(7-10)'$ ). Тем не менее, есть отдельные отклонения более  $10'$ , что требует более подробного анализа результатов и проведения дополнительных измерений.

Ширина диаграммы направленности на уровне половинной мощности РТ-14 равна  $\Delta\theta_{0,5} = 1,04^\circ \pm 0,07^\circ$  по сигналам космических аппаратов ГЛОНАСС и  $\Delta\theta_{0,5} = 0,97^\circ \pm 0,07^\circ$  по сигналам космических аппаратов НАВСТАР при оценочном расчетном значении  $0,9^\circ$ . Уширение диаграммы направленности примерно на 10% можно объяснить недооблучением антенны. Следствием этого является потеря эффективной площади и усложнение работы по слабым внеземным радиоисточникам. Погрешность измерения полуширины диаграммы направленности около 7%.

Средняя величина разъюстировки  $\Delta\theta_0$  антенны РТ-15 получилась равной  $\Delta\theta_0 = 10,41' \pm 4,16'$  по сигналам космических аппаратов ГЛОНАСС и  $\Delta\theta_0 = 7,94' \pm 2,86'$  по сигналам космических аппаратов НАВСТАР, т.е. среднее отклонение равно примерно  $9'$ , что указывает на возможность потерь сигнала при проведении измерений из-за неточного наведения на источник. Погрешности измерений лежат в пределах точности наведения антенны для космических аппаратов НАВСТАР, определяемой приводными и отсчетными системами ( $\pm 1'$  по обеим координатам и с суммарной погрешностью, оцениваемой как  $\pm (2...3)'$ ) и несколько завышены для космических аппаратов ГЛОНАСС. Также, есть отдельные отклонения более  $10'$ .

Ширина диаграммы направленности на уровне половинной мощности РТ-15 равна  $\Delta\theta_{0,5} = 0,85^\circ \pm 0,03^\circ$  по сигналам космических аппаратов ГЛОНАСС и  $\Delta\theta_{0,5} = 0,88^\circ \pm 0,03^\circ$  по сигналам космических аппаратов НАВСТАР при оценочном расчетном значении  $0,84^\circ$ . Погрешность измерения около  $3,5\%$ .

Определены условия для точных измерений коэффициента усиления, связанные со стабильностью амплитуды принимаемых от космических аппаратов сигналов, которая в первых экспериментах исследована недостаточно. В дальнейших экспериментах требуется провести дополнительные измерения, вплоть до построения графиков изменения величины измеряемого сигнала от каждого аппарата по всей видимой траектории его полета.

Для повышения точности и оперативности измерений требуется доработка методик калибровки антенн и радиоинтерферометров по сигналам околоземных космических аппаратов, а также желательны дополнительные исследования по возможности включения космических аппаратов спутниковых навигационных систем в каталоги калибровочных источников излучения, аналогичные радиоастрономическим каталогам.

#### **Основные публикации:**

*Дугин Н. А., Нечаева М. Б., Антипенко А. А., Дементьев А. Ф., Тихомиров Ю. В. Измерение параметров антенн по сигналам космических аппаратов систем ГЛОНАСС и «NAVSTAR» // Изв. ВУЗов. Радиофизика. 2011. Т.54, №3. С.177-184.*

*Антипенко А. А., Дементьев А. Ф., Дугин Н. А., Нечаева М. Б., Тихомиров Ю. В., Чагунин А. К. Юстировка антенн и калибровка РСДБ НИРФИ по сигналам космических аппаратов СРНС ГЛОНАСС и НАВСТАР // Препринт № 536. Нижний Новгород, 2011, 32с.*

Впервые в отечественной практике решена задача измерения параметров радиоинтерферометров с независимым приемом (проекций базы интерферометра, характеристик антенн, синхронизации) при приёме сигналов навигационных космических аппаратов (НКА). В проведенных экспериментах достигнута погрешность определения пространственной задержки – основного параметра для расчётов проекций базы, а в дальнейшем координат КА – около 4...7 нс (1...2 м в линейном масштабе) при трёхминутном наблюдении объекта. Отработаны методики наблюдений НКА, определены особенности корреляционной обработки квазишумовых сигналов различной интенсивности, оценена потенциальная точность измерения основных параметров инструмента – проекций базы и инструментальной задержки.\*

*А. А. Антипенко, А. Ф. Дементьев, Н. А. Дугин, М. Б. Нечаева,  
Ю. В. Тихомиров, А. К. Чагунин*

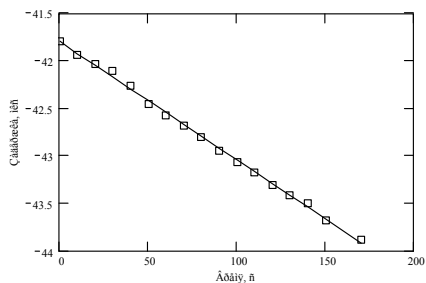
Радиоинтерферометр НИРФИ независимого приёма с пунктами «Зимёнки – Старая Пустынь», разнесёнными на 70 км и имеющими антенны диаметром 14 и 15 м, в 2010 году был дооснащён приёмной аппаратурой на частотный диапазон 1,6 ГГц. Возможность работы по сигналам НКА закладывалась с целью проведения исследований по высокоточному определению положения (координат) НКА с помощью РСДБ. Результаты первых экспериментов подробно рассмотрены в работах [1-3].

Работа по мощным сигналам НКА существенно упрощала процедуру определения параметров приёмного комплекса. Были проведены: исследования влияния структуры излучаемых сигналов на корреляционные характеристики, юстировка приёмных антенн, контроль временной синхронизации пунктов, модернизация программного обеспечения коррелятора для работы по квазишумовым сигналам НКА на околоземных орбитах. В нескольких сериях измерений наблюдалось более тридцати аппаратов обеих глобальных навигационных систем. Достигнута погрешность определения пространственной задержки – основного параметра для расчётов проекций базы, а в дальнейшем координат КА – около 4...7 нс (1...2 м в линейном масштабе) при трёхминутном наблюдении объекта. На рисунке 1 приведена зависимость изменения задержки от времени при наблюдении НКА "НАВСТАР 29601" (квадратами показаны значения задержки с точностью до одного дискрета, сплошной линией – уточненные аппроксимацией); на левом

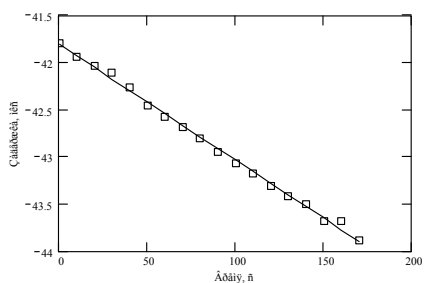
---

\* Результат направлен также в секцию «Радиотелескопы и методы» Научного совета РАН по астрономии

графике отбракована одна из точек по стандартному критерию оценки дисперсии (флуктуации задержки вызваны влиянием ионосферы). В экспериментах использовались также две слабонаправленные антенны: серийная антенна 1,5 м диаметром от морской навигационной ГЛОНАСС станции «Волна-С» (РТ-1,5) и рупорная антенна (РуА) – облучатель зеркальной антенны.



Время: 09:30:00, СКО 6.36 нс



Время: 09:30:00, СКО 8.27 нс

Рисунок 1

Использование для наблюдений различных объектов антенн с широкой диаграммой направленности (ДН) вызывается несколькими причинами:

- экономией средств при отказе от больших дорогостоящих полноповоротных антенн, требующих постоянного обслуживания;
- узкие диаграммы направленности больших антенн требуют непрерывного сопровождения источника излучения, а следовательно, заведомо известных траекторий движения этих объектов, что невыполнимо, например, в радиолокации при задаче обнаружения неизвестных целей;
- небольшие слабонаправленные антенны мобильны и могут быть оперативно перемещены на новое место, что облегчает создание РСДБ сети нужной конфигурации;
- широкий обзор небосвода позволяет проводить слежение одновременно за группой объектов.

Сочетание в интерферометрах одной большой антенны и одной малой позволяло последовательно отработать методику приема и обработки при резком уменьшении сигнала одного приемного пункта относительно другого: сигнал с РТ-1,5 меньше сигнала с РТ-14 примерно на два порядка, сигнал с РуА меньше сигнала с РТ-14 в  $2 \cdot 10^3$  раз. Кроме того, узкая ДН РТ-14 позволяла «вырезать» нужный объект из всех, что попадали в ДН малых антенн, и соответственно облегчить процедуру анализа результатов после обработки данных. На рисунке 2 показана функция корреляции при приеме сигнала НКА С29672 на РСДБ РТ-14 – РуА (НИРФИ) с базой 78 км (накопление 30 с), форма графика точно соответствует аналогичным данным для РСДБ РТ-14–РТ-15 при соответствующем уменьшении амплитуды.

В таблице 1 приведены величины задержек, измеренных и рассчитанных по параметрам орбит 12 аппаратов, и их разность (РСДБ РТ-14 –РТ-15 с базой 69 км). Из полученных данных следует, что есть постоянный временной сдвиг около 17.3 мкс (среднее значение), обусловленный инструментальной задержкой – рассинхронизацией временной привязки, а также разностью времен распространения сигналов в приемных трактах, которую необходимо учитывать при прецизионных измерениях.

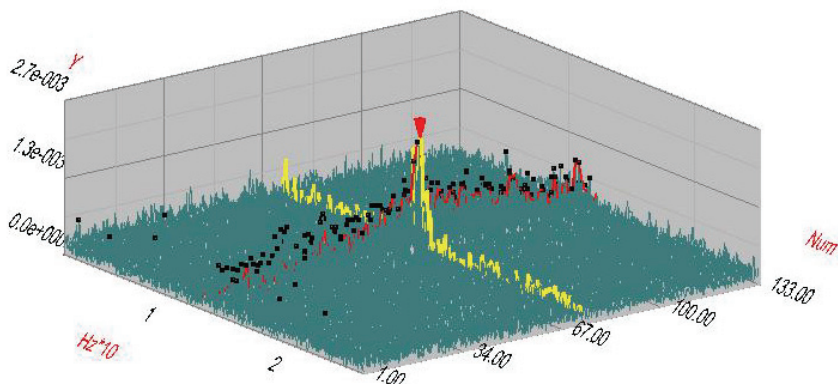


Рисунок 2

Таблица 1

Имя	Время 26.10.10	Задержка Г мкс	Расчетная задержка Г мкс	Разность мкс
N 23953	10:10:00	+190.3125	+172,92	17.39
N 26690	12:30:00	-152,5	- 169,83	17,33
N 27663	11:30:00	+ 35.375	+19,33	16,05
N 28474	10:30:00	+197.3125	+179,73	17,58
N 29486	11:10:00	-132.75	- 146,82	14.07
N 29601	9:30:00	-41.6875	- 59,92	18,23
N 34661	10:50:00	+23.4375	+6,60	16.84
N 35752	9:50:00	+18.625	+0,21	18,42
C 33467	14:50:00	+157.875	+139,66	18,22
C 36402	14:10:00	-25.875	- 44,53	18,65
C 36400	13:30:00	+6.0625	- 10,43	16.49
C 36111	13:51:00	-161.75	- 179.5	17,75

Большое внимание было уделено задаче определения проекций базы интерферометра, в том числе, с целью оценки общей погрешности измерений

и эффективности использования НКА для калибровки антенн и интерферометров при корректном учёте сферичности фронта излучения от источника до приёмных антенн. При использовании нескольких методов расчёта были получены поправки к проекциям базы в пределах от единиц до десятков метров. Однако общая погрешность измерений существенно превосходила погрешность измерения задержки. Одной из основных причин этого является неточность исходных координат КА, используемых в расчётах.

В дальнейших исследованиях по данной тематике предполагается совершенствование методов измерений и обработки данных для достижения максимально возможной эффективности РСДБ в координатных измерениях. При одновременной работе на 2-х рабочих частотах НКА в полной полосе излучаемого сигнала на многопунктовом РСДБ с базами более 300 км и использовании при обработке второго параметра – частоты интерференции, потенциальная точность измерения положения КА оценивается величиной 10-20 см при наблюдении КА в течение порядка 30-60 минут.

