



РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Научно-
исследовательский
радиофизический
ИНСТИТУТ**



2013

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

Препринт № 556

Результаты научной деятельности ФГБНУ НИРФИ
за 2013 год

Нижний Новгород

2014

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФГБНУ НИРФИ
ЗА 2013 ГОД // Препринт №556. – Нижний Новгород: ФГБНУ
НИРФИ, 2014. – с.80

УДК 501

В препринте приведены итоги работы ФГБНУ НИРФИ за 2013 год.

© Научно-исследовательский радиофизический институт, 2014



В препринте изложены основные результаты деятельности федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский радиофизический институт» в 2013 году.

Итоги научной деятельности

В 2013 г. в ФГБНУ НИРФИ выполнялись 58 научно-исследовательских и опытно-конструкторских работы, из них 8 – по государственному заданию, 2 НИР – по государственным контрактам с Минобрнауки в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы», 3 НИР – по контрактам в рамках ФЦП «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на 2008-2015 годы, 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», 3 НИР в рамках Федеральной

космической программы, 20 НИР - по грантам РФФИ, в том числе 3 проекта финансируются совместно из средств Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и Министерства промышленности и инноваций Нижегородской области.

Институт включен в Национальный реестр «Ведущие научные организации России».

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 6 результатов рекомендованы в годичный отчет Российской Академии наук.

25 результатов направлены в Научные советы РАН.

В отчет РАН за 2012 год включены 3 результата института:

1. В активных экспериментах по модификации ионосферы мощным КВ излучением стенда СУРА с использованием наземных и космических средств диагностики (магнитные обсерватории, Международная космическая станция, спутник Деметер и др.) обнаружены случаи идентичной суббуревой активности, стимулированной работой стенда, что свидетельствует о возможности управляемого эффективного воздействия на ионосферу средних широт мощным радиоизлучением.

ИЗМИРАН, НИРФИ, ЦНИИМАШ

2. Методом доплеровской 3D-томографии для двойных звездных систем установлено 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.

НИРФИ, Университет Пенсильвании, США

3. Впервые наблюдалось значительное, в 3-8 раз, повышение потока тепловых нейтронов в период грозы, связанное с атмосферными разрядами. Наблюдаемый поток

нейтронов достигал $(20-40) 10^3 \text{ м}^{-2} \text{ мин}^{-1}$. Оценки показывают, что для рождения такого количества нейтронов в фото-ядерной реакции требуется поток гамма-квантов с энергией 10-30 МэВ на три порядка больший, чем когда-либо наблюдался во время грозы.

ФИАН, совместно с Институтом ионосферы Республики Казахстан, НИРФИ и ИПФ РАН

Опубликованы 79 статей в российских и зарубежных журналах и в трудах конференций и симпозиумов, 59 тезисов докладов.

Сотрудниками института защищена 1 кандидатская диссертация: ***И. В. Ракуть «Развитие методов радиометрического зондирования многослойных структур в миллиметровом диапазоне длин волн».***

При выполнении работ по государственному заданию в 2013 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 приводной 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 2013 году произведено 9 наименований научно-технической продукции.

В институте в 2013 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).

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 25 международных и 17 российских конференциях, в Китайской международной выставке инноваций и высоких технологий China Hi-Tech Fair (СНТФ) 2013.

В 2013 году 16 сотрудников института занимались учебной и преподавательской работой в вузах и техникумах Нижнего Новгорода.

Премии и награды

1. **Г. М. Жислин** – Почетная грамота Министерства промышленности и инноваций Нижегородской области.
2. **О. Б. Щуко** – Почетный диплом губернатора Нижегородской области.
3. **А. В. Рябов** – Почетная грамота Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-производственное объединение «Гайфун».

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

В экспериментах на стенде HAARP обнаружено образование слоя искусственной ионизации вблизи 4-й гармоники гирочастоты электронов $4f_{ce}$. Исследование характеристик слоя проведено с помощью одновременных наблюдений рассеяния/отражения пробных импульсных сигналов от возмущенной ионосферы, искусственной плазменной линии и дополнительного максимума в спектре искусственного радиоизлучения ионосферы. Показано, что формирование слоя происходит только в узкой полосе частот волны накачки $f_0 - 4f_{ce} \leq 100$ кГц при наклоне диаграммы направленности стенда в магнитный зенит, эволюция слоя сопровождается его опусканием со скоростью ~ 500 м/с вниз на 5-30 км от уровня отражения волны накачки до высот локального двойного резонанса. Для интерпретации данных наблюдений привлекается механизм дополнительной ионизации ионосферы электронами, эффективно ускоряемыми искусственной плазменной турбулентностью в области гирогармоник.*

Е. Н. Сергеев (ФГБНУ НИРФИ)

С. М. Грач, А. В. Шундин (ННГУ)

Е. В. Мушин (Space Vehicles Directorate, Air Force Research Laboratory)

P. Bernhardt, S. Briczinski (Naval Research Laboratory)

B. Isham (Department of Electrical and Computer Engineering, Inter-american University)

M. Broughton, J. LaBelle (Department of Physics and Astronomy, Dartmouth College)

B. Watkins (Geophysical Institute, University of Alaska)

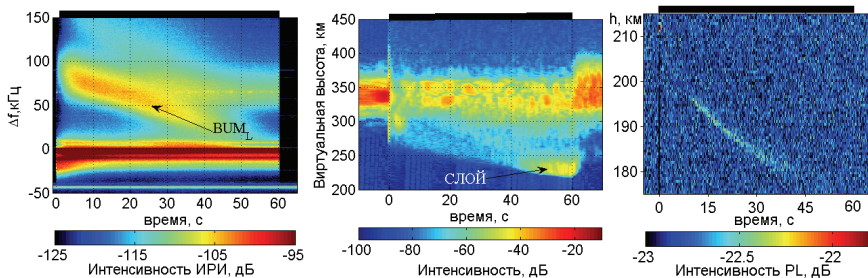
В экспериментах на нагревном стенде HAARP по воздействию на ионосферу мощных радиоволн на частотах, близких к 4-й гармонике электронной циклотронной частоты f_{ce} , обнаружено и исследовано образование слоя искусственной ионизации, опускающегося на 5-30 км от уровня отражения волны накачки ($h_0 \approx 210$ км) до высот локального двойного резонанса h_D . В двойном резонансе имеет место совпадение частоты волны накачки f_0 с верхнегибридной и кратной электронной циклотронной частотам, $f_0 \approx [f_{pe}^2(h_D) + f_{ce}^2(h_D)]^{1/2} \approx 4f_{ce}(h_D)$, здесь f_{pe} – локальная плазменная частота. Изучение слоя искусственной ионизации проведено с помощью измерений характеристик широкого положительного максимума (BUM) в спектре искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ), а также одновременных

*

Результат направлен также в Научный совет РАН по распространению радиоволн.

наблюдений отражения/рассеяния импульсных радиосигналов от возмущенной ионосферы при использовании нагревного стенда в качестве КВ радара и искусственной плазменной линии в спектре радара некогерентного рассеяния.

Образование искусственного ионизационного слоя наблюдалось при воздействии на ионосферу мощной ($P_{\text{эфф}} = 1.7$ ГВт) радиоволной на частотах $f_0 = 5760\text{-}5850$ кГц $> 4f_{\text{ce}} \sim 5750$ кГц в направлении магнитного зенита (наклоне диаграммы направленности стенда на 14° к югу). Использовался квазинепрерывный импульсный режим излучения (длительность 160 мс, период повторения 200 мс) на фиксированной частоте в течение одной минуты. Во время 40-мс паузы излучались короткие (100 мкс) диагностические импульсы. Во время квазинепрерывного нагрева наблюдались: а) уменьшение высоты отражения диагностических импульсов, б) уменьшение высоты наблюдения искусственной плазменной линии и в) смещение BUM в спектре ИРИ к частоте волны накачки f_0 с линейным уменьшением его отстройки $\Delta f = f_{\text{BUM}} - f_0 \approx f_0 - 4f_{\text{ce}}(h)$ на 40-60 кГц, что соответствует снижению высоты генерации BUM в силу отрицательного высотного градиента $f_{\text{ce}}(h)$ (-0.6 кГц/км для $h \approx 200$ км). Наблюдаемое уменьшение высот взаимодействия волны накачки с ионосферной плазмой во время нагрева обуславливается увеличением электронной концентрации, то есть дополнительной ионизацией в поле мощной радиоволны, составляющей до (50-70)% к фоновому уровню. Скорость опускания слоя искусственной ионизации от уровня отражения волны накачки составляла ~ 500 м/с. Все три наблюдаемых эффекта прекращались приблизительно одновременно, когда величина $4f_{\text{ce}}(h)$ достигала значения используемой частоты f_0 . При этом генерация BUM прекращалась, что соответствует двойному резонансу, $h \approx h_D$, а интенсивность отраженного диагностического сигнала от слоя искусственной ионизации существенно возростала. Время достижения ионизационным слоем уровня двойного резонанса после включения нагрева увеличивалось с ростом f_0 и, следовательно, с ростом $\Delta h = h_0 - h_D$, и составляло 10-60 с. Характерные времена релаксации слоя искусственной ионизации для дневных условий наблюдений и высот $h \approx 180$ км не превышали 1-2 с. Для интерпретации эффектов образования искусственного слоя привлекается механизм дополнительной ионизации ионосферы электронами, ускоренными искусственной плазменной турбулентностью. На рисунке приведены проявления генерации искусственного слоя ионизации 28 марта 2011 г. в наблюдениях ИРИ (компонента BUM_L , левая панель), при зондировании возмущенной области пробными волнами на частоте накачки 5850 кГц (средняя панель) и в измерениях динамики плазменной линии (PL, правая панель). 60-ти сек. интервал нагрева плазмы показан черной линией над панелями.



