

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

**Препринт № 550**

Результаты научной деятельности ФГБНУ НИРФИ  
за 2012 год

**Нижний Новгород**

**2013**

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФГБНУ НИРФИ  
ЗА 2012 ГОД // Препринт №550. – Нижний Новгород: ФГБНУ  
НИРФИ, 2013. – с.96

УДК 501

В препринте приведены итоги работы ФГБНУ НИРФИ за 2012 год.

© Научно-исследовательский радиофизический институт, 2013



В препринте изложены основные результаты деятельности Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский радиофизический институт» в 2012 году.

### *Итоги научной деятельности*

В 2012 г. в ФГБНУ НИРФИ выполнялись 64 научно-исследовательских и опытно-конструкторских работы. Из них: 8 – по государственному заданию, 2 – по государственным контрактам с Минобрнауки в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы», 4 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 ФЦП «Развитие оборонно-промышленного комплекса РФ на 2011-2020 г.г.», 1 НИР – в рамках ФЦП «Поддержание, развитие и

использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы», 23 НИР – по грантам РФФИ, в том числе 7 проектов финансируются совместно из средств Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и Министерства промышленности и инноваций Нижегородской области.

Подтвержден сертификат на соответствие ФГБНУ НИРФИ системе менеджмента качества по ИСО 9000 (Сертификат № РОСС RU.ИС17. К00119 учетный номер 13410, номер бланка К №16590, дата регистрации 02.11.2010, срок действия до 02.11.2013.).

По итогам года 4 результата рекомендованы в годичный отчет Российской Академии наук.

31 результат направлен в Научные советы РАН.

Опубликованы 2 монографии, 92 статьи в российских и зарубежных журналах и в трудах конференций и симпозиумов, 64 тезиса докладов.

Сотрудниками института защищены 3 докторские (**Н. В. Бахметьева** «Экспериментальные исследования неоднородной структуры и динамики нижней ионосферы Земли при воздействии на нее мощным радиоизлучением», **О. А. Шейнер** «Результаты радиофизических исследований процессов, предшествующих явлениям солнечной активности», **А. В. Разин** «Возбуждение, распространение и трансформация сейсмоакустических волн на границе раздела газообразной и твердой сред») и 2 кандидатские (**М. С. Дерябин** «Экспериментальные исследования нелинейных эффектов в сильнонеоднородных интенсивных акустических полях», **Н. А. Рыжов** «Исследования динамических процессов в атмосфере методами акустического и радиоакустического зондирования») диссертации.

При выполнении работ по государственному заданию в 2012 году получены основные результаты по следующим направлениям:

1. Исследования по созданию практических основ наземных методов прогнозирования мощных солнечных вспышек по наблюдениям долгопериодных вариаций геомагнитного поля.

2. Разработка и развитие систем диагностики нижней ионосферы.

3. Радиометрическое исследование нестационарного состояния атмосферного водяного пара как основного парникового газа земной атмосферы.

4. Исследования пленочного слоя морской поверхности в целях установления корреляционных связей физических параметров пленочного слоя морской поверхности и приземной атмосферы на основе данных дистанционной диагностики этих сред в ИК-диапазоне.

5. Исследование влияния неоднородности нижних слоев воздуха на эффективность передачи энергии сейсмических волн в Земле акустическим волнам в атмосфере.

6. Обнаружение электромагнитных предвестников землетрясений на крайне низких частотах (КНЧ) с использованием методов подавления регулярного шумового фона.

7. Исследование возможности передачи информационного сигнала по колонне эксплуатационных труб с целью создания беспроводного канала связи для передачи данных с забоя добывающей скважины на поверхность

8. Реализовано экспертно-аналитическое, информационное и методическое обеспечение мониторинга основных публикаций и тенденций развития в сфере деятельности института.

На основе результатов поисковых и прикладных НИОКР по приоритетным направлениям науки, технологий и техники и критическим технологиям федерального уровня в 2011 году произведено 9 наименований научно-технической продукции.

В институте в 2012 году осуществлялась экспертная и патентная деятельность.

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 11 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», в состав редколлегии которого входят сотрудники института.

Сотрудники института принимали участие в 27 международных и 17 российских конференций:

В 2012 году 22 сотрудника института занимались учебной и преподавательской работой в вузах и техникумах Нижнего Новгорода.

#### **Премии и награды**

1. ***А. Н. Караштин*** – Почетная грамота Минобрнауки РФ.
2. ***В. М. Фридман*** – Почетная грамота Минобрнауки РФ.
3. ***А. Ф. Дементьев*** – Почетная грамота Минобрнауки РФ.
4. ***Е. Х. Куликова*** – Почетный диплом губернатора Нижегородской области.
5. ***С. Д. Снегирев*** – Благодарственное письмо администрации г. Нижнего Новгорода.
6. ***Г. М. Жислин*** – победитель конкурса на написание учебно-методического пособия в ННГУ.
7. ***В. Ф. Мельников*** – благодарность Поволжского центра аэрокосмического образования.

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

**Проведена серия исследований влияния искусственно возмущённой ионосферы на озоновый слой Земли. Обнаружено уменьшение на ~10% интенсивности микроволнового излучения мезосферы в линии озона на частоте 110836,04 МГц во время модификации ионосферы Земли короткими радиоволнами с эффективной мощностью ~ 100 МВт, излучаемыми нагревным стендом СУРА.\***

*Г. И. Григорьев, Г. П. Комраков, В. Л. Фролов (ФГБНУ НИРФИ)  
В. М. Демкин, А. А. Красильников, Л. М. Кукин, Ю. Ю. Куликов,  
Л. В. Лубяко, В. Г. Рыскин (ИПФ РАН)*

Мезосфера Земли, расположенная на высотах 50 – 90 км, до сих пор остается наименее исследованной частью средней атмосферы. Отличительной особенностью этой области является большая плотность нейтральных частиц и слабоионизованная плазма с различного рода положительными и отрицательными ионами и ионами-связками, образующимися в результате сложных ионизационных и рекомбинационных процессов. При существующей сложности физических процессов количество возможных методов исследования мезосферы ограничено. Одним из важных процессов является взаимодействие нижней ионосферы с озоновым слоем Земли на высотах мезосферы. Помимо изучения естественных факторов, влияющих на состояние мезосферы, в последние десятилетия развивались методы искусственного воздействия с помощью мощного КВ радиоизлучения, генерируемого специально построенными нагревными стендами. Это позволяет выполнять исследования, когда измерения проводятся с повторяемыми и контролируемыми свойствами создаваемых возмущений. Предлагаемая формулировка обобщает результаты экспериментов по модификации ионосферы, которые проводились в 2008–2012 гг. на нагревном стенде СУРА (ФГБНУ НИРФИ, Н. Новгород), расположенном около Васильсурска на расстоянии 120 км к востоку от Нижнего Новгорода. Целью экспериментов было определение степени возмущения нейтральной компоненты (озона) в нижней ионосфере на высотах 50–90 км мощными КВ радиоволнами. Эксперимент был поставлен следующим образом. Нагревный стенд излучал под углом 12° от зенита на юг мощную радиоволну Х-поляризации на минимально возможной для стенда частоте 4,3 МГц; эффективная мощность излучения составляла около 100 МВт. Частота и поляризация излучения были выбраны, исходя из условия

---

\*

Результат направлен также в Научный совет РАН по распространению радиоволн и Отделение наук о Земле, секция Океанологии, физики атмосферы и географии.



обеспечения, наиболее сильного нагрева нижней ионосферы. Определение количества озона в средней атмосфере выполнялось методом наземной микроволновой радиометрии. Метод основан на измерении и анализе формы спектра теплового излучения атмосферы в окрестностях линии вращательного перехода озона на частоте 1107836,04 МГц. Метод дает возможность проводить непрерывные измерения интенсивности излучения мезосферы с временным разрешением около 15 мин, что позволяет отличать естественные и искусственные возмущения в этой области атмосферы. Включение станда осуществлялось в режиме: 30 мин – излучение, 30 мин – пауза. Такой режим был выбран исходя из возможностей микроволнового озонметра, когда за время нагрева и паузы можно было получить по два спектра атмосферной линии озона. В результате экспериментов по искусственному воздействию на нижнюю ионосферу мощным КВ радиоизлучением было обнаружено новое физическое явление — уменьшение интенсивности микроволнового излучения мезосферы в линии озона при модификации ионосферы мощным КВ радиоизлучением.

#### **Основные публикации**

*Куликов Ю.Ю., Фролов В.Л., Григорьев Г.И., Демкин В.М., Комраков Г.П., Красильников А.А., Рыскин В.Г. Отклик мезосферного озона на нагрев нижней ионосферы мощным КВ радиоизлучением // Геомагнетизм и Аэронавигация. 2012. Т. 53, № 1. С. 2013.*

*Куликов Ю.Ю., Григорьев Г.И., Красильников А.А., Фролов В.Л. Вариации микроволнового излучения мезосферы при нагреве нижней ионосферы мощными КВ радиоволнами // Изв. ВУЗов Радиофизика. 2012. Т. 55, № 1-2. С. 57-65,*

*Куликов Ю.Ю., Красильников А.А., Комраков Г.П., Фролов В.Л. Воздействие мощного КВ радиоизлучения на мезосферный озон // Сборник тезисов Международного симпозиума стран СНГ «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2009) 22-26 июня 2009 г., Санкт-Петербург. С. 153-154. 2009.*

*Kulikov Yu.Yu., Frolov V.L., Demkin V.M., Komrakov G.P., Krasilnikov A.A., Ryskin V.G. Influence of HF powerful waves on the ozone content in the Earth's atmosphere // 33<sup>rd</sup> Annual Apatity Seminar «Physics of Auroral Phenomena» 2-5 March 2010, Apatity. Abstracts. 2010. P. 76.*

*Kulikov Yu.Yu., Frolov V.L., Demkin V.M., Komrakov G.P., Krasilnikov A.A., Ryskin V.G. Influence of HF powerful waves on the ozone content in the Earth's atmosphere // Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Annual Apatity Seminar "Physics of Auroral Phenomena". 2011. P. 74-77.*

*Kulikov Yu.Yu., Frolov V.L., Influence of HF powerful radio waves on the ozone number density in the Earth's atmosphere. The Seventh International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter, and Submillimeter Waves (MSMW'10) Proceedings, Kharkov, Ukraine, June 21 – 26, 2010. doi:10.1109/MSMW.2010.5545979.*

*Frolov V.L., Kulikov Yu.Yu. Influence of HF powerful radio waves on the ozone number density in the Earth's atmosphere // RF Ionospheric Interactions Workshop, Santa Fe, New*

*Mexico, USA, 18-21 April 2010. Abstracts. CD.*

*Куликов Ю.Ю., Красильников А.А., Кузнецов А.А., Комраков Г.П., Фролов В.Л. Отклик мезосферного озона на воздействие мощного КВ радиоизлучения // «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2011) 21-24 июня 2011 г., Санкт-Петербург. 2011. С. 194-195,*

*Кузнецов А.А., Комраков Г.П., Красильников А.А., Куликов Ю.Ю., Фролов В.Л. Влияние мощного КВ радиоизлучения на содержание мезосферного озона // Труды XV научной конференции по радиофизике, посвященной 110-й годовщине со дня рождения А.А. Андропова. Нижний Новгород, 10-13 мая, 2011. С. 122-123,*

*Куликов Ю.Ю., Демкин В.М., Красильников А.А., Рыскин В.Г., Фролов В.Л., Шанин В.Н.. Влияние на вариации озона средней атмосферы естественных и антропогенных факторов (по данным наземной микроволновой радиометрии) // XXIII Всероссийская научная конференция «Распространение радиоволн» (Йошкар-Ола, 23-26 мая 2011 года). Сборник докладов. 2011. Т. 3. С. 245-248.*

*Kulikov Yu., Frolov V. Variations of ozone microwave emission from the mesosphere at heating a lower ionosphere powerful HF radio waves // Antennas and Propagation (EuCAP), 6<sup>th</sup> European Conference. 2012. P. 581-584, doi: 10.1109/EuCAP.2012.6206516.*

Экспериментально установлено для двойных звездных систем (при применении доплеровской 3D-томографии для алголей beta Per и RS Vul) наличие коронального выброса массы звездой-донором и отклонения газового потока от направления орбитальной плоскости. Полученные результаты подтверждают модель магнитной активности системы, согласно которой в пространстве между звездами возникает эмиссионная структура, являющаяся результатом магнитного взаимодействия аккреционного потока и увлекаемыми им линиями магнитного поля звезды-донора.\*

*М. И. Агафонов, О. И. Шарова (ФГБНУ НИРФИ)  
M. T. Richards (Pennsylvania State University)*

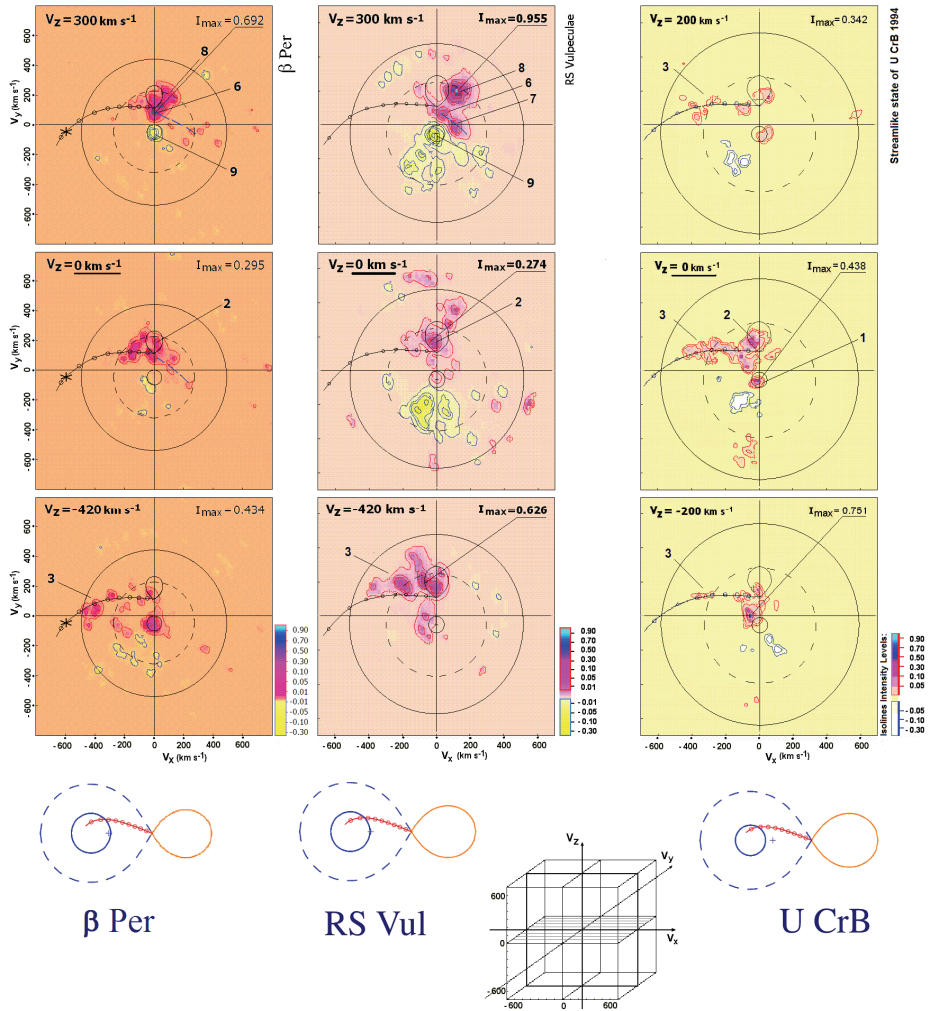
Впервые построена доплеровская 3D-томограмма алголя beta Per [1]. Для реконструкции использован радиоастрономический подход к решению задач малоракурсной томографии [2]. Исходными данными являлись 135 профилей спектров, полученные при наблюдениях в линии H $\alpha$  при полном обороте системы. У эмиссионных особенностей томограммы обнаружены компоненты скорости  $V_z$  в направлении, перпендикулярном орбитальной плоскости системы, что ранее в стандартном 2D-варианте томографии было невозможно. Получены свидетельства наличия коронального выброса массы звездой-донором, наклонного движения газового потока относительно орбитальной плоскости, существования локализованной эмиссионной области между звездами. Результат согласуется с недавно полученными VLBI-изображениями beta Per на частоте 15 ГГц [3], также указывающими на наличие больших корональных выбросов вещества в областях полюсов звезды-донора. Сопоставление результатов 3D-томографии свидетельствует о сходстве движений газовых потоков в системах beta Per и RS Vul [4]. Обнаружено их принципиальное отличие от алголя U CrB [5,6], аккреционный поток в котором имеет стандартное центральное положение на 3D-томограмме, что соответствует движению в орбитальной плоскости. Результаты 3D-томографии подтверждают предложенную в модель магнитного взаимодействия между звездами в системах типа Алголь [7], при котором магнитное поле донора увлекается газовым потоком, взаимодействующим с веществом, циркулирующим вокруг акретора.

На рисунке показаны сечения ( $V_x, V_y$ ) доплеровских 3D-томограмм алголей beta Per, RS Vul, U CrB в линии H $\alpha$  для трех значений скорости по оси  $V_z$ , перпендикулярной орбитальной плоскости. Куб иллюстрирует их положение в пространстве скоростей. Разрешение составляет: для beta Per (40 $\times$ 40 $\times$ 180) км/с, а для RS Vul и U CrB (30 $\times$ 30 $\times$ 105) км/с по осям  $V_x, V_y, V_z$  соответственно

---

\* Результат направлен также в секции Межзвездная среда и звездообразование, Звезды и Внеатмосферная астрономия Научного совета РАН по астрономии.

(коррекция на различия в разрешении по осям не вводилась). Цифрами обозначена эмиссия структурных особенностей: 1 – аккректор; 2 – донор; 3 – поток от донора к аккректору; 6-7 – локальная область (superhump); 8 – поток вблизи донора (корональный выброс массы); 9 – абсорбционная зона (вблизи аккректора). В нижней части рисунка изображены соответствующие Картезианские модели систем.



### **Основные публикации:**

1. Richards M.T., Agafonov M.I., Sharova O.I. *New Evidence of Magnetic Interactions between Stars from Three-Dimensional Doppler Tomography of Algol Binaries: beta Per and RS Vul.* *Astrophysical Journal.* 2012. V.760, Issue 1, article id. 8, 10pp (November 20).
2. Агафонов М.И., Шарова О.И. *Томография при ограниченном числе проекций. II. Радиоастрономический метод CLEAN в приложении к трехмерным задачам.* *Изв. вузов. Радиофизика.* 2005. Т.48, №5. С.367-381.
3. Peterson W.M., Mutel R.L., Gudel M., Goss W.M. *A large coronal loop in the Algol system.* *Nature.* 2010. V.463, pp.207-212.
4. Richards M.T., Sharova O.I., Agafonov M.I. *Three-Dimensional Doppler Tomography of the RS Vulpeculae Interacting Binary.* *Astrophysical Journal.* 2010. V.720, No.2. pp. 996-1007.
5. Agafonov M.I., Richards M.T., Sharova O.I. *Three-dimensional Doppler Tomogram of Gas Flows in the Algol-type Binary U Coronae Borealis.* *Astrophysical Journal.* 2006. V.652, No.2, part 1. pp.1547-1553.
6. Agafonov M.I., Sharova O.I., Richards M.T. *Three-Dimensional Doppler Images of the Disklike and Streamlike States of U Coronae Borealis.* *Astrophysical Journal.* 2009. V.690, No.2. pp. 1730-1744.
7. Retter A.R., Richards M.T., Wu K. *Evidence for Superhumps in the Radio Light Curve of Algol and a New Model for Magnetic Activity in Algol Systems.* *Astrophysical Journal.* 2005. V.621. pp. 417-424, March 1.

Разработан и введен в практику регулярных исследований метод мониторинга мезосферы – нижней термосферы, основанный на резонансном рассеянии радиоволн искусственными периодическими неоднородностями ионосферной плазмы, создаваемыми излучением мощного нагревного стенда. Метод позволяет измерять характеристики и изучать динамику плазменной и нейтральной составляющих среды с пространственным разрешением 1 км, временным разрешением 5 минут и погрешностью определения атмосферных и ионосферных параметров 10%.\*

*Н. В. Бахметьева, Г. И. Григорьев, Е. Е. Калинина, А. В. Толмачева, В. Д. Вяхирев (ФГБНУ НИРФИ)*

В ФГБНУ НИРФИ разработаны способы диагностики ионосферы и атмосферы на основе создания искусственных периодических неоднородностей ионосферной плазмы (ИПН). ИПН формируются в поле мощной стоячей волны, возникающей в результате интерференции двух волн: вертикально излучаемой мощным радиопередатчиком и отраженной от ионосферы. Пространственный масштаб образующейся периодической структуры равен длине  $\Lambda$  стоячей волны в среде. После прекращения воздействия на ионосферу искусственные периодические неоднородности исчезают (релаксируют). Диагностика периодической структуры осуществляется на стадии ее релаксации зондированием пробными радиоимпульсами и регистрацией амплитуды и фазы сигнала, рассеянного искусственными периодическими неоднородностями. По уменьшению амплитуды рассеянного сигнала в  $e$  раз определяются времена релаксации ИПН. В E-области ионосферы время релаксации определяется коэффициентом амбиполярной диффузии плазмы  $D_a$  и длиной стоячей волны  $\Lambda$ :  $\tau = (K^2 D_a)^{-1}$ ,  $K=2\pi/\Lambda$ , т.е. температурой и плотностью атмосферы, и показателем преломления стоячей волны, зависящим от электронной концентрации. По высотной зависимости времени релаксации с учетом показателя преломления определяются температура и плотность нейтральной атмосферы и параметры турбулентности, а по измерениям фазы принимаемых сигналов – вертикальные скорости регулярного движения плазмы. Определение электронной концентрации основано на практически одновременном создании ИПН с разными пространственными масштабами, что происходит при воздействии на ионосферу мощных радиоволн на двух разных частотах. Отношение времен релаксации сигналов на этих частотах на данной высоте зависит только от

---

\*

Результат направлен также в Научный совет РАН по распространению радиоволн и Национальный геофизический комитет, секцию Метеорологии и атмосферных наук и секцию Геомагнетизма и аэронамики

частот мощных радиоволн и их показателей преломления в ионосфере, то есть, в конечном итоге, от электронной концентрации.