#### **Основные публикации:**

*Антипенко А. А., Дементьев А. Ф., Дугин Н. А., Нечаева М. Б., Тихомиров Ю. В., Чагунин А. К. Юстировка антенн и калибровка РСДБ НИРФИ по сигналам космических аппаратов СРНС ГЛОНАСС и НАВСТАР – Препринт № 536. Нижний Новгород, 2011, 32с.*

*Дугин Н. А., Антипенко А. А., Дементьев А. Ф., Нечаева М. Б., Тихомиров Ю. В. Особенности работы радиоинтерферометра с независимым приемом по сигналам навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и НАВСТАР // XVII международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» RLNC-2011. — Воронеж, НПФ «Саквоее» ООО, 12-14 апреля 2011г., Труды т.3, с 1858-1869.*

*Дугин Н. А., Нечаева М. Б. Способы повышения точности позиционирования наземных объектов с помощью глобальных спутниковых навигационных систем // Научно-методическая конференция «Проблемы и пути инновационного развития внутреннего водного транспорта», Н.Новгород, 20-21 мая 2011, ВГАВТ. Тезисы докладов.*

*Нечаева М. Б., Дугин Н. А., Шмелд И. К. Метод РСДБ в приложении к задаче радиолокации объектов в околоземном космическом пространстве // Околоземная астрономия 2011. Материалы международной конференции, Красноярск, 5-10 сентября 2011. РИО СибГАУ, 2011. С.25.*

*Дугин Н. А., Антипенко А. А., Дементьев А. Ф., Нечаева М. Б., Тихомиров Ю. В. О возможности калибровки радиоинтерферометра с независимым приемом по сигналам навигационных космических аппаратов // IV Всероссийская конференция «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО-2011). — С.-Петербург, ИПА РАН, 10-14 октября 2011г., Тезисы докладов, с.120.*

**Результаты,  
направленные в Научный совет  
по астрономии  
при отделении Физических наук РАН  
10. Оптические методы и телескопы**

**Разработан и принят к реализации Многофункциональный оптический телескоп для международной космической миссии «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД».**

*И. Е. Кожеватов, Е. Х. Куликова, Н. П. Черагин (ФГБНУ НИРФИ)  
В. Н. Обридко, Е. А. Руденчик (ИЗМИРАН)*

Международная космическая станция «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД» должна быть отправлена в сторону Солнца в 2018 году. Траектория станции будет сформирована с использованием нескольких гравитационных маневров у Венеры и будет включать кольцевые орбиты вокруг Солнца с наклонами от 3,03 до 31,53 градусов к плоскости эклиптики. Максимальное сближение станции с Солнцем будет составлять 60 солнечных радиусов. Миссия «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД» имеет целью решение нескольких научных проблем:

- исследование тонкой структуры и динамики солнечной атмосферы;
- комплексное изучение природы и глобальной динамики наиболее мощных проявлений солнечной активности – солнечных вспышек, корональных выбросов массы и их влияния на гелиосферу и космическую погоду;
- исследование короны Солнца и солнечного ветра от низких до высоких гелиоширот;
- исследование генерации и распространения энергичных частиц на Солнце и в гелиосфере;
- исследование магнитных полей в приполярных областях Солнца.

Полезная нагрузка станции будет содержать 7 гелиосферных и 9 солнечных инструментов. Исследования Солнца в оптическом диапазоне от 0,3 до 0,6 мкм будет осуществляться при помощи многофункционального оптического телескопа «ТАХОМАГ», разрабатываемого совместно ФГБНУ НИРФИ и ИЗМИРАН. Разрабатываемый комплекс состоит из трех частей:

- питающий оптический телескоп;
- солнечный спектромагнитограф;
- блок узкополосных фильтров.

Оптическая схема многофункционального оптического телескопа «ТАХОМАГ» представлена на рисунке 1.



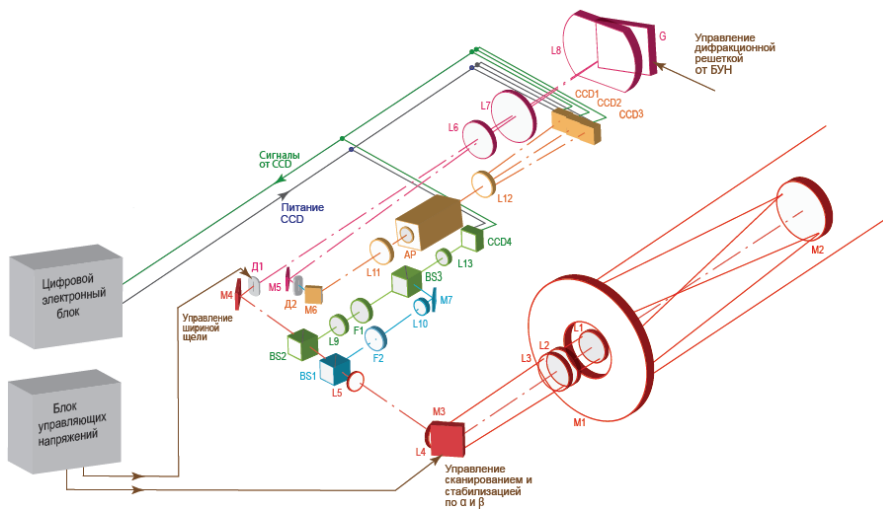


Рисунок 1 – функциональная схема многофункционального оптического телескопа «ТАХОМАГ»

Питающий оптический телескоп содержит первичное зеркало М1 диаметром 400 мм, вторичное зеркало М2 диаметром 20 мм, коллиматор (L1-L3), управляемое зеркало М3, при помощи которого будет осуществляться сканирование по диску Солнца и стабилизация солнечного изображения, и фокусирующий объектив (L4-L5). Он будет обеспечивать разрешение от 0,1 угл. сек на  $\lambda \sim 0,3$  мкм до 0,2 угл. сек на  $\lambda \sim 0,6$  мкм, что на расстояниях 60 солнечных радиусов соответствует от 25 до 50 км на поверхности Солнца. Угловое поле зрения разработанного телескопа «ТАХОМАГ» составляет 34000 угл. сек.

Солнечный спектромагнитограф обеспечивает получение полного вектора Стокса в магнитоактивных спектральных линиях FeI 6301.5 и FeI 6302.5 со спектральным разрешением 16 мÅ. Спектромагнитограф содержит дифракционный спектрограф, включающий входную щель Д1, коллиматор L6-L8, дифракционную решетку G и выходную щель Д2, спектрополяриметр, и матричные фотоприемники CCD. Спектрополяриметр включает в себя коллиматор L11, анализатор поляризации параллельного типа AP и выходной объектив L12. Наземный аналог солнечного спектромагнитографа был испытан на башенном солнечном телескопе ИЗМИРАН (г. Троицк). На рисунке 2 представлены карты полного вектора магнитного поля и поля лучевых скоростей в виде изолиний в районе одиночного солнечного пятна.

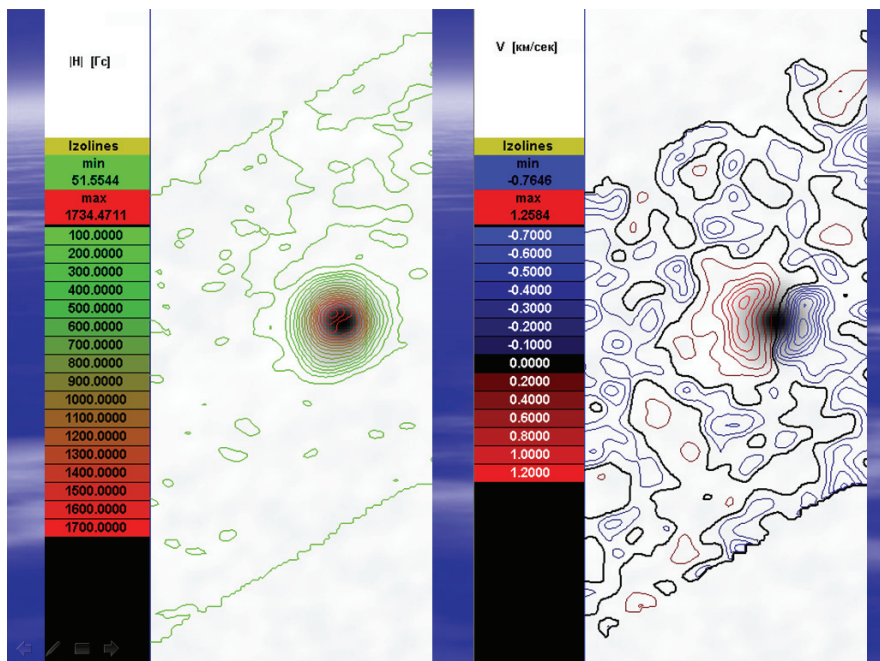


Рисунок 2 – карты полного вектора магнитного поля и поля лучевых скоростей в виде изолиний в районе одиночного солнечного пятна

Блок узкополосных фильтров будет обеспечивать получение солнечных изображений в узких спектральных линиях на 0,3 мкм в континууме для наблюдения фотосферы с разрешением 25 км и  $H\alpha$  фильтра для наблюдения хромосферы и солнечной короны с разрешением 50 км.

В настоящее время разработанный вариант многофункционального оптического телескопа «ТАХОМАГ» для международной космической миссии «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД» принят к реализации.

**Основные публикации:**

1. Кожеватов И.Е., Куликова Е.Х., Обридко В.Н., Руденчик Е.А. Многофункциональный оптический телескоп "ТАХОМАГ". Общее описание // Труды рабочего совещания по проекту «Интергелио-Зонд», 2011, г. Таруса.
2. Кожеватов И.Е., Обридко В.Н., Руденчик Е.А. Многофункциональный оптический телескоп «ТАХОМАГ». Наземный прототип // Труды рабочего совещания по проекту «Интергелио-Зонд», г. Таруса, 11-13 мая 2011.

**В процессе развития трехмерного варианта доплеровской томографии\*\*)** предложен и обоснован метод анализа возможностей 3D-реконструкции по геометрии суммарной передаточной функции (СПФ).\*

**М. И. Агафонов, О. И. Шарова**

Реконструкция в доплеровской 3D-томографии является частным случаем томографического варианта 3D1D, то есть, соответствует задаче построения трехмерной томограммы на основе одномерных профилей без вычисления на промежуточной стадии набора двумерных сечений. Вариант 3D1D реализован, благодаря приложению разработанного радиоастрономического подхода (РП) к решению задач малоракурсной томографии [1,2]. Процесс реконструкции на основе РП предусматривает на начальном этапе построение виртуальной СПФ, которая является трехмерным аналогом синтезированной диаграммы направленности в радиоастрономии. Проанализирована связь геометрии расположения ракурсов в пространстве с максимальным уровнем боковых лепестков СПФ. Метод дает возможность оптимизировать расположение ракурсов наблюдения при решении томографических задач в различных областях науки и техники. Размеры главного луча СПФ на уровне половины интенсивности (уровень HPBW) в 3D-варианте доплеровской томографии позволяют оценить разрешение в направлениях главных осей с учетом угла наклона объекта и распределения орбитальных фаз.

**\*\*)** 3D-вариант доплеровской томографии в отличие от стандартного 2D-варианта обладает возможностью регистрации всех трех компонент скорости  $V_x, V_y, V_z$ , в том числе в направлении перпендикулярном орбитальной плоскости двойных систем, что отвечает физической природе объектов. Результаты исследований движений газовых потоков в двойных звездных системах, полученные при реализации трехмерного варианта доплеровской томографии, впервые опубликованы в работах [3-5]. Получена информация с учетом всех трех компонент скорости.