Основные публикации

1. 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.
2. Shindin A., Grach S., Sergeev E., Mishin E., Bernhardt P., Briczinski S., Isham B., Broughton M., Watkins B. Stimulated electromagnetic emissions near electron gyroharmonics at HAARP. On CD «Abstracts, 398th COSPAR Scientific Assembly 2012, Mysore, India, 14-22 July 2012, www.cospas2012.org», paper no. 10173 (C5.1-0054-12).
3. Сергеев Е.Н., Грач С.М., Шиндин А.В. Образование слоя искусственной ионизации при воздействии излучением стенда HAARP на ионосферную плазму в области 4-й гармоники электронного гирорезонанса. Сборник тезисов докладов 8-й научной конференции "Физика плазмы в Солнечной системе", Москва, ИКИ РАН, 4-8 февраля 2013 г, с. 84-85.
4. Sergeev E., Grach S., Shindin A., Mishin E., Bernhardt P., Briczinski S., Isham B., Broughton M., LaBelle J., Watkins B. Artificial ionospheric layers during frequency stepping near the 4th gyroharmonic. *Physical Review Letters*, 2013, V. 110, 065002, doi:10.1103/PhysRevLett.110.065002.
5. Грач С.М., Сергеев Е.Н., Шиндин А.В., Мишин Е.В., Воткинс Б. Искусственные ионосферные слои при частотах волны накачки в области 4-й электронной гирогармоники на стенде HAARP. Доклады РАН, серия Физика, 2014, в печати.

Разработано и создано устройство для нанопозиционирования, обладающее нано и субнанометровой точностью в диапазоне перемещений до 1 м.*

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

Несмотря на возрастающую потребность в устройствах нанопозиционирования для микроэлектронной промышленности и оптических технологий, современные прецизионные устройства позиционирования, обладающие нано- и субнанометровой точностью, как правило, имеют диапазон перемещения, не превышающий нескольких мм. Такое ограничение вызвано, прежде всего, отсутствием соответствующих стандартов длины, на базе которых возможно было бы организовать перемещения с нанометровой точностью на более значительные расстояния. Известно, что стабильность современных эталонов длины не превышает 10^{-7} .

В ФГБНУ НИРФИ разработано и создано устройство для нанопозиционирования, обладающее нано- и субнанометровой точностью в диапазоне перемещений до 1 м.

Основными элементами устройства являются интерференционные датчики, работающие от стабилизированного по частоте одномодового лазера, являющегося стандартом частоты со стабильностью $\sim 10^{-9}$. Высокая чувствительность устройства при значительном диапазоне перемещения достигается благодаря эффекту линейной фазово-пространственной трансформации волнового фронта, позволяющей преобразовать квантовую меру частоты (частоту зондирующего излучения) в макроскопическую длину, соответствующую максимальному диапазону положений интерференционных полос в рабочих окнах линейных матричных фотоприемников. Эффект линейной фазово-пространственной трансформации волнового фронта достигается благодаря специальной конструкции одной из пластин, содержащей участки наклонной поверхности с отражающим покрытием. Разработанный в ФГБНУ НИРФИ преобразователь стандарта частоты в стандарт длины позволяет осуществлять однозначное управление позиционером в технологическом поле до одного метра. При этом ошибка позиционирования на максимальном диапазоне не превышает 1 нм.

Несомненным достоинством разработанного позиционера является также его способность синхронизовать параллельную работу других нанопозиционеров от одного ведущего устройства. Необходимая связь между ведущими и ведомыми позиционерами осуществляется на базе методов широкополосной

* Результат направлен также в Отделение энергетике, машиностроения, механики и процессов управления.

оптической интерферометрии высоких порядков, разработанных в ФГБНУ НИРФИ.

Устройство может найти применение не только в микроэлектронике и в микробиологии, но и в прецизионных оптических технологиях управления алмазными инструментами формообразования высокоточных оптических поверхностей широкоапертурных оптических устройств.

Основные публикации:

1. *Устройство для линейных перемещений с нанометровой точностью в большом диапазоне возможных перемещений. Кожеватов И.Е., Руденчик Е.А., Черагин Н.П., Куликова Е.Х., Кирсанова А., Заявка на патент № 2012125014 от 15.06.2012, Положительное решение от 08.08.2013*
2. *Устройство контроля положения объекта нано и субнанометровой точности. Кожеватов И.Е., Руденчик Е.А., Черагин Н.П., Куликова Е.Х., Заявка на патент № 2012125012 от 15.06.2012, Положительное решение от 06.08.2013*

Предложен на основе экспериментальных исследований механизм создания области высокой проводимости в грозовом облаке на начальной стадии развития молниевых разрядов за счет синхронного разряда гидрометеоров в результате пробоя на убегающих электронах (ПУЭ), инициированного вторичными электронами с энергией 0.1 – 1 МэВ, генерируемыми космическими лучами с первичной энергией порядка 10^{12} эВ, в электрическом поле грозового облака.*

А. Н. Караитин (ФГБНУ НИРФИ)

А. В. Гуревич, А. П. Чубенко, В. А. Рябов, А. Л. Щепетов,

К. П. Зыбин, Г. Г. Митько, М. О. Птицын (ФИАН)

В. П. Антонова (Институт ионосферы, Алматы, Казахстан)

Ю. В. Шлюгаев (ИПФ РАН)

В. М. Ту (МФТИ)

Л. И. Вильданова (ТШВНС, Алматы, Казахстан)

В экспериментах, проводимых на стенде СУРА в Нижегородской области, изучалась начальная стадия (10-100 мс) развития атмосферных разрядов (молний). С самого начала развития разряда наблюдается импульсное коротковолновое радиоизлучение, которое проявляется в виде серии коротких биполярных импульсов. Время нарастания сигнала в импульсе составляет 40 – 150 нс, характерная длительность импульса составляет порядка 100 нс. Эти данные позволяют оценить характерный размер излучающей области (области разряда) в 20-50 м.

Генерация радиоимпульсов наблюдаемой формы в условиях грозовых облаков, где, как показывают измерения, электрическое поле существенно меньше порогового поля стандартного электрического пробоя воздуха, может происходить по механизму пробоя на убегающих электронах (ПУЭ). Этот механизм предполагает наличие в среде (воздухе) затравочных электронов высоких энергий. Источником таких частиц могут быть, например, широкие атмосферные ливни (ШАЛ), генерируемые космическими лучами.

На рис. 1 дано сравнение наблюдаемой формы радиоимпульса (сплошная линия) с теоретически предсказанной по данным работ *A. V. Gurevich, L. M. Duncan, Yu. V. Medvedev, K. P. Zybin. Phys. Lett. A 301, 320 (2002)* — штрих-пунктирная линия, и *R. Dwyer, M. A. Uman, H. K. Rassoul. J. Geophys. Res., 114, 6867 (2009)* — пунктир.

*

Результат направлен также в Научный совет РАН «Солнце-Земля», секция «Физика литосферно-атмосферно-ионосферных взаимодействий», по распространению радиоволн

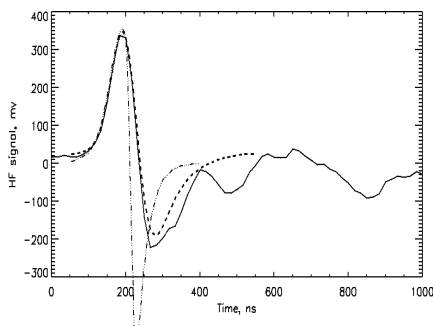


Рисунок 1.

Вместе с тем, как показывают оценки, проведенные для ПУЭ в воздухе, чтобы создать в области разряда электрический ток, который мог бы дать импульсное радиоизлучение наблюдаемой амплитуды, энергия первичной космической частицы, вызывающей ШАЛ, должна составлять не менее 10^{17} эВ. Космические частицы таких энергий проходят один раз в день через характерную площадь 10 км^2 . Эта частота находится в очевидном противоречии с рис. 1, частотой наблюдения радиоимпульсов на начальной стадии разряда ($20\text{-}50 \text{ мкс}^{-1}$).