В результате продолжительных исследований при постоянном совершенствовании методики наблюдений и обработки экспериментальных данных получены высотно-временные зависимости времен релаксации и скоростей вертикальных движений плазмы на высотах мезосферы – нижней термосферы в реальном времени. Созданы оригинальные программы определения температуры и плотности нейтральной атмосферы, реализован новый двухчастотный способ измерения электронной концентрации на высотах  $E$ -области ионосферы. Исследования динамики нижней ионосферы на основе создания ИПН привели к следующим важным результатам.

- В спокойных условиях в отсутствие атмосферных и перемещающихся ионосферных возмущений в  $E$ -области ионосферы наблюдается «классический» высотный  $N(z)$ -профиль электронной концентрации, которая достигает максимума порядка  $10^5 \text{ см}^{-3}$ , а выше максимума спадает в область межслоевой впадины.
- Профили  $N(z)$  с нерегулярными изменениями электронной концентрации, к которым относятся профили с расслоениями в максимуме слоя и профили с волнообразным характером изменения  $N$ , обусловлены распространением внутренних гравитационных волн и развитием гидродинамических неустойчивостей среды.
- Средние значения измеренных величин температуры и плотности нейтральной компоненты на высотах ниже 100 км хорошо согласуются с данными атмосферных моделей.
- В отсутствие выраженной атмосферной волновой активности наблюдаются высотные зависимости температуры с локальным минимумом 100–130 К, расположенным в интервале высот 100–107 км.
- Зарегистрировано устойчивое распространение внутренних гравитационных волн с периодами от 20 минут до нескольких часов, проявляющееся в вариациях электронной концентрации, скорости вертикального движения плазмы и параметров нейтральной атмосферы.
- Наблюдаются ярко выраженные волнообразные высотные вариации температуры и плотности атмосферы, электронной концентрации с длиной волны более 3–4 км, появляющиеся вследствие генерации внутренних гравитационных волн в результате развития конвективной неустойчивости, которая регистрируется по возрастанию температуры нейтральной компоненты.

#### **Основные публикации:**

*Belikov V.V., Benediktov E.A., A.V. Tolmacheva, Bakhmet'eva N.V. Ionospheric Research by Means of Artificial Periodic Irregularities. Copernicus GmbH, 2002. Katlenburg-Lindau, Germany, 160 pp.*

*Беликов В.В., Бахметьева Н.В., Бубукина В.Н., Вяхирев В.Д., Калинина Е.Е., Комраков Г.П., Толмачева А.В. Результаты определения электронной концентрации по временам*

*релаксации искусственных периодических неоднородностей с разными масштабами // Изв. вузов. Радиофизика. 2008. Т.51 № 6. С. 477-485.*

*Толмачева А.В., Беликович В.В., Калинина Е.Е. Результаты измерений атмосферных параметров с помощью искусственных периодических неоднородностей с разными пространственными масштабами.// Геомагнетизм и аэрономия. 2009. Т. 49. №2. С. 254-261.*

*Бахметьева Н.В., Беликович В.В., Егерев М.Н., Толмачева А.В. Искусственные периодические неоднородности, волновые явления в нижней ионосфере и спорадический слой E // Известия вузов. Радиофизика. 2010. Т. 53. № 3. С.77-90.*

*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.*



**Обнаружено, что 1) свечение в красной линии атомарного кислорода, вызванное воздействием излучения стенда СУРА на ионосферу при различных углах наклона диаграммы направленности стенда к югу, наблюдается в направлении магнитного зенита вне зависимости от угла наклона диаграммы; 2) при снижении критической частоты ионосферы до значений, превышающих рабочую частоту стенда менее, чем на 0.5 МГц, искусственное свечение сменяется подавлением фонового свечения ночного неба.\***

*Е. Н. Сергеев (ФГБНУ НИРФИ), С.М. Грач (ФГБНУ НИРФИ, ННГУ),  
А. В. Шиндин, В. А. Яшинов (ННГУ)  
В. В. Клименко (ИПФ РАН), И. А. Насыров (КФУ, г. Казань)*

В ходе измерений оптического свечения в красной линии атомарного кислорода (длина волны 630 нм, потенциал возбуждения 1,96 эВ, переход  $O(^1D) \rightarrow O(^3P)$ ), при воздействии на ионосферу радиоизлучением стенда «Сура» в течение 3-х серий экспериментов в марте, мае и сентябре 2010 г. установлено следующее.

При наклоне диаграммы направленности стенда Сура на юг в плоскости геомагнитного меридиана на 12-16° свечение в красной линии атомарного кислорода, вызванное воздействием излучения стенда на ионосферу, наблюдается в направлении магнитного зенита, под углом зрения 18-19°.

Во время послезаходного уменьшения критической частоты ионосферы до значений, превышающих рабочую частоту стенда не более, чем на 0,5 МГц, наблюдалась «смена знака» воздействия волны накачки на оптическое свечение: генерация искусственного свечения ионосферы сменялась подавлением фонового свечения ночного неба. Как правило, после отключения стенда за уменьшением яркости свечения следовало её временное увеличение на несколько процентов над стационарным средним фоновым значением. Это дополнительное послесвечение присутствовало и в тех сеансах, когда наблюдалось искусственное свечение в линии 630 нм.

При вертикальном воздействии стенда на ионосферу область свечения наблюдается в виде последовательности полос (страт) с поперечным угловым размером 1-2°, вытянутых вдоль проекции геомагнитного поля на картинную плоскость регистрирующей ПЗС-камеры. Такая картина имеет место при максимальных уровнях яркости свечения, не превышающих 15 Рл. При большей яркости стратификация пятна свечения слабо различима на снимках, и пятно искусственного свечения является практически изотропным.

Максимальная яркость искусственного свечения по полю снимка варьировалась в пределах 10÷50 Рл над фоном, максимальные значения яркости за всё время наблюдений были зарегистрированы в эксперименте

---

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

13.05.2010 и достигали в среднем  $70\div 90$  Рл по полю снимка, при пиковых значениях порядка  $160\div 190$  Рл.

Эффект смещения пятна свечения в область магнитного зенита при наклонном воздействии определяется, по-видимому, оптимальными условиями самофокусировки мощных радиоволн при их распространении в направлении геомагнитного поля. Генерация искусственного оптического свечения связана с возбуждением уровня  $O(^1D)$  при столкновениях с электронами, ускоренными плазменными волнами до энергий, превышающих потенциал возбуждения уровня. Эффективность возбуждения плазменных волн мощной радиоволной и, следовательно, ускорения электронов, существенно уменьшается при критических частотах ионосферы, превышающих частоту мощной волны не более чем на  $0,5$  МГц. Об этом свидетельствует заметное снижение интенсивности широкополосной компоненты искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) и увеличение времен релаксации ИРИ в паузах излучения мощной волны, которые отмечаются одновременно с прекращением генерации искусственного оптического свечения. ИРИ представляет собой продукт трансформации плазменных волн в электромагнитные в возмущенной области ионосферы, а увеличение времен его релаксации свидетельствует об уменьшении бесстолкновительного затухания плазменных волн и, следовательно, о снижении эффективности их взаимодействия с электронами. Уменьшение яркости свечения при воздействии может быть объяснено при корректном учёте, наряду с ускорением электронов, нагрева плазмы мощной волной и температурной зависимости коэффициента диссоциативной рекомбинации  $\alpha_{\text{эф}}$  — процесса, в результате которого также образуются атомы кислорода в возбуждённом состоянии  $O(^1D)$ . Качественно эффект уменьшения фоновой яркости во время воздействия мощной радиоволной объясняется уменьшением коэффициента  $\alpha_{\text{эф}}$  с ростом температуры электронов ( $\alpha_{\text{эф}}(T_e) \sim T_e^{-1/2}$ ), а последующее небольшое увеличение яркости обусловлено накоплением ионов молекулярного кислорода  $O_2^+$  за время действия мощной радиоволны.

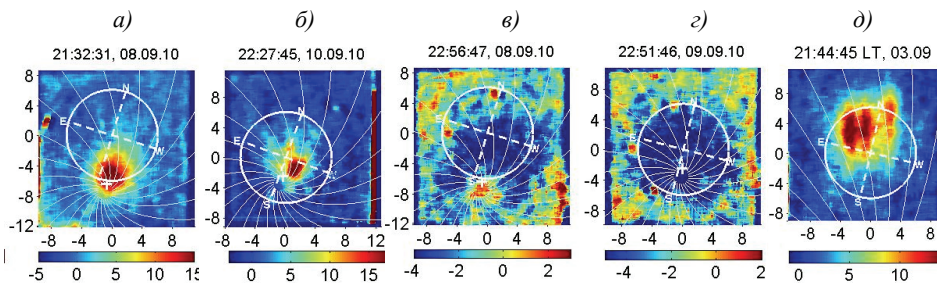


Рисунок 1 – Примеры оптических изображений в линии 630 нм, зарегистрированных в 2010 году

Оптические изображения, приведенные на рисунке 1, получены в конце двухминутных циклов воздействия радиоизлучения при наклоне диаграммы направленности стенда «Сура» на юг на  $12^\circ$  (а, в), и на  $16^\circ$  (б, г) и при вертикальном воздействии (д). Время и дата регистрации изображений указаны сверху панелей. Крест соответствует направлению луча зрения в магнитный зенит, белая окружность – границам диаграммы направленности стенда «Сура», тонкие белые линии – проекциям магнитных силовых линий на картинную плоскость регистрирующей ПЗС-камеры. Панели а), б) и д) соответствуют генерации искусственного свечения, панели в) и г) – подавлению фона. Яркость указана в единицах АЦП регистрирующей ПЗС-камеры с полем зрения  $20,6^\circ \times 20,6^\circ$ .

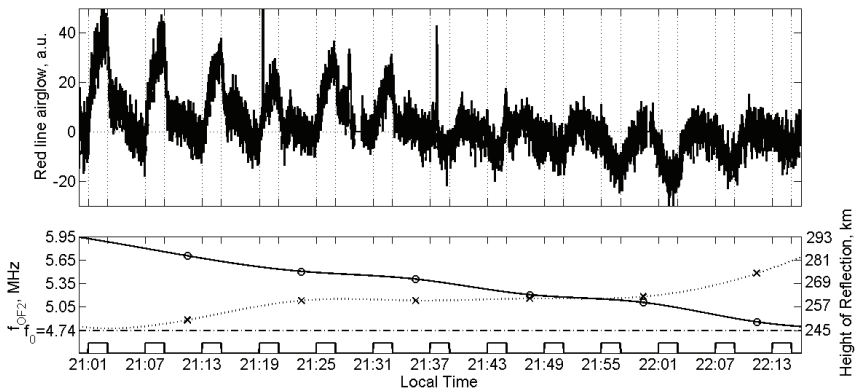


Рисунок 2 – Временной ход яркости свечения ( $\lambda=630$  нм, фотометр) после вычитания фонового уровня свечения ионосферы (верхняя панель), критической частоты  $f_{OF2}$  (кружки, нижняя панель) и высоты отражения мощной волны на частоте 4740 кГц (пунктир, нижняя панель). На нижней панели квадратами показано время работы стенда СУРА 08.09.10. Максимальный уровень свечения соответствует  $\sim 30$  Рл.

**Основные публикации:**

Грач С.М., Клименко В.В., Сергеев Е.Н., Шиндин А.В., Шумилов В.Ю., Насыров И.А., Гумеров Р.И., Яинов В.А. Диагностика возмущенной области ионосферы над стендом «Сура» с помощью искусственного оптического свечения – по данным экспериментов 2010 // Сборник докладов XXIII Всероссийской конференции по распространению радиоволн. Йошкар-Ола, 23-26 мая 2011 г. Т. 2. С. 214-218.

Клименко В.В., Грач С.М., Сергеев Е.Н., Шиндин А.В., Насыров И.А. Разделение эффектов оптического нагрева и ускорения электронов при воздействии на F2-область мощной радиоволной по данным оптических наблюдений в линии 630 нм на стенде «Сура» // Сборник докладов XXIII Всероссийской конференции по распространению радиоволн. Йошкар-Ола, 23-26 мая 2011 г. Т. 2. С. 239-242.

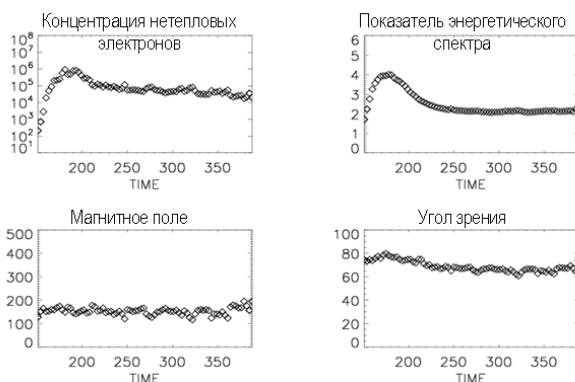
Грач С.М., Клименко В.В., Шиндин А.В., Насыров И.А., Сергеев Е.Н., Яинов В.А., Погорелко Н.А. Исследование влияния радиоизлучения стенда «Сура» на оптическое свечение ночной ионосферы. Результаты экспериментов 2010 г. // Изв. Вузов, Радиофизика. 2012. Т.55. № 1-2. С. 37-56.

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

**Разработан метод определения параметров радиоисточника, основанный на решении системы уравнений для интенсивности и степени круговой поляризации теоретического и наблюдаемого гиротронного излучения.\***

*А. С. Моргачев, В. Ф. Мельников (ФГБНУ НИРФИ, ГАО РАН)*

Разработан метод определения параметров радиоисточника, основанный на решении системы уравнений для интенсивности и степени круговой поляризации теоретического и наблюдаемого гиротронного излучения с применением стратегии генетического алгоритма, что позволило уменьшить время восстановления пяти параметров (концентрации и показателя энергетического спектра ускоренных электронов, модуля магнитного поля и угла между его силовыми линиями и лучом зрения, концентрации фоновой плазмы) по сравнению с результатом работы [Fleishman, Nita, Gary, *ApJ.*, 2009, 183-187.] без потери точности. Данный метод был адаптирован для определения концентрации ускоренных электронов, показателя их энергетического спектра, модуля магнитного поля и угла между лучом зрения и его силовыми линиями для реальных вспышечных петель по данным события 22 августа 2005 г., наблюдаемого радиогелиографом Нобеяма.



#### **Основные публикации:**

*Моргачев А.С., Мельников В.Ф. Диагностика параметров вспышечных петель по наблюдаемому спектру и степени поляризации микроволнового излучения // XVI научная конференция по радиофизике, посвященная 100-летию со дня рождения А.Н. Бархатова (ННГУ им. Лобачевского, Нижний Новгород, 7 мая 2012 года).*

*Моргачев А.С., Мельников В.Ф. Диагностика параметров вспышечных петель по наблюдаемому спектру и степени поляризации микроволнового излучения // Сборник трудов Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика-2012» / Под ред. А.В. Степанова, Санкт-Петербург, 2012, С. 297-300.*

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

Проведен сравнительный анализ динамики наклона частотного спектра радиоизлучения и наклона спектра фотонов жесткого рентгеновского излучения для события 14 марта 2002 года. В ходе анализа посредством метода рентгеновской спектроскопии показано, что наклон частотного спектра радиоизлучения между частотами 17 и 34 ГГц уменьшается как на фазе роста, так и фазе спада микроволнового всплеска, стремясь к нулю на фазе спада. Поведение наклона энергетического спектра жесткого рентгеновского излучения носит другой характер: его уменьшение на фазе роста сменяется увеличением на фазе спада (поведение типа "Soft-Hard-Soft"). Данное поведение характерно для всех частей вспышечной петли.\*

*С. А. Кузнецов, В. Ф. Мельников (ФГБНУ НИРФИ, ГАО РАН)*

Проведено численное моделирование динамики распределений энергичных электронов и их радиоизлучения с целью интерпретации трёх характерных типов динамики наклона частотного спектра между 17 и 34 ГГц в различных частях солнечных вспышечных петель, наблюдавшихся радиогелиографом Нобеяма. Найдены модельные параметры, при которых рассчитанная динамика наклона частотного спектра в разных частях магнитной петли наиболее точно соответствует наблюдаемой динамике.

Установлено, что во всех типах наклон спектра уменьшается на фазе роста интенсивности микроволнового всплеска. При этом качественно разное поведение наблюдается на фазе спада всплеска: в первом типе наклон спектра увеличивается сразу после максимума всплеска; во втором типе продолжает уменьшаться или стабилизируется, не достигая нулевого значения; в третьем типе продолжает уменьшаться до нуля и принимает положительные значения.

В результате численного моделирования показано, что:

**первый тип** динамики наклона спектра связан с увеличением оптической толщины радиоисточника на фазе роста и ее уменьшением на фазе спада;

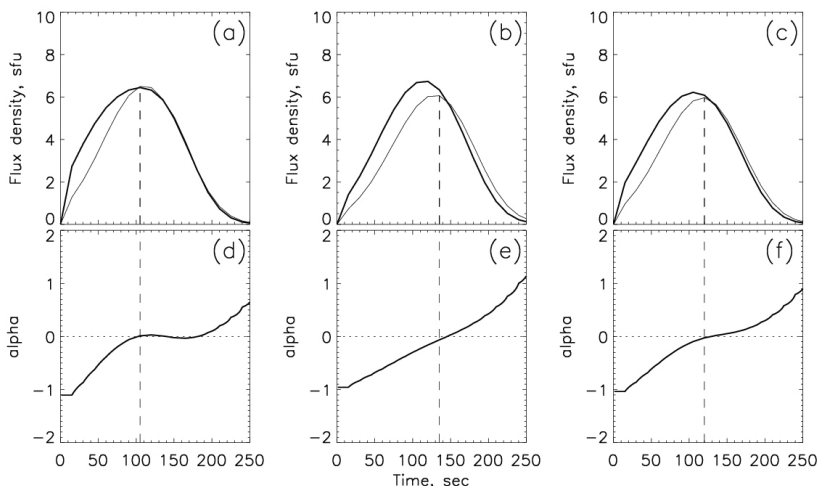
**второй тип** обусловлен уплощением энергетического спектра электронов, продолжающимся на фазе спада;

**третий тип** обусловлен постепенным уплощением энергетического спектра электронов, сочетающимся с высоким отношением концентрации плазмы к напряженности магнитного поля ( $n_0/B$ ) внутри петли и объясняется эффектом Разина.

Динамика наклона частотного спектра в случае сильного эффекта Разина проиллюстрирована на рисунке.

---

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



Верхние панели – временные профили плотностей потоков излучения, рассчитанных для частот 17 ГГц (толстая линия) и 34 ГГц (тонкая линия) в разных частях петли: а) левое основание петли, б) вершина петли, в) правое основание петли.

Нижние панели – временной ход параметра  $\alpha$ , характеризующего наклон частотного спектра: д) левое основание петли, е) вершина петли ф) правое основание петли.

Мгновенное значение максимума плотности потока излучения на частоте 34 ГГц и нулевой уровень параметра  $\alpha$  отмечены вертикальной и горизонтальной прерывистыми линиями, соответственно.

### Основные публикации:

Kuznetsov S.A., Melnikov V.F. Modeling the effect of plasma density on the dynamics of the microwave spectrum of solar flaring loops // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2012. V.52, No.7. P. 883-891.

Кузнецов С.А., Мельников В.Ф. Пространственная динамика наклона спектра ускоренных электронов по данным жесткого рентгеновского и радиоизлучений в событии 14 марта 2002 года // Сборник тезисов докладов Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика-2012» (Санкт-Петербург, 24-28 сентября 2012 г.), Санкт-Петербург, ГАО РАН, С. 73-74, 2012.

Зимовец И.В., Кузнецов С.А., Струминский А.Б. К вопросу о генерации квазипериодических пульсаций в «однопетлевых» солнечных вспышках // Сборник тезисов докладов Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика-2012» (Санкт-Петербург, 24-28 сентября 2012 г.), Санкт-Петербург, ГАО РАН, С. 55, 2012.

Кузнецов С.А., Мельников В.Ф. Особенности временной динамики солнечной вспышки 22 августа 2005 года по данным микроволнового и жесткого рентгеновского излучений // Сборник тезисов докладов 7-й конференции «Физика плазмы в солнечной системе» (Москва, 6-10 февраля 2012 г.), Москва, ИКИ РАН, С. 38, 2012.

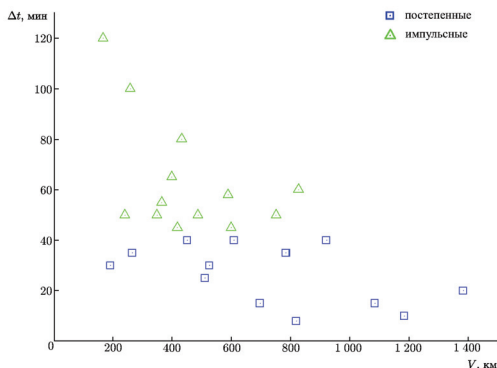
## Установлена зависимость заблаговременности широкополосных радиопредвестников от скорости последующих корональных выбросов массы.\*

*О. А. Шейнер, В. М. Фридман (ФГБНУ НИРФИ)*

Установлено на основе анализа событий в отдельные периоды XXIII цикла солнечной активности чёткое разделение времен существования радиопредвестников корональных выбросов массы:

постепенные предвестники, охватывающие большую часть сантиметрового и дециметрового диапазонов длин волн – широкополосные предвестники, наблюдаются в течение менее чем 40 мин до момента регистрации выброса, тогда как импульсные широкополосные предвестники – на существенно больших временных интервалах (от 40 до 120 мин до регистрации выброса).