#### **Основные публикации:**

1. Агафонов М.И., Шарова О.И. Доплеровская томография в трех измерениях. I. Проблемы реализации. *Астрон. журн.*, 2011 (в печати).
2. Агафонов М.И., Шарова О.И. Томография при ограниченном числе проекций. II. Радиоастрономический метод CLEAN в приложении к трехмерным задачам. *Известия вузов. Радиофизика*, 2005. т. 48, №5. с. 367.
3. Agafonov M.I., Richards M.T., Sharova O.I. Three-Dimensional Doppler tomogram of gas flows in the Algol-type binary U Coronae Borealis. *Astrophys. J.* 2006. v. 652, p. 1547.
4. Agafonov M.I., Sharova O.I., Richards M.T. Three-Dimensional Doppler images of the disclike and streamlike states of U Coronae Borealis. *Astrophys. J.* 2009. v. 690, p. 1730.
5. Richards M.T., Sharova O.I., Agafonov M.I. Three-dimensional Doppler tomography of the RS Vulpeculae interacting binary. *Astrophys. J.* 2010, v. 720, p. 996.

---

\* Результат направлен также в секцию «Радиотелескопы и методы» Научного совета РАН по астрономии

**Результаты,  
направленные в Научный совет  
по астрономии  
при отделении Физических наук РАН  
11. Радиотелескопы и методы**

С целью миниатюризации и усовершенствования фидерных трактов облучателей радиотелескопов РАС «Старая Пустынь» исследованы возможности использования микрополосковых СВЧ устройств с сосредоточенными емкостями. Примененный метод миниатюризации основан на известной эквивалентности между отрезками линий и укороченных линий с сосредоточенными емкостями, включенными по «П»-образной схеме фильтра низких частот (ФНЧ) или «Т»-образной схеме ФВЧ. Проведенные исследования разработанных экспериментальных образцов симметрирующего устройства и двухшлейфного 90°-моста на частоту 327 МГц показали хорошее согласие между расчетом и измерениями, а также необходимость проведения тщательного отбора чип-конденсаторов по идентичности и величине их емкостей.

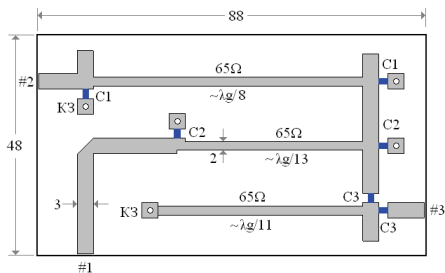
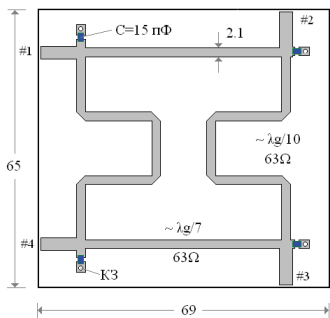
*В. И. Абрамов, А. Ф. Дементьев*

В метровом и длинноволновой части дециметрового диапазона волн реализация фидерных трактов облучателей, выполненных на четвертьволновых отрезках полосковых линий, осложняется недопустимым возрастанием их размеров.

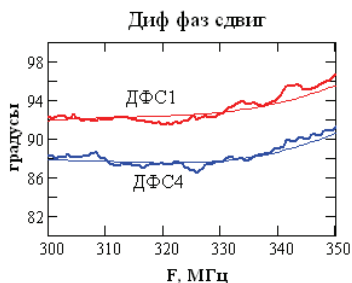
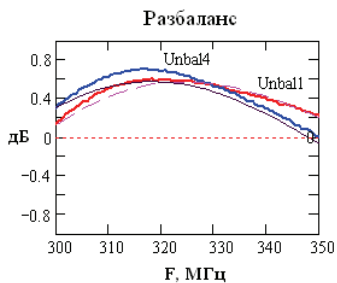
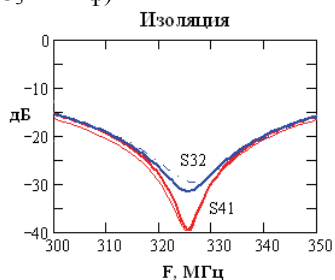
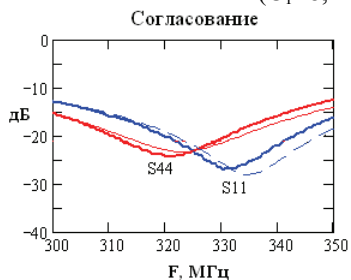
Рассмотрены различные схемы симметрирующих устройств СУ (тройниковые и мостовые противофазные делители) и шлейфных 90°-мостов с последовательным и параллельным включением конденсаторов в несимметричную полосковую линию (НПЛ), значительно уменьшающим габариты устройств. Методом теории цепей проведены моделирование и оптимизация параметров различных вариантов топологий СУ и мостов для частот 290, 327, 400 и 610 МГц. При этом учтены неоднородности НПЛ, эквивалентные схемы чип-конденсаторов, дискретность их номиналов.

Разработаны, изготовлены и опробованы экспериментальные образцы тройникового СУ и двухшлейфного 90°-моста на частоту 327 МГц. Несимметричные полосковые линии устройств реализованы на подложке из фольгированного материала ФЛАН-5 толщиной 2 мм, в качестве емкостей использовались чип-конденсаторы К10-17. Результаты приведены на рисунке.

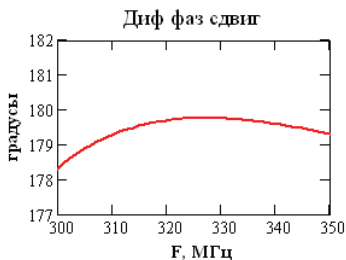
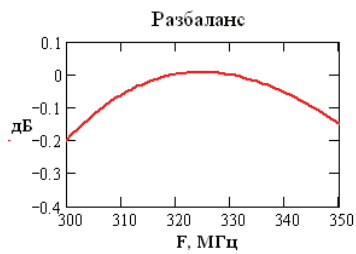
Измеренные данные СУ в полосе частот 300-350 МГц:  $S_{11} < -21$  дБ, разбаланс плеч #2 и #3  $< 0.15$  дБ, ДФС = 178°.



Топологии двухшлейфного 90°-моста и тройникового СУ  
( $C_1=8,2$  пф,  $C_2=C_3=12$  пф)



Расчетные (тонкие линии) и измеренные (толстые) характеристики моста



Расчетные частотные характеристики тройникового СУ

С целью повышения точности поляризационных наблюдений диффузного галактического радиоизлучения развита и применена методика учёта переменности побочного поляризованного сигнала (ППС) в сеансе наблюдений. Поведение ППС задавалось полиномом от времени, прошедшего с начала сеанса. Коэффициенты полинома определялись методом наименьших квадратов в предположении постоянства полезного сигнала. Методика использована в радиоастрономических поляризационных наблюдениях на частоте 8,3 ГГц и в радиоастрономических измерениях полного электронного содержания ионосферы.

*Е. Н. Виняйкин*

Ниже показаны результаты применения методики учёта переменности ППС на примере сеанса поляризационных наблюдений диффузного галактического радиоизлучения в направлении Северного полюса Мира (СПМ), выполненных в Радиоастрономической обсерватории ФГБНУ НИРФИ “Старая Пустынь”. Точность определения яркостной температуры поляризованной компоненты радиоизлучения и позиционный угол плоскости поляризации существенно повышаются с применением этой методики.

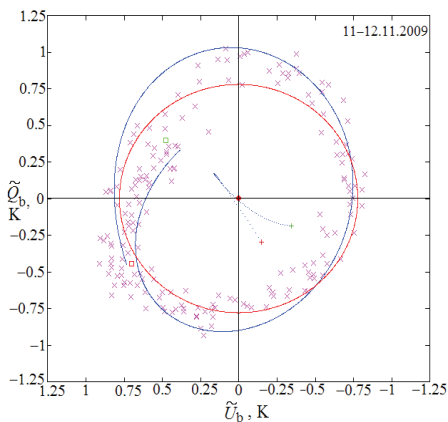


Рисунок 1 – Плоскость параметров Стокса (в яркостных температурах) сеанса наблюдений 11-12.11.2009 области СПМ на частоте 290МГц с помощью РТМ-10.

На рисунке каждый косой крестик соответствует пятиминутному интервалу наблюдений. Окружность красного цвета получена в предположении постоянного ППС, кривая синего цвета отвечает ППС в

виде полинома третьей степени от времени; траектория ППС показана синей пунктирной линией. Начало сеанса обозначено зелёным квадратиком и зелёным прямым крестиком, конец – такими же знаками, но красного цвета.

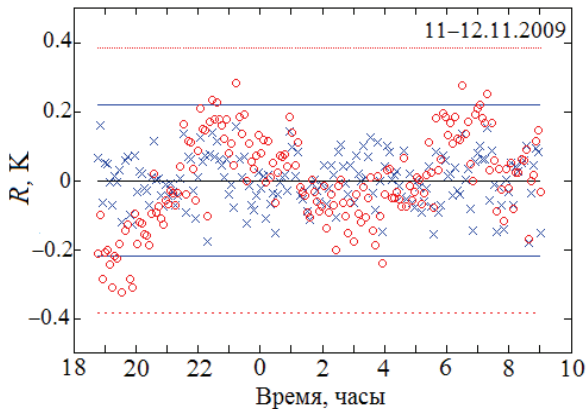


Рисунок 2

На рисунке 2 приведены отклонения от времени изображающих точек на плоскости параметров Стокса: а) от окружности (красные кружочки), б) от синей кривой, отвечающей ППС в виде полинома третьей степени (синие крестики). Красные и синие горизонтальные прямые есть уровни  $\pm 3\sigma$  для соответствующих отклонений

**Основные публикации:**

Виняйкин Е. Н. Сопоставление результатов измерений полного электронного содержания ионосферы радиоастрономическим методом и с помощью сигналов спутников GPS // Препринт №542. Нижний Новгород: ФГБНУ НИРФИ, 2011.



**Результаты,  
направленные в Научный совет  
по астрономии  
при отделении Физических наук РАН  
15. Планетные исследования**

**Предложен метод прямого восстановления распределения показателя преломления верхнего покрова планет из временной последовательности радарного эхо. На основе модельной слоистой структуры показана эффективность метода для обработки данных международных космических миссий MARSIS и SHARAD.**

**О. Б. Шуко** (ФГБНУ НИРФИ, Нижний Новгород)

**D. V. Kartashov** (Technische Universität Wien (TUW) Institut für Photonik, Wien, Österreich)

**В. И. Турчин** (ИПФ РАН, Нижний Новгород)

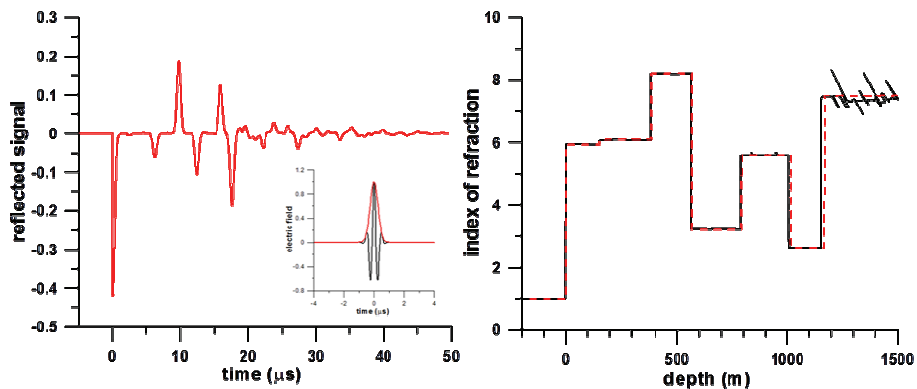
**R. Orosei** (Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario, Rome, Italy).