ПУЭ, однако, следует рассматривать не в воздухе, как это делалось ранее, а в грозовом облаке, где имеется большое число заряженных гидрометеоров (льдинок и водяных капель). Сформулирована гипотеза, согласно которой пробой на убегающих электронах служит для инициации синхронного разряда большого числа гидрометеоров (ПУЭ-ГМ разряд) [1]. Предполагается, что в результате ПУЭ, инициированного в электрическом поле грозы вторичными электронами с энергией $0.1 - 1 \text{ МэВ}$, генерируемыми космическими лучами с относительно небольшой первичной энергией порядка 10^{12} эВ, в воздухе создается проводимость, достаточная для разряда гидрометеоров. Эти разряды, согласно проведенным оценкам, порождают в воздухе достаточное количество носителей заряда ($10^{18} - 10^{19}$ электрон-ионных пар в области, где происходит импульсный разряд) для формирования в грозовой области электрического тока с амплитудой в максимуме порядка $10 - 100 \text{ А}$. Это значение тока согласуется с максимальным значением импульсного тока, генерирующего наблюдаемые биполярные радиоимпульсы.

Предлагаемый механизм подтверждается наблюдениями временной корреляции радиоимпульсов с всплесками гамма-излучения на начальной стадии атмосферного разряда [2]. Тормозное гамма-излучение генерируется электронами высоких энергий, которые, согласно теории, порождаются в процессе ПУЭ. Наблюдения проводились на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции ФИАН (Казахстан). Одновременно измерялись коротковолновое радиоизлучение от разрядов, электрическое поле и гамма-излучение в различных энергетических диапазонах (пороги: 40, 80, 160, 320,

640 и 1280 кэВ). Установлено, что корреляция гамма и радиоизлучения резко нарастает на начальной стадии (несколько сотен мкс) разряда. Коэффициент корреляции между радио и гамма излучениями достигает значения 0.9 – 0.95 и сохраняется в течении примерно 2-4 мс. Корреляция наблюдается во всех энергетических диапазонах гамма-излучения. На рис. 2 показан пример корреляции между радио и гамма излучением в первых четырех энергетических диапазонах для одного из событий. Наиболее мощным всплескам гамма излучения соответствуют радиоимпульсы наибольшей амплитуды. Наблюдаемый спектр гамма-излучения близок к характерному спектру ПУЭ. Таким образом, полученные данные позволяют считать, что гамма-излучение и радиоизлучение генерируются в одном и том же процессе. Это поддерживает концепцию ПУЭ-ГМ разряда, развивающегося на предварительной стадии развития молний.

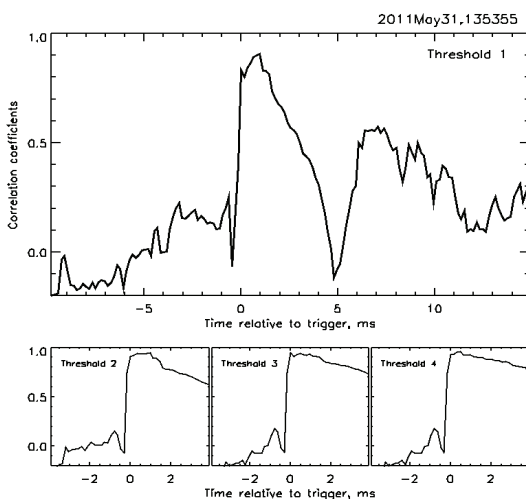


Рисунок 2.

Основные публикации:

1. Gurevich A.V., Karashtin A.N., *Runaway Breakdown and Hydrometeors in Lightning Initiation*, *Phys. Rev. Lett.*, 2013, 110, 185005.
2. Gurevich A.V., Antonova V.P., Chubenko A.P., Karashtin A.N., Mitko G.G., Ptitsyn M.O., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Shlyugaev Yu.V., Thu W.M., Vildanova L.I., Zybin K.P. *Correlation of Radio and Gamma Emissions in Lightning Initiation*. *Phys. Rev. Lett.*, 2013, 111, 165001.

Впервые на средних широтах в ночное время в диапазоне 2-20 Гц обнаружены электромагнитные сигналы, генерируемые в верхней ионосфере мощным КВ радиоизлучением стенда СУРА. Максимальные амплитуды сигнала достигаются при направлении диаграммы направленности антенны стенда вдоль магнитного поля Земли. При удалении точки наблюдения от стенда сигнал быстро спадает.*

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

В. Н. Иванов, В. П. Есин (ФГБУ «НПО «Тайфун»)

В экспериментах использовался стенд СУРА, состоящий из трех передатчиков ПКВ-250, каждый из которых работает на свою секцию антенной решетки из 12×4 скрещенных диполя (всего 144 диполя), излучающих волны обыкновенной (O) или необыкновенной (X) поляризации в диапазоне 4,5–9 МГц. В зависимости от программы направления луча в различных сериях изменялись, принимая следующие значения: зенит, 12° или 16° к югу. Рабочие частоты выбирались, исходя из ионосферных условий, которые контролировались ионозондом. Измерительные пункты располагались к востоку от стенда практически на одной линии в 2,6 км (Барковка), 9,5 км (Сосновка) и 14 км (полевой пункт). Измерялись две компоненты магнитного поля в направлениях С-Ю и В-З.

В первых экспериментах, проведенных в мае 2010 г. в ночных условиях в ближнем пункте Барковка, были обнаружены УНЧ сигналы во всем диапазоне измерений 2–20 Гц. При уменьшении мощности передатчиков в два раза амплитуда сигнала также уменьшалась примерно в два раза (см. рис.1), что говорит о нелинейном эффекте пропорциональном квадрату поля волны накачки.

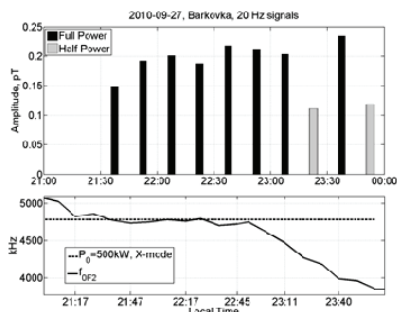


Рисунок 1 – Амплитуды сигналов на частоте 20 Гц при полной и половинной мощности волны накачки.

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

Эта проверка проводилась в условиях превышения рабочей частоты значения $f_x F_2$, при X поляризации волны накачки. Основная тенденция искусственных УНЧ сигналов заключалась в росте амплитуды в полтора два раза при превышении рабочей частоты КВ волны критической частоты F-слоя, как это показано на рис. 2.

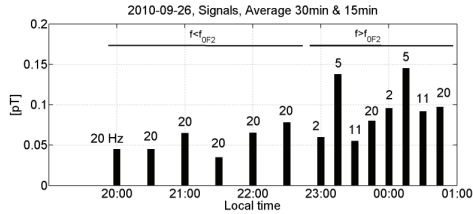


Рисунок 2 – Увеличение амплитуды УНЧ сигналов при проходе критической частоты $f_0 F_2$.

Для определения времени задержки УНЧ сигнала проводились измерения разности фаз между пришедшей и излучённой волной, для чего непосредственно на стенде сигнал модуляции оцифровывался и регистрировался на отдельном компьютере. Частоты модуляции выбирались с достаточно близкими значениями, чтобы не возникало дополнительного набега фазы, кратного 2π , что привело бы к неоднозначности в определении времени задержки.

На рис. 3 показан пример обработки фазы принятых сигналов относительно излученной волны для 6 последовательных измерений, на сетке частот.

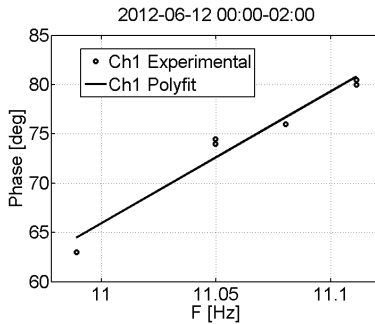


Рисунок 3 – Пример обработки данных фазовых измерений.

Всего было проведено 3 подобных эксперимента, из результатов которых определено, что среднее время распространения УНЧ сигнала составляет (320 ± 95) мс.

Для оценки высоты источника искусственных УНЧ сигналов по данным фазовых измерений было рассчитано время распространения низкочастотной волны от максимума F-слоя до точки приема. Расчет проводился в приближении кусочно-однородной среды (640 слоев с шагом 0,5 км).

Принимая, что источник сигнала располагается в области максимума F-слоя, было получено расчетное значение времени запаздывания равное 300 мс. Экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическим расчетом, а это означает, что исходное предположение о высоте источника в максимуме F-слоя является верным.