На рисунке показана зависимость начала широкополосных предвестников  $\Delta t$  от скорости последующих корональных выбросов массы  $V$ . Отметим тенденцию разделения времён существования предвестников: постепенные широкополосные предвестники наблюдаются не более, чем за 40 мин до момента регистрации выброса, а импульсные широкополосные предвестники – на интервале от 40 до 120 мин до момента регистрации.



### Основные публикации:

*Sheiner O.A., Fridman V.M. The features of microwave solar radiation observed in the stage of formation and initial propagation of geoeffective coronal mass ejections // Radiophysics and Quantum Electronics. 2012. V. 54, N. 10. P. 655-666.*

*Шейнер О.А. Результаты радиофизических исследований процессов, предшествующих явлениям солнечной активности: Дис.... доктора физ.-мат. наук. Нижний Новгород, 2012. 374с.*

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



**Обнаружен рост мощности долгопериодных колебаний (с периодом 30-60 минут) в спектре потока рентгеновского излучения накануне протонной вспышки. Показана корреляционная связь роста колебаний больших периодов в спектре потока рентгеновского излучения и в горизонтальной компоненте геомагнитного поля для 4 вспышечных событий.\***

*А. С. Смирнова, С. Д. Снегирев, О. А. Шейнер (ФГБНУ НИРФИ)*

В спектре потока рентгеновского излучения накануне 12 вспышечных событий наблюдается рост мощности колебаний больших периодов на 1-2 порядка по мере приближения вспышки (например, для события 21.04.1998 г. мощность увеличивается от  $3 \times 10^{-15}$  (Вт/м<sup>2</sup>)<sup>2</sup> за 2 дня до начала вспышки до  $1,5 \times 10^{-14}$  (Вт/м<sup>2</sup>)<sup>2</sup> за день до события (см. рисунок.1)). Обнаружена корреляционная связь возрастания мощности долгопериодных колебаний горизонтальной компоненты геомагнитного поля с усилением мощности колебаний больших периодов в спектре потока рентгеновского излучения (см., например, рисунок 2).

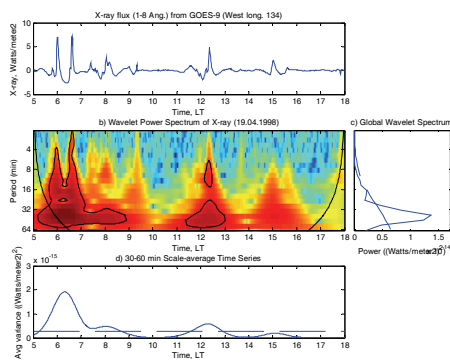


Рисунок 1 – Результат вейвлет-анализа потока рентгеновского излучения со спутника GOES за 1 день до начала события 21.04.1998 г.

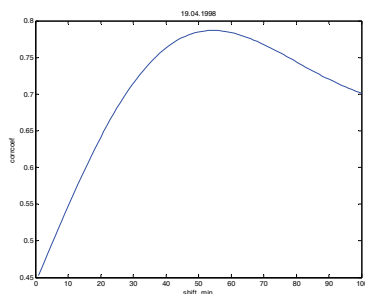


Рисунок 2 – Зависимость корреляции Н-компоненты геомагнитного поля и потока рентгеновского излучения от времени сдвига (за день до начала события 21.04.1998 г.).

Колебания горизонтальной компоненты геомагнитного поля в этом случае являются вторичными и, по-видимому, резонансными. Воздействие на атмосферу Земли потока рентгеновского излучения с переменной плотностью влечет за собой изменение электронной концентрации на высотах слоя Е ионосферы, что приводит к изменению интенсивности систем электрических

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

токов. Токовые системы в свою очередь вызывают на поверхности Земли колебания магнитного поля.

Корреляция мощности долгопериодных колебаний горизонтальной компоненты геомагнитного поля и мощности колебаний больших периодов в спектре потока рентгеновского излучения на станциях высоких широт наблюдается реже. Рост мощности колебаний с периодами 30-60 минут в магнитном поле начинается позже на несколько десятков минут.

***Основные публикации:***

*Sheiner O., Smirnova A., Snegirev S. Long-term Fluctuations of Geomagnetic Field as prognostic Parameter of Solar Flare Activities // 9th European Space Weather Week, November 5-9, 2012. Abstract book. P.63.*

# Подтверждено существование предвестников солнечных протонных вспышек в Н-компоненте магнитного поля Земли.\*

*А. С. Смирнова, С. Д. Снегирев, О. А. Шейнер (ФГБНУ НИРФИ)*

На новом экспериментальном материале, включающем фазу роста 24 солнечного цикла, подтверждены обнаруженные ранее результаты, а именно: наличие в амплитудном спектре Н-компоненты магнитного поля Земли долгопериодных предвестников вспышек и прямая зависимость мощности наблюдаемых колебаний-предвестников от величины потока протонов, которым сопровождалось событие.

Для каждого из событий 13.05.1991 г., 21.02.1994 г., 21.04.1998 г., 13.09.2000 г. и 14.09.2004 г. была рассмотрена одна станция средних широт (Memambetsu (MMB) 43.910 N, 144.189 W).

Во всех пяти случаях наблюдается рост мощности долгопериодных колебаний накануне события, что подтверждает полученные ранее результаты. Для событий сопровождаемых большим потоком протонов наблюдаемое усиление выше. В первых четырех случаях увеличение мощности наблюдается за день до начала события, в пятом (14.09.2004 г.) – за два дня. Во всех рассмотренных примерах (кроме события 13.09.2000 г.) видно также увеличение продолжительности наблюдаемых осцилляций.

Для событий 21.02.1994 г. и 21.04.1998 г. наблюдается один максимум глобального вейвлет-спектра, который перед вспышкой смещается в область больших периодов.

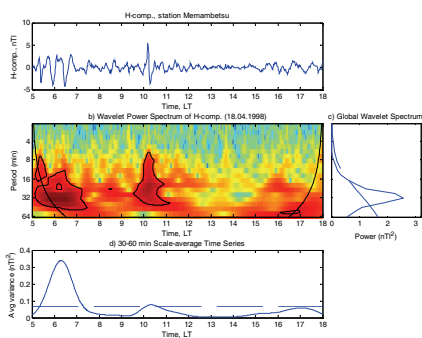


Рисунок 1 – Результат вейвлет-анализа Н-компоненты геомагнитного поля для станции ММВ за 2 дня до начала события 21.04.1998 г.

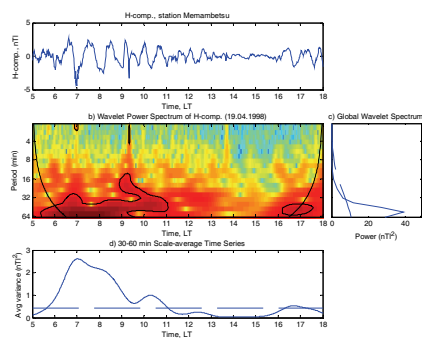


Рисунок 2 – Результат вейвлет-анализа Н-компоненты геомагнитного поля для станции ММВ за 1 день до начала события 21.04.1998 г.

На рисунках 1 и 2 представлены вейвлет-спектры Н-компоненты геомагнитного поля для станции ММВ за 2 и 1 день до начала события 21.04.1998 г. соответственно. Можно заметить, что мощность колебаний больших периодов

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

увеличивается от 2,5 до 40 нТл<sup>2</sup>. Продолжительность наблюдаемых осцилляций увеличивается от 2 до 5 часов.

В трех других случаях наблюдается два максимума глобального вейвлет-спектра. В случае событий 13.05.1991 г. и 14.09.2004 г. фиксируются максимумы на периодах 30 и 60 минут, которые на следующий день сливаются в один с периодом 40 минут. Для события 13.09.2000 г. два максимума 15 и 60 минут смещаются в область меньших периодов (10 и 40 минут).

**Основные публикации:**

*Sheiner O., Smirnova A., Snegirev S. Long-term Fluctuations of Geomagnetic Field as prognostic Parameter of Solar Flare Activities // 9th European Space Weather Week, November 5-9, 2012. Abstract book. P.63.*

## Усовершенствованы методы исследования спорадического солнечного радиоизлучения на РСДБ-пункте НИРФИ\*

*А. А. Антипенко, А. Ф. Дементьев, Н. А. Дугин, М. Б. Нечаева, Ю. В. Тихомиров, С. Д. Снегирев, А. К. Чагунин (ФГБНУ НИРФИ), В. Безруков, Д. Безруков, И. Шмелд (ВМРЦ, Вентспилс, Латвия)*

Для совершенствования методов исследования спорадического солнечного радиоизлучения впервые на РСДБ-пункте НИРФИ были задействованы 2 приемные антенны с базовым расстоянием 130 м для устранения неоднозначности результатов корреляционной обработки данных при неизвестных угловых размерах источников вспышечного излучения, которая возникает при базисах интерферометрических инструментов более 10 км. В период 1-3 сентября 2012 года на международной РСДБ-сети, включающей приемные пункты Ст. Пустынь (2×РТ-14, НИРФИ) и РТ-32 (Вентспилс, Латвия) на рабочей частоте 327 МГц, зафиксировано три шумовые «бури» с несколькими десятками коротких всплесков – спайков. На малой базе при предварительной обработке данных получены корреляционные отклики от нескольких всплесков.

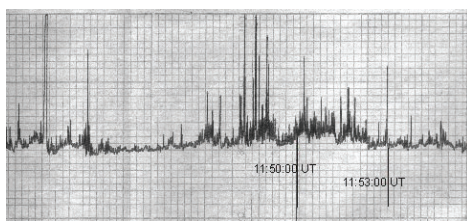


Рисунок 1 – Пример записи всплесков радиоизлучения Солнца короткой длительности 01.09.2012

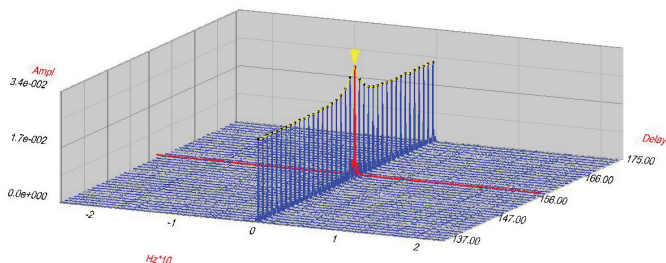


Рисунок 2 – Пример спектра корреляционного отклика для одного из коротких всплесков. По вертикальной оси – амплитуда отклика, по горизонтальным осям – частота в десятках Герц и задержка в дискретах (1 дискрет – 62,5 нс). Большая постоянная составляющая отклика по оси задержек обусловлена, скорее всего, влиянием излучения полного диска Солнца на малой базе интерферометра.

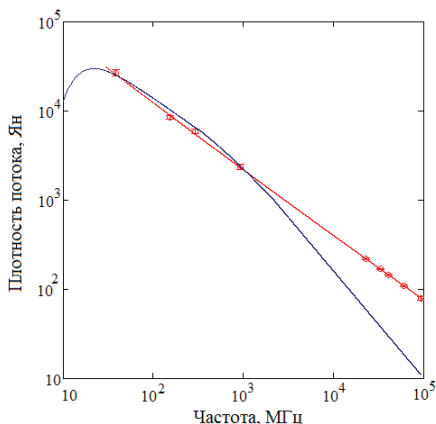
\* Результат направлен также в секцию Радиотелескопы Научного совета РАН по астрономии.

**Результаты,  
направленные в Научный совет  
по астрономии  
при отделении Физических наук РАН  
4. Межзвездная среда и звездообразование**

Путём анализа известных результатов исследований эволюции радиоизлучения остатка сверхновой Кассиопея А определена зависимость плотности потока от частоты  $S(f)$  в диапазоне 0,03-100 ГГц на эпоху 2015,0, с помощью которой можно предсказывать  $S(f)$  в ближайшие 4 года с точностью около 6% в диапазоне метровых волн и около 1,5% в диапазоне миллиметровых.

**Е. Н Виняйкин** (ФГБНУ НИРФИ)

Остаток сверхновой Кассиопея А (Cas A) является одним из наиболее ярких космических источников и исследуется в диапазоне электромагнитных волн от декаметровых радиоволн до гамма-лучей. Ввиду относительной близости и молодости этот объект весьма удобен для исследования физических процессов в оболочечных остатках сверхновых, в частности, механизмов электромагнитного излучения, ускорения элементарных частиц и распространения ударных волн в межзвёздной среде. Кроме того, Cas A используется в радиоастрономии и радиофизике для калибровки и антенных измерений при работе с относительно небольшими антеннами. Однако применение Cas A в этих целях затруднено из-за зависящего от частоты и времени векового уменьшения плотности потока радиоизлучения, которое необходимо исследовать. В [1-3] приведены результаты многолетних измерений плотности потока радиоизлучения Cas A на четырёх частотах (38; 151,5; 290 и 927 МГц), которые были использованы вместе с результатами семилетних измерений эволюции радиоизлучения Cas A на пяти частотах сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн, выполненных с помощью космической обсерватории WMAP [4], для построения спектра  $S_\nu$  Cas A в диапазоне частот  $\nu=0.03-100$  ГГц на эпоху  $t=2015.0$ . Этот спектр показан на рисунке красным цветом.



Формула, описывающая спектр Кассиопеи А на эпоху 2015.0 имеет вид:

$$S_\nu[\text{Ян}] = 2181 \cdot \{\nu[\text{ГГц}]\}^{-0.7440+0.0083\lg\nu[\text{ГГц}]}$$

Величина  $\chi^2/(n-3)$ , характеризующая качество аппроксимации спектра указанной формулой, равна 0.77, где  $\chi^2 = \sum_{i=0}^n \left( \frac{S_i - S_{\nu_i}}{\sigma_i} \right)^2$ ,  $n = 9$  - количество

частот  $\nu_i$ ,  $\sigma_i$  - погрешность  $i$ -го значения плотности потока  $S_i$ .

На рисунке, для сравнения с другим ярким, но стабильным радиоисточником Лебедь А (Cyg A), показан также спектр Cyg A (синяя кривая). В эпоху 1965.0 весь спектр Cas A располагался выше спектра Cyg A [5] (см. также рис.5 в [3]). Спустя 40 лет, в эпоху 2005.5 спектр Cas A уже был ниже спектра Cyg A в интервале частот 55-717 МГц [3] (рис.5 в [3]). Ещё через 10 лет, в эпоху 2015.0 этот интервал расширится в обе стороны и составит 41-1092 МГц (см. рисунок).

#### **Основные публикации:**

1. Виняйкин Е.Н. // Изв. Вузов, Радиофизика. 2012. Т.55. № 7. С. 485.
2. Виняйкин Е.Н. // Астрономический журнал. 2006. Т.83, С.168.
3. Виняйкин Е.Н. // Астрономический журнал. 2007. Т.84, С.105.
4. Weiland J. L., Odegard N., Hill R. S. et al. // *Astrophysical Journal. Supplement Series*, 2011. v.192:19.
5. Baars J. W. M., Genzel R., Pauliny-Toth I. I. K., A. Witzel // *Astronomy and Astrophysics*, 1977, v.61, p.99.



**Методами математического моделирования проведено исследование тепловой эволюции небесных тел Пояса Койпера (КВО) с современными размерами от 200 до 2000 км и средней плотностью от 1100 до 3200 кг/м<sup>3</sup>, сформировавшихся за счет аккреции.\***

**О. Б. Шучо (ФГБНУ НИРФИ)**

**С. Д. Шучо (НГТУ)**

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

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

Определены интервалы значений физических характеристик аккреционного материала и предельное содержание в нем радионуклидов, обеспечивающие само существование рассматриваемых тел в настоящее время.

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.

Твердое пылевое вещество аккреционного материала представляло собой мелкие пылевые частицы, имеющие различный химико-минералогический состав. Эти частицы являлись носителями радионуклидов <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K, являющихся источниками радиогенного тепла.

Конденсат H<sub>2</sub>O обеспечивал наличие аморфного льда в сформированном веществе тела. При этом количественное содержание радионуклидов в начале формирования тела определяло степень дифференциации вещества на различных глубинах КВО от начала формирования тела вплоть до настоящего времени.

Для моделей рассматриваемых небесных тел определены динамически меняющиеся границы сферически симметричных областей с различной степенью дифференциации вещества в них.

#### **Основные публикации:**

*Shchuko O. B., Shchuko S. D., Kartashov D. V., Orosei R. Kuiper Belt Objects of different sizes and average densities: thermal evolution scenarios and modern structure of matter // Congress European Geosciences Union, Viena, 22-27 April 2012.*

---

\* Результат направлен также в секцию Планетные исследования Научного совета РАН по астрономии.

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

В марте 2012 года в Нижегородском государственном университете введен в действие приемный радиоинтерферометрический пункт на основе параболической антенны РТ-2 и аппаратного комплекса НИРФИ для наблюдений на частоте 1,6 ГГц. Основной задачей пункта является участие в экспериментах методом радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ) по широкому кругу научных задач.

Проведены 3 пробных сеанса наблюдений навигационных космических аппаратов на РСДБ-сети, включающей пункты – НИРФИ (малая рупорная антенна), ННГУ (РТ-2), Ирбене (РТ-32, Вентспилс, Латвия) и Ст.Пустынь (НИРФИ, РТ-14). Получены уверенные корреляционные отклики от сигналов нескольких десятков НКА на интерферометрах с антеннами различной эффективной площади вплоть до предельно малой (рупор размером около длины волны 18 см). Измеренные данные используются для отработки методики высокоточного определения положения КА в околоземном космическом пространстве.

*А. А. Антипенко, А. Ф. Дементьев, Н. А. Дугин, М. Б. Нечаева,  
Ю. В. Тихомиров, А. К. Чагунин (ФГБНУ НИРФИ),  
В. Г. Гавриленко, А. В. Калинин (ННГУ)*

В рамках сотрудничества кафедры распространения радиоволн и радиоастрономии Нижегородского госуниверситета и отдела прикладной радиоинтерферометрии и физики солнечно-земных связей Научно-исследовательского радиофизического института (ФГБНУ НИРФИ) в области исследований методом радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ) в 2012 г. создан приемный РСДБ-пункт ННГУ. Пункт предназначен в первую очередь для приема сигналов навигационных космических аппаратов (НКА) глобальных спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС и GPS и вспышечного радиоизлучения Солнца.

Основными задачами РСДБ-пункта ННГУ в составе интерферометрической сети НИРФИ являются:

- наблюдения НКА с целью отработки методик калибровки РСДБ по сигналам НКА и отработки методов антенных измерений;
- высокоточное определение положения и траекторий движения искусственных объектов в ближнем космосе;
- дистанционные исследования ионосферы Земли методом радиопросвечивания сигналами НКА, в том числе при искусственном воздействии на ионосферу мощным коротковолновым радиоизлучением стенда «Сура»;
- исследования вспышечного радиоизлучения Солнца;

– проведение лабораторных работ и подготовка специалистов в области радиоинтерферометрии.

В начале 2012 года проведен ряд успешных международных экспериментов по радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой. Во время экспериментов отлажен приемный комплекс, установленный в ННГУ.

В результате первичной обработки зарегистрированных данных получены спектрально-корреляционные отклики двухэлементного интерферометра НИРФИ–ННГУ и трёхэлементного интерферометра НИРФИ–ННГУ–Ирбене для 12 навигационных космических аппаратов систем GPS и ГЛОНАСС. В дальнейшие планы входит вторичная обработка экспериментальных данных с целью получения информации о параметрах ионосферы, развитие методики измерения координат НКА, выявление зависимости спектральных характеристик выходного сигнала интерферометра от режима воздействия на ионосферу.

#### **Основные публикации:**

*Дугин Н.А., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В. О возможности калибровки РСДБ по сигналам навигационных космических аппаратов // Труды ИПА РАН. СПб: Наука, 2012. Вып. 23. С. 202-206.*

*Дугин Н.А., Гавриленко В.Г., Нечаева М.Б., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Тихомиров Ю.В., Чагунин А.К. РСДБ-эксперименты по приему сигналов навигационных космических аппаратов // Труды научной конференции по радиофизике, 10-13 мая 2012 г. ННГУ, Н.Новгород. С.66-67.*

*Dugin N., Antipenko A., Bezrukovs V., Gavrilenko V., Dementjev A., Lesins A., Nechaeva M., Shmeld I., Snegirev S., Tikhomirov Yu., Trokss J. Radiointerferometric researches of ionosphere by signals of space satellites //Baltic Astronomy. 2013. V. 22, N. 1. P.25-33.*

*Snegirev S.D., Bakhmetieva N.V., Dugin N.A., Karashtin A.N., Uryadov V.P. // Radioastronomical and Radiophysical Studies in the Radiophysical Research Institute // Baltic Astronomy. 2013. V. 22, N. 1. P.43-51.*

*Дугин Н.А., Гавриленко В.Г., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В., Калинин А.В., Чагунин А.К. Радиоинтерферометр с независимым приемом ННГУ-НИРФИ-Ирбене. Первые результаты // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (раздел "Радиофизика"). 2013. №1 (1). С. 79-85.*

С целью развития метода РСДБ-локации и совершенствования методик обработки в 2012 году возобновлены работы по локации фрагментов космического мусора на международной РСДБ сети, включающей планетный локатор РТ-70 (Евпатория, Украина) и приемные пункты РТ-32 (Вентспилс, Латвия), РТ-32 (Медицина, Италия), РТ-25 (Урумчи, Китай) и РТ-22 (Симеиз, Украина). Проведены 2 цикла локации в режиме РСДБ на частоте 5 ГГц для решения задачи высокоточного определения координат и скорости движения ряда объектов на высокоэллиптических орбитах. Протестированы системы регистрации сигналов различных пунктов и процедура передачи данных через интернет непосредственно в процессе сеанса наблюдений. Получены эхо-сигналы от ряда объектов, на первом этапе проведена кросс-корреляционная обработка отраженных сигналов с сигналом передатчика. Получены ряды значений частот Доплера (для уточнения скорости движения) и данные о вращении лоцированных объектов.