Восстановление электродинамических характеристик верхнего покрова Марса из данных орбитального радарного зондирования является одной из главных целей международной космической миссии Mars Express, запущенной в сотрудничестве ESA, NASA и Российского космического агентства в 2003 году. Два орбитальных радара, MARSIS и SHARAD, осуществляют радиокартографирование поверхности планеты и полярных шапок с целью обнаружения воды и водяного льда.

Восстановление электродинамических характеристик коры планет по данным радарного зондирования представляет собой сложную комплексную задачу, включающую в себя проблемы возмущения электромагнитных сигналов в ионосфере, поверхностного и объемного рассеяния. Однако даже без учета этих дополнительных факторов задача об эффективной и быстрой обработке эхо для восстановления распределения показателя преломления верхних покровов планет это одна из основных актуальных проблем орбитального зондирования.

Для решения этой проблемы разработана эффективная численная процедура прямого восстановления профиля показателя преломления из известной временной последовательности радарного эхо. Метод основан на итерационном решении одномерного уравнения Гельмгольца, описывающего распространение монохроматической электромагнитной волны в слоисто-неоднородной среде. Процедура восстановления является полностью алгебраической и требует примерно  $N^2/2$  операций, где  $N$  длина временной последовательности эхо. Пример применения алгоритма для восстановления распределения показателя преломления модельной слоистой структуры, зондируемой импульсом орбитального радара MARSIS на частоте 1.9 МГц с полосой в 1 МГц, представлен на рисунке. Разрешение метода определяется спектральной полосой зондирующего импульса и характеризуется параметром  $\chi=Lc/(nv\Delta)$ , где  $c$  – скорость света в вакууме,  $L$ –толщина слоя,  $n$ –показатель преломления детектируемого слоя и  $v\Delta$  – спектральная полоса радарного импульса. Метод применим также для восстановления усредненного

распределения показателя преломления непрерывно неоднородных сред. При этом масштаб детектируемых неоднородностей также определяется параметром  $\chi$ , где под  $L$  понимается градиент пространственной неоднородности. Предложенный метод обладает высокой эффективностью и может быть использован для обработки данных непосредственно на борту космического аппарата.



Слева – временная последовательность отраженного радарного сигнала от модельной слоистой структуры. Вставкой показан импульс зондирования, имеющий Гауссов профиль. Справа – модельная слоистая структура реголита (пунктирная линия) и восстановленный из последовательности эхо профиль показателя преломления.

### **Основные публикации:**

*Kartashov D., Turchin V., Shchuko O., Orosei R. Direct reconstruction of the crust permittivity profile from orbital based radar sounder data // EPSC Abstracts, Vol. 6, EPSC-DPS2011-382, 2011. EPSC-DPS Joint Meeting 2011.*

**Результаты,  
направленные в Научный совет  
по распространению радиоволн  
при отделении Физических наук РАН**

Одновременно определены диэлектрическая проницаемость, температура и дисперсия уклонов морской поверхности по натурным измерениям в ИК-диапазоне интенсивностей собственных излучений морской поверхности и атмосферы в широком диапазоне углов визирования ( $-60^\circ \div +90^\circ$  от горизонта). Обнаружено, что диэлектрическая проницаемость верхней части пленочного слоя, толщиной  $\sim 20$  микрон, изменчива и меньше величины, полученной для морской воды в лабораторных измерениях, которую используют в стандартных методиках определения температурных полей океана. Полученные данные натурных измерений интерпретированы в модели статистической смеси воды и микропузырьков воздуха, формирующейся под пленкой поверхностного натяжения. Доля воздуха в микропузырьковом слое составляла 20-30% при скоростях ветра 2–4 м/с. Дистанционно измеренная температура воды в скин-слое была  $24.5 \pm 0.25^\circ\text{C}$ .

*К. С. Станкевич, И. Т. Бубукин*

В ФГБНУ НИРФИ разработан метод измерения в натуральных условиях коэффициентов отражения морской поверхности в ИК-диапазоне в широком диапазоне углов визирования, и определения диэлектрической проницаемости и температуры воды верхней части пленочного слоя, толщиной  $\sim 20$  микрон [1]. Показано, что при абсолютных измерениях интенсивностей в широком диапазоне углов (включая пригоризонтные) возможно одновременно определять диэлектрическую проницаемость, температуру и дисперсию уклонов морской поверхности [2]. Создан аппаратный комплекс с одновременным измерением двумя приемниками интенсивностей ИК-излучения морской поверхности и атмосферы. Калибровки осуществлялись по излучению абсолютно черного тела в диапазоне температур от  $-40^\circ$  до  $+30^\circ$ . Аппаратура была установлена на пирсе Карадагского природного заповедника в Отузском заливе Черного моря.

Измерения проводились летом (июль, август), в ночное время [3]. Одновременно измерены диэлектрическая проницаемость, температура и дисперсия уклонов морской поверхности по интенсивностям ИК-излучений морской поверхности и атмосферы в широком диапазоне углов визирования ( $-60^\circ \div +90^\circ$  от горизонта). Как пример, в одном из циклов, получены значения комплексной диэлектрической проницаемости морской воды  $\varepsilon_{\text{экс}} = 1.28 - i \cdot 0.33$  на длине волны  $\lambda = 11 \text{ мкм}$ , которые отличаются от диэлектрических проницаемостей, измеренных для чистой воды на этой длине волны  $\varepsilon = 1.398 - i \cdot 0.492$ . Обнаружено, что в натуральных условиях диэлектрическая проницаемость верхней части пленочного слоя, толщиной  $\sim 20$  микрон, изменчива и меньше величины, полученной для морской воды в

лабораторных измерениях, которую используют в стандартных методиках определения температурных полей океана. Измерены температура воды в скин-слое, и дисперсия уклонов морского волнения. Полученные данные натуральных измерений интерпретированы в модели статистической смеси воды и микропузырьков воздуха, формирующейся под пленкой поверхностного натяжения [4]. Доля воздуха в микропузырьковом слое составляла 20-30% при скоростях ветра 2–4 м/с. Дистанционно измеренная температура воды в скин-слое была  $24.5 \pm 0.25\text{C}$ .

#### **Основные публикации:**

*Бубукин И.Т., Станкевич К.С. Радиометрия температурной плёнки морской поверхности // Успехи современной радиоэлектроники. 2006. №11. С.39-55.*

*Бубукин И.Т., Станкевич К.С Одновременное определение диэлектрических свойств морской поверхности, ее волнового состояния и температуры воды в скин-слое по дистанционным измерениям собственных излучений морской поверхности и атмосферы в ИК-диапазоне // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Космическая радиолокация», 28.06-1.07.2010 г., Муром, С.215-219.*

*Бубукин И.Т., Станкевич К.С. Структура поверхностной пленки морской поверхности по натурным измерениям в ИК-диапазоне // Материалы XXIII Всероссийской научной конференции "Распространение радиоволн", 23-26 мая 2011 г., Йошкар-Ола, Т. 3. С.161-164.*

*Бубукин И.Т., Станкевич К.С Натурные измерения отражательной способности пленочного слоя морской поверхности в ИК-диапазоне // Труды XXII Всероссийской научной конференции Распространение радиоволн 22-26 сентября 2008 г., Ростов-на-Дону – п.Лео. Т.3. С.116-119.*

В одновременных измерениях параметров радиосигналов, рассеянных на искусственных мелкокомасштабных магнитно-ориентированных ионосферных неоднородностях и геомагнитных пульсаций обнаружены согласованные квазипериодические вариации геомагнитного поля и доплеровского смещения частоты на радиотрассах различной протяженности и ориентации. Квазипериодические вариации доплеровского смещения частоты имели периоды 70 – 140 с, амплитуды  $0,1 \div 1$  Гц и длительность  $3 \div 20$  мин. Геомагнитные пульсации в пределах циклов нагрева имели следующие параметры: периоды  $60 \div 140$  с, амплитуды  $0,5 \div 1$  нТл (редко до 2 нТл), длительность  $3 \div 5$  мин. Коэффициент взаимной корреляции между временными вариациями доплеровского смещения частоты и геомагнитных пульсаций достигал 0,6. Показано, что квазипериодические вариации доплеровского смещения частоты были обусловлены модуляцией скорости движения ионосферных неоднородностей альвеновской волной с периодами  $70 \div 140$  с за счет дрейфа плазмы в скрещенных полях (электрическое поле альвеновской волны и геомагнитное поле Земли). Амплитуде альвеновской волны в  $0,5 \div 1$  нТл соответствовала амплитуда квазипериодических вариаций скорости движения ионосферных неоднородностей, равная  $\sim 5 \div 10$  м/с.

*В. П. Урядов (ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород)*

*Г. Г. Вертоградов, Е. Г. Вертоградова (ФГОУ ВПО ЮФУ, г. Ростов-на-Дону)*

*Л. Ф. Черногор, М. А. Шамота (ХНУ им. В. Н. Каразина, г. Харьков, Украина)*

В одновременных измерениях параметров радиосигналов, рассеянных на искусственных мелкокомасштабных магнитно-ориентированных ионосферных неоднородностях и геомагнитных пульсаций обнаружены аperiodические и согласованные квазипериодические вариации геомагнитного поля и доплеровского смещения частоты радиосигналов на трассах различной ориентации по отношению к направлению магнитного поля Земли. Западному и восточному расположению радиотрасс относительно нагревного стенда СУРА соответствовали отрицательные и положительные доплеровские смещения частоты, достигающие по модулю  $1 \div 2$  Гц. Колебания доплеровского смещения частоты для таких радиотрасс были практически в противофазе.

Квазипериодические вариации доплеровского смещения частоты имели периоды 70 – 140 с, амплитуды  $0,1 \div 1$  Гц и длительность  $3 \div 20$  мин.

Геомагнитные пульсации в пределах циклов нагрева имели следующие параметры: периоды  $60 \div 140$  с, амплитуды  $0,5 \div 1$  нТл (редко до 2 нТл), длительность  $3 \div 5$  мин.

Коэффициент взаимной корреляции между квазипериодическими вариациями доплеровского смещения частоты на близких частотах для практически совпадающих радиотрасс достигал значений  $0,75 \div 0,85$ , но обычно не превышал  $0,50 \div 0,66$ . Для сильно отличающихся по геометрии радиотрасс он уменьшался до  $0,40 \div 0,45$ . В первом случае максимальное значение коэффициента взаимной корреляции имело место при нулевом временном сдвиге, а во втором случае – при значительных (несколько минут) сдвигах.

Коэффициент взаимной корреляции между квазипериодическими вариациями уровней *H*- и *D*-компонент геомагнитного поля достигал  $0,4 \div 0,7$ . Максимальное значение коэффициента корреляции не всегда имело место при нулевом временном сдвиге.

Коэффициент взаимной корреляции между временными зависимостями доплеровского смещения частоты радиосигналов и уровнем геомагнитных пульсаций достигал 0,6, несмотря на то, что магнитные измерения производились на расстоянии около 1000 км от рассеивающей области ионосферы.

Апериодические вариации доплеровского смещения частоты вызывались движением рассеивающих радиоволны ионосферных неоднородностей со скоростью  $\sim 15 \div 30$  м/с.

Квазипериодические вариации доплеровского смещения частоты были обусловлены модуляцией скорости движения ионосферных неоднородностей альвеновской волной с периодами  $70 \div 140$  с за счет дрейфа плазмы в скрещенных полях (электрическое поле альвеновской волны и геомагнитное поле Земли). Амплитуде альвеновской волны в  $0,5 \div 1$  нТл соответствовала амплитуда квазипериодических вариаций скорости движения ионосферных неоднородностей, равная  $\sim 5 \div 10$  м/с.

Теоретически оцененные значения амплитуды квазипериодических вариаций доплеровского смещения частоты радиосигналов и их наблюдаемые значения находятся в хорошем согласии.