На рис. 4 показаны амплитуды УНЧ сигналов усредненные по результатам измерений в трех пунктах (указано расстояние от передающей антенны). Измерения проводились одновременно во всех трех пунктах в дневные часы. Знаком «×» отмечено среднее значение амплитуды УНЧ сигналов в диапазоне 0.5 – 10 Гц, полученное в первых экспериментах на стенде СУРА в 1982-1983 гг. Знаком «*» отмечено среднее значение амплитуды УНЧ сигналов в диапазоне 1 – 11 Гц в экспериментах 1985-1986 гг.

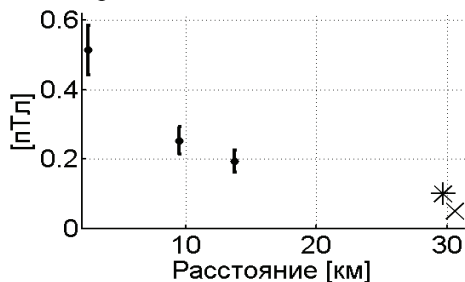


Рисунок 4 – Средние значения амплитуд УНЧ сигнала, полученные в разных экспериментах

Согласно рассмотренным в работах [2,3] механизмам, основную роль в формировании ионосферного источника искусственных УНЧ сигналов в F-слое играет пондеромоторная сила, возникающая на градиенте давления в области омического нагрева плазмы пучком мощного электромагнитного излучения. В результате возникает диамагнитный кольцевой ток. Структура источника на рис. 5 рассчитана для случая превышения рабочей частоты стенда критической частоты F-слоя [9,10].

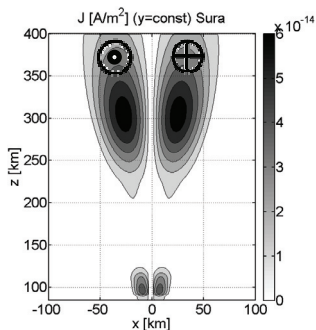


Рисунок 5 – Соленоидальная структура ионосферного источника УНЧ сигналов в верхней ионосфере.

Естественно, что в обратном случае, когда точка отражения находится вблизи максимума F-слоя (или значительно ниже), размеры источника будут значительно меньше, хотя максимум тока будет по-прежнему расположен в верхней ионосфере. Это обстоятельство объясняет наблюдаемый экспериментально факт увеличения амплитуды УНЧ сигналов при прохождении критической частоты F-слоя

Основные публикации:

1. Котик Д.С., Рябов А.В., Ермакова Е.Н., Першин А.В., Иванов В.Н., Есин В.П. Свойства УНЧ/ОНЧ сигналов, генерируемых стендом СУРА в верхней ионосфере // *Изв. вузов. Радиофизика*, 2013, Т. 56, № 6, С. 382-394.
2. Рябов А.В., Котик Д.С. Генерация УНЧ пульсаций в ионосфере при воздействии на нее мощным КВ радиоизлучением // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, Издательство Нижегородского госуниверситета*, №3, (1), 2012, с. 65-70.
3. Котик Д.С., Рябов А.В. Ионосферный источник искусственных микропульсаций, генерируемых пучком мощных электромагнитных волн // *Труды XXIII Всероссийской научной конференции по распространению радиоволн (Йошкар-Ола, 23-26 мая 2011 г.)*, Т. 1, С. 243-246.
4. Котик Д.С., Рябов А.В., Ермакова Е.Н., Першин А.В., Иванов В.Н., Есин В.П., Дмитриев С.Н. Обнаружение сигналов в диапазоне (2-20) Гц, возбуждаемых в верхних слоях ионосферы мощным КВ излучением стенда «СУРА» // *Труды XXIII Всероссийской научной конференции по распространению радиоволн (Йошкар-Ола, 23-26 мая 2011 г.)*. Т. 1, С.156-159.
5. Kotik D.S. Results in ULF Generation at SURA without Current Modulation. Invited report // *Proc. of the 17th RF Interaction Workshop*, 19 April 2011, Santa Fe, NM, (on CD).
6. Kotik D.S. and Ryabov A.V. New Results of Experiments on Generation ULF/VLF Waves with SURA Facility. Invited report // *2011 AGU Fall Meeting*, 5-9 December, San Francisco, California.
7. Kotik D.S., Ryabov A.V., Ermakova E.N. The properties of ULF/VLF signals generated by the SURA facility without ionospheric currents modulation, Abstract 1463799, presented at *2012 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif.*, 3-7 Dec. 2012.
8. Ryabov A.V., Kotik D.S. Determining the VLF/ULF source height using phase measurements, Abstract 1452702, presented at *2012 Fall Meeting, AGU, San Francisco, California*, 3-7 December 2012.
9. Kotik D.S. SURA UPDATE. Invited report // *Proc. of the 19th RF Interaction Workshop*, April 21-24, 2013, Arecibo, Puerto Rico, (on CD).

Впервые в эксперименте по РСДБ-локации астероида одновременно измерены значения частотных сдвигов Доплера и частот интерференции для уточнения радиальной и угловой скорости движения астероида. Результаты проведенного эксперимента явились основой для анализа эффективности использования радиолокационных средств в системе предупреждения астероидно-кометной опасности.*

*А. А. Антипенко, А. Ф. Дементьев, Н. А. Дугин, М. Б. Нечаева,
Ю. В. Тихомиров (ФГБНУ НИРФИ)*

*А. А. Коноваленко, В. Ф. Кулишенко, А. С. Набатов, А.М. Резниченко
(РИ НАНУ, Украина)*

*В. В. Безруков, Д. А. Безруков, Н. Екабсонс, М. Клаперс,
К. Шкирманте, И. Шмелд (Вентспилский международный
радиоастрономический центр VIRAC, Латвия)*

*Д. Пупильо, Э. Салерно (Институт радиоастрономии IRA-INAF,
Италия)*

В. Н. Нестерук, В. В. Войтюк, Р. В. Хуторной (НЦУИКС, Украина)

Международный эксперимент по РСДБ-локации астероида 2012 DA14 состоялся 15-16 февраля 2013 года. Локация объекта осуществлялась с помощью передающего комплекса РТ-70 (НЦУИКС, Евпатория, Украина) в режиме непрерывного излучения на частоте 5010.024 МГц. Прием сигналов, отраженных от астероида, выполнялся 32-метровыми радиотелескопами в Медине (INAF IRA, Италия) и Ирбене (VIRAC, Вентспилс, Латвия). В течение 10-ти часов проведено шесть сеансов излучения общей длительностью 75 минут и получены отклики от астероида, находившегося на расстояниях от 35 до 260 тыс.км. Основной задачей эксперимента являлось измерение частот Доплера для определения радиальной скорости астероида и частоты интерференции для оценки его угловой скорости.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась в ФГБНУ НИРФИ на программном корреляторе «НИРФИ-4». В режиме бистатической локации измерены частоты Доплера, необходимые для определения радиальной скорости движения астероида. Частотное разрешение спектрального анализа составляло 0.1 Гц, что соответствует точности определения радиальной скорости движения объекта 0.003 м/с при частоте передатчика 5 ГГц. В режиме РСДБ на интерферометре «Ирбене – Мединина» измерены частоты интерференции, необходимые для уточнения угловой скорости движения объекта. Частотное разрешение спектрального анализа составляло 0.125 Гц,

* Результат направлен также в Научный совет РАН по астрономии, секции «Астрометрия и прикладная астрономия» и «Внеатмосферная астрономия».

что соответствует погрешности определения угловой скорости астероида 0.01 угл.сек/с.

Показано, что при достаточной чувствительности приемных систем при заданной мощности передатчика достигаются высокие точности измерения частот Доплера и частот интерференции, даже несмотря на квазиимпульсный временной характер амплитуды отраженного сигнала.

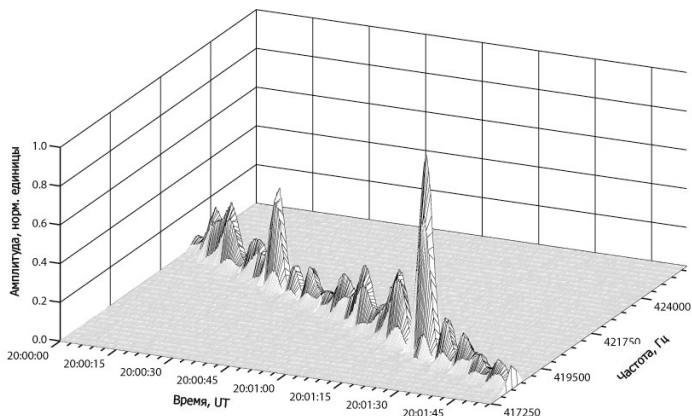


Рисунок 1 – Амплитуда автокорреляционного сигнала в зависимости от частоты и времени. РТ-32 Ирбене. 15 февраля 2013 г., 20:00:00–20:02:00 UT.