*А. А. Антипенко, А. Ф. Дементьев, Н. А. Дугин, М. Б. Нечаева, Ю. В. Тихомиров (ФГБНУ НИРФИ, Н.Новгород, Россия), В. Безруков, Д. Безруков, И. Шмелд (ВМРЦ, Вентспилс, Латвия), А. Коноваленко, В. Кулишенко, А. Набатов, А. Резниченко (РИНАНУ, Харьков, Украина) X. Liu, W.-J. Yang (Xinjiang Astronomical Observatory, Урумчи, Китай), В. Нестерук (НЦУИКС, Крым, Украина), G. Pupillo, E. Salerno (INAF, Bologna, Italy), И. Шульга, И. Сибирякова (НАО, Николаев, Украина), А. Ткаченко (Air Force University, Харьков, Украина), А. Вольвач (КрАО, Симеиз, Украина)*

Эксперимент по радиолокации объектов космического мусора методом РСДБ проходил в период с 17 по 20 апреля 2012 года на частоте 5 ГГц. В число задач международной многоцелевой РСДБ-сессии были включены следующие:

- исследование объектов космического мусора методом РСДБ-локации с целью измерения сдвигов частоты Доплера и задержки для уточнения параметров орбит;
- приём отраженных сигналов в радиометрическом режиме для определения периода вращения и размеров объектов;

– проверка возможностей многопозиционного радиолокационного комплекса РТ-70 (Евпатория) после длительного перерыва в работе и выполненных модернизаций на радиотелескопах.

Интервалы наблюдений космических объектов чередовались с наблюдениями калибровочных источников.

Монохроматический сигнал частоты 5010,024 МГц мощностью 30 кВт излучался планетным локатором РТ-70 (Евпатория, Украина) в направлении выбранных космических объектов. В первые 20 минут излучения локация объектов выполнялась монохроматическим сигналом, в последние 5 минут каждого скана включался режим линейно-частотно-модулированного излучения с частотой девиации равной 512 кГц и периодом 1 мс (20 апреля локация осуществлялась только монохроматическим сигналом).

Обработка экспериментальных данных выполнялась на корреляторе НИРФИ-4 в Нижнем Новгороде (Россия). Использование различных систем регистрации потребовало доработки программного обеспечения для приведения записанных данных в единый формат.

Процедура обработки заключается в корреляционном и спектральном анализе полученной информации и выполняется двумя способами. В режиме бистатистической локации, при котором выполняется корреляция сигнала передатчика и сигнала, отражённого от КО и принятого в одном из приёмных пунктов, измеряется разность частот излученного и принятого сигнала, которая обусловлена радиальной скоростью движения объекта на трассе «передатчик – КО – приемник».

К настоящему моменту при обработке данных эксперимента выполнена корреляция сигнала передатчика и сигнала, принятого в пунктах Ирбене и Урумчи.

На рисунке 1 приведен пример динамического спектра мощности сигнала интерферометра, полученного при исследовании отражённого сигнала передатчика в Евпатории (РТ-70) от объекта 09503 и принятого телескопом в Урумчи (20.04.2012, 13:54 UT).

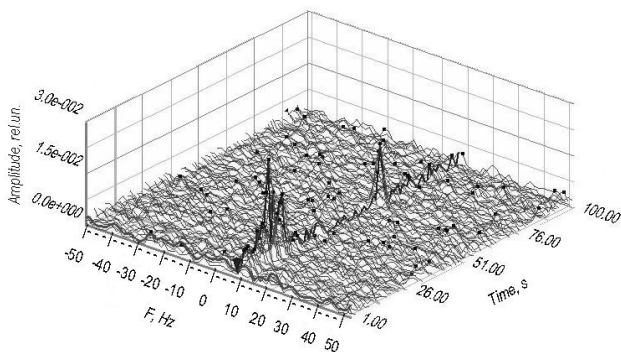


Рисунок 1.

По вертикальной оси отложена амплитуда корреляционного сигнала в относительных единицах, по горизонтальным осям – частота в десятках герц и время от начала обрабатываемого участка в секундах. Как следует из графика, характер изменения амплитуды выходного сигнала интерферометра имеет периодический характер, что связано с вращением наблюдаемого объекта.

По результатам спектральной обработки кросс-корреляции сигнала передатчика и сигнала, принятого в РСДБ-пункте Иrbене, измерены ряды частотных сдвигов Доплера для всех объектов, по которым выполнялась локация. На рисунке 2 приведены примеры временных зависимостей частоты Доплера. Квадратами показаны значения, рассчитанные из известных параметров орбит, точками – экспериментально измеренные значения.

Возобновление международных экспериментов по РСДБ-локации объектов космического мусора на более высоком техническом уровне позволит в дальнейшем перейти к регулярным наблюдательным сессиям по контролю околоземного космического пространства с применением РСДБ-сетей с целью обеспечения как безопасности функционирования КА и пилотируемых станций, так и оценки астероидной опасности для Земли.

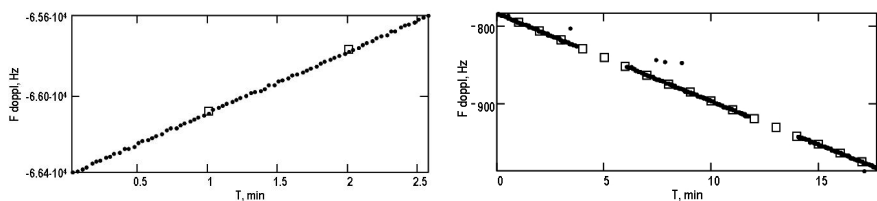


Рисунок 2 – Временные зависимости частоты Доплера для объектов космического мусора 08018 и 12309.

Иrbене: 19.04.2012, 17:00 UT и 20.04.2012, 12:06 UT, соответственно.

### Основные публикации:

*Nechaeva M., Antipenko A., Bezrukovs D., Dugin N., Konovalenko A., Kulishenko V., Liu X., Nabatov A., Nesteruk V., Pupillo G., Reznichenko A., Salerno E., Shmeld I., Shulga O., Sybiryakova Y., Tikhomirov Yu., Tkachenko A., Yang W.-J. Experiments on Radiolocation of Objects in Near-Earth Space using of VLBI during 2010 and 2012 // Baltic Astronomy. 2013. V. 22, N.1, P.35-41.*

*Tuccari G., Nechaeva M., Bezrukovs V. DBBC as Radar VLBI Backend // Latvian Journal of Physics and Technical Science. 2013. V. 6, No 2. P. 18 - 29*

*Bezrukovs V., Shmeld I., Trokss J., Klapers M., Berzins A., Lesins A., Bezrukovs D., Nechaeva M., Dugin N. Receiving and data acquisition systems of RT-32 for VLBI observations // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. 2013. V. 6, No 2. P. 30-42.*

*Nechaeva M. Analysis of the VLBI Signal in Radar Experiments // Space research review. Engineering Research Institute "Ventspils International Radioastronomy Centre" of the*

*Ventspils University College. Printed in SIA Zelta Rubens. 2012, V.1. PP. 98-103. ISBN-978-9984-648-23-1.*

*Kotlere D., Jekabson N., Nechaeva M., Shmelds I. Algorithmic Development of Software Correlator For Space Debris Data Processing in VIRAC // Space research review. Engineering Research Institute "Ventspils International Radioastronomy Centre" of the Ventspils University College. Printed in SIA Zelta Rubens. 2012, V.1. PP. 57-67. ISBN-978-9984-648-23-1.*

*Nechaeva M., Antipenko A., Bezrukovs Vl., Bezrukovs D., Dugin N., Konovalenko A., Kulishenko V., Liu X., Nabatov A., Nesteruk V., Pupillo G., Reznichenko A., Salerno E., Shmeld I., Shulga O., Sybiryakova Y., Tikhomirov Yu., Tkachenko A., Yang W.-J. Experiments on Radiolocation of Objects in Near-Earth Space using of VLBI during 2010 and 2012 // Ventspils International Radioastronomy Conference (VIRAC-2012) "Advances in Radio astronomy of Near-Earth Environment". 13 – 15 August, 2012, Ventspils, Latvia. Abstracts. Engineering Research Institute "Ventspils International Radio Astronomy Centre" of the Ventspils University College, ISBN 978-9984-648-21-7. P.25.*

*Kotlere D., Nechaeva M., Jekabsons N. Development of software correlator for VLBI data processing of space debris objects and satellites observations // Ventspils International Radioastronomy Conference (VIRAC-2012) "Advances in Radio astronomy of Near-Earth Environment". 13–15 August, 2012, Ventspils, Latvia. Abstracts. Engineering Research Institute "Ventspils International Radio Astronomy Centre" of the Ventspils University College, ISBN 978-9984-648-21-7. P.23*

*Tuccari G., Nechaeva M., Bezrukovs Vl. DBBC as Radar VLBI Backend //Ventspils International Radioastronomy Conference (VIRAC-2012) "Advances in Radio astronomy of Near-Earth Environment". 13 – 15 August, 2012, Ventspils, Latvia. Abstracts. Engineering Research Institute "Ventspils International Radio Astronomy Centre" of the Ventspils University College, ISBN 978-9984-648-21-7. P.24*



Впервые на сети радиointерферометров проведены работы по изучению искусственно возбужденной ионосферы при просвечивании её сигналами естественных космических радиоисточников (рабочая частота 327 МГц) и НКА СРНС (диапазон 1,6 ГГц). Международная РСДБ-сеть включала приемные пункты НИРФИ (малая рупорная антенна), ННГУ (РТ-2), Иrbене (РТ-32, Вентспилс, Латвия), Ст.Пустынь (НИРФИ, РТ-14) и Евпатория (РТ-70, Украина). Решалась задача определения влияния ионосферной турбулентности на характеристики проходящего через нее радиоизлучения при многопунктовом радиointерферометрическом приеме. На первом этапе обработки обнаружено сильное влияние турбулентности на амплитуду корреляционной функции и форму спектра мощности интерференционного отклика. \*

*А. А. Антипенко, А. Ф. Дементьев, Н. А. Дугин, М. Б. Нечаева,  
Ю. В. Тихомиров, А. К. Чагунин (ФГБНУ НИРФИ),  
В. Г. Гавриленко (ННГУ)*

Задачей экспериментов являлось исследование характера выходного сигнала интерферометра от режима воздействия на ионосферу. На первом этапе эксперимента анализировались изменения амплитуды и формы спектра корреляционного отклика в зависимости от времени при наблюдения излучающего аппарата как через спокойную ионосферу, так и через область искусственной турбулентности.

На рисунке 1 показана схема взаимного расположения антенн РСДБ-сети и нагревного стенда СУРА.

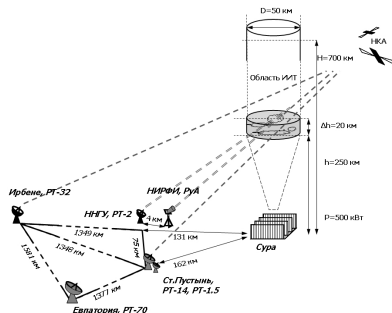


Рисунок 1 – Схема эксперимента по приему РСДБ-комплексом сигналов навигационных космических аппаратов, прошедших через область искусственной ионосферной турбулентности, созданной нагревным стендом СУРА

\* Результат направлен также в Научные советы РАН по физике солнечно-земных связей и распространению радиоволн.

Анализ отклика интерферометра на сигнал НКА N26605, выполненный при его пролете в течение 40 минут в районе нагревной зоны, показал, что при включении стенда амплитуда выходного сигнала претерпевает резкие колебания, ширина спектра мощности увеличивается, что связано с сильными флуктуациями фазы принятых сигналов на неоднородностях электронной концентрации в ионосфере в области воздействия (рисунок 2).

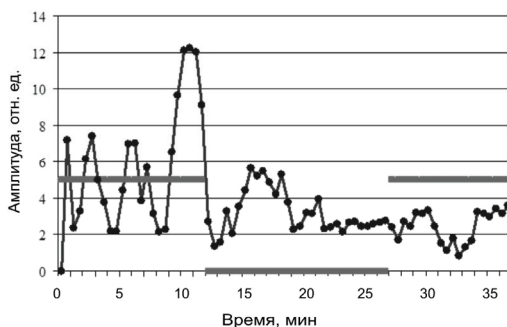


Рисунок 2 – Зависимость амплитуды выходного сигнала интерферометра от режима работы передатчика в течение интервала приема излучения НКА GPS 26605. Эксперимент NIRFI 12.1. 23.03.2012 г. Интерферометр ННГУ – НИРФИ.

График включения передатчика стенда СУРА на рисунке 2 показан жирными горизонтальными линиями (положение линии выше нулевого уровня означает включение передатчика). Мощность излучения передающей антенны стенда во время данного сеанса достигала 110 МВт. Воздействие осуществлялось интервалами длительностью 15 минут с 15-минутными перерывами между интервалами излучения. На рисунке точками обозначена зависимость амплитуды выходного сигнала от времени. По вертикальной оси отложена амплитуда спектра интерферометра при полной компенсации задержки (в относительных единицах), по горизонтальной оси – время в минутах. Начало временной оси на рис. 5 соответствует первому за сутки включению передатчика стенда СУРА. Из рисунка следует, что при начале воздействия на ионосферу, в момент перехода среды из невозмущенного состояния в состояние повышенных флуктуаций электронной концентрации, увеличиваются амплитудные флуктуации спектра мощности более чем в 6 раз. После окончания излучения СУРЫ заметно снижение колебаний почти до минимума. При следующем включении стенда СУРА», через промежуток времени 15 минут, аппарат уже находился вне зоны повышенной турбулентности, и влияние возмущенной среды на сигнал из предварительных данных определить сложно. Из анализа данных предыдущих экспериментов оценено изменение амплитуды корреляции в зависимости от структуры излучаемого НКА сигнала – оно не превышает 20%. Отсюда можно сделать

вывод, что сильные вариации на рисунке 2, возможно, вызваны влиянием искусственного возмущения ионосферы.

**Основные публикации:**

Дугин Н.А., Гавриленко В.Г., Нечаева М.Б., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Тихомиров Ю.В., Чагунин А.К. РСДБ-эксперименты по приему сигналов навигационных космических аппаратов // Труды научной конференции по радиофизике, 10-13 мая 2012 г. ННГУ, Н.Новгород. С.66-67.

Dugin N., Antipenko A., Bezrukovs Vl., Gavrilenko V., Dementjev A., Lesins A., Nechaeva M., Shmeld I., Snegirev S., Tikhomirov Yu., Trokss J. Radiointerferometric researches of ionosphere by signals of space satellites // *Baltic Astronomy*. 2013. V. 22, N. 1. P.25-33.

Trokss J., Lesins A., Gaigals G., Bezrukovs Vl., Nechaeva M. Receiving system for ionospheric research // *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 2013. V. 6, No 2. P. 13-17.

Snegirev S.D., Bakhmetieva N.V., Dugin N.A., Karashtin A.N., Uryadov V.P. // *Radioastronomical and Radiophysical Studies in the Radiophysical Research Institute // Baltic Astronomy*. 2013. V. 22, N. 1. P.43-51.

Дугин Н.А., Гавриленко В.Г., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В., Калинин А.В., Чагунин А.К. Радиointерферометр с независимым приемом ННГУ-НИРФИ-Ирбене. Первые результаты // *Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (раздел "Радиофизика")*. 2013. №1 (1). С. 79-85.

Dugin N., Antipenko A., Bezrukovs Vl., Gavrilenko V., Dementjev A., Lesins A., Nechaeva M., Shmeld I., Snegirev S., Tikhomirov Yu., Trokss J. Radiointerferometric researches of ionosphere at radio raying by signals of space satellites // // *Ventspils International Radioastronomy Conference (VIRAC-2012) "Advances in Radio astronomy of Near-Earth Environment"*. 13 – 15 August, 2012, Ventspils, Latvia. Abstracts. Engineering Research Institute "Ventspils International Radio Astronomy Centre" of the Ventspils University College, ISBN 978-9984-648-21-7. P.15.

Trokss J., Lesins A., Gaigals G., Bezrukovs Vl., Nechaeva M. Receiving system for ionospheric research // *Ventspils International Radioastronomy Conference (VIRAC-2012) "Advances in Radio astronomy of Near-Earth Environment"*. 13 – 15 August, 2012, Ventspils, Latvia. Abstracts. Engineering Research Institute „Ventspils International Radio Astronomy Centre” of the Ventspils University College, ISBN 978-9984-648-21-7. P.21.

Разработан и изготовлен разделитель линейных поляризаций ОМТ (ortho-mode transducer) на волноводе квадратного сечения. ОМТ представляет собой трехпортовое устройство, выполненное в виде Т-сочленения прямоугольного волновода с двухступенчатым переходом (со стандартного прямоугольного волновода на квадратный). Расчет и оптимизация геометрии ОМТ проводилась с помощью компьютерного 3D-моделирования СВЧ матрицы рассеяния. Исследовано влияние погрешностей изготовления на согласование и изоляцию портов и уровень паразитных мод.

Измеренные данные согласуются с расчетными. В полосе частот 8,8~10,2 ГГц коэффициенты отражения ОМТ не превышают  $-(25\sim30)$ дБ. Уровень паразитных мод ниже 40 дБ. Изоляция входов ОМТ и уровень кросс поляризации лучше 45дБ.

*В.И. Абрамов (ФГБНУ НИРФИ), В.И. Казаков (ИПФ РАН)*

Конструктивно ОМТ состоит из двух зеркально симметричных половинок, изготовленных методом фрезерования (рисунок 1). Боковое плечо согласуется с помощью диафрагмы 7 (рисунок 2).

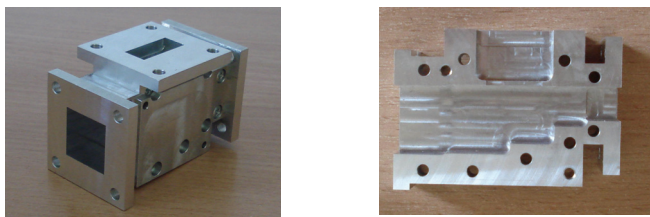


Рисунок 1 – Фото ОМТ: слева – в сборе (68×48.4×42), справа – половинка ОМТ

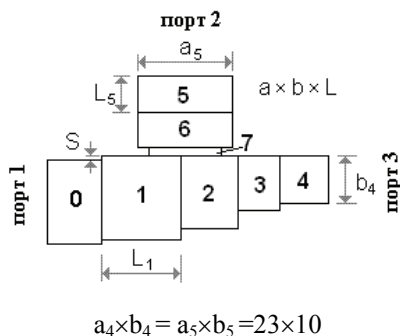


Рисунок 2 – Блок-схема внутренней поверхности ОМТ.

Рабочая полоса частот лежит внутри интервала, определяемого критическими частотами волн  $H_{10}$  и  $E_{11}$  квадратного волновода ( $a_0 = b_0 = 20,4\text{мм}$ ,  $f_0 = 9,4\text{ ГГц}$ ).  
 Дополнительное подавление моды  $E_{11}$  вблизи ее критической частоты (рисунок 3) реализовано путем возбуждения компенсирующей волны  $E_{11}$  с помощью небольшого вертикального смещения  $S$  квадратного волновода (рисунок 2). Противофазность волн обеспечивается условием  $L_1 \approx \lambda_{H_{10}}/2$ .  
 Изоляция портов  $S32$  (и УКП) зависит только от степени зеркальной симметрии ОМТ. При  $\Delta \leq 0,1\text{мм}$   $S32 \leq -40\text{дБ}$  (рисунок 3).  
 На рисунке 4 приведены измеренные и расчетные (без учета погрешностей изготовления) коэффициенты отражения  $S22$  и  $S33$ .

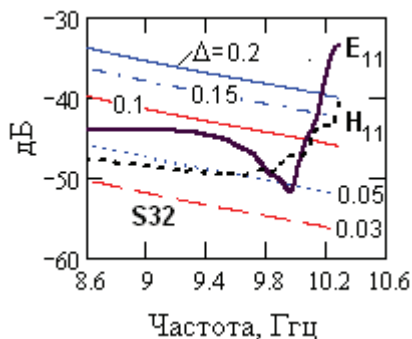


Рисунок 3 – Расчетные уровни паразитных мод  $E_{11}$  и  $H_{11}$  (жирные кривые) и изоляции  $S32$  (тонкие прямые) при различных поперечных смещениях  $\Delta$  (в мм) оси секции 5-7 относительно плоскости симметрии ОМТ.

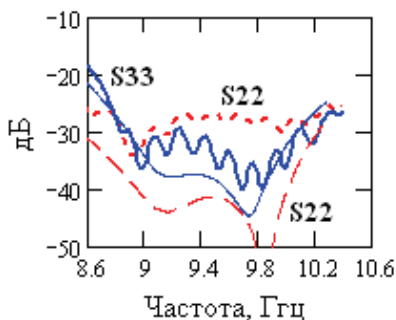


Рисунок 4 – Измеренные (жирные линии) и расчетные (тонкие) коэффициенты отражения ОМТ

**Результаты,  
направленные в Научный совет РАН  
по физике солнечно-земных связей**

Получены дисперсионные соотношения и построены дисперсионные кривые для магнитогравитационных волн (МГВ) в ионосфере при учете совместного влияния магнитного поля и силы тяжести в уравнениях гидродинамики в условиях конечной электропроводности. Выполненные расчеты использовались для интерпретации быстрых волновых возмущений в ионосфере, сопровождающихся вариациями магнитного поля. Вклад МГВ в ионосферную возмущенность определялся на основе анализа данных вертикального зондирования ионосферного слоя F2 и геомагнитных возмущений вдоль и по сторонам от выбранного магнитного меридиана. Особенности полученных экспериментально динамических спектров МГВ согласуются с характерными частотами и скоростями, полученными по расчетным дисперсионным кривым. В результате подтверждена ответственность МГВ за часть быстрых перемещающихся ионосферных возмущений и возможность их использования для мониторинга окружающей среды.