Исследованы возможности диагностики искусственных ионосферных неоднородностей с масштабами  $I_{\perp} \approx 50 - 200$  м, возбуждаемых в ионосфере Земли мощным КВ радиоизлучением стенда СУРА, с использованием техники вертикального зондирования ионосферы при расположении ионозонда близко к нагревному стенду (около г. Казань). Показано, что в дневные часы рассеяние наблюдается только на частотах выше 4 МГц; при переходе к вечерним и ночным часам наблюдений рассеяние занимает всё более широкую полосу частот, опускаясь вниз до 1.4 – 2 МГц. Измерены характерные времена развития и релаксации таких неоднородностей. На основе выполненных измерений и результатов траекторных расчётов показано, что генерация неоднородностей с  $I_{\perp} \approx 100 - 200$  м происходит практически одновременно во всей толще F2-области и что изменение рефракционных условий на трассе распространения зондирующих радиоволн оказывает сильное влияние на характеристики рассеянных сигналов. Обнаружено, что механизм генерации неоднородностей с размерами  $I_{\perp} \approx 100$  м показывает ярко выраженные гирогармонические свойства (его свойства зависят от величины отстройки частоты волны накачки от частоты гирогармоники электронов).

*В. Л. Фролов (ФГБНУ НИРФИ, г. Нижний Новгород)*

Выполнены спектральные исследования радиопоглощения атмосферы и ионосферы в микроволновом  $\nu \sim (140 \div 20)$  ГГц и дециметровом диапазоне волн  $\nu \sim (1 \div 2)$  ГГц диапазоне волн при воздействии на ионосферу мощным КВ радиоизлучением стенда СУРА. Обнаружено индукционное спорадическое радиоизлучение ионосферы в дециметровом диапазоне волн  $\nu \sim (1 \div 2)$  ГГц при воздействии на неё КВ радиоизлучением в диапазоне частот  $\nu \sim (4,3 \div 5,6)$  ГГц. Интенсивность спорадического излучения составило величину  $\sim 30 \div 50$  К по антенной температуре. Реакция микроволнового излучения атмосферы не наблюдалась. Возможное объяснение наблюдаемым эффектам может основываться на ридберговском механизме, включающем в себя переходы электронов между высокими (ридберговскими) уровнями нейтральных атомов и молекул верхней атмосферы и ионосферы, возбуждёнными при их столкновениях с ускоренными ионосферными электронами.

*А. В. Востоков, А. В. Троицкий, В. Л. Фролов*

Получены новые данные о параметрах нейтральной атмосферы на высотах Е-области по результатам измерений в мае и сентябре 2010 г. времени релаксации искусственных периодических неоднородностей, созданных воздействием на ионосферу мощной радиоволной с частотой 4,7 МГц. Получены профили температуры и плотности нейтральной атмосферы в интервале высот 95-115 км, изучены их высотно-временные вариации. Найдено, что масштаб изменений атмосферных параметров по высоте составил 5-6 км. Выделены характерные периоды волнообразных изменений температуры и плотности, которые на высотах 105-108 км составили 20-30, 40 и 60 минут. В некоторых сеансах отмечались сравнительно высокие отрицательные значения высотного градиента температуры, которые превышали критический уровень для развития неустойчивости, связанной с убыванием температуры нейтральной компоненты с высотой. Полученные результаты дополняют результаты измерений атмосферных параметров методом ИПН, проведенных в предыдущие годы, и подтверждают сделанный ранее вывод о существенном влиянии гидродинамических неустойчивостей и атмосферных волн на температуру и плотность нейтральной атмосферы на высотах области Е.

*Н. В. Бахметьева, А. В. Толмачева, В. Д. Вяхирев,  
Г. П. Комраков, В. Н. Бубукина, Е. Е. Калинина*

Проведено сопоставление с аналогичными данными, полученными 24 сентября 2007 г., когда также наблюдались возмущения в исследуемом высотном интервале. Оно показало, что динамика температурных профилей в том и другом случае развивалась подобным образом. После «гладких» зависимостей  $T(z)$  с большим отрицательным градиентом температуры ниже ее минимума в течение нескольких часов часто фиксируются значительные высотно-временные вариации параметров нейтральной атмосферы. На рисунке показаны наблюдаемые вариации температуры нейтральной атмосферы для 24.09.2007 г. и 18.09.2010г.

#### ***Основные публикации***

*Бахметьева Н.В., Григорьев Г.И., Толмачева А.В. Искусственные периодические неоднородности, гидродинамические неустойчивости и динамические процессы в мезосфере-нижней термосфере // Изв. вузов. Радиофизика. 2010. Т. 53. № 11. С. 695-711.*

*Бахметьева Н.В., Григорьев Г.И., Толмачева А.В. Влияние гидродинамических неустойчивостей на динамику мезосферы-нижней*

термосферы по результатам определения атмосферных параметров в E-области ионосферы // Доклады XXIII Всероссийской научной конференции по распространению радиоволн, 23-26 мая 2011 г., Йошкар-Ола. Труды конференции. Т.3. С.29-32.

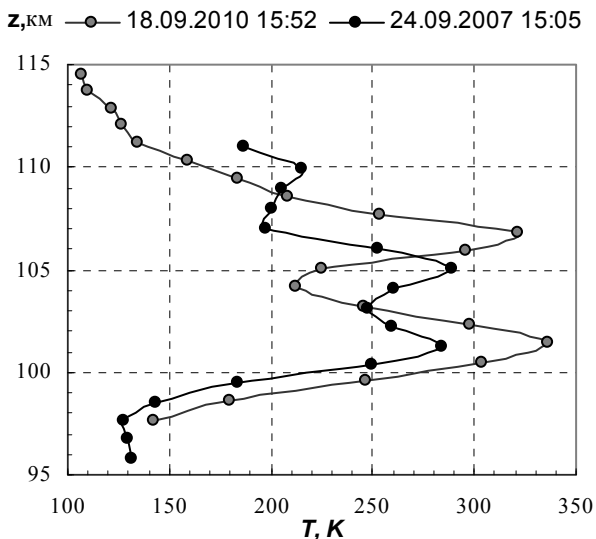


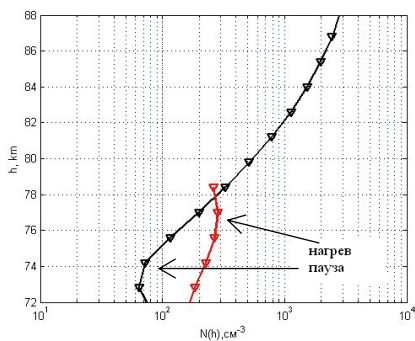
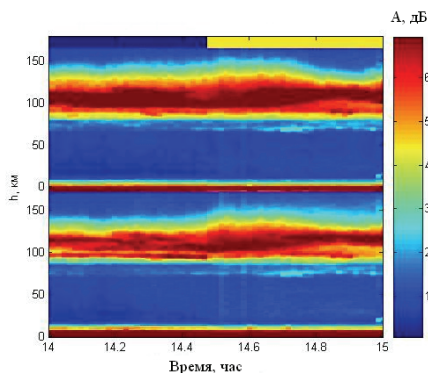
Рисунок – Вариации температуры нейтральной атмосферы

Методом частичных отражений экспериментально исследовано воздействие мощного радиоизлучения стенда СУРА на электронную концентрацию области D ионосферы. Времена изменения электронной концентрации в D-области определяются процессами прилипания и рекомбинации и составляют  $10^{-1}$ - $10^2$  секунд. При нагреве ионосферы радиоволнами необыкновенной поляризации на частоте 4,785 МГц с эффективной мощностью 50 МВт в режиме 30 минутного непрерывного нагрева с паузой такой же длительности наблюдалось увеличение электронной концентрации в среднем на 40% в интервале высот 72–78 км с максимумом на высоте 75 км.

*Н. В. Бахметьева, В. Д. Вяхирев, В. Н. Бубукина, Е. Е. Калинина*

В августе 2011 г. проведены измерения электронной концентрации в нижней ионосфере методом частичных отражений при длительном воздействии на нее мощным КВ радиоизлучением. Нагрев проводился излучением стенда СУРА радиоволн необыкновенной поляризации на частоте 4,785 МГц с эффективной мощностью 50 МВт в режиме 30 минут – нагрев, 30 минут – пауза. Проведено 5 сеансов нагрева и 7 контрольных сеансов (без возмущения) такой же длительности.

В четырех сеансах из пяти наблюдалось увеличение электронной концентрации в среднем на 40% в интервале высот 72–78 км с максимумом на высоте ~75 км. Электронная концентрация рассчитывалась по отношению амплитуд обыкновенной и необыкновенной компонент рассеянного сигнала. Для расчетов при возмущении ионосферы использовался экспериментально определенный высотный профиль эффективной частоты соударений электронов с молекулами, в невозмущенных условиях – стандартный модельный профиль.



На рисунке слева приведен пример изменения амплитуд рассеянных сигналов обеих магнитоионных компонент во время нагрева ионосферы для одного из сеансов наблюдений 18 августа 2011 г.

Хорошо виден рост амплитуд рассеянных сигналов во время работы стенда СУРА (показано желтым цветом на верхней оси). Нижняя панель соответствует необыкновенной поляризации пробной волны, верхняя – обыкновенной.

На рисунке справа приведены невозмущенный (пауза) и возмущенный (нагрев) профили электронной концентрации.

Экспериментально установлено, что возмущение плазмы, возникающее при отражении мощной радиоволны обыкновенной поляризации в F-области ионосферы, регистрируется как вблизи, так и на расстоянии 40-120 км вниз от области резонансного взаимодействия мощной радиоволны с плазмой. При нагреве ионосферы излучением стенда СУРА волны обыкновенной поляризации с эффективной мощностью 50-80 МВт и зондировании ионосферы пробными радиоволнами одновременно в двух наблюдательных пунктах – методом вертикального зондирования в пункте, расположенном вблизи нагревного стенда, и методом многочастотного наклонного зондирования в пункте, расположенном в 170 км к востоку от него на практически широтной радиотрассе, в вечерние часы наблюдались значительные вариации амплитуд сигналов вертикального зондирования на частоте 2,95 МГц и появление сигналов обратного ракурсного рассеяния в диапазоне частот 2,5-6,5 МГц, коррелировавшие с моментами включения нагревного стенда. Область, занятая искусственными неоднородностями с поперечными размерами сотни метров, занимает по высоте не менее 100-120 км вниз от высоты отражения мощной волны. Эффективная скорость распространения возмущения составила до 3-5 км/с.

*Н. В. Бахметьева, В. Л. Фролов, В. Д. Вяхирев, Е. Е. Калинина*  
(ФГБНУ НИРФИ)

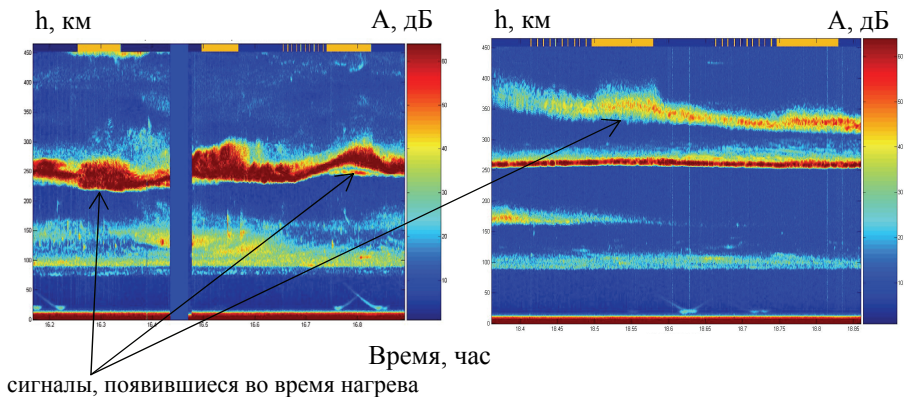
*А. Д. Акчуринов, Е. Ю. Зыков* (Казанский федеральный университет)

Эксперименты проводились в июне и сентябре 2011 г. в утренние (8:00-12:00) и вечерние (16:00-21:00) часы. Для нагрева ионосферы использовался стенд СУРА, излучавший вертикально вверх радиоволны как обыкновенной, так и необыкновенной поляризации в режиме 5 минут – нагрев, 10 минут – пауза. Кроме того, через пять минут «чистой» паузы нагревный стенд включался каждые полминуты на 5 секунд, так что во время второй пятиминутки производилось 10 коротких нагревов. Использование разных временных режимов позволяло исследовать область искусственного возмущения ионосферы при вертикальном и наклонном зондировании как при длинных (минуты), так и на сравнительно коротких (секунды) длительностях нагрева.