В целом, получено хорошее совпадение экспериментально измеренных частотных параметров отраженного сигнала с предварительно рассчитанными по данным оптических наблюдений. Тем не менее, наблюдается увеличение расхождения экспериментальных и расчетных величин в момент наибольшего сближения астероида с Землей.

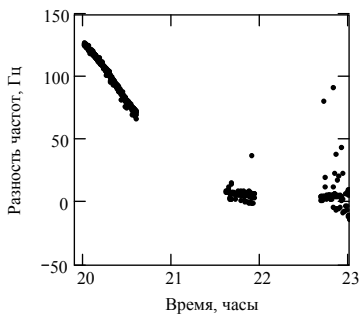


Рисунок 2 – Временная зависимость разности экспериментально измеренных частот Доплера и рассчитанных по оптическим данным.
РТ-32 Ирбене, 15 февраля 2013 г., 20:00:00–23:05:00 UT

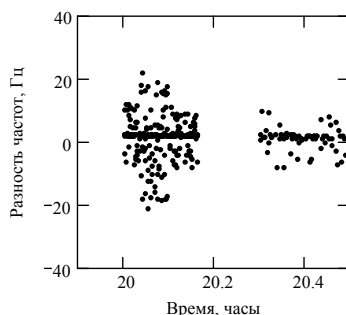


Рисунок 3 – Временная зависимость разности измеренной частоты интерференции и рассчитанной из оптических наблюдений.
База Медичина – Ирбене. 15.02.2013 г., 20:00:00–20:32:00 UT

Данный эксперимент подтвердил, что метод РСДБ-локации может успешно применяться для уточнения параметров движения астероидов, потенциально опасных для Земли, и дополнять или заменять оптические средства наблюдений. Основываясь на этом фактически первом опыте РСДБ-локации близкого небесного тела, обоснована возможность применения различных высокочастотных радиолокационных систем в системах предупреждения астероидной опасности при нахождении астероида на расстояниях от Земли как минимум в пределах лунной орбиты.

Основные публикации

1. *Nechaeva M., Antipenko A., Bezrukov D., Bezrukovs Vl., Dementjev A., Dugin N., Jekabsons N., Khutornoy R., Klapers M., Konovalenko A., Kulishenko V., Nabatov A., Nesteruk V., Pupillo G., Reznichenko A., Salerno E., Shmeld I., Skirmante K., Tikhomirov Yu., Voytyuk V. First results of VLBI-experiment on radar of asteroid 2012 DA14 // "Baltic Applied Astroinformatics and Space Data Processing", 15-16 May, 2013, Ventspils, Latvia. Abstracts. P. 15-16.*
2. *Нечаева М.Б., Антипенко А.А., Безруков Д.А., Безруков В.В., Войтюк В.В., Дементьев А.Ф., Дугин Н.А., Екабсонс Н., Клаперс М., Коноваленко А.А., Кулишенко В.Ф., Набатов А.С., Нестерук В.Н., Пупилю Д., Резниченко А.М., Салерно Э., Тихомиров Ю.В., Хуторной Р.В., Шкирманте К., Шмелд И. Применение метода РСДБ в эксперименте по локации астероида 2012 DA14 в 2013 г. // Международная конференция «Околосемная астрономия - 2013»: Сборник тезисов. Краснодар: КубГУ, 2013 г. С. 18-19.*
3. *Дугин Н.А., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В., Чагунин А.К. Проблемы использования многопунктовых радиолокационных систем для мониторинга астероидной опасности. //Труды XVII научной конференции по радиофизике, посвященной 100-летию со дня рождения В.С.Троицкого (Нижний Новгород, 14–15 мая 2013 г.) Нижний Новгород: ННГУ, 2013.*
4. *Дугин Н.А., Петелин М.И., Коноваленко А.А., ван Клостер К., Пупилю Д., Шмелд И. Перспективы мультистатической радиолокационной системы миллиметрового диапазона для мониторинга астероидной опасности // Международная конференция «Околосемная астрономия - 2013»: Сборник тезисов. Краснодар: КубГУ, 2013 г. С. 13-14.*

Создан макет высокочувствительной активной системы радиовидения для частотного диапазона 90-100 ГГц, состоящий из двумерной матрицы детекторов размерностью 8×8, асферической линзы, обеспечивающей дифракционное качество изображения по всей площади матрицы, и цифрового блока обработки сигналов и отображения в режиме реального времени (до 250 кадр/сек). Среднее значение чувствительности по 64 каналам составило ~ 9000 В/Вт, $NEP \sim 5 \cdot 10^{-12}$ Вт·Гц^{-1/2}. *

П.В.Волков, А.В.Горюнов, И.А.Илларионов, В.И.Шашкин (ИФМ РАН)

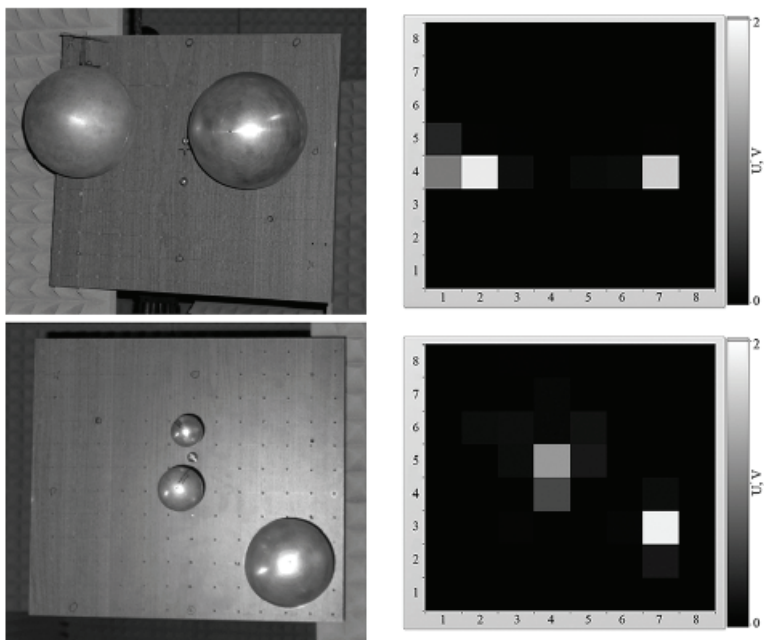
Ю. И. Белов, А. Г. Серкин (ФГБНУ НИРФИ)

Регистрация изображения осуществляется разработанной и созданной двумерной приемной матрицей антенных элементов размерностью 8×8, предназначенной для 3-мм диапазона длин волн. Внешний размер матрицы составляет примерно 40×40 мм. Элементы матрицы представляют собой микрополосковые щелевые антенны, нагруженные детекторами с планарными диодами Мотта. Проведено численное моделирование и экспериментальные измерения диаграмм направленности и чувствительности всех 64 элементов в составе двумерной матрицы. Установлено, что электромагнитное взаимодействие антенных элементов незначительно искажает интенсивность равномерного анализируемого поля. Средняя ширина диаграммы направленности элементов в Е- плоскости составляет около 35°, в Н-плоскости – 50°. В рабочем частотном диапазоне (90-100 ГГц) среднее значение вольт-ваттной чувствительности составляет около 9000 В/Вт, средняя величина эквивалентной шумовой мощности (NEP) – около $5 \cdot 10^{-12}$ Вт·Гц^{-1/2}.

Формирование изображения осуществляется посредством рефракционного объектива на основе асферической диэлектрической линзы. В качестве материала применялся полиэтилен высокой плотности. Основными его достоинствами являются сравнительно небольшое поглощение, простота обработки и малая дисперсия диэлектрической проницаемости в рабочем диапазоне частот, что позволяет не учитывать хроматические искажения изображения. Была рассчитана и изготовлена линза со световым диаметром 120 мм. Измерены важнейшие параметры линзы: функция рассеяния точки, глубина резкости, разрешение, поле зрения и хроматизм. Угловое поле зрения системы матрица-объектив в Н- и Е- плоскостях составило около 16°. Экспериментально показано, что линза обеспечивает близкое к дифракционному пределу качество изображения объектов, удалённых на расстоянии около 1 м, на всем поле матрицы (40×40 мм) в диапазоне частот 90-100 ГГц.

* Рекомендован Ученым советом ИФМ РАН.