*Г. И. Григорьев (ФГБНУ НИРФИ)*

*Н. А. Бархатов, О. М. Бархатова (ННГАСУ)*

Одним из наиболее заметных проявлений волновых движений в ионосфере являются перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ) со скоростями распространения 150-300 м/сек. В качестве основных источников ПИВ обычно рассматривают акустикогравитационные волны (АГВ), которые могут быть обусловлены движением терминатора, струйными течениями в атмосфере, возбуждаются во время землетрясений или возникать в периоды интенсификации авроральных электроджетов. В ионосфере, как проводящей среде, кроме АГВ могут распространяться магнитогравитационные волны (МГВ), скорость которых оказывается выше скорости АГВ, но ниже, чем скорость магнитогидродинамических (МГД) волн.

Получены дисперсионные соотношения и построены дисперсионные кривые для магнитогравитационных волн (МГВ) в ионосфере при учете совместного влияния магнитного поля и силы тяжести в уравнениях гидродинамики в условиях конечной электропроводности. Выполненные расчеты использовались для интерпретации быстрых волновых возмущений в ионосфере, сопровождающихся вариациями магнитного поля. Вклад МГВ в ионосферную возмущенность определялся на основе анализа данных вертикального зондирования ионосферного слоя F2 и геомагнитных возмущений вдоль и по сторонам от выбранного магнитного меридиана. Особенности полученных экспериментально динамических спектров МГВ согласуются с характерными частотами и скоростями, полученными по расчетным дисперсионным кривым. Диапазон характерных

экспериментальных частот составляет  $10^{-4} \div 4 \cdot 10^{-4}$  Гц при скорости распространения свыше 2000 м/с. Значения аналитически полученных фазовых скоростей составляют около 4000 м/с для быстрой моды и около 3000 м/с для медленной моды. Рассмотрен вопрос о направлении распространения МГВ, предположительно генерируемых восточным электроджетом (AU). Анализ динамических спектров горизонтальных компонент геомагнитного поля на станциях, расположенных на близких геомагнитных меридианах, продемонстрировал распространение МГВ из авроральной области к низким широтам в пределах магнитных долгот  $1.6^\circ - 1.9^\circ$ .

В результате подтверждена ответственность МГВ за часть быстрых перемещающихся ионосферных возмущений и возможность их использования для мониторинга окружающей среды.

**Основные публикации:**

*Григорьев Г.И., Бархатов Н.А., Бархатова О.М. // Изв. вузов. Радиофизика. 2012, Т.55, №6.*



Обнаружено изменение характера суточной динамики широкополосного спектрального максимума (ШСМ) на средних широтах в годы возрастающей солнечной активности, что проявляется в спорадических уменьшениях центральной частоты максимума (часто около полуночи), а также в вариациях граничной частоты, отделяющей в спектрах поляризационного параметра отрицательные значения от положительных. Также обнаружено, что особенности спектра поляризационного параметра, связанные с влиянием структуры субионосферного резонатора (суб-ИАР), имеют сезонную зависимость.

*Е. Н. Ермакова, Д. С. Котик, А. В. Першин, А. В. Рябов (ФГБНУ НИРФИ)*

*Т. Безингер (Университет ОУДУ, Финляндия)*

*К. Чжоу (Университет Майами, США)*

Анализ данных ионозонда показал, что такие изменения в суточной динамике могут быть связаны, как с вариациями электронной концентрации в максимуме F-слоя ионосферы, нижняя граница которого является одновременно верхней границей структуры суб-ИАР, так и с перераспределением электронной концентрации на высотах E-слоя и “долины”. Численное моделирование поляризационного параметра компонент магнитного поля, выполненные с использованием модели IRI-2007, не может объяснить спорадический характер изменения параметров ШСМ на средних и низких широтах. С другой стороны, расчеты спектров магнитного поля для низких широт с использованием данных некогерентного радара в Аресибо подтверждают возможность спорадического возникновения ШСМ на этих широтах, появление которого часто совпадает с образованием Es – слоя на высоте порядка 100 км.

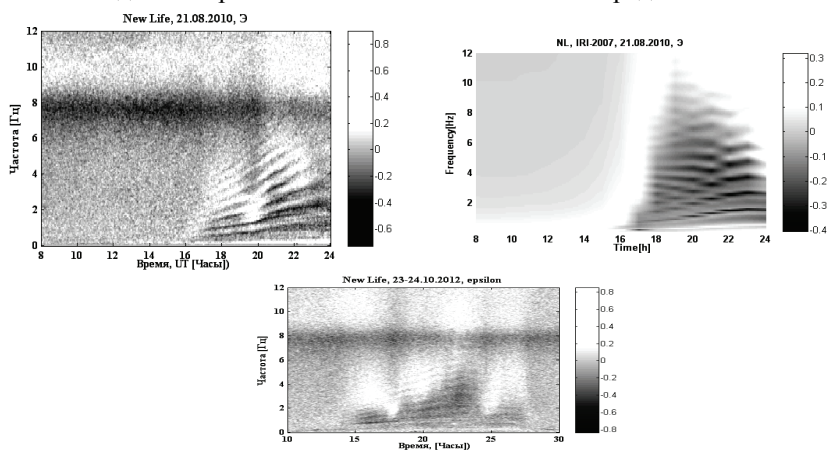


Рисунок 1 – Примеры спектров поляризационного параметра: экспериментальные (вверху слева и внизу) и расчетный (вверху, справа).

**Основные публикации:**

*Ermakova E.N., Kotik D.S., Pershin A.V., Ryabov A.V., Bosinger T., Zhou Q. The spectral structure of the ULF magnetic noise as an indicator of local ionosphere conditions // Books of abstracts of 9<sup>th</sup> International Conference, 08-12 October 2012, St.-Peterburg, P.167.*

*Ermakova E.N., Pershin A.V., Bosinger T., Qihou Z. Diurnal dynamics of the broadband spectral maximum in the ULF background noise // Abstracts of XXXV Annual Seminar "Physics of Auroral phenomena", 27 February -2 March 2012. P. 54-55.*

Обнаружены длиннопериодные вариации (от 2 до 6 часов) основных гармоник в резонансной структуре спектра (РСС) среднеширотного фонового магнитного шума, коррелирующие с вариациями концентрации электронов на высотах максимума F-слоя. Абсолютная глубина вариации увеличивалась с ростом номера гармоники и могла достигать 0,5-1,5 Гц. По абсолютным величинам вариации гармоник были сделаны оценки относительных изменений электронной концентрации в F-слое. Полученные значения изменений концентрации соответствовали данным ионозонда.

*Е. Н. Ермакова, Д. С. Котик, А. В. Першин, А. В. Рябов (ФГБНУ НИРФИ)*

Результат получен на основе анализа суточных спектрограмм магнитных компонент фонового шума С-Ю & В-З, измеренных на среднеширотном пункте “Новая Жизнь” (Нижегородская область, Россия). Наиболее сильные вариации были зарегистрированы около полуночи в декабре 2009-2011 г.г. Для исследования причины изменения собственных частот ионосферного альвеновского резонатора (ИАР) был проведен анализ суточного хода критической частоты  $f_oF2$  по данным ионозонда на ближайшей станции – ИЗМИРАН, полученного одновременно с регистрацией вариаций собственных частот ИАР. Были обнаружены вариации электронной концентрации на высотах максимума F-слоя, совпадающие по времени с вариациями, обнаруженными в гармониках РСС.

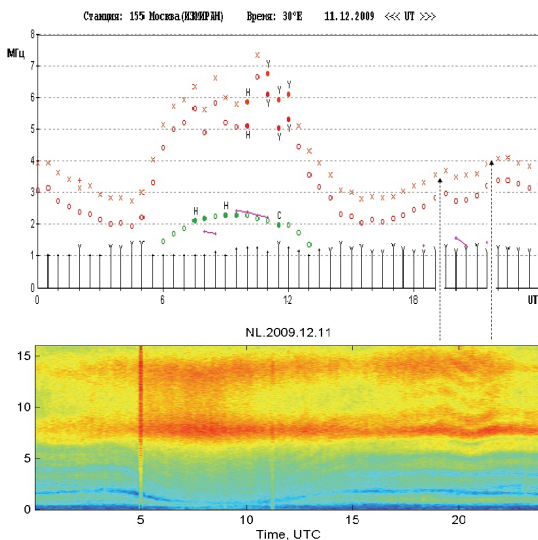


Рисунок 1 – Пример корреляции длиннопериодных вариаций в спектре магнитного шума (РСС) и критической частоты слоя  $F2$ .

При анализе вариаций собственных частот ИАР по измерениям в двух разнесенных пунктах “Новая Жизнь” и “Старая Пустынь” (расположен на расстоянии 135 км от первого) обнаружена разница в величине амплитуды вариаций основных гармоник.

**Основные публикации:**

*Ermakova E.N., Kotik D.S., Pershin A.V., Ryabov A.V., Bosinger T., Zhou Q. The spectral structure of the ULF magnetic noise as an indicator of local ionosphere conditions // Books of abstracts of 9<sup>th</sup> International Conference, 08-12 October 2012, St.-Peterburg, P.167.*

*Ermakova E.N., Pershin A.V., Bosinger T., Qihou Z. Diurnal dynamics of the broadband spectral maximum in the ULF background noise // Abstracts of XXXV Annual Seminar "Physics of Auroral phenomena", 27 February -2 March 2012. P. 54-55.*

Установлено, что во время сильной магнитной бури поляризация УНЧ сигналов, генерируемых станцией СУРА, в ночной ионосфере меняет поляризацию с левой на правую по сравнению со спокойными геомагнитными условиями. На фазе восстановления магнитного поля Земли обнаружено заметное уширение спектральной линии УНЧ сигнала.

*Д. С. Котик, Е. Н. Ермакова, А. В. Рябов (ФГБНУ НИРФИ)*

Измерения характеристик искусственных УНЧ сигналов проведенные в период сильной магнитной бури 16-18.06.12 могут быть связаны с изменением параметров ионосферной плазмы во время магнитной бури. Пример изменения поляризации показан на рисунке 1.

Уширение спектральной линии УНЧ сигнала на фазе восстановления бури возможно имеет две причины – сильная турбулентность в ионосфере, либо взаимодействие УНЧ сигнала с высокоэнергичными протонами, поступающими на соответствующие положению станция L-оболочки во время фазы восстановления. Примеры сигналов с уширенной примерно до 0.2 Гц линией показаны на рисунке 2.

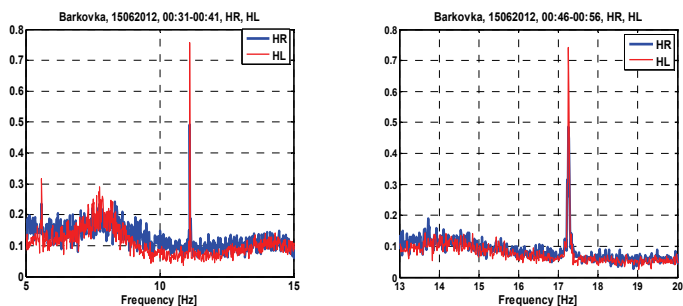


Рисунок 1 – Сравнение поляризации УНЧ сигналов в спокойных условиях(слева) и во время магнитной бури(справа).

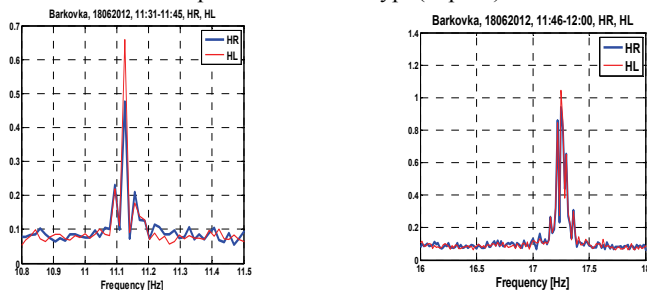


Рисунок 2 – Примеры уширения спектральной линии сигнала на стадии восстановления магнитной бури 18.06.2012.

Установлено, что источник УНЧ сигналов в диапазоне 2-20 Гц, генерируемых станцией СУРА в ночное время, формируется на высотах F-слоя ионосферы. Это следует как из прямых фазовых измерений времени задержки ионосферного сигнала относительно излученного станцией, так и из характера поляризации, которая в спокойных геомагнитных условиях является преимущественно эллиптической на всех частотах диапазона с преобладанием левополяризованного излучения.

*А. В. Рябов, Д. С. Котик, Е. Н. Ермакова, А. В. Першин (ФГБНУ НИРФИ)*

Фазовые измерения УНЧ сигналов проводились на сетке частот в районе 11 Гц. Время задержки ионосферного сигнала относительно излученного станцией составило в среднем  $301 \pm 114$  мс. Для исключения аппаратных эффектов, влияющих на точность результата, передатчики станции СУРА и приемный комплекс в пункте наблюдения были синхронизованы между собой с помощью спутниковой системы GPS, работа приборов регистрации и задающего модуля станции генератора тактировалась от внешних высокостабильных источников на частоте 10 МГц. Для точного определения фазы был применен метод наложения эпох. На рисунке 1 представлены примеры зависимости фазы от частоты, на основе которых были определены времена распространения сигнала от источника в F-слое. Суть метода сводится к сопоставлению временных реализаций принятых УНЧ волн на разных частотах и определению фазового сдвига между реализациями. Время задержки приемного тракта было определено с помощью прямого измерения и составило 30 мс.

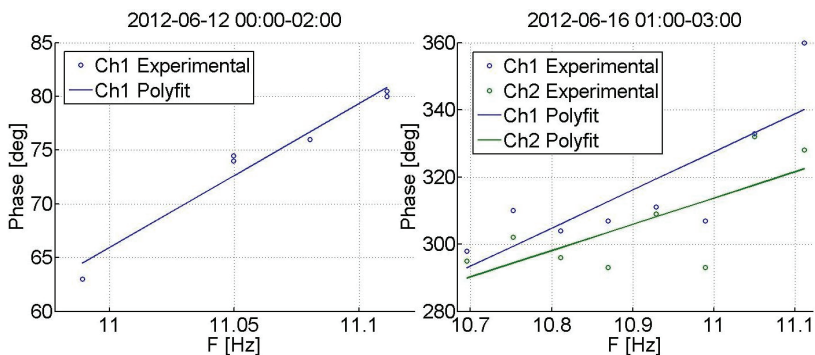


Рисунок 1 – Зависимость фазы принятого сигнала от частоты. По данным эксперимента 12.06.20 (левая панель) задержка составила  $371 \pm 56$  мс, по второму эксперименту (правая панель): для канала 1 –  $314 \pm 150$  мс, для канала 2 –  $217 \pm 136$  мс.

Было проведено численное моделирование времени распространения УНЧ волны с использованием модели IRI-2007, скорректированной данными

ионозонда с предположением, что источник находится в области максимальной концентрации электронов в F-слое. Результаты вычислений согласуются с экспериментальными данными по порядку величины.

Исследование характера поляризации проведено во всем диапазоне примененных частот. Как правило, характер поляризации одинаков для основной частоты и для гармоник. В спокойных геомагнитных условиях УНЧ сигналы имеют эллиптическую поляризацию на всех частотах с преобладанием лево-поляризованного излучения. Иногда наблюдается линейная поляризация (см. рисунок 2).

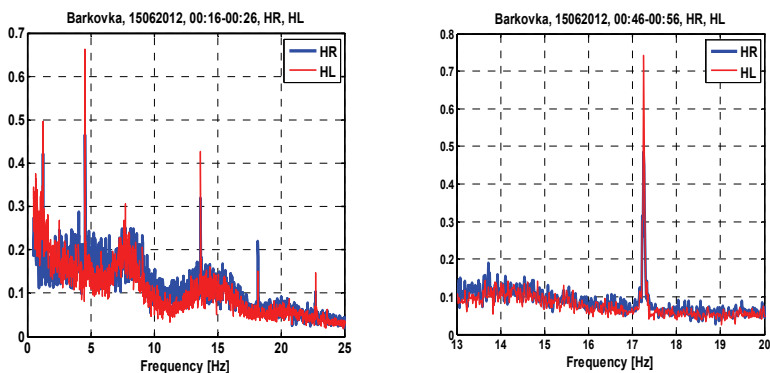


Рисунок 2 – Пример преобладания левой поляризации УНЧ сигналов в спокойных геомагнитных условиях.

Замечена разница в поляризациях фонового магнитного шума и искусственного УНЧ сигнала (в сигнале преобладает левая поляризация, рисунок 3), что определяется природой и расположением разных источников.

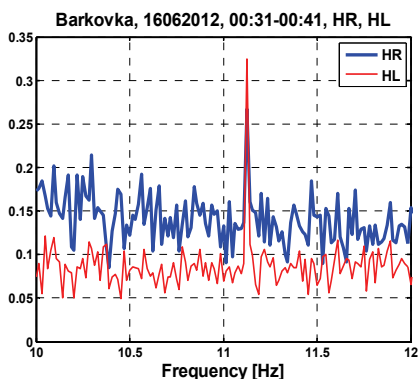


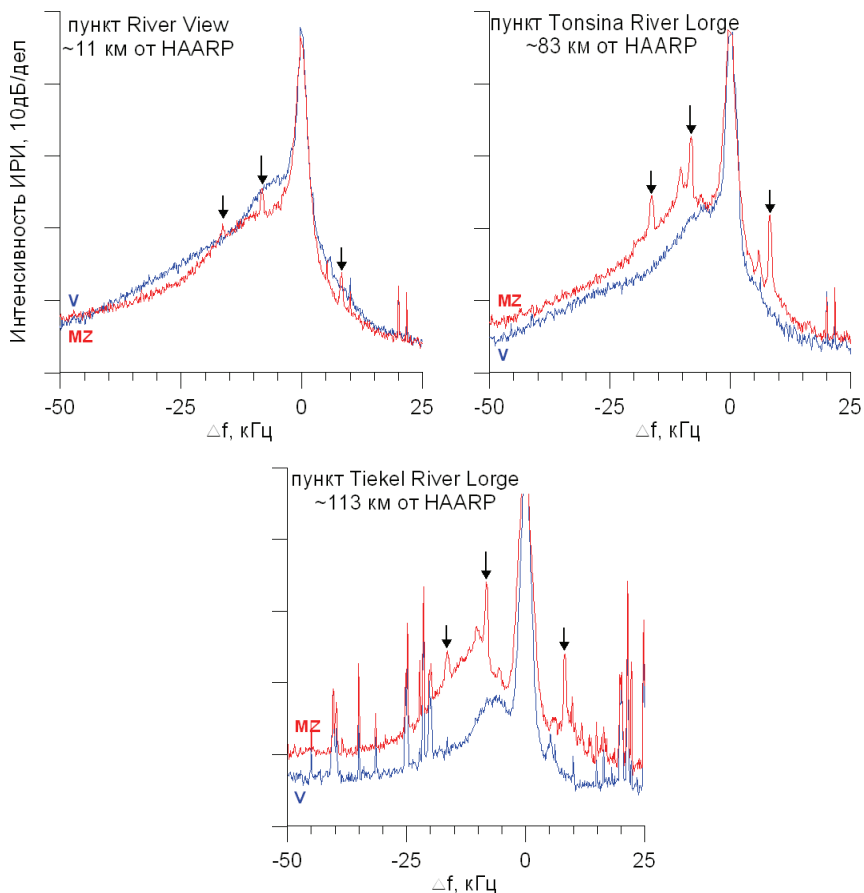
Рисунок 3 – Разница в поляризациях фонового магнитного шума и искусственного сигнала на частоте модуляции 11.1 Гц (в сигнале преобладает левая поляризация), что определяется природой и расположением разных источников

**В экспериментах по исследованию начальной стадии взаимодействия мощного КВ радиоизлучения с плазмой высокоширотной ионосферы на стенде HAARP (Аляска) обнаружено максимальное подавление сигнала волны накачки до 35 дБ при его вертикальном излучении и приеме, насыщение интенсивности искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) с ростом мощности накачки, уменьшение интенсивности ИРИ с увеличением угла наблюдения, появление узких эквидистантных спектральных максимумов при воздействии в направлении магнитного зенита. С увеличением длительности воздействия вблизи гармоник гирочастоты электронов обнаружена генерация новой спектральной компоненты ИРИ в области больших отрицательных отстроек, по своим характеристикам отвечающей образованию ленгмюровского конденсата в режиме сильной турбулентности.**

*Е. Н. Сергеев (ФГБНУ НИРФИ), С. М. Грач (ФГБНУ НИРФИ, ННГУ),  
А. В. Шиндин (ННГУ)*

Выполнены исследования начальной (первые 50 мс) стрикционной стадии взаимодействия мощного КВ радиоизлучения (1700 МВт) на частотах 5920 и 5420 кГц с плазмой высокоширотной ионосферы (стенд HAARP, Аляска) по измерениям динамики отраженного сигнала волны накачки и искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) для различной длительности, мощности и наклона воздействия в трех разнесенных до 100 км вдоль магнитного меридиана пунктах наблюдения. Обнаружено максимальное подавление сигнала волны накачки до 35 дБ при его вертикальном излучении и приеме, насыщение интенсивности ИРИ с ростом мощности накачки до максимальной, уменьшение интенсивности ИРИ с увеличением угла наблюдения, появление узких эквидистантных максимумов в спектрах излучения на отстройках  $\pm 8, 16$  кГц при воздействии в направлении магнитного зенита ( $14^\circ$  на юг). На стадии релаксации наблюдается перекачка энергии вниз по спектру с последующей ее столкновительной диссипацией с характерными временами 1.5-4.5 мс. Для коротких импульсов воздействия в генерации и релаксации ИРИ не обнаружено проявлений режима сильной турбулентности. При длительном воздействии порядка нескольких минут на частотах вблизи 3-й и 4-й гармоник гирочастоты электронов, где генерация верхегибридной турбулентности оказывается подавленной, обнаружена генерация новой спектральной компоненты излучения в области больших отрицательных отстроек – (50-200) кГц, по своим характеристикам отвечающей образованию ленгмюровского конденсата в режиме сильной турбулентности. На рисунке приведены спектры ИРИ на 25-50 мс воздействия по вертикали (V) и в магнитный зенит (MZ) для разных пунктов наблюдения 29 марта 2011 г.