Зондирование возмущенной области пробными радиоволнами производилось одновременно в двух наблюдательных пунктах – методом вертикального зондирования в пункте, расположенном вблизи нагревного

стенда, и методом многочастотного наклонного зондирования в пункте «Обсерватория» Казанского (Приволжского) федерального университета, расположенном в 170 км к востоку на практически широтной радиотрассе.

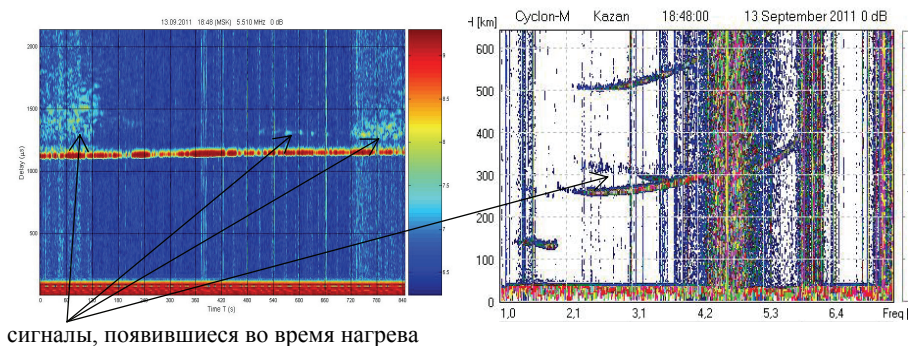
### Результаты вертикального зондирования, стенд СУРА



сигналы, появившиеся во время нагрева

Зависимость амплитуды пробного сигнала вертикального зондирования от времени для 13 сентября 2011 г. Левая панель относится к обыкновенной компоненте пробной волны частоты 2,95 МГц, правая – к необыкновенной.

### Результаты наклонного зондирования, приемный пункт «Обсерватория»



Зависимость амплитуды пробного сигнала наклонного зондирования от времени для 13 сентября 2011 г. (левая панель) и соответствующая ионограмма вертикального зондирования для того же пункта наблюдения. Видны обратно рассеянные сигналы, появившиеся как при коротких (секунды) так и при длительных (минуты) временах нагрева.

При нагреве ионосферы мощной радиоволной обыкновенной поляризации с эффективной мощностью 50-80 МВт наблюдались изменения амплитуд



сигналов вертикального зондирования и появление сигналов обратного ракурсного рассеяния, коррелировавшие с моментами включения нагревного стенда. Влияние возмущения ионосферы на сигналы вертикального зондирования в интервале высот на 40–120 км ниже высоты отражения мощной волны проявилось в ярко выраженной диффузности принимаемых сигналов и появлению его на тех высотах, на которых в отсутствие нагрева он не регистрировался. Времена появления сигнала на этих высотах соответствуют эффективной скорости распространения возмущения от точки отражения мощной волны до высот нижней ионосферы до 3–5 км/с. Значения времен развития дополнительных сигналов на данной высоте во время нагрева дают основание полагать, что их появление (усиление) при нагреве могло быть связано с ростом электронной концентрации в нижней ионосфере и усилением ее неоднородной структуры при искусственном возмущении ионосферы. В тех случаях, когда высоты отражения мощной и пробной радиоволн отличались на 40–70 км, дополнительные сигналы во время нагрева наблюдались в обеих поляризациях пробной волны. При наклонном зондировании возмущенной области в пункте приема «Обсерватория» при нагреве принимались сигналы обратного ракурсного рассеяния на вытянутых вдоль геомагнитного поля неоднородностях плазмы с поперечными размерами 50–150 м, которые, по расчетам, занимали область истинных высот от 120 до 210 км при высоте отражения мощной волны 250 км. Эти же рассеянные сигналы регистрировались на ионограммах вертикального зондирования. При нагреве ионосферы мощной радиоволной необыкновенной поляризации на обеих нагревных частотах, а также при нагреве радиоволной обыкновенной поляризации на частоте 5,6 МГц дополнительные сигналы и сигналы обратного ракурсного рассеяния не наблюдались.

Проанализированы результаты измерений высотного профиля электронной концентрации в E-области ионосферы, полученные в 2006–2007 г.г. в дневное время суток новым методом создания искусственных периодических неоднородностей с двумя разными пространственными масштабами при воздействии на ионосферу мощным радиоизлучением нагревного стенда СУРА. Электронная концентрация определялась по отношению на двух частотах времен релаксации сигналов, обратно рассеянных искусственными периодическими неоднородностями. Исследовано влияние внутренних гравитационных волн и неустойчивостей среды распространения на высотные и временные вариации электронной концентрации. Теоретически показано, что профили электронной концентрации с расслоениями в максимуме слоя и с волнообразными высотными вариациями электронной концентрации могли быть результатом развития неустойчивости среды в исследуемой области высот. Длительные получасовые колебания электронной концентрации вблизи высоты максимума слоя могли быть обусловлены устойчивым распространением внутренних гравитационных волн.

*А. В. Толмачева, Н. В. Бахметьева, В. Д. Вяхирев, В. Н. Бубукина, Е. Е. Калинина*

Полученные двухчастотным методом профили электронной концентрации  $N(z)$  по характеру высотной зависимости были разделены на три группы.

1) «Классические» профили – чаще всего наблюдались в околополуденные часы. Для них характерна плавная высотная зависимость  $N(z)$ , близкая к моделям регулярного E-слоя. Уменьшение средней электронной концентрации от полудня к вечеру происходило в соответствии с изменениями уровня ионизирующей солнечной радиации (с изменением косинуса зенитного угла Солнца).

2) Профили электронной концентрации со спорадическими слоями E.

3) Профили  $N(z)$  с нерегулярными изменениями по высоте, в том числе с расслоениями в максимуме слоя и/или с волнообразным характером изменения  $N(z)$ . Показано, что такие профили могли быть результатом развития неустойчивости среды в исследуемой области высот.

Во временных вариациях электронной концентрации, амплитуды времени релаксации рассеянного сигнала наблюдались колебания с получасовым периодом, продолжавшиеся более 3 часов. Показано, что такие вариации могли быть обусловлены устойчивым распространением внутренних гравитационных волн.

### **Основные публикации**

*Толмачева А.В., Бахметьева Н.В., Вяхирев В.Д., Бубукина В.Н., Калинина Е.Е. Высотнo-временные вариации электронной концентрации в E-области ионосферы по данным измерений методом резонансного рассеяния от искусственных периодических неоднородностей с разными пространственными масштабами // Доклады XXIII Всероссийской научной конференции по распространению радиоволн, 23-26 мая 2011 г., Йошкар-Ола. Труды конференции. Т.2. С. 277-280.*

*Толмачева А.В., Бахметьева Н.В., Вяхирев В.Д., Бубукина В.Н., Калинина Е.Е. Высотнo-временные вариации электронной концентрации в E-слое ионосферы // Изв. вузов. Радиофизика. 2011. Т. 54. № 6. С. 403-414..*

Проведен эксперимент по исследованию переходных процессов в F-области при создании и релаксации искусственных периодических неоднородностей (ИПН). Переходные процессы связаны с возбуждением ионно-звуковых колебаний при образовании и релаксации ИПН при включении и выключении нагрева. Нагрев и диагностика ионосферы производились радиоволнами разных частот и поляризаций. Воздействие на ионосферу осуществлялось излучением одного передатчика стенда СУРА (эффективная мощность излучения 20 МВт) радиоволнами необыкновенной поляризации на частоте 5,455 МГц, а диагностика – зондированием периодической структуры пробными волнами с обыкновенной поляризацией на частоте 4,66 МГц, излучавшимися другим передатчиком стенда. Во время нагрева стабильно появлялись сигналы, рассеянные периодической структурой в области высот, для которой выполнялись условия синхронизма нагревной и пробной радиоволн (согласно расчетам, в этой области концентрация электронов должна быть равна  $2,68 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$ ). Амплитуда рассеянного сигнала превышала уровень шума на 12–15 дБ. Рассеянные сигналы наблюдались на 5–10 км ниже уровня зеркального отражения зондирующего сигнала в узком интервале действующих высот 238–245 км, что соответствовало истинной высоте отражения порядка 180 км. Нарастание амплитуды рассеянного сигнала происходило в течение 100–120 мс после начала нагрева. Отношение амплитуд ионно-звуковых колебаний и средней амплитуды сигнала, рассеянного ИПН, составило 7-8%. Сравнительно малая амплитуда ионно-звуковых колебаний была обусловлена недостаточной мощностью воздействия на ионосферу.

*А. В. Толмачева, Н. В. Бахметьева, В. Д. Вяхирев, Е. Е. Калинина,  
Г. П. Комраков*

Выполнены одновременные исследования динамики искусственных декаметровых неоднородностей в интервале поперечных к геомагнитному полю масштабов  $l_{\perp} \sim 7-125$  м и диагностического искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) в нагревных экспериментах на стенде СУРА и ряде удаленных пунктов приема ракурсно рассеянных сигналов. Проведен анализ и сопоставление суточной зависимости времен развития и релаксации неоднородностей и диагностического ИРИ. Обнаружено одновременное возрастание в 5-10 раз (до 100 с) времен релаксации неоднородностей с масштабами 45-125 м и диагностического излучения при переходе от дневных к ночным измерениям, связываемое с ростом продольных масштабов неоднородностей в 2-3 раза при их релаксации в режиме продольной диффузии.

*Е. Н. Сергеев (ФГБНУ НИРФИ), С.М. Грач (ФГБНУ НИРФИ, ННГУ)  
Е. Ю. Зыков, А. Д. Акчурина, И. А. Насыров (КФУ, г. Казань)  
Г. Г. Вертоградов, В. Г. Вертоградов (ЮФУ, г. Ростов-на-Дону)  
В. Ю. Ким, В. П. Полиматики (ИЗМИРАН, г. Троицк Московской области)*

В мае-сентябре 2010 г. выполнены одновременные исследования динамики искусственных декаметровых неоднородностей в интервале поперечных к геомагнитному полю масштабов  $l_{\perp} \sim 7-125$  м и диагностического искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) в нагревных экспериментах на стенде СУРА (п. Васильсурск, ФГБНУ НИРФИ) и ряде удаленных пунктов приема ракурсно рассеянных сигналов: под Казанью (КФУ), в Ростове-на-Дону (ЮФУ) и в г.Троицк (ИЗМИРАН). Проведен анализ и сопоставление суточной зависимости времен развития и релаксации неоднородностей и диагностического ИРИ. Обнаружено одновременное возрастание в 5-10 раз (до 100 с) времен релаксации неоднородностей с масштабами 45-125 м и диагностического излучения при переходе от дневных к ночным измерениям, связываемое с ростом продольных масштабов неоднородностей в 2-3 раза при их релаксации в режиме продольной диффузии. Времена релаксации более мелких неоднородностей с масштабами 7,5-15 м слабо изменялись в течение всего цикла измерений с 14:00 до 23:00 мск, отвечая распаду неоднородностей в режиме поперечной диффузии. Переход от режима поперечной диффузии с квадратичной зависимостью времен релаксации от поперечного масштаба к режиму продольной диффузии с квадратичной зависимостью времен релаксации от продольного масштаба и с отсутствием какой-либо зависимости от поперечных размеров неоднородностей наблюдался в области масштабов  $l_{\perp} \sim 20-30$  м для дневных измерений и  $l_{\perp} \sim 50-60$  м для ночных. В июне-сентябре 2011 г. выполнен цикл измерений динамики декаметровых неоднородностей

и диагностического ИРИ в области четвертой гармоники гирочастоты электронов  $4f_{He} \sim 5440$  кГц (день) и  $4f_{He} \sim 5320$  кГц (ночь). Значительное усиление рассеяния на декаметровых неоднородностях наблюдалось при нагреве ионосферы на 30–90 кГц выше частоты гирогармоники  $4f_{He}$ .