Система регистрации и обработки сигналов матрицы состояла из блока мультиплексоров аналоговых сигналов, обеспечивающих построчную выдачу сигналов с канальных усилителей на АЦП, цифрового блока на базе 32-х разрядного микроконтроллера AT32UC3C0512 фирмы Atmel и ПЭВМ, соединенной с цифровым блоком по каналу USB. Разработанное программное обеспечение микроконтроллера обеспечивало построчное считывание сигналов с детекторов матрицы с их последующей передачей в ПЭВМ для обработки и визуализации. Достигнутая скорость работы системы около 50 кадров/с при визуализации данных и около 250 кадров/с без визуализации. С использованием созданного макета проведены эксперименты по получению радиоизображений ряда объектов в активном радиолокационном режиме.



Примеры изображений (справа) проводящих сферических объектов (слева), полученные с помощью системы миллиметрового радиовидения

Основные публикации

1. Шашкин В.И., Белов Ю.И., Волков П.В., Горюнов А.В., Закамов В.Р., Илларионов И.А. Характеристики приёмной матрицы детекторов с размерностью 8×8 3-мм диапазона длин волн. Тезисы докладов IX Всероссийского семинара по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, 26 февраля -1 марта 2013 г., с.94.
2. Шашкин В.И., Белов Ю.И., Волков П.В., Горюнов А.В., Закамов В.Р., Илларионов И.А. Экспериментальное исследование матрицы детекторов системы

- радиовидения 3-мм диапазона длин волн. Труды XVII международного симпозиума «Нанопфизика и наноплектроника», Нижний Новгород, 11-15 марта 2013 г., с.648.
3. Шашкин В.И., Белов Ю.И., Волков П.В., Горюнов А.В., Закамов В.Р., Илларионов И.А. Экспериментальное исследование матрицы детекторов системы радиовидения 3 мм диапазона длин волн. Письма в ЖТФ, т.39, в.12, с.44 (2013).
 4. Белов Ю.И., Волков П.В., Горюнов А.В., Серкин А.Г., Черникова С.О., Шашкин В.И. Цифровая система регистрации и обработки сигналов матрицы детекторов 3-х миллиметрового диапазона длин волн, включённых в антенную решётку. Тезисы докладов международной научно-технической конференция «Информационные системы и технологии, Нижний Новгород, 19 апреля 2013г.
 5. Белов Ю.И., Волков П.В., Горюнов А.В., Илларионов И.А., Серкин А.Г., Шашкин В.И. О влиянии взаимодействия элементов матрицы активного радиовидения миллиметрового диапазона на структуру изображения объектов. Изв. Вузов. Радиофизика. Т.56, №10 (2013), в печати.
 6. Волков П.В., Белов Ю.И., Горюнов А.В., Илларионов И.А., Серкин А.Г., Шашкин В.И. Асферический однолинзовый объектив для систем радиовидения миллиметрового диапазона длин волн. ЖТФ, т.84, №4 (2014), в печати
 7. Shashkin V.I., Volkov P.V., Goryunov A.V., Illarionov I.A., Belov Yu.I., Serkin A.G. The Detector Array System For 3-mm Wavelength Video Imaging. Papers of the International IEEE Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems (IEEE COMCAS 2013).

**Результаты,
направленные в Научный совет
по астрономии
при отделении Физических наук РАН
2. Звезды**

Исследована применимость метода трехмерной доплеровской томографии для картирования газовых потоков в полярах, находящихся в двойных звездных системах. С использованием полученных при трехмерном МГД-моделировании значений плотности, температуры и компонентов скорости вычислялись синтетические профили эмиссионных спектральных линий, по которым далее выполнялась реконструкция томограммы в трехмерном пространстве скоростей (V_x, V_y, V_z). В итоге совместный анализ полученных синтетических доплеровских 3D-томограмм и численного МГД-решения обосновал возможность использования 3D-варианта доплеровской томографии для выделения вклада таких элементов течения, как струя из точки Лагранжа L_1 и аккреционный поток на полюса (или полюс) поляров, обладающих третьей компонентой скорости V_z , что ранее при приложении стандартного 2D-варианта было невозможно.

М. И. Агафонов, О. И. Шарова (ФГБНУ НИРФИ)

Д. А. Кононов, Д. В. Бисикало, А. Г. Жилкин (Институт астрономии РАН)

Исследована применимость метода трехмерной доплеровской томографии для картирования газовых потоков в полярах. Решение, полученное в результате трехмерного МГД-моделирования структуры течения во взаимодействующей тесной двойной звездной системе с учетом влияния сильного магнитного дипольного поля вблизи аккретора (10^7 Гс на поверхности), показывает отклонение струи, движущейся от звезды-донора (из точки Лагранжа L_1) от орбитальной плоскости системы. Вещество аккрецирует на магнитные полюса поляра, аккреционный диск не формируется. Газовый поток приобретает третью компоненту скорости V_z , в результате чего стандартный вариант доплеровской 2D-томографии не позволяет получать информацию, адекватную физической природе объекта. На основе рассчитанных по результатам МГД-моделирования значений плотности, температуры и компонентов скорости вычислялись синтетические профили эмиссионных спектральных линий для орбитальных фаз при полном обороте системы. По ним проведена реконструкция трехмерной карты газовых потоков в трехмерном пространстве скоростей с использованием разработанного метода реконструкции доплеровских 3D-томограмм.

Совместный анализ синтетических доплеровских 3D-томограмм и численного МГД-решения показал, что 3D-томограмма может позволить отчетливо выделить вклад таких элементов течения, как струя из точки Лагранжа L_1 и аккреционный поток на полюса (или полюс) поляра. Преимущественная аккреция лишь на один из полюсов является следствием отклонения оси

магнитного диполя от направления, перпендикулярного орбитальной плоскости. В результате обоснована возможность получения новых научных сведений о процессах аккреции в полярах с использованием 3D-варианта доплеровской томографии. Определены физические ограничения, влияющие на детализацию трёхмерных томограмм.

Основные публикации

1. Агафонов М.И., Шарова О.И., Кононов Д.А., Бисикало Д.В., Жилкин А.Г. *О применимости метода доплеровской 3D-томографии для исследования структуры течения в полярах. Доклад на Всероссийской астрономической конференции (ВАК-2013). Тезисы докладов, Спб, 2013, с.10.*
2. Кононов Д.А., Агафонов М.И., Шарова О.И., Бисикало Д.В., Жилкин А.Г. *О применимости метода трехмерной доплеровской томографии к исследованию полярных областей. Астрономический журнал. 2013 (направлено в печать).*

Выполнен анализ возможностей разрешения в 3D-варианте доплеровской томографии. Обоснован вариант коррекции структуры 3D-томограммы с учетом влияния величины угла наклона на геометрию суммарной передаточной функции, которая используется при реконструкции. Показано, что одинаковое разрешение в направлении оси вращения объектов и в орбитальной плоскости может быть реализовано при угле наклона $\sim 55^\circ$. Проведено моделирование, которое позволяет оценить возможности 3D-реконструкции в центральном секторе углов наклона, а также при отклонении их величин к периферийным значениям. Сопоставление результатов, полученных при использовании радиоастрономического подхода и метода обратных фильтрованных проекций, свидетельствует, что метод на основе фильтрации вносит при 3D-реконструкции существенно больше искажений.

М. И. Агафонов, М. Ю. Сидоров (ФГБНУ НИРФИ)

Приложение 3D-варианта доплеровской томографии для исследования движений потоков в двойной звездной системе впервые представлено в работе [1]. В [2] были рассмотрены основные проблемы, возникающие при его реализации, а также преимущества по сравнению с 2D-вариантом. 3D-томограмма дает возможность получать качественно новую информацию, поскольку позволяет фиксировать наличие V_z -компонентов скорости структурных компонентов, перпендикулярных орбитальной плоскости. Однако надежность количественных оценок связана с корректностью знания величин разрешения в трехмерном пространстве скоростей (V_x, V_y, V_z). Различия в разрешении по оси V_z по сравнению с орбитальной плоскостью (V_x, V_y) усложняют интерпретацию томограммы. Вопрос заслуживает дополнительного рассмотрения.

В данном исследовании выполнен детальный анализ проблемы интерпретации структуры томограммы с учетом факторов, ответственных за разрешение. Рассмотрено влияние величины угла наклона объекта на геометрию суммарной передаточной функции (СПФ), которая используется при реконструкции. Показано, что одинаковое разрешение, как в орбитальной плоскости, так и в направлении оси вращения V_z реализуется при угле наклона системы, равном ~ 55 градусов (см. рис.1). При компенсации избыточного растяжения вследствие различий в разрешении по главным осям следует сохранять положения центров структурных особенностей томограмм.

1. 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.

2. М.И.Агафонов, О.И.Шарова. Доплеровская томография в трех измерениях. *Проблемы реализации. Астрон. журн.* 2013, т.90, №1, с.10-25.