### Основные публикации:

Grach S.M., Sergeev E.N., Shindin A.V. RF Observations by the Russian Team at HAARP in March-April 2011 // on CD: RF Ionospheric Interactions Workshop, Santa Fe, NM, 17-20 April, 2011.

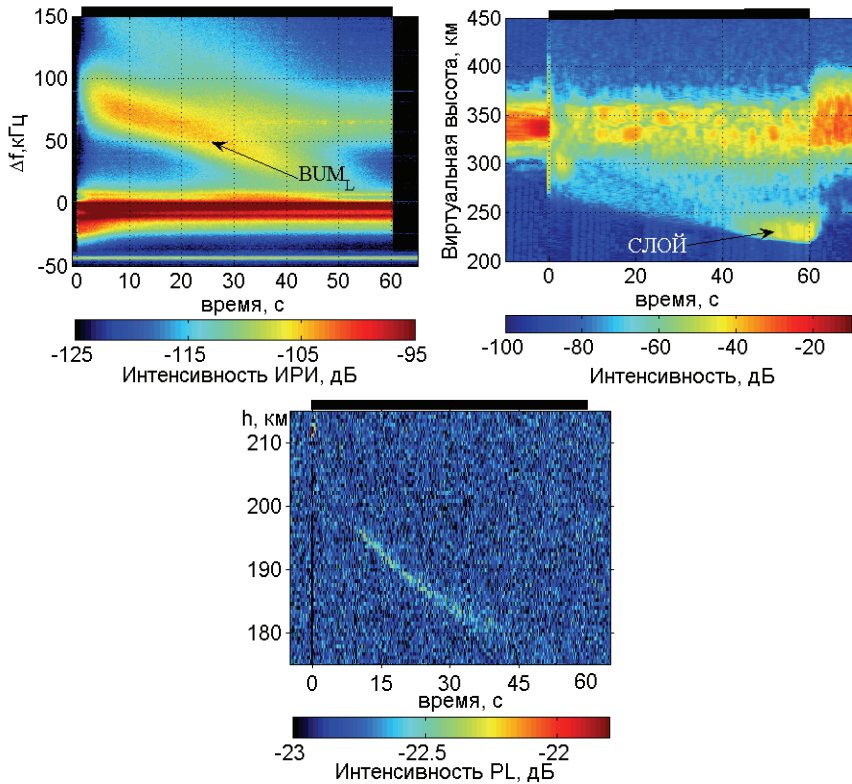
Shindin A., Sergeev E., Grach S., Mishin E., Bernhardt P., Briczinski S., Isham B, Broughton M., Watkins B. SEE and reflected pump wave behavior during first 50 ms of the HF pumping of ionosphere during the HAARP experiments of March 2011 // on CD "Abstracts, 398th COSPAR Scientific Assembly 2012, Mysore, India, 14-22 July 2012, [www.cospar2012.org](http://www.cospar2012.org).", paper no. 10160 (C5.1-0007-12).

Shindin A., Grach S., Sergeev E., Mishin E., Bernhardt P., Briczinski S., Isham B, Watkins B., Broughton M. Stimulated electromagnetic emissions near electron gyroharmonics at HAARP // on CD "Abstracts, 398th COSPAR Scientific Assembly 2012, Mysore, India, 14-22 July 2012, [www.cospar2012.org](http://www.cospar2012.org).", paper no. 10173 (C5.1-0054-12).

**В экспериментах на стенде HAARP (Аляска) исследованы процессы образования интенсивного ионизационного слоя вблизи 4-й гармоники гирочастоты электронов, опускающегося на 5-30 км от уровня отражения волны накачки до высот локального двойного резонанса. Изучение эволюции слоя искусственной ионизации с высоким временным разрешением проведено с помощью одновременных наблюдений процессов рассеяния пробных импульсных радиосигналов от возмущенной ионосферы при использовании нагревного стенда в качестве КВ-радар, динамики искусственной плазменной линии в спектре радара некогерентного рассеяния и динамики дополнительного широкого положительного максимума, обнаруженного в спектре искусственного радиоизлучения ионосферы.**

*Е. Н. Сергеев (ФГБНУ НИРФИ), С. М. Грач (ФГБНУ НИРФИ, ННГУ),  
А. В. Шиндин (ННГУ)*

В исследованиях свойств верхнегибридной плазменной турбулентности на стенде HAARP (Аляска) вблизи гармоник гирочастоты электронов обнаружена генерация дополнительного широкополосного положительного максимума в спектре искусственного радиоизлучения ионосферы, динамические и спектральные характеристики которого отвечают образованию интенсивного ионизационного слоя на высотах локального двойного резонанса – совпадения верхнегибридной частоты с частотой гирогармоники  $n f_{ce}$  – на 5-30 км ниже уровня отражения волны накачки в невозмущенной ионосфере. Этот факт подтверждается одновременными прямыми наблюдениями процессов рассеяния / отражения широкополосных импульсных радиосигналов от возмущенной ионосферы при использовании нагревного стенда в качестве КВ радара на частоте волны накачки, а также динамики искусственной плазменной линии в спектре сигнала радара некогерентного рассеяния. Образование искусственного ионизационного слоя наблюдалось при мощном КВ-воздействии на частотах  $5760-5850 \text{ кГц} > 4f_{ce} \sim 5750 \text{ кГц}$  в направлении магнитного зенита (наклоне диаграммы направленности нагревного стенда на  $14^\circ$  на юг). Выполнены исследования динамических характеристик возбуждения и релаксации искусственного слоя на различных высотах ионосферы с высоким временным разрешением 100 мс. Определена скорость его движения вниз от уровня отражения волны накачки, составляющая порядка 500 м/с. На рисунке приведены проявления генерации искусственного слоя ионизации 28 марта 2011 г. в наблюдениях ИРИ (компонента BUM<sub>L</sub>, левая панель), при зондировании возмущенной области пробными волнами на частоте накачки 5850 кГц (правая панель) и в измерениях динамики плазменной линии (PL, нижняя панель). 60-ти сек. интервал нагрева плазмы показан черной линией над панелями.



**Основные публикации:**

Grach S.M., Sergeev E.N., Shindin A.V. RF Observations by the Russian Team at HAARP in March-April 2011 // on CD: RF Ionospheric Interactions Workshop, Santa Fe, NM, 17-20 April, 2011.

Shindin A., Grach S., Sergeev E., Mishin E., Bernhardt P., Briczinski S., Isham B., Watkins B., Broughton M. Stimulated electromagnetic emissions near electron gyroharmonics at HAARP // on CD "Abstracts, 398th COSPAR Scientific Assembly 2012, Mysore, India, 14-22 July 2012, [www.cospar2012.org](http://www.cospar2012.org)", paper no. 10173 (C5.1-0054-12).

Sergeev E., Grach S., Shindin A., Mishin E., Bernhardt P., Briczinski S., Isham B., LaBelle J., Broughton M., Watkins B. Artificial ionospheric layers during frequency stepping near the 4th gyroharmonic // Phys. Rev. Lett. 2012. in press.

**В ходе детального мониторинга характеристик спектров искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) в режиме быстрого свипирования частоты волны накачки в области 2<sup>й</sup>, 3<sup>й</sup> и 4<sup>й</sup> гармоник электронной циклотронной частоты на нагревном стенде HAARP (Аляска) подтверждена качественная повторяемость свойств спектров ИРИ, ранее наблюдавшаяся в измерениях около 4<sup>й</sup> – 7<sup>й</sup> гирогармоник на стенде СУРА (Россия).**

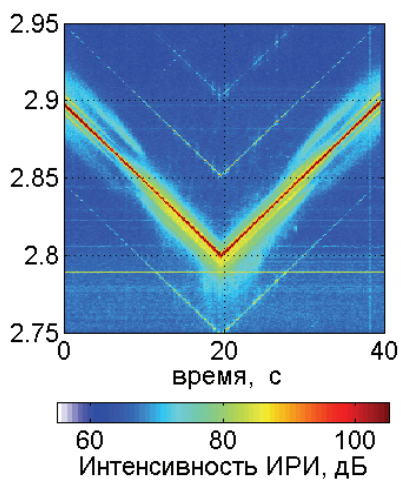
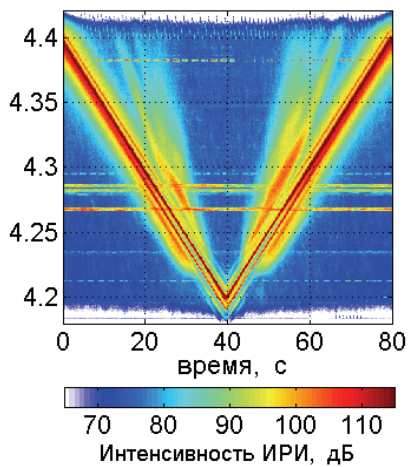
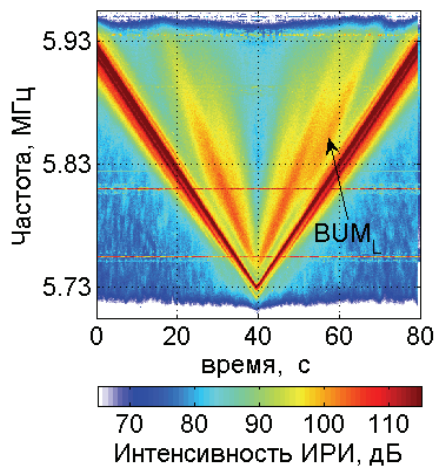
***Е. Н. Сергеев (ФГБНУ НИРФИ), С. М. Грач (ФГБНУ НИРФИ, ННГУ), А. В. Шиндин (ННГУ)***

Впервые на нагревном стенде HAARP (Аляска) проведен детальный мониторинг характеристик спектров искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) в режиме быстрого свипирования частоты волны накачки со скоростью 1 кГц/ 0,2 сек. в области 2<sup>й</sup>–4<sup>й</sup> гармоник электронной циклотронной частоты. Получены данные о генерации, интенсивности и спектральном положении различных компонент излучения в зависимости от соотношения частот волны накачки и гирогармоники и от угла воздействия одновременно в трех разнесенных вдоль магнитного меридиана до 100 км пунктах наблюдения. Подтверждена качественная повторяемость свойств спектров ИРИ, ранее наблюдавшаяся в измерениях около 4<sup>й</sup>–7<sup>й</sup> гирогармоник на стенде СУРА (Россия), выявлен ряд особенностей спектров излучения на частотах волны накачки, близких к 2<sup>й</sup> гирогармонике. Обнаружены новые компоненты ИРИ: широкий положительный максимум (BUM<sub>L</sub>), связываемый с возбуждением искусственного ионизационного слоя при воздействии в магнитный зенит, широкий отрицательный максимум (BDM) на отстройках – (50–200) кГц вблизи частот 3-й и 4-й гирогармоник, связываемый с развитием режимов сильной турбулентности, новый спектральный максимум (NDM) на отстройках –(5–6) кГц, генерация которого не может определяться взаимодействием ниже- и верхнегибридных плазменных волн. Примеры спектрограмм ИРИ в режиме свипирования волны накачки в области трех гирогармоник при воздействии в направлении магнитного зенита представлены ниже на рисунке для  $4f_{ce} \sim 5700$  кГц (левая панель),  $3f_{ce} \sim 4220$  кГц (правая панель) и  $2f_{ce} \sim 2855$  кГц (нижняя панель).

**Основные публикации:**

*Grach S.M., Sergeev E.N., Shindin A.V. RF Observations by the Russian Team at HAARP in March-April 2011 // on CD: RF Ionospheric Interactions Workshop, Santa Fe, NM, 17-20 April, 2011.*

*Shindin A., Grach S., Sergeev E., Mishin E., Bernhardt P., Briczinski S., Isham B, Watkins B., Broughton M. Stimulated electromagnetic emissions near electron gyroharmonics at HAARP // on CD "Abstracts, 398th COSPAR Scientific Assembly 2012, Mysore, India, 14-22 July 2012, [www.cospar2012.org](http://www.cospar2012.org).", paper no. 10173 (C5.1-0054-12).*



Выполнен цикл исследований высотной структуры возмущенной области над станцией HAARP (Аляска) с помощью измерений динамических и спектральных характеристик искусственного радиоизлучения ионосферы в режиме диагностического зондирования импульсами различной длительности и скважности на различных частотах  $f = 4450 - 5450$  кГц (высотах  $h = 185 - 215$  км) в области между 3<sup>й</sup> и 4<sup>й</sup> гармониками гирочастоты электронов. Исследована конкуренция процессов возбуждения ленгмюровской и верхнегибридной плазменной турбулентности, генерация и релаксация эффекта аномального ослабления в широкой полосе частот  $\sim 1$  МГц (высот  $\sim 30$  км) выше и ниже частоты волны накачки. Установлен факт более эффективного возбуждения и “прорастания” плазменной турбулентности в верхней части возмущенной области.

*Е. Н. Сергеев (ФГБНУ НИРФИ), С. М. Грач (ФГБНУ НИРФИ, ННГУ),  
А. В. Шиндин (ННГУ)*

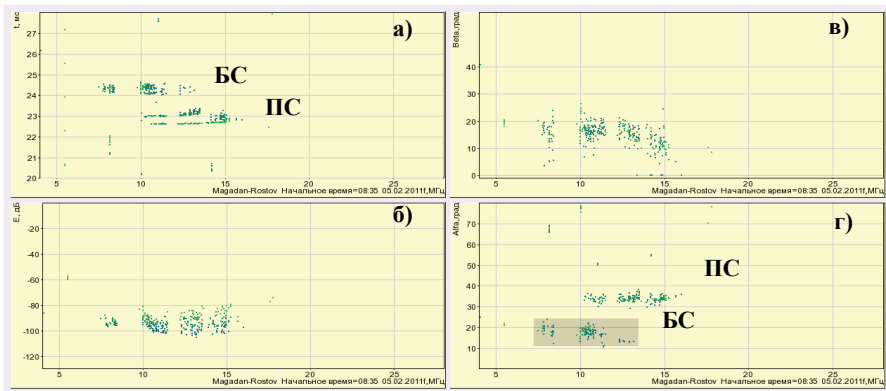
Обнаружены особенности дальнего распространения коротких радиоволн на субавроральной (Магадан – Ростов-на-Дону) и среднеширотных (Хабаровск – Ростов-на-Дону, Иркутск – Ростов-на-Дону) трассах.

*В. П. Урядов (ФГБНУ НИРФИ)*

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

Проведен анализ особенностей дальнего распространения коротких радиоволн на субавроральной (Магадан – Ростов-на-Дону) и среднеширотных (Хабаровск – Ростов-на-Дону, Иркутск – Ростов-на-Дону) трассах по данным наблюдений в январе-феврале 2011 г. с помощью ЛЧМ ионозонда – радиопеленгатора. На трассе Магадан – Ростов-на-Дону обнаружены аномальные сигналы с задержками  $\sim 1-2$  мс относительно прямого сигнала, приходящие с азимутов  $\sim 10-20^\circ$ . Азимут угла прихода прямого сигнала, распространяющегося по дуге большого круга между Магаданом и Ростовом-на-Дону, составляет  $33^\circ$ . Аномальные сигналы наблюдались в утренние и дополуденные часы ( $\sim 08:00 - 10:40$  мск).

Типичный пример работы ЛЧМ ионозонда-радиопеленгатора приведен на рисунке 1 (на азимутальной зависимости аномальный сигнал выделен серым прямоугольником).



Частота, МГц

Рисунок 1 – (а) – ДЧХ, (б) – АЧХ, (в) – УЧХ, угол места  $\Delta$ , (г) – УЧХ, азимут  $\alpha$  на трассе ЛЧМ зондирования Магадан – Ростов-на-Дону. 05.02.2011 г., 08:35 мск. ПС – прямой сигнал, МНЧ  $\approx 15$  МГц, азимут  $\approx 33-35^\circ$ ; БС – боковой сигнал, диапазон частот  $\sim 7,5 - 12,5$  МГц, азимут  $\approx 15-20^\circ$ , задержка  $\sim 1,4$  мс.

В вечерние и ночные часы аномальные сигналы не наблюдались. Во время магнитной активности амплитуда аномальных сигналов была на 5-10 дБ больше амплитуды аномальных сигналов до начала магнитной бури. Установлена связь появления аномальных сигналов с высыпанием заряженных частиц. Определено местоположение в ионосфере областей возмущения, ответственных за появление аномальных сигналов:  $69^{\circ}$ - $71^{\circ}$ N,  $51^{\circ}$ - $58^{\circ}$ E, что совпадает с положением северной стенки главного ионосферного провала, примыкающей к экваториальной границе диффузных высыпаний электронов. Рассмотрены механизмы распространения аномальных сигналов за счет боковой рефракции на крупномасштабных возмущениях и рассеяния на мелкомасштабных неоднородностях. На основе сопоставления экспериментальных и расчетных данных с учетом геофизической обстановки сделан вывод о превалирующем механизме формирования поля радиоволн аномальных сигналов за счет боковой рефракции на пэтчах с повышенной электронной концентрацией, образуемых в ионосфере во время высыпания заряженных частиц.

**Основные публикации:**

*Урядов В.П., Вертоградов Г.Г., Вертоградова Е.Г. Влияние неоднородной структуры высокоширотной ионосферы на дальнейшее распространение коротких радиоволн // Изв. Вузов. Радиофизика. 2012. Т.55, №4. С. 255-265.*



Выполнены измерения гирогармонических свойств искусственных ионосферных неоднородностей (ИИН), возбуждаемых в F2-области ионосферы при ее модификации мощным КВ радиоизлучением O-поляризации в условиях двойного плазменного резонанса при  $f_{\text{ВН}} \approx 4f_{\text{се}}$ . На основе многолетних измерений построена эмпирическая модель уширения спектра сигналов ракурсного рассеяния на декаметровых неоднородностях  $l_{\perp} = 10\text{--}20$  м. Установлено, что генерация ИИН с  $l_{\perp} = 100\text{--}200$  м также обладает гирогармоническими свойствами. С помощью зондирования ионосферы сигналами GPS выполнены эксперименты и получены первые результаты по обнаружению сверхмелкомасштабных неоднородностей с  $l_{\perp} = 10\text{--}20$  см, генерация которых должна наблюдаться, когда частота мощной радиоволны немного превышает частоту гирогармоники.

*В. Л. Фролов, И. А. Болотин, Г. П. Комраков (ФГБНУ НИРФИ)*

*Г. Г. Вертоградов, В. Г. Вертоградов, Е. Г. Вертоградова (ФГБОУ ВПО ЮФУ, Ростов-на-Дону)*

*А. Д. Акчурин, В. В. Бочкарёв, А. М. Дрешер, Е. Ю. Зыков, Р. Р. Латыпов, И. Р. Петрова, К. М. Юсупов (КФУ, Казань)*

*В. Е. Куницын, А. М. Падохин, Г. А. Курбатов (МГУ, Москва)*

Обсуждаемый эффект уширения спектра ракурсно рассеянного сигнала КВ диапазона на ИИН был открыт в экспериментах на стенде СУРА в 90-х годах прошлого столетия. Выполненные за последние годы исследования его свойств позволяют сформулировать следующую эмпирическую модель широкополосной компоненты рассеяния на декаметровых ИИН при модификации F2-области ионосферы мощными КВ радиоволнами O-поляризации при их вертикальном или почти вертикальном распространении в условиях, когда частота волны накачки (ВН) близка к четвёртой гармонике гирочастоты электронов в области её взаимодействия с плазмой.

1. Максимальное уширение спектра рассеянного сигнала имеет место при расстройке частоты мощной радиоволны  $\delta f_m = f_{\text{ВН}} - 4f_{\text{се}} \approx 20 - 60$  кГц, где наблюдается генерация наиболее интенсивной широкополосной компоненты искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) в области положительных отстроек относительно  $f_{\text{ВН}}$ , известной как медленный BUM (или BUM-2). Важно отметить, что заметное уширение спектра рассеяния имеет место уже при  $\delta f \approx 0$ ; оно исчезает, начиная с  $\delta f \approx -20$  кГц. Выше  $\delta f_m$  ширина спектра рассеянной компоненты сигнала плавно уменьшается. Однако она не исчезает, даже когда BUM-2 уже не наблюдается в спектре ИРИ. Можно предположить, что область её существования захватывает и область генерации BUS (broad ur-

shifted structure) — компоненты ИРИ, генерация которой также наблюдается в широкой области положительных отстроек до частот ВН  $f_{\text{ВН}} = 4.5 - 4.7$  МГц.

2. Для рассеяния на декаметровых ИИН с  $l_{\perp} \approx 9 - 11$  м при эффективной мощности ВН  $P_{\text{эфф}} \approx 150$  МВт ширина спектра  $\Delta F$  в его стационарном состоянии может достигать значений до  $\sim 10$  Гц в оптимальных условиях проведения измерений. Когда они выполняются в вечерние или ночные часы, поверхность ракурсного рассеяния проходит через область магнитного зенита для ВН, где развиваются наиболее интенсивные мелкомасштабные ИИН, а частота  $f_{\text{ВН}}$  лишь немного ниже критической частоты F2-слоя ионосферы  $f_{\text{OF2}}$ .

3. Спектральная интенсивность широкополосной компоненты рассеяния S экспоненциально уменьшается с ростом отстройки от принимаемой частоты зондирующей волны ( $S \propto e^{-\alpha|F|}$ ), имея изменяющуюся в широких пределах скорость спада от  $\sim 2$  до  $\sim 20$  дБ/Гц для  $f = 14996$  кГц ( $l_{\perp} \approx 11$  м) в зависимости от условий проведения измерений.