Получено строгое решение задачи о диффузии одномерных плазменных неоднородностей в слабо ионизованной среде с экспоненциально изменяющимся коэффициентом диффузии. В решении учтены три параметра: размер области, занимаемой неоднородностями, размер неоднородностей и характерный масштаб, на котором диффузия уменьшается в  $e$  раз. Найдена функция Грина для этой задачи. Проанализирована зависимость теоретически найденных времен релаксации неоднородностей от этих параметров. Произведены расчеты времен релаксации в применении к наблюдаемым искусственным периодическим неоднородностям, ИПН, создаваемым при помощи стенда СУРА. Полученная зависимость времени релаксации ИПН от их размеров и коэффициента амбиполярной диффузии совпадает с известным выражением, а рассчитанные значения времени релаксации – с наблюдаемыми величинами.

*Г. И. Григорьев, Н. В. Бахметьева, А. В. Толмачева, Е. Е. Калинина*

Рассмотрено влияние вязкости и теплопроводности среды на распространение внутренних гравитационных волн в применении к результатам определения характеристик нейтральной атмосферы на высотах  $E$ -области методом резонансного рассеяния радиоволн на искусственных периодических неоднородностях. Искусственные периодические неоднородности создавались излучением нагревного стенда СУРА. Внутренние гравитационные волны с периодами от 5-10 минут до 4 часов наблюдались по временным вариациям температуры и плотности нейтральной атмосферы, а также скорости вертикального движения плазмы, которая на указанных высотах совпадает со скоростью движения нейтральной компоненты. Сделаны численные оценки диссипации внутренних гравитационных волн на высотах вблизи 100 км из-за действия указанных факторов. Показано, что для наблюдавшихся волн приведенных периодов диссипацией их энергии за счет вязкости и теплопроводности можно пренебречь, если вертикальные длины волн превышают 400 м–2 км для малых и больших периодов соответственно.

*Г. И. Григорьев, А. В. Толмачева*



**Результаты,  
направленные в Научный совет РАН  
по акустике**

Разработана и успешно апробирована в полномасштабном натурном эксперименте акустическая телеметрическая система передачи данных о физических параметрах забоя газовой добывающей скважины. В качестве канала передачи данных использована колонна труб НКТ, приём данных осуществлён на фонтанной арматуре добывающей скважины. Значения переданных системой величин давления и температуры на забое скважины подтверждены независимыми измерениями штатными кабельными приборами.

*Д. А. Касьянов, А. В. Ванягин, Е. В. Лебедев, В. А. Жогликов*

Система измерения параметров забоя (СИПЗ) предназначена для измерения требуемых физических параметров (давление, температура и т.д.) на забое добывающей газовой скважины, передачу этих данных по беспроводному (акустическому) каналу связи, представляющему собой колонну труб НКТ, и приём переданных с забоя данных на фонтанной арматуре.

СИПЗ предполагается использовать для построения современной системы телемеханики. СИПЗ является полностью роботизированной системой и состоит из забойной и наземной частей (ПУР).

Забойная часть СИПЗ представлена на рисунке 1.



Рисунок 1

В состав забойной части СИПЗ входят три функциональных блока: электронный блок – 1; блок акустического преобразователя с автономным прижимом – 2; моторный блок – 3.

На рисунках 2 и 3 показан процесс подготовки спуска СИПЗ в скважину и установленный на фонтанной арматуре ПУР с чувствительным элементом.



Рисунок 2



Рисунок 3

На рисунке 4 показан процесс монтажа лубриката с СИПЗ на противовыбросный превентор испытательной скважины.



Рисунок 4

В ходе натурального эксперимента забойная часть СИПЗ была спущена на кабеле в область забоя добывающей газовой скважины, на глубину 950м. В заданное время забойная часть СИПЗ была зафиксирована внутри эксплуатационной колонны, с помощью специально разработанного прижимного устройства. Далее произошла автоматическая отстыковка спускоподъёмного оборудования от забойной части.

В заданное время датчики забойной части СИПЗ измерили забойные значения давления и температуры, после чего эти данные были переданы по акустическому каналу, представляющему собой колонну труб НКТ, на поверхность. Данные были успешно приняты и обработаны.

После получения данных в скважину было опущено спускоподъёмное оборудование, которое осуществило захват забойной части СИПЗ с помощью стандартного ловильного устройства. В заданное время прижимное устройство забойной части СИПЗ было отпущено, и забойная часть была успешно поднята на поверхность.

Были проведены независимые замеры забойных давления и температуры на испытательной скважине с помощью стандартной каротажной аппаратуры, спускаемой на кабеле. Данные переданные с помощью СИПЗ и данные, полученные при стандартных измерениях, совпали.

Автономный контроль забойных параметров позволит не только осуществлять постоянный мониторинг таких параметров пласта как коэффициент продуктивности скважины и коэффициент проницаемости пласта в призабойной зоне, но и проводить сервисные операции в автоматическом режиме, без остановки скважины и участия геофизических бригад.

### **Основные публикации**

*Телеметрическая система контроля параметров забоя, Заявка на выдачу патента на полезную модель № 2011137230 от 09.09.2011, положительное решение от 05.10.2011.*

*Телеметрическая система контроля параметров забоя, Заявка на выдачу патента на изобретение № 2011137227 от 09.09.2011.*

Установлена возможность определения координат подповерхностной неоднородности малых по сравнению с длиной волны размеров в упругом полупространстве на основе анализа распределения по его границе поля гармонической поверхностной акустической волны Рэлея, рассеянной данной неоднородностью. Горизонтальные координаты неоднородности определяются по измерениям горизонтальных компонент вектора смещений рассеянного поля не менее чем в двух точках поверхности твердой среды. Определение глубины расположения неоднородности основано на том, что при определенном соотношении между глубиной и длиной волны распределение рассеянного поля волны Рэлея по поверхности полупространства обладает цилиндрической симметрией, в то время как в общем случае максимальные значения поля соответствуют направлению вперед, а минимальные – направлению назад.

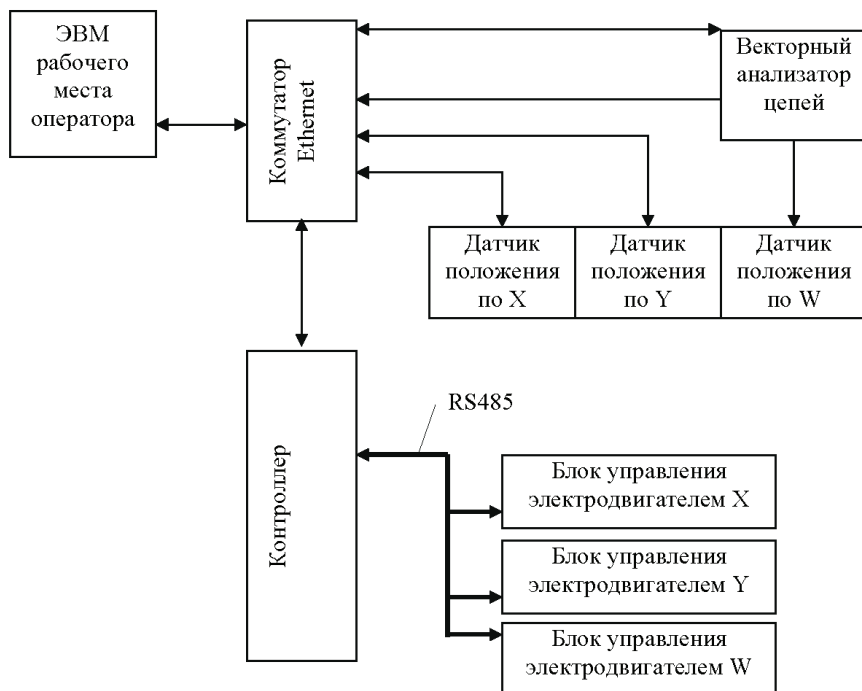
Выполнено численное моделирование рассеяния поверхностной акустической волны Рэлея на подповерхностной неоднородности малых размеров в упругом полупространстве. Показано, что мощность излучения рассеянной волны Рэлея в несколько раз превышает мощности излучения объемных продольной и поперечных (горизонтальной и вертикальной поляризации) волн.

*А. В. Разин*

**Результаты,  
направленные в Научный совет РАН  
по научному приборостроению**

Для разработки автоматизированных систем дистанционного микроволнового зондирования исследованы методы измерения характеристик обратного рассеяния проводящих объектов в их ближней и дальней зонах с помощью векторного анализатора цепей (измерение амплитуды и фазы коэффициента передачи пространственного канала: «излучающая антенна - объект – принимающая антенна»). Разработан проект структурной и функциональной схемы автоматизированного управления опорно-поворотным устройством азимутального типа с двумя линейными юстировочными настройками в горизонтальной плоскости для размещения на нем исследуемых объектов. Разработано программное обеспечение автоматизированной системы управления и подготовки данных. Проведены первые экспериментальные работы по налаживанию автоматизированной системы.

*Ю. И. Белов, А. Г. Серкин, С. О. Черникова*



**Результаты,  
направленные в Отчет института**



В продолжение многолетней программы исследования эволюции радиоизлучения молодых остатков сверхновых выполнены очередные измерения плотности потока радиоизлучения остатка сверхновой Кассиопея А по отношению к радиогалактике Лебедь А на частоте 290 МГц

Отдел №2

Выполнено измерение полной электронной концентрации в ионосфере радиоастрономическим поляризационно-фарадеевским методом, продолжившее многолетнюю программу

Отдел №2

Экспериментально, в строго контролируемых лабораторных условиях, изучено влияние параметров излучения на динамику формирования отраженных от мягкой границы нелинейных акустических волн в пучках большой интенсивности. Показано, что радиационное давление нормально падающего на границу раздела сред мощного импульсного акустического сигнала при определенных параметрах приводит к стационарным и нестационарным возмущениям геометрии границы раздела вода – воздух. Эти возмущения существенным образом влияют на фазовые соотношения между гармониками в отраженной нелинейной волне, что приводит к изменению ее структуры и динамики формирования. Проведены косвенные (оптическим способом) измерения величины амплитуды смещений поверхности жидкости, вызванные нормально падающими акустическими импульсами, в зависимости от их скважности и интенсивности. Показано, что условия, при которых происходит отражение нелинейных волн, существенно различаются, и их можно разделить на три группы. Для максимальных амплитуд давления 2.5 МПа, достигнутых в эксперименте:

- отражение происходит практически от невозмущенной гладкой поверхности при скважностях сигнала больше  $10^6$ ;

- при скважностях сигнала  $10^5$ - $10^2$  отражение волны происходит в условиях эффективного возбуждения капиллярных волн, что приводит к нестационарности смещения границы; однако это явление не приводит к изменениям формы и спектра в отраженной нелинейной волне по сравнению с сигналами предыдущей группы;

- при скважностях сигнала меньше  $10^2$  на поверхности границы раздела возникает осесимметричное стационарное искривление, приводящее к фокусировке отраженного импульса, что оказывает существенное влияние на динамику дальнейшего формирования нелинейных волн.

Отдел №5

Разработан и изготовлен экспериментальный стенд для исследования акустических характеристик фазовых переходов, вызванных изменением концентрации структурных элементов. На примере процесса полимеризации эпоксидных компаундов показано, что подобные фазовые переходы отличаются

нетривиальной нелинейной динамикой ярко проявляющейся при акустических исследованиях. В многочисленных экспериментах отмечена значительная немонотонность поведения гармоник акустического поля от времени, что связано со структурными преобразованиями в исследуемой среде. Выявленные особенности поведения гармоник волны накачки позволяют строить методы диагностики фазовых переходов подобного вида.