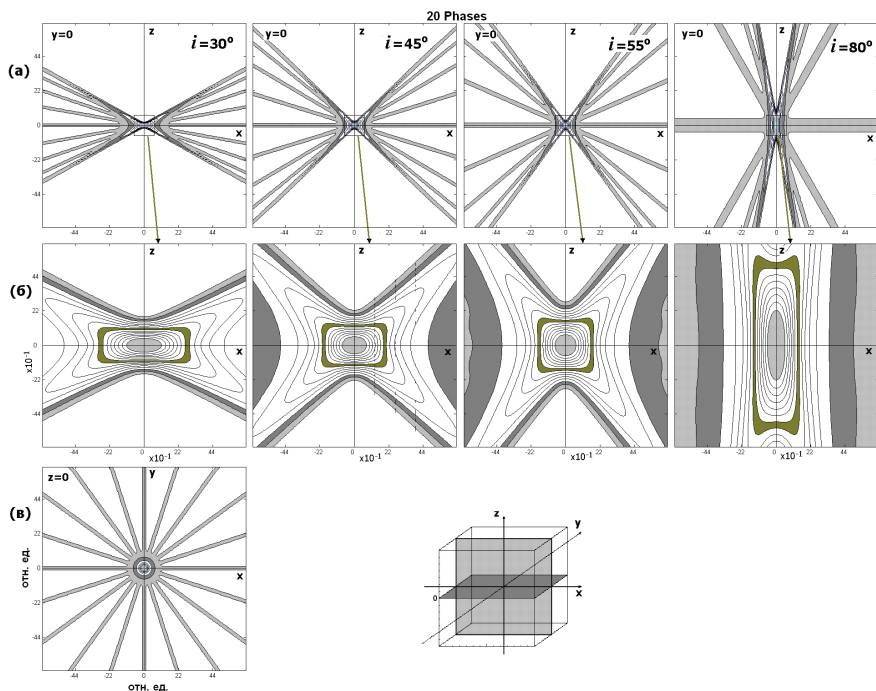


Рисунок 1 – Геометрия суммарной передаточной функции (СПФ) для 3D-варианта доплеровской томографии при вращении объекта вокруг оси Z . Сечения в вертикальной плоскости представлены на рисунках первого ряда (а) для четырех значений угла наклона объекта. Центральные зоны сечений показаны во втором ряду (б). Из рисунков видно, что одинаковое разрешение на уровне половины интенсивности (НРВУ) СПФ реализуется при 55 градусах. На рисунке (в) изображено сечение в центральной горизонтальной плоскости. Построение СПФ выполнено для 20 эквидистантно расположенных фазовых углов.

Основные публикации

1. Агафонов М.И., Сидоров М.Ю. Наклонение объектов и возможности разрешения в доплеровской 3D-томографии. Доклад на Всероссийской астрономической конференции (ВАК-2013). Тезисы докладов, Спб, 2013, с.9.
2. Агафонов М.И., Сидоров М.Ю. Доплеровская томография в трех измерениях. Наклонение объекта и возможности разрешения. *Астрономический журнал*. 2013 (направлено в печать)

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

Проведен анализ вклада теплового тормозного излучения в микроволновое излучение солнечных вспышечных петель по данным радиогелиографа Нобеяма и спутников GOES. Установлено, что наибольший вклад в общий поток излучения и в изменение спектрального индекса реализуется на фазе спада всплеска, когда концентрация нетепловых электронов заметно уменьшается, а плотность тепловой плазмы достигает максимума. Показано, что при радиодиагностике числа нетепловых электронов и наклона их энергетического спектра наиболее точные результаты можно получить, исследуя излучение на фазах роста и максимума всплеска.*

А. С. Моргачев (ФГБНУ НИРФИ)

В. Ф. Мельников (ГАО РАН)

Исследование посвящено изучению вклада теплового тормозного излучения в общий поток микроволнового излучения вспышечных петель. Данные об общем потоке принимаемого радиоизлучения на частотах 17 и 34 ГГц получены с помощью радиогелиографа Нобеяма. Расчет потока теплового тормозного излучения в радиодиапазоне производился на основе определения интегральной температуры и концентрации горячей плазмы во вспышечной петле по потокам ее мягкого рентгеновского излучения. Для этого использовались данные спутников GOES 10 и GOES 12. В ходе проведенного исследования получены следующие результаты.

- На фазах роста и максимума всплеска влияние теплового тормозного излучения на общий поток и спектральный индекс микроволнового излучения незначительно – менее 3% по потоку на частотах 17 и 34 ГГц и менее 0.2 по спектральному индексу.
- На фазе спада, когда концентрация нетепловых электронов заметно уменьшается, а плотность тепловой плазмы достигает максимума, вклад теплового тормозного излучения может достигать высоких значений (до 80% по потоку на частоте 34 ГГц), что приводит к весомому изменению наблюдаемого спектрального индекса (до 1.5).

Таким образом, установлено, что при диагностике числа нетепловых электронов и наклона их энергетического спектра наиболее точные результаты можно получить, исследуя излучение на фазах роста и максимума всплеска, так как наблюдаемый спектр наиболее близок к гиротронному.

Основные публикации:

А.С. Моргачев, В.Е. Поляков, В.Ф. Мельников, Вклад теплового тормозного излучения в микроволновое излучение солнечных вспышечных петель, Астрономический журнал (принята в печать).

* Результат направлен также в Научный совет РАН «Солнце-Земля», секция «Физика солнечной плазмы».

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. Найденны модельные параметры, при которых рассчитанная динамика наклона частотного спектра в разных частях магнитной петли наиболее точно соответствует наблюдаемой динамике.*

С. А. Кузнецов (ФГБНУ НИРФИ)

В. Ф. Мельников (ГАО РАН)

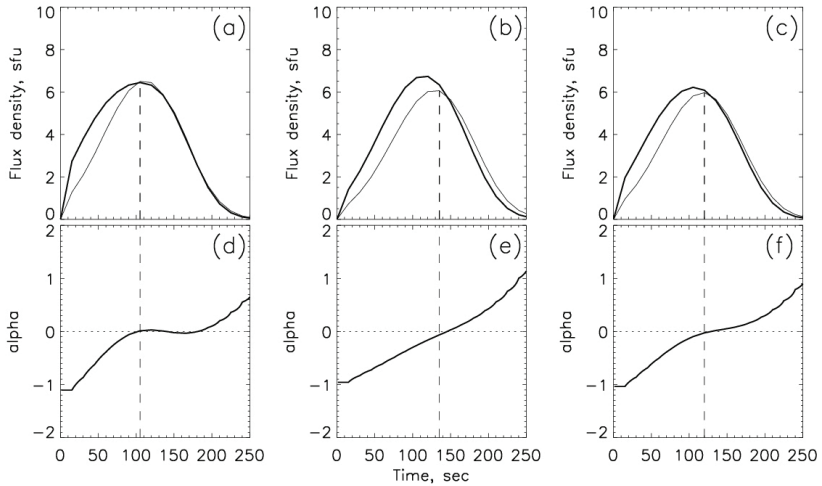
Из анализа данных наблюдений (*Кузнецов и Мельников, 2011*) установлено, что наклон спектра уменьшается на фазе роста интенсивности всех проанализированных микроволновых всплесков. Однако качественно разное поведение наблюдается на фазе спада всплеска: в первом типе наклон спектра увеличивается сразу 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.

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. 1-9.

*

Результат направлен также в Научный совет РАН «Солнце-Земля», секция «Физика солнечной плазмы».



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 α , 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 α отмечены вертикальной и горизонтальной прерывистыми линиями, соответственно.

Показано с помощью кросс-корреляционной обработки и статистического анализа данных, полученных на радиогелиографах ССРТ (Иркутск, 5.7 ГГц) и NoRH (Нобеяма, Япония, 17 ГГц), что колебания интенсивности и поляризации радиоизлучения источников над солнечными магнитными пятнами на этих частотах имеют общие и статистически значимые периоды в интервале 22 – 170 минут, близкие к периодам, обнаруживаемым в магнитных пятнах в оптическом излучении. Полученные результаты не противоречат модели колебаний пятна как целого.

И. А. Бакунина (ВШЭ, ФГБНУ НИРФИ)

Ю. В. Тихомиров (ФГБНУ НИРФИ)

В. Ф. Мельников, В. М. Абрамов-Максимов, А. А. Соловьев,

Ю. А. Наговицин (ГАО РАН)

С. В. Лесовой (СибИЗМИРАН)

В. М. Накаряков (University of Warwick, UK; ГАО РАН)

К. Шибасаки (Nobeyama Solar Radio Observatory, Japan)

Е. Л. Аверина (ВШЭ)

С целью проверки гипотезы о колебаниях магнитного пятна как целого изучались долгопериодные колебания в микроволновом излучении источников над солнечными магнитными пятнами по данным, полученным на Сибирском солнечном радиотелескопе (ССРТ, 5,7 ГГц) и радиогелиографе в Нобеяме (NoRH, 17 ГГц).