4. Наблюдается эффект гистерезиса в зависимости  $\Delta F$  от  $\delta f$ , когда на ветви уменьшения величины отстройки от гирорезонанса после достижения  $\delta f_m$  ширина спектра широкополосной компоненты рассеяния  $\Delta F$  имеет большие значения, чем на ветви её увеличения с началом при  $\delta f \leq 0$ . Это относится к измерениям, когда переход с одной частоты ВН на другую осуществлялся через паузу излучения 15 – 30 с. Если переход осуществлялся без таких пауз, то эффект гистерезиса или не обнаруживался, или оказывался не так сильно выраженным.

5. В оптимальных условиях проведения измерений при использовании коротких пауз между импульсами излучения ВН характерное время развития широкополосной компоненты спектра рассеянного сигнала составляет 0,3–0,5 с, как и для декаметровых ИИН, а время её релаксации — 0,4–0,9 с. При этом уменьшение интенсивности широкополосной компоненты рассеяния на стадии её релаксации определяется быстрым обужением спектра принимаемого сигнала с темпом  $\sim 3 - 5$  Гц/с (т.е. более быстро для более высокочастотных спектральных компонент). Время релаксации широкополосной компоненты рассеяния оказывается более чем на порядок меньше времени релаксации декаметровых ИИН вне областей гирогармонических резонансов, которое составляет  $\sim 8$  с и соответствует времени релаксации узкополосной компоненты рассеяния, регистрируемой при  $\delta f < 0$ .

6. С приближением частоты ВН к  $f_{\text{OF2}}$  наблюдается рост до 2–4 раз величины уширения спектра рассеянного сигнала. Эффект уширения спектра рассеянного сигнала наблюдается и в условиях, когда частота ВН немного превышает критическую частоту F2-слоя ионосферы  $f_{\text{OF2}}$ , но когда частота верхнегибридного резонанса для ВН остаётся ещё меньше  $f_{\text{OF2}}$  и сохраняется возможность генерации искусственной ионосферной турбулентности за счёт развития тепловой (резонансной) параметрической неустойчивости.

7. На основе полученных данных можно утверждать, что для  $f_{\text{ВН}} \approx 4f_{\text{се}}$  пороговая мощность излучения ВН для генерации широкополосной компоненты рассеяния не превышает 5 МВт, соответствуя пороговой мощности генерации компоненты искусственного радиоизлучения ВУМ-2.

8. В разных частях области рассеяния (или в разных частях возмущённой области ионосферы) зависимости  $\Delta F(\delta f)$  и сами значения  $\Delta F$  могут заметно отличаться. При этом выделяется область магнитного зенита для ВН, где наблюдается более сильное уширение спектра широкополосной компоненты рассеяния вместе с более интенсивной узкополосной компонентой рассеянного сигнала.

9. Установлено, что генерация ИИН с  $l_{\perp} = 100 - 200$  м также обладает гирогармоническими свойствами.

10. С помощью зондирования ионосферы сигналами GPS выполнены эксперименты и получены первые результаты по обнаружению сверхмелкомасштабных неоднородностей с  $l_{\perp} = 10 - 20$  см, генерация которых должна наблюдаться, когда частота мощной радиоволны немного превышает частоту гирогармоники.

Теоретическая интерпретация генерации широкополосной компоненты сигнала ракурсного рассеяния при зондировании декаметровых ИИН в условиях, когда частота ВН была порядка или немного выше частоты гирогармоники электронов в области взаимодействия мощной радиоволны с плазмой F2-области ионосферы была предложена А. В. Гуревичем. Согласно развитой теории, это связано с генерацией сверхмелкомасштабных ( $l_{\perp} \approx 10 - 20$  см) вытянутых вдоль геомагнитного поля неоднородностей плотности плазмы, которые порождаются верхнегибридными и Бернштейновскими волнами, запертыми внутри декаметровых неоднородностей плотности плазмы. Эти волны возбуждаются в результате развития четырёхволновой параметрической неустойчивости мощной электромагнитной волны в магнитоактивной плазме, когда частота ВН оказывается немного выше частоты гирогармоники электронов (приблизительно в интервале частот ВН до 100 кГц выше частоты гирогармоники — в области генерации ВУМ-2). Бернштейновские волны имеют стоячую структуру и большую амплитуду электрического поля. Это приводит к образованию сверхмелкомасштабных неоднородностей плотности плазмы за счёт силы стрикционного давления.

#### **Основные публикации:**

Фролов В.Л., Болотин И.А., Урядов В.П., Вертоградов Г.Г., Вертоградов В.Г., Вертоградова Е.Г., Акчурун А.Д., Зыков Е.Ю., Юсупов К.М. Гирогармонические свойства генерации искусственных ионосферных неоднородностей. // XXIII Всероссийская научная конференция «Распространение радиоволн» (Йошкар-Ола, 23-26 мая, 2011 г.). Сб-к докладов, Т. 2, С. 285-288.

Фролов В.Л., Болотин И.А., Комраков Г.П., Вертоградов Г.Г., Вертоградов В.Г., Вертоградова Е.Г., Акчурун А.Д., Бочкарев В.В., Дрешер А.М., Зыков Е.Ю., Латыпов Р.Р., Петрова И.Р., Юсупов К.М., Куницын В.Е., Падохин А.М., Курбатов Г.А. Гирогармонические свойства генерации искусственных ионосферных неоднородностей // Изв. вузов Радиофизика. 2012. Т. 55, № 6. С. 393-420.

По измерениям с помощью Харьковского высокочастотного радара вертикального зондирования во время излучения Суры в режиме 5 мин – излучение, 5 мин – пауза обнаружено появление затухающего волнового процесса с периодом 6 мин. Обнаруженные колебания свидетельствуют о возможности генерации затухающих волн плотности инфразвукового диапазона в верхней атмосфере Земли.

***В. Л. Фролов** (ФГБНУ НИРФИ)*

*ХНУ им. В.Н. Каразина, г. Харьков, Украина*

**Результаты,  
направленные в Научный совет РАН  
по распространению радиоволн**

При одновременном измерении собственных излучений морской поверхности и атмосферы в ИК и СВЧ диапазонах определены тепловые потоки между морской поверхностью и атмосферой. Обнаружено влияние микропузырькового воздушного слоя под плёнкой поверхностного натяжения морской поверхности на тепловые потоки в системе морская поверхность – атмосфера.\*

*И. Т. Бубукин, К. С. Станкевич (ФГБНУ НИРФИ)*

В ФГБНУ НИРФИ разработаны методы одновременного измерения температуры и отражательной способности водной поверхности, в том числе, в инфракрасном и сантиметровом диапазонах длин волн. По измерениям в инфракрасном диапазоне обнаружено, что в натуральных условиях под пленкой поверхностного натяжения формируется микропузырьковый слой толщиной несколько десятков микрон из статистической смеси воды и микропузырьков воздуха. Актуален вопрос о значении тонкого микропузырькового слоя в тепловом балансе потоков на границе атмосферы и термической пленки морской поверхности. В термической пленке (поверхностном слое воды толщиной до 2 мм) перенос тепла осуществляется молекулярной теплопроводностью, что позволяет по измерениям собственного излучения морской поверхности на двух длинах волн (например, ИК и СВЧ) с разной толщиной скин-слоя внутри поверхностной пленки одновременно определять характеристики микропузырькового слоя, градиент температуры и получать баланс потоков на границе море-атмосфера. Натурные измерения проводились летом (июль, август), в ночное время, с пирса Карадагского природного заповедника в Отузском заливе Черного моря. Эксперимент показывает, что на границе море-атмосфера необходимо рассматривать трехслойную модель: вода - микропузырьковый слой - атмосфера. В трехслойной модели на нижней границе микропузырькового слоя должны выполняться граничные условия для уравнения теплопроводности - должны быть равными температуры  $T_1 = T_2$  и при отсутствии источников тепла на границе поток тепла, выходящий из одной среды, должен равняться потоку, входящему во вторую среду:

$$\kappa_{МП} \frac{\partial T_1}{\partial n_1} = \kappa_B \frac{\partial T_2}{\partial n_2} \quad (1)$$

где  $\kappa_B = 0.565 \frac{\text{дж}}{\text{м} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}$  – коэффициент молекулярной теплопроводности воды,  $\kappa_{МП}$  – коэффициент теплопроводности микропузырькового слоя, который можно получить для двухфазной среды по  $\kappa_B$  и

---

\* Результат направлен также в Национальный геофизический комитет, секцию физических наук об океане

$\kappa_{\text{возд}} = 0.024 \frac{\text{дж}}{\text{м} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}$  – коэффициенту молекулярной теплопроводности воздуха.

Из граничного условия (1) получим температуру на нижней границе микропузырькового слоя  $T_{\text{МП}}$ :

$$T_{\text{МП}} = \frac{\kappa_B \cdot l \cdot T_W (\text{СВЧ}) + \kappa_{\text{МП}} (l_{4\text{см}} - l) T_W (\text{ИК})}{\kappa_{\text{МП}} (l_{4\text{см}} - l) + \kappa_B \cdot l} \quad (2)$$

Теперь из (1) можно получить вертикальный поток тепла из моря в атмосферу  $Q = \kappa_{\text{МП}} \nabla T$  с учетом микропузырькового слоя. На рисунке 1а показана зависимость полного потока тепла  $Q$  от времени (верхняя кривая), полученная по трехслойной модели. При использовании данных лабораторных измерений о диэлектрических свойствах чистой воды, т.е. без учета микропузырькового слоя, получается временная зависимость полного потока тепла  $Q$ , показанная на рисунке 1б (нижняя кривая). В этом случае получаем ошибочный результат: полный поток тепла оказывается знакопеременным, чего быть не могло т.к. в ночное время вода была постоянно теплее воздуха.

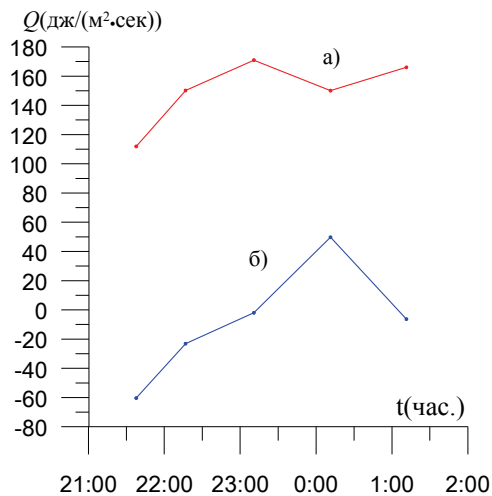


Рисунок – Зависимости от времени полного потока тепла из океана в атмосферу  $Q$ , с учетом микропузырькового слоя (а) и без него (б).

**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. Дистанционная диагностика пленочного слоя морской поверхности в инфракрасном диапазоне // Радиотехника и электроника. 2012. Т.57. №10. С.1089-1098.

*Бубукин И.Т., Станкевич К.С. Суточный ход температуры в термической плёнке морской поверхности по СВЧ радиометрическим измерениям // Труды XX всероссийской конференции по распространению радиоволн. Нижний Новгород, 2-4 июля 2002 г., С.374-375.*

*Бубукин И.Т., Станкевич К.С. Тепловой баланс потоков на границе атмосферы и термической пленки морской поверхности по натурным дистанционным измерениям собственных излучений этих сред в ИК и СВЧ диапазонах // II Всероссийские Армандовские чтения. Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред. Материалы V Всероссийской научной конференции. 26-28 июня 2012 г., Муром. Труды, С.247-251.*



Разработан и создан опытный образец модуляционного радиометрического приёмника (радиометра) на частоту  $\nu = 22,23$  ГГц, предназначенный для дистанционного определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере Земли по её собственному (тепловому) излучению в линии поглощения водяного пара  $\nu = 22,23$  ГГц. В радиометре реализована схема прямого усиления сигнала на несущей частоте с последующим квадратичным и синхронным детектированием. Реализация данной схемы позволила получить рекордные характеристики радиометра по чувствительности  $\delta T \approx 0,04$  К при полосе  $\Delta \nu = 400$  МГц, стабильность коэффициента передачи – менее 0,3 % в течение суток и линейность переходной характеристики  $\approx 0,2$  % в интервале антенных температур  $0 \div 470$  К. \*

*А. В. Троицкий, А. В. Востоков, С. Н. Клешнин (ФГБНУ НИРФИ)*

В процессе опытной эксплуатации впервые зарегистрированы турбулентные пульсации влажности атмосферы на масштабах «инерционного интервала» с характерными периодами  $\sim 10 \div 30$  сек и амплитудной  $\sim 0,07$  К.

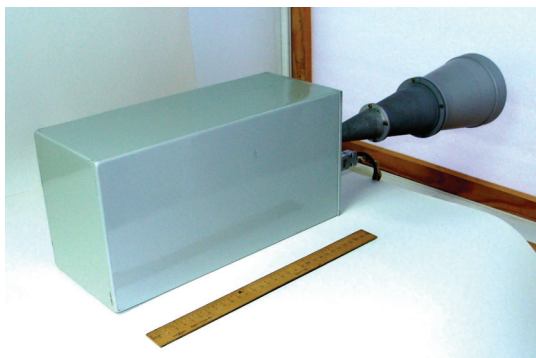


Фото опытного образца модуляционного радиометрического приёмника на частоту  $\nu = 22,23$  ГГц

#### **Основные публикации:**

*Кадыгров Е.Н., Агапов Ю.В., Горелик А.Г., Миллер Е.А., Некрасов В.В., Троицкий А.В., Шапошников А.Н. Наземный микроволновый комплекс для мониторинга термодинамических характеристик тропосферы // II Всероссийская научно-техническая конференция «ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОЙ ГЕОФИЗИКИ И КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ», посвящается 300-летию образования Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург 24-26 апреля 2012 г.*

---

\* Результат направлен также в Национальный геофизический комитет, секцию Метеорологии и атмосферных наук.

*Кадыгров Е.Н., Агапов Ю.В., Миллер Е.А., Некрасов В.В., Троицкий А.В., Шапошников А.Н. Радиометрический комплекс миллиметрового диапазона для мониторинга термодинамических характеристик тропосферы // II Всероссийские Армановские чтения «Муром`2012» V Всероссийская научная конференция «Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред» 26.06-28.06. 2012 г. Муром.*

*Miller E.; Kadygrov E.; Troitsky A. Features of Atmospheric Temperature Profiling in Polar Regions // ISTRP 9th International Symposium on Tropospheric Profiling 9° Simposio Internazionale sul Profilamento Troposferico Ridotto del Teatro Comunale 3-7 September 2012 L'Aquil.*

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

Показано, что установившаяся форма профиля ударной волны, сформированной после отражения от мягкой границы, существенно отличается от таковой для случая распространения мощного пучка в безграничном пространстве. Основной особенностью нелинейного взаимодействия гармоник в пучке после отражения является формирование более узкого ударного фронта по сравнению с фронтом, сформированным до отражения. В эксперименте зарегистрировано уменьшение длительности ударного фронта более чем в 2 раза. Спектр отраженного сигнала характеризуется немонотонностью распределения амплитуд гармоник в зависимости от их номера. Для проведения исследований разработан метод и создана экспериментальная установка для определения основных закономерностей трансформации профиля и спектра интенсивного акустического сигнала, отражённого от мягкой границы.

*М. С. Дерябин, Д. А. Касьянов (ФГБНУ НИРФИ)*

Приводится динамика нелинейной трансформации интенсивного акустического пучка при наличии акустически мягкой границы в области взаимодействия. Результат получен при физическом моделировании нелинейных взаимодействий в интенсивных акустических пучках. Эксперименты проводились на специально разработанной установке, показанной на рисунке 1.

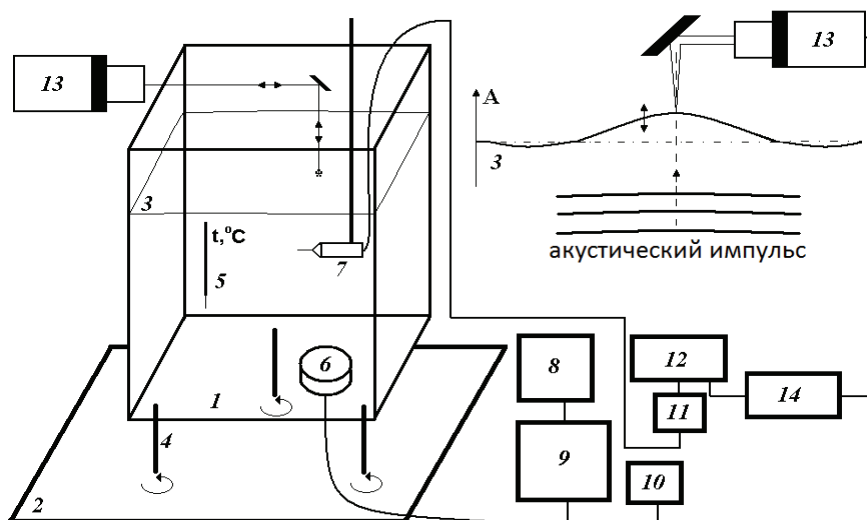


Рисунок 1 – Блок-схема экспериментальной установки:

1 – ванна с водой, 2- массивное основание, 3 – поверхность воды, 4 – опорные микровинты, 5 – термометр, 6 – плоский излучатель, 7 – гидрофон, 8 – генератор, 9 – усилитель, 10 – осциллограф, 11 – кондиционирующий усилитель, 12 – осциллограф, 13 – лазерный виброметр, 14 – декодер.

Ключевым моментом при проведении исследований нелинейной трансформации интенсивных акустических пучков в мегагерцовом диапазоне частот является корректная регистрация формы профиля нелинейной волны в интенсивном акустическом пучке. В данной установке применялся миниатюрный калиброванный (в диапазоне до 20 МГц) гидрофон 7 (типа НРМ04/01 фирмы Precision Acoustics), с размером активного элемента  $\delta = 0,04$  мм. Для регистрации профиля отраженной волны от границы раздела сред волны, данный гидрофон был перекалиброван для различных ориентаций к акустической оси излучателя.

Важной особенностью взаимодействия интенсивных акустических пучков при наличии свободной границы в области нелинейной трансформации интенсивного акустического поля, является воздействие интенсивных пучков на границу раздела. Взаимодействие с акустическими пучками приводит к изменению условий, при которых происходит отражение интенсивных нелинейных волн от мягкой границы. Данные условия существенно различаются в зависимости от интенсивности и скважности импульсов накачки. Поэтому, для проведения исследований необходимо контролировать поведение самой границы раздела сред. В частности, в представленной на рисунке 1 установке для регистрации колебаний поверхности воды в установку был включен оптический канал, состоящий из лазерной головки OFV505 – 13 и виброметра OFV5000 – 14, с доплеровским декодером VD02 фирмы Polytec.

На рисунке 2 представлены результаты абсолютных измерений амплитудных значений фаз сжатия и разряжения в нелинейных акустических волнах на оси пучка в зависимости от расстояния от апертуры излучателя. Вертикальной прямой на расстоянии 43 см отмечено местоположение границы раздела вода-воздух. Индексами b1–b5 отмечены дистанции, на которых проводился анализ профиля формирующихся ударных волн. Белыми треугольниками изображены результаты измерений амплитудных значений фаз сжатия и разряжения в нелинейных акустических волнах в отсутствие границы раздела. Черными треугольниками представлены результаты для волны, испытавшей отражение. Соответствующие профили представлены на рисунке 3. Осциллограмма b1 соответствует суммарному расстоянию в 45 см, пройденному волной (2 см ниже границы раздела после отражения), b2 – 51 см, b3 – 58 см, b4 – 65 см и b5 – 71 см.

В результате проведенных экспериментов показано, что установившаяся форма профиля ударной волны, сформированной после отражения от мягкой границы, существенным образом отличается от таковой для случая распространения мощного пучка в безграничном пространстве. Основной особенностью нелинейного взаимодействия гармоник в пучке после отражения является формирование более узкого ударного фронта по сравнению с фронтом, сформированным до отражения. В эксперименте зарегистрировано уменьшение длительности ударного фронта более чем в 2

раза. Спектр отраженного сигнала характеризуется немонотонностью распределения амплитуд гармоник в зависимости от их номера.

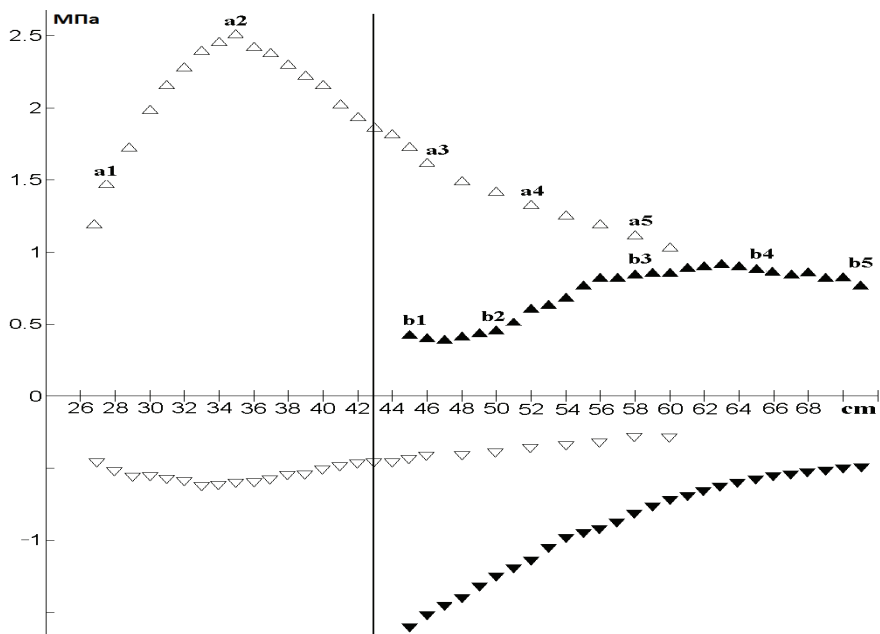


Рисунок 2.