Отдел №5

Получено граничное условие для нестационарного горизонтального ионосферного тока на терминаторе с учетом возможности затекания части тока в верхнюю ионосферу и магнитосферу. Этот результат является основой для развития адекватной теории распространения крайне низкочастотных радиоволн вблизи Земли.

Отдел №6

Разработана методика обнаружения, определения координат и эффективных параметров спорадических литосферных источников магнитного поля с уровнем ниже регулярного шумового фона по измерениям нормальной компоненты магнитного поля в трех приемных пунктах

Отдел №6

Для гамильтониана  $N$  квантовой системы, состоящей из двух типов тождественных между собой частиц с короткодействующими и длиннодействующими потенциалами взаимодействия между частицами одного типа (соответственно первого и второго) доказано, что при некоторых условиях на взаимодействия между частицами РАЗНЫХ типов дискретный спектр  $N$  бесконечен как при учете перестановочной симметрии (запрет Паули), так и без этого учёта.

Отдел №6

Изучено распространение волн свистового диапазона вдоль цилиндрических неоднородностей стационарного магнитного поля («магнитных дактов»). Определены условия при которых «магнитные дакты» могут поддерживать объемные и поверхностные моды. Численно исследованы дисперсионные характеристики и структуры полей симметричных и несимметричных мод свистового диапазона, направляемых дактами с повышенной плотностью магнитного поля. Расчеты проведены для параметров, соответствующих лабораторной магнитоактивной плазме.

Отдел №6

Исследованы особенности возбуждения волн свистового диапазона при наличии радиально неоднородного цилиндрического дакта с пониженной плотностью в однородной магнитоактивной плазме. На основании строгого решения для полного поля, представленного в виде разложения по собственным волнам дискретной и непрерывной частей спектра, получено выражение для сопротивления излучения кольцевого однородного тока. Определены условия,

при которых наличие дакта приводит к заметному увеличению сопротивления излучения расположенного внутри него кольцевого тока по сравнению со случаем размещения тока в однородной фоновой плазме. Полученные результаты применимы как к условиям модельных лабораторных, так и активных ионосферных экспериментов.

Отдел №6

Исследованы электродинамические характеристики рамочной антенны, расположенной на поверхности продольно замагниченного плазменного столба и представляющей собой свернутую в кольцо бесконечно тонкую, идеально проводящую узкую ленту. Предполагается, что ток в антенне возбуждается гармонической во времени сторонней ЭДС, создающей электрическое поле с единственной азимутальной составляющей в зазоре с малой угловой шириной на поверхности ленты. Показано, что наличие плазменного столба может существенно влиять на распределение тока и импеданс антенны по сравнению со случаем ее размещения в свободном пространстве.

Отдел №6

Теоретически исследованы особенности применения радиолокационного обнаружения объектов, расположенных вблизи границы раздела воздух - вода, с использованием пассивных датчиков, обладающих нелинейными характеристиками в радиодиапазоне. Изучено влияние магнитоэлектрического сферического сердечника, изготовленного из искусственного изотропного метаматериала (с отрицательной магнитной проницаемостью), на рассеяние электромагнитных волн кольцевой рамкой с нелинейной нагрузкой (в виде диода). Показано, что значительное усиление нелинейно рассеянного сигнала имеет место для относительно коротких антенн с размерами меньшими половины длины волны падающего сигнала.

Отдел №6

Показано, что теоретические спектры акустического излучения кавитационного пузырька, полученные в результате численного моделирования динамики пузырька, пульсирующего в сжимаемой вязкой жидкости под действием неоднородного акустического поля и экспериментальные спектры акустического излучения кавитационной зоны, создаваемой цилиндрическим акустическим концентратором, находятся в хорошем качественном соответствии.

Отдел №6

На базе радиоизмерительного комплекса ФГБНУ НИРФИ проведены натурные эксперименты по наземному приему МВ-ДМВ сигналов пролетных ИСЗ типа "Парус" при наклонном радиозондировании области ИВ над р.п. Васильсурск во время работы нагревного стенда СУРА. Спектральная обработка сигналов, принятых в ходе эксперимента в сентябре 2011 года на наклонных радиотрассах "ИСЗ – р.п. Зименки" и проходящих через область ИВ ионосферы над р.п.

Васильсурск во время работы стенда СУРА, продемонстрировали только наличие моностепенных спектров. Это характерно для случаев, когда зондирующий сигнал орбитального ИСЗ при наклонном падении на область ИВ не попадает в тонкий слой с толщиной около 10 километров с резко выраженной анизотропной структурой МИИТ среднеширотной ионосферы вблизи уровня отражения волны накачки. В реальной ситуации, создавшейся в настоящее время, космические эксперименты по однопунктовому мониторингу мультифрактальной структуры ИИТ на базе стенда СУРА с применением ограниченной группировки российских орбитальных ИСЗ типа "Парус" возможны лишь при последовательном радиозондировании двух областей ИВ: тонкого (десятикилометрового) и толстого (в сотни километров) слоев ионосферной плазмы. Для этого следует вести наблюдения за сигналами этих орбитальных ИСЗ в экспедиционном пункте, расположенном на одной географической долготе вблизи нагревного стенда СУРА. Тогда сигналы от пролетного ИСЗ "юг-север" в наземном пункте наблюдения будут последовательно приниматься после просвечивания ими тонкого слоя области ИВ вблизи уровня отражения волны накачки (по направлению луча зрения на ИСЗ вдоль магнитного поля Земли в районе пункта наблюдения) и толстого слоя возмущений над максимумом  $F_2$  области ионосферы при удалении орбитального ИСЗ от пункта наблюдения на север. Для пролетных ИСЗ "север-юг" соответствующая картина будет иметь зеркальное отображение.

Отдел №8

Рассмотрены основные аспекты теории распространения высокочастотных радиоволн в случайно-неоднородных средах с мультифрактальной структурой турбулентности. Показано, в частности, что общепринятые методы расчетов статистических характеристик сигналов в случайно-неоднородных средах, описываемых корреляционными или структурными функциями диэлектрической проницаемости 2-го порядка, оказываются работоспособными и при теоретически расчетах соответствующих характеристик радиоволн при распространении их в неоднородных средах с мультифрактальной структурой турбулентности. Но этот вывод справедлив лишь при анализе именно среднестатистических характеристик сигналов 2-го порядка (спектральные и структурные функции 2-го порядка принимаемых сигналов или спектральные функции флуктуаций 4-го порядка в случайно-неоднородных средах с нормальной статистикой диэлектрической проницаемости среды). При анализе, например, многомерных структурных функций принимаемых сигналов, влияние мультифрактальной структуры турбулентности может быть определяющим для соответствующих среднестатистических характеристик радиоволн, распространяющихся в таких случайно неоднородных средах. При этом соответствующие теоретические соотношения для среднестатистических характеристик радиоволн, полученные в известных монографиях (см. монографии: В.И. Татарский. *Распространение волн в турбулентной атмосфере*. М. 1967; С.М. Рытов, Ю.А. Кравцов, В.И. Татарский. *Ведение в*

*статистическую радиофизику. Т. 2. М. 1978; Б.Н. Гершман, Л.М. Ерухимов, Ю.Я. Яшин. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. М. 1984. и др.), для расчетов таких многомерных статистических функций флуктуирующих сигналов уже не применимы. Здесь необходим комплексный подход с использованием метода МСФ для флуктуаций диэлектрической проницаемости среды распространения радиоволн. Впервые такой подход в решении задачи распространения радиоволн в случайно-неоднородной среде с мультифрактальной структурой турбулентности был реализован при решении задачи дифракции радиоволн на турбулентном фазовом экране со случайной мультифрактальной структурой в цикле работ В.А. Алимова, Ф.И. Выборнова, А.В. Рахлина в 2007 – 2011 г.г.*

#### Отдел №8

Выполнены наблюдения за вариациями доплеровского смещения частоты радиоволн декаметрового диапазона, отраженных от ионосферы над г. Харьков в период, воздействия на плазму мощного радиоизлучения стенда СУРА и в контрольные дни. Расстояние от стенда до средства диагностики (доплеровского радара) составляло около 1000 км. Обнаружены перемещающиеся ионосферные возмущения, которым соответствовало время запаздывания по отношению к моменту включения мощного периодического излучения около 50 мин и скорость распространения 300–400 м/с. Относительная амплитуда возмущений концентрации электронов составляла ~1–4%, период – десятки минут. Установлено, что параметры перемещающихся ионосферных возмущений существенно зависят от режима излучения стенда СУРА.

#### Отдел №8

В августе 2011 года на стенде СУРА выполнены радиотомографические измерения вариаций плотности плазмы вдоль орбиты низкоорбитального ИСЗ. Обнаружена картина распространяющихся перемещающихся ионосферных возмущений от области, нагретой мощным КВ радиоизлучением.

#### Отдел №8

**Разработаны опытные образцы следующих видов оборудования:**

**Установка УМС-1ТК для термокомпрессионной сварки золотой проволоки к контактными площадкам кристалла.** Установка позволила увеличить производительность монтажа на 50% и повысить процент выхода годных приборов на 5%.

**Установка УМС-3КП микроконтактной сварки расщепленным электродом.** В установке внедрена новая технология сварки микродеталей, в частности время сварочного импульса составляет 300-700 микросекунд, по сравнению с обычными режимами, где время сварки составляло 20-60 миллисекунд. В результате расширились технологические возможности установки - в два раза увеличилась

толщина свариваемых деталей, в пять раз повысилась стойкость сварочного электрода, а также повысилась производительность на 25%.

#### **Источник тока сварки пайки ИТСП-3 с комплектом термокарандашей.**

Блок ИТСП-2 предназначен для присоединения проволочных и плоских проводников из Au;Ag;Cu. методом сварки и пайки с помощью термокарандашей к элементам плёночных и гибридных микросхем.

Встроенная система контроля информирует о прохождении сварочного импульса и измеряет импеданс выходной цепи. На жидкокристаллическом экране прибора после прохождения сварочного импульса высвечивается импеданс выходного тракта, который состоит: из импеданса выходного усилителя; сопротивления проводов соединяющих трансформаторный выход усилителя с инструментом и сопротивление самого инструмента, а также сопротивления зоны сварки. Импеданс сварочного тракта может варьироваться в пределах 40-150 мОм. При отлаженной технологии импеданс не должен меняться более, чем на 5% от сварки к сварки. В случае, если импеданс превышает нормальное значения, следует проверить контакты подводящих проводов, крепления инструмента, отсутствия подгорания сварочного инструмента. Измерения импеданса позволяет оперативно выявлять неисправности источника тока сварки пайки, тем самым способствует обеспечению образования качественного сварного соединения.

**Отдел №11**

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Результаты, направленные в Годичный отчет РАН.....	7
2. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Солнце.....	13
3. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Астрометрия, небесная механика и прикладная радиоастрономия.....	23
4. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Оптические методы и телескопы.	31
5. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Радиотелескопы и методы .....	36
6. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Планетные исследования.....	41
7. Результаты, направленные в Научный совет по распространению радиоволн при отделении Физических наук РАН .....	44
8. Результаты, направленные в Научный совет по акустике при отделении Физических наук РАН .....	65
9. Результаты, направленные в Научный совет по научному приборостроению при Президиуме РАН .....	70
10. Результаты, направленные в Отчет института.....	72

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФГБНУ НИРФИ  
ЗА 2011 ГОД

Оригинал-макет подготовлен  
в отделе Методов обработки научной информации ФГБНУ НИРФИ

---

Подписано в печать 08.04.13. Формат 60x84/16  
Бумага писчая. Объем 4,65 усл.п.л.  
Тираж 50. Заказ 5623

---

Отпечатано в ФГБНУ НИРФИ.  
603950 Н.Новгород, ул. Б.Печерская, 25/12а