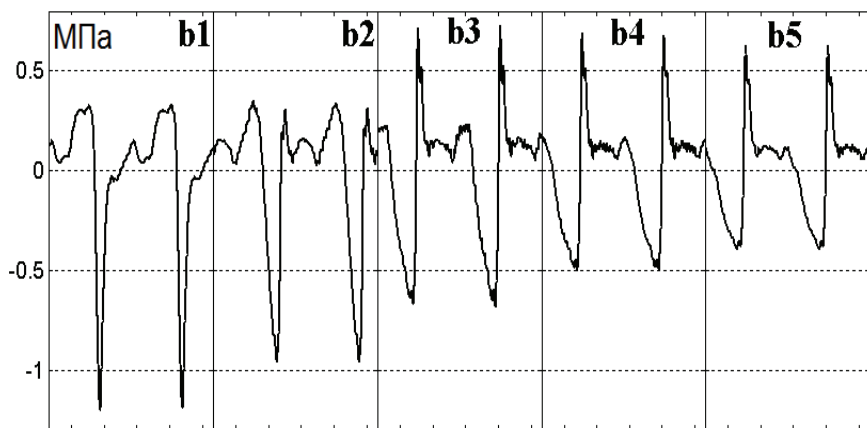


Рисунок 3.

**Основные публикации:**

*Deriabin M., Kasyanov D., Kurin V. Laboratory experiments on interaction of powerful acoustic pulses with water-air free boundary// FORUM ACUSTICUM 2011 27 June - 1 July, Aalborg, P. 915-919.*

*Грязнова И.Ю., Дерябин М.С., Касьянов Д.А., Курин В.В. Особенности проведения экспериментов по исследованию нелинейного взаимодействия волн в ограниченных средах в лабораторных условиях // Сборник трудов научной конференции «Сессия научного совета РАН по акустике и XXIV Сессия Российского Акустического общества», Саратов, 2011. С.158-161*

*Deriabin M., Kasyanov D., Kurin V. Peculiarities of Shocks Forming in High Intensity Acoustic Beams in the Presence of Soft Boundary at Interaction Area // 19<sup>th</sup> International Symposium of Nonlinear Acoustics, AIP Conference Proceedings, Tokyo, May 21-24, 2012.*

*Дерябин М.С., Касьянов Д.А., Курин В.В. Эволюция ударных волн в отражённых от мягкой границы интенсивных акустических пучках // Труды «Сессия Научного Совета РАН по акустике и XXV сессия РАО», Таганрог, сентябрь 2012 г. С.166-169.*

Теоретически исследовано влияние неоднородности нижних слоев воздуха на эффективность передачи энергии сейсмических волн в Земле акустическим волнам в атмосфере. Земля и атмосфера моделируются системой упругое полупространство – газообразный слой – газообразное полупространство. Сейсмические волны возбуждаются гармоническим силовым источником, действующим на поверхность упругой среды по нормали к ней. С использованием асимптотических методов выполнен аналитический анализ поля акустической волны в атмосфере как для случая, когда скорость звука в слое превышает скорость звука в газообразном полупространстве (при этом имеет место антиволноводное распространение звука), так и в противоположном случае низкоскоростного слоя, когда возникает атмосферный приземный рефракционный волновод. Для второго случая получены выражения, описывающие акустические моды в приземном волноводе. На основе разработанной компьютерной программы выполнено количественное исследование акустического поля при различных характерных для приземного слоя атмосферы контрастах температуры воздуха. Установлено, что неоднородность приповерхностного слоя воздуха не приводит к существенному повышению эффективности передачи акустической энергии в верхние слои атмосферы по сравнению со случаем, когда Земля и атмосфера моделируются однородными полупространствами.

#### *А. В. Разин (ФГБНУ НИРФИ)*

Решена задача о возбуждении сейсмоакустических волн в системе однородное изотропное упругое полупространство – однородный газообразный слой – однородное газообразное полупространство при действии на поверхность упругой среды перпендикулярного к ней точечного гармонического силового источника. Данная система моделирует Землю, приземный слой воздуха с резким контрастом температуры и более высокие слои атмосферы. Получены выражения для волновых полей в виде интегралов Фурье – Бесселя. Основное внимание уделено исследованию акустических волн в газообразном полупространстве. Получено приближенное выражение для поля акустической волны в газообразном полупространстве, справедливое на больших расстояниях от источника. Рассмотрен случай, когда скорость звука в слое меньше скорости звука в газообразном полупространстве (при этом имеет место антиволноводное распространение акустических волн), а также случай низкоскоростного слоя, когда возникает приповерхностный рефракционный волновод. Получено интегральное выражение для средней за период волны мощности излучения акустической волны в газообразном полупространстве. Выполнен численный анализ мощностей излучения акустических волн в случаях высокоскоростного и низкоскоростного слоев. Показано, что наличие приповерхностного слоя воздуха толщиной несколько десятков или несколько сотен метров, температура воздуха в котором отличается от температуры более высоких слоев на  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$ С не приводит к существенному повышению эффективности передачи волновой энергии от сейсмических волн к акустическим.



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

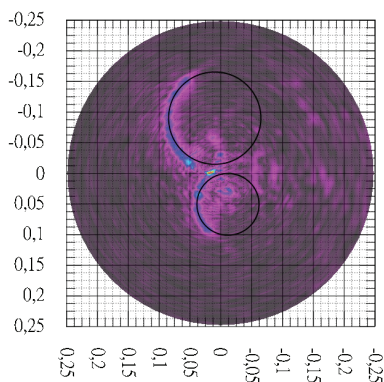
Исследован алгоритм Инверсного Апертурного Синтеза (ИАС), предложенный для вычислений угловых распределений полей обратного рассеяния электромагнитных волн на любых расстояниях от источников рассеяния в их ближней и дальней зонах. Алгоритм использует данные комплексных значений полей обратного рассеяния от распределения источников рассеяния, сосредоточенных в квазиплоской области, измеренных на экваториальной окружности, охватывающей источники рассеяния. В области распределения источников предполагается малость одного из ее габаритных размеров по сравнению с двумя другими.

*Ю. И. Белов, В. Д. Кротиков (ФГБНУ НИРФИ)*

*В. И. Турчин (ИПФ РАН)*

В процессе измерений производится предварительное запоминание комплексной матрицы (функции угла ракурса облучения и частоты облучения) сигналов фона от объектов и поверхностей, окружающих область исследуемых источников рассеяния. В исследованном алгоритме ИАС используются приближение однократного рассеяния и одна линейная поляризация волн.

Теоретически оценена методическая погрешность алгоритма, определена номенклатура погрешностей измерения и обработки данных, исследовано их влияние методами математического моделирования. Проведены пробные эксперименты по восстановлению формы источников рассеяния в виде проводящих сфер (набора сфер) разных диаметров, цилиндров, крестообразных форм.



Синтезированное изображение двух проводящих дисков в 8-мм диапазоне радиоволн диаметром 100 и 150 мм в секторе углов ракурса  $\pm 60^\circ$ .

**Результаты,  
направленные в Научный совет РАН  
по нелинейной динамике**

Разработан метод последовательного обучения нейроноподобных классификаторов с применением алгоритма машины опорных векторов. Метод позволяет использовать классификаторы как в бинарном (однопороговом) так и тернарном (двупороговом) режиме классификации, что значительно повышает качество классификации. Произведено сравнение алгоритма с широко известной реализацией - библиотекой машин опорных векторов, показавшее эквивалентные результаты классификации на стандартных тестовых данных. При работе с потоком данных и необходимости дообучения скорость предложенного алгоритма существенно выше, что важно для дообучения классификатора и модификации моделей мира принимающей решения системой в режиме реального времени.

*Н. С. Беллюстин (ФГБНУ НИРФИ)*

*А В. Ковальчук (ИПФ РАН)*

*Основные публикации:*

*Беллюстин Н.С., Ковальчук А.В. Алгоритм для обучения машины опорных векторов (SVM) в реальном времени // Труды Конференции «Нейроинформатика» (принята в печ.)*

**Результаты,  
направленные в Научный совет РАН  
по оптике и лазерной физике**

Разработан и экспериментально апробирован новый метод калибровки пространственного распределения светочувствительности матричных фотоприемников – без использования эталонных распределений интенсивности оптического излучения. Показано, что калибровка матричных фотоприемников при помощи нового метода позволяет измерять пространственное распределение светочувствительности с точностью, определяемой уровнем шума элементов матрицы, и, следовательно, исключить систематическую ошибку регистрации пространственной структуры интенсивности оптического излучения, связанную с неоднородностью светочувствительности фотоприемника. Точность измерения пространственных распределений светочувствительности в проведенных экспериментах по калибровке ПЗС-матриц составила  $\sim 10^{-3}$ , что соответствовало уровню случайного шума элементов калибруемых матриц в условиях эксперимента.

*И. Е. Кожеватов (ФГБНУ НИРФИ, ИПФ РАН)*

*С. Е. Стукачев (ИПФ РАН)*

Задача точной регистрации пространственной структуры интенсивности оптического излучения играет существенную роль в прецизионной оптической метрологии, в частности, при регистрации оптических волновых полей и построении объемных изображений. Наиболее эффективными средствами измерения пространственных распределений интенсивности оптического излучения являются матричные (многоэлементные) приемники, позволяющие одновременно получать информацию о распределении интенсивности излучения по всей апертуре светового пучка. При всех своих преимуществах многоэлементные фотоприемники имеют принципиальный недостаток – неидентичность светорегистрирующих элементов. Это в первую очередь приводит к пространственной неоднородности светочувствительности приемников и, как следствие, к систематической ошибке регистрации пространственного распределения интенсивности.

Для устранения этой ошибки необходимо провести калибровку пространственных распределений светочувствительности матричных приемников, то есть определить соотношения между значениями светочувствительности элементов матрицы. Традиционный метод калибровки заключается в том, что на приемнике создается однородное распределение интенсивности, и по неоднородностям зарегистрированного изображения определяется пространственное распределение светочувствительности элементов матрицы. Недостатком такого метода является то, что калибрующий световой пучок является равномерным лишь с достаточно небольшой точностью. Поэтому является актуальной задача калибровки

пространственных распределений светочувствительности матричных фотоприемников без использования эталонных распределений интенсивности. Был разработан и экспериментально апробирован новый метод калибровки пространственных распределений светочувствительности матричных фотоприемников. Основная идея метода заключается в измерении стабильных по времени распределений интенсивности светового пучка при нескольких различных комбинациях взаимного положения измеряемого двумерного распределения интенсивности и матрицы фотоприемника. Такая методика при выполнении некоторых условий на комбинацию и число экспериментов позволяет получить массив данных, из которого восстанавливается как распределение светочувствительности матричного приемника, так и распределение интенсивности светового пучка.

Разработана схема экспериментальной установки (рисунок 1), реализующая метод, порядок эксперимента и две модификации алгоритма восстановления пространственных распределений светочувствительности по результатам измерений, которые могут применяться в зависимости от условий проведения эксперимента. Проведена проверка свойств алгоритма калибровки путем численного моделирования эксперимента.

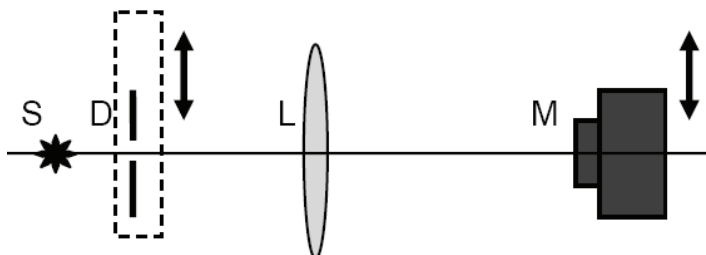


Рисунок 1 – Оптическая схема экспериментальной установки для калибровки пространственных распределений чувствительности матричных фотоприемников  
S – источник стабильного во времени оптического излучения, D – диафрагма,  
L – объектив, M – п.з.с.-матрица

Проведены эксперименты по калибровке пространственных распределений светочувствительности ПЗС-матриц (рисунок 2), а также по измерению распределений интенсивности оптического излучения при помощи откалиброванных матриц. Точность измерения пространственных распределений светочувствительности в проведенных экспериментах составила  $\sim 10^{-3}$ , что соответствовало уровню шума элементов калибруемых матриц в условиях эксперимента.

Таким образом, результаты экспериментов продемонстрировали, что калибровка матричных фотоприемников при помощи нового метода позволяет измерять пространственное распределение светочувствительности с

точностью, определяемой уровнем шума элементов матрицы, и, следовательно, исключить систематическую ошибку регистрации пространственной структуры интенсивности оптического излучения, связанную с неоднородностью светочувствительности фотоприемника.

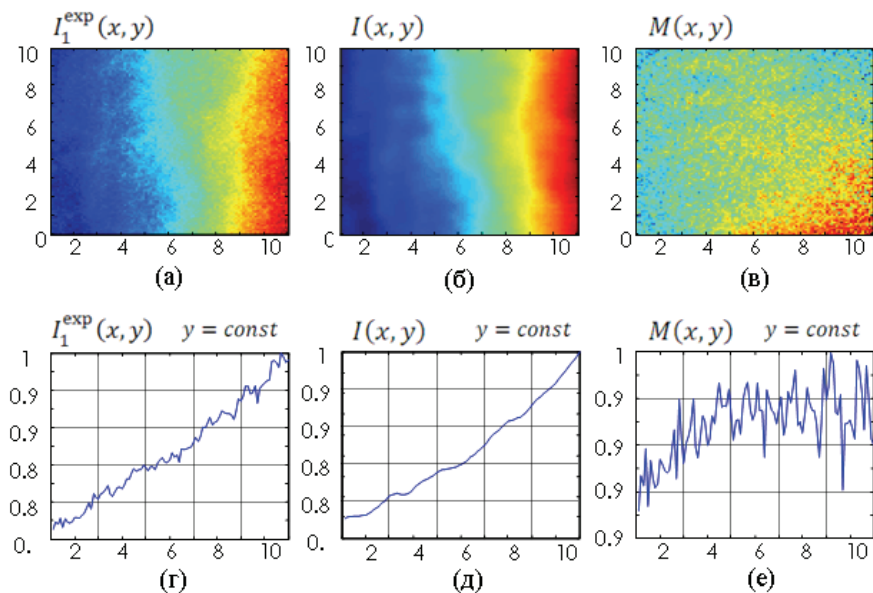


Рисунок 2 – Результаты экспериментов по калибровке ПЗС-матрицы  
 (а) измеренное распределение  $I^{\text{exp}}(x, y)$ , (б) восстановленное распределение  $I(x, y)$ ,  
 (в) восстановленное распределение  $M(x, y)$ , (г), (д), (е) – соответствующие  
 одномерные распределения при фиксированной координате  $y$ .

**Основные публикации:**

Стукачев С.Е., Кожеватов И.Е. Метод калибровки пространственного распределения светочувствительности матричных фотоприемников // Известия ВУЗов. Радиофизика. 2011. Т. 54, № 7. С. 550-557

Стукачев С.Е., Кожеватов И.Е. Решение задачи калибровки пространственного распределения светочувствительности матричных фотоприемников. Теория и эксперимент // Оптика и спектроскопия. 2012. Т. 113, № 3 С. 365-370.



**Результаты,  
направленные в отделение  
математических наук РАН**

Для системы  $n$  тождественных между собой частиц типа нуклонов в пространствах состояний ранее не рассмотренных типов перестановочной симметрии доказано существование такой последовательности бесконечно возрастающих чисел  $N_t$   $t=1,2,\dots$  что при  $N=N_t$  система устойчива

*Г. М. Жислин (ФГБНУ НИРФИ)*

Рассмотрим оператор энергии  $H(n)$  относительного движения квантовой системы  $n$  тождественных частиц типа нуклонов с короткодействующими потенциалами парного взаимодействия  $V$ . Для любого  $k>0$  пусть  $B_k=(b_1, b_2, \dots, b_k)$  и  $I_k=(i_1, i_2, \dots, i_k)$  - произвольные наборы целых неотрицательных чисел, для которых при  $s<t$  выполняется  $i_s<i_t$ ,  $b_s>b_{t-1}$ ;  $b_s>0$  при  $s<k$ ;  $i_s>0$ ;  $i_1>1$  при  $b_k=0$ . Обозначим через  $E(n, k)=E(n; k, I, B)$  множество типов  $a=(n_1, n_2, \dots, n_p)$  неприводимых представлений симметрической группы  $S_n$ , определяемых разбиениями числа  $n=n_1+n_2+\dots+n_p$  в сумму  $p$  целых положительных чисел, где  $n_s>n_{t-1}$  при  $s<t$ , и  $n_{\{i_s\}}$  не превосходит  $b_s$  при  $i_s<p+1$ ; здесь  $p$ -любое число при  $b_k>0$ ,  $p<i_k$  при  $b_k=0$ .

Другими словами  $E(n, k)$  есть множество типов неприводимых представлений группы  $S_n$ , отвечающих схемам Юнга с числом строк  $p$ , для которых при  $b_k>0$  длины строк с номерами  $i_s$ ,  $i_s<p+1$ , не превосходят  $b_s$ ,  $0<s<k+1$ , и число  $p$  может быть любым, а при  $b_k=0$  число строк  $p$  не превышает  $i_{k-1}$  с теми же ограничениями на их длину, что и при  $b_k>0$ , но только при  $0<s<k$  (при  $b_1=0$  ограничения на длины строк отсутствуют)

Пусть  $H(n; E(n, k))$  -ограничение оператора  $H(n)$  на подпространство состояний симметрии  $E(n, k)$ .

Доказана следующая ТЕОРЕМА.

Для любого  $k$  и произвольных наборов  $B_k, I_k$  при некоторых ограничениях на потенциалы  $V$  установлено существование такой бесконечно возрастающей последовательности целых чисел  $N_t$  что при  $n=N_t$ ,  $t=1,2,\dots$ , дискретный спектр оператора  $H(n; E(n, k))$  не пуст, то есть рассматриваемая система устойчива в пространстве состояний симметрии  $E(n, k)$ . Ранее подобный результат был известен лишь при  $B=(b_1), I=(i_1)$  для  $i_1=1$ ,  $b_1>0$  и для  $i_1>1$ ,  $b_1=0$ .

Метод получения результата основан на доказательстве того факта, что при фиксированных наборах  $B_k, I_k$  волновые функции оператора  $H(n, E(n, k))$  при фиксации координат "лишних"  $n-m$  частиц принадлежат области определения оператора  $H(m, E(m, k))$  при  $m<n$ . Это вместе с соответствующими оценками позволяет привести к противоречию предположение, что дискретный спектр оператора  $H(n, E(n, k))$  пуст при любых больших  $n$ .

Установлено правило вычисления скачка тока и напряжения при многократном отражении от «нелинейной границы» в ограниченной телеграфной линии, один конец которой нагружен туннельным диодом, а другой закорочен.

*В. Н. Гольдберг (ФГБНУ НИРФИ)*

**Результаты,  
направленные в Отчет института**

Проведены исследования пленочного слоя морской поверхности в целях установления корреляционных связей физических параметров микропузырькового воздушного слоя под пленкой поверхностного натяжения и приводной атмосферы на основе совместных измерений интенсивностей собственных излучений морской поверхности и атмосферы в ИК-диапазоне и метеорологических параметров атмосферы. Натурные измерения проводились с пирса Карадагского природного заповедника в Отузском заливе Черного моря летом в ночное время, в часы наибольшей стабильности атмосферных процессов, а температурный пленочный слой имел устойчивую стратификацию и был холодным. Для определения температуры и коэффициента отражения морской поверхности в ИК-диапазоне использовался приборный комплекс, который включал два приемника с полосой пропускания 8-14 мкм, синхронно измерявших интенсивности собственных излучений морской поверхности и атмосферы в диапазоне углов возвышения от  $-40^\circ$  до  $+90^\circ$  относительно горизонта. Одновременно проводились метеорологические измерения приводной атмосферы: скорости ветра, температуры и влажности, а состояния морской поверхности и атмосферы фотографировались. Для обработки результатов измерений было создано программное обеспечение, реализующее алгоритмы корреляционного анализа.

Отдел №1

**Разработаны опытные образцы следующих видов оборудования:**

**Установка УМС-1УТ термозвуковой микросварки сварки Au проволоки внахлест диаметром 20-40 мкм с использованием пьезокерамического ультразвукового преобразователя.** Применение пьезокерамического ультразвукового преобразователя позволило сваривать микродетали на меньших значениях мощности за счет увеличения амплитуды колебания сварочного инструмента, что позволило увеличить выход годных на 5%.

**Установка УМС-3К микроконтактной сварка 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-2 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 пленочных 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 значение, следует проверить контакты подводящих проводов, крепления инструмента, отсутствие подгорания сварочного инструмента. Измерение 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 отделения Физических наук РАН. Солнце.....	20
3. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии отделения Физических наук РАН. Межзвездная среда и звездообразование .....	30
4. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии отделения Физических наук РАН. Радиотелескопы .....	34
5. Результаты, направленные в Научный совет по физике солнечно-земных связей отделения Физических наук РАН .....	46
6. Результаты, направленные в Научный совет по распространению радиоволн отделения Физических наук РАН .....	69
7. Результаты, направленные в Научный совет по акустике отделения Физических наук РАН .....	75
8. Результаты, направленные в Научный совет по научному приборостроению при Президиуме РАН .....	81
9. Результаты, направленные в Научный совет по нелинейной динамике отделения Физических наук РАН .....	83
10. Результаты, направленные в Научный совет по оптике и лазерной физике отделения Физических наук РАН .....	85
11. Результаты, направленные в отделение математических наук РАН .....	89
12. Результаты, направленные в Отчет института.....	92

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФГБНУ НИРФИ  
ЗА 2012 ГОД

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

---

Подписано в печать 08.04.13. Формат 60x84/16  
Бумага писчая. Объем 5,58 усл.п.л.  
Тираж 50. Заказ 5624

---

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