В изменениях интенсивности (I), поляризации (V) и степени поляризации радиоизлучения обнаружены колебания с периодами 22-170 минут. Периоды колебаний не являются стабильными – они различны для различных магнитных пятен, и для одного и того же пятна различны день ото дня. Кросс-корреляционный анализ показывает присутствие общих статистически значимых периодов в данных ССРТ и NoRH. Коэффициенты корреляции данных ССРТ и NoRH обычно не превышают значения 0,5. Полученные результаты не противоречат модели колебаний пятна как целого.

Основные публикации:

Bakunina I.A., Abramov-Maximov V.E., Nakariakov V.M., Lesovoy S.V., Soloviev A.A., Tikhomirov Yu.V., Melnikov V.F., Shibasaki K., Nagovitsyn Yu. A., Averina E.L. Long-Period Oscillations of Sunspots by NoRH and SSRT observations. Publ. Astron. Soc. Japan. Vol.65, No.1.

Показано по результатам статистического исследования 134 уединенных корональных выбросов массы (КВМ) за 2009-2010 годы, что наиболее развитым потенциально геоэффективным КВМ на двухчасовом интервале перед регистрацией на коронографе предшествует микроволновое спорадическое излучение – радиопредвестники КВМ, имеющее определенные характеристики, такие как широкополосность и время продолжительности более 10 минут.

Это позволяет дать оценку прогноза геоэффективности КВМ по данным о радиоизлучении с учетом ожидаемого положения источника КВМ на солнечном диске.*

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

Глобальные магнитогидродинамические процессы, охватывающие значительные масштабы пространственных изменений, приводят к формированию условий, порождающих взрывные и взрывоподобные процессы, в том числе и корональные выбросы массы (КВМ).

Процессы, отражающие формирование КВМ, должны быть видны в различных диапазонах излучения. При этом, использование радиоастрономических данных для исследовательских и прогностических целей удобно и перспективно. Действительно, большинство развивающихся процессов, как правило, отражается в радиоизлучении, спектральные измерения перекрывают все высоты солнечной атмосферы, включая корону, а чувствительность и точность измерений позволяют регистрировать даже очень маленькие энергетические изменения. Таким образом, анализ микроволнового излучения, формируемого в нижних слоях солнечной атмосферы, является эффективным методом исследования образования и начального распространения КВМ, поскольку процессы, происходящие на этих стадиях развития КВМ, проявляются именно в переходном слое солнечной атмосферы – хромосфере и нижней короне, где и генерируется радиоизлучение сантиметрового и дециметрового диапазонов.

При отборе материи используются уединенные корональные выбросы масс, т.е. такие КВМ, которые удовлетворяют условию, что ближайший по времени предыдущий корональный выброс масс был зарегистрирован по крайней мере за 8 часов до рассматриваемого события. Это позволяет использовать данные радиоизлучения Солнца, получаемые на станциях Мировой сети Службы Солнца в радиодиапазоне, не обладающих пространственным разрешением. При этом особенности спорадической компоненты радиоизлучения могут быть связаны с явлениями формирования и начального распространения КВМ в

* Результат направлен также в Научный совет РАН «Солнце-Земля», секция «Физика солнечной плазмы».

атмосфере Солнца.

В работе использовались данные следующих сайтов:

<http://sohowwww.nascom.nasa.gov/spaceweather/>

http://www.lmsal.com/solarsoft/latest_events/

<http://sohowwww.nascom.nasa.gov/data/realtime/realtime-update.html#top>

<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/>

Основные публикации:

1. Шейнер О.А., Фридман В.М. Об экспериментальных основаниях по созданию радиоастрономических методов краткосрочного прогноза корональных выбросов массы // Труды XVII научной конференции по радиофизике, ННГУ, 2013.
2. Sheiner Olga; Fridman Vladimir; Ledashev Sergey *Verification of Solar Microwave Precursors of Geoeffective Coronal Mass Ejections // Tenth European Space Weather Week, November 18 - 22, 2013. Antwerp, Belgium. Final Programme & Abstract Book P.139.*

Выявлены долгопериодные (30-60 минут) колебания в спектре потока ультрафиолетового излучения Солнца в предвспышечные периоды (по данным о трех изолированных вспышечных событиях) на основе изучения вейвлет-спектров потока накануне протонных вспышек. Продолжительность этих колебаний составляет около 3 часов. Во всех исследованных случаях наблюдается рост мощности колебаний в спектре ультрафиолетового излучения.*

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

Ранее авторами сообщалось о существовании долгопериодных пульсаций Н-компоненты геомагнитного поля, регистрируемых на протестированных станциях за 2-3 дня до протонных солнечных вспышек. Они представляют собой усиление амплитуды колебаний горизонтальной компоненты магнитного поля с периодами 30-60 минут. Исследование спектра потока ультрафиолетового солнечного излучения накануне протонных вспышек проводилось на предмет наличия колебаний-предвестников вспышек, как одного из вероятных агентов, вызывающих усиление колебаний больших периодов Н-компоненты геомагнитного поля. Использовались данные об ультрафиолетовом излучении Солнца с длиной волны 115–127 нм, полученные с геостационарного спутника GOES 15, применялся метод вейвлет-анализа.

Для примера на рис.1 приведены результаты вейвлет-анализа данных наблюдений ультрафиолетового излучения для события 26.11.2011 за 3 дня до вспышки, на рис.2 – результаты вейвлет-анализа данных для события 17.05.2012 за 2 дня до вспышки.

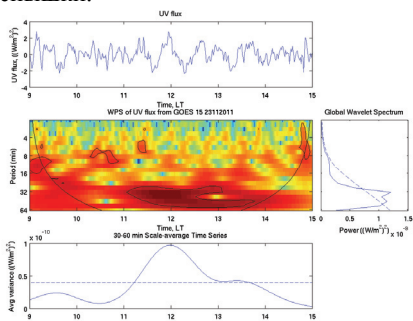


Рисунок 1

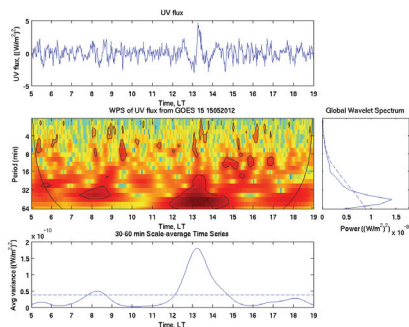


Рисунок 2

Основные публикации:

1. Смирнова А.С., Снегирев С.Д., Шейнер О.А. Об ультрафиолетовом излучении Солнца накануне мощных солнечных вспышек // Труды XVII научной конференции по радиофизике, ННГУ, 2013.
2. Sheiner O., Smirnova A., Snegirev S. Solar UV emission as a possible reason of long-term preflare fluctuations in H-component of the geomagnetic field // Tenth European Space Weather Week, November 18-22, 2013. Antwerp, Belgium. Final Programme & Abstract Book P.136.

* Результат направлен также в Научный совет РАН «Солнце-Земля», секция «Физика солнечной плазмы».

Обнаружено схожее поведение долгопериодных спектральных составляющих вейвлет спектров потока солнечного ультрафиолетового излучения и напряженности геомагнитного поля в периоды, предшествующие солнечным протонным вспышкам. В спектре потока ультрафиолетового излучения предвспышечные колебания с периодами 30–60 минут наблюдаются с небольшим опережением колебаний тех же периодов в спектре горизонтальной компоненты геомагнитного поля, колебания имеют близкую длительность, рост мощности колебаний наблюдается как в спектре геомагнитного поля, так и в спектре ультрафиолетового излучения.*

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

Анализировались три уединенных протонных вспышки 26.11.2011, 07.03.2012, 17.05.2012. События были выбраны так, чтобы исключить влияние различных посторонних факторов, способных исказить реальную картину.

Отбор проводился согласно следующим критериям:

1. Уединенность относительно других протонных событий. В течение как минимум недели до начала события не должно быть зафиксировано других протонных вспышек, чтобы можно было с уверенностью говорить о воздействии на Землю именно этого события.
2. Событие должно сопровождаться достаточно большим потоком протонов (рассматривались события с потоком, превышающим $30 \text{ (см}^2 \times \text{с} \times \text{стер})}^{-1}$).
3. Отсутствие крупных событий геомагнитной активности за 3-1 день до события; в качестве критерия рассматривалось поведение индекса Dst: понижение уровня Dst ($\text{Dst} \leq -30 \text{ нТ}$) считалось проявлением геомагнитной активности.

Данные о спектральном составе напряженности геомагнитного поля были получены на станции Sitka (SIT). Исследовались вейвлет-спектры H-компоненты геомагнитного поля за дневной интервал по местному времени за 6 дней до вспышки. Полученные результаты сравнивались с вейвлет-спектрами ультрафиолетового излучения с длиной волны 115–127 нм, полученного с геостационарного спутника GOES 15.

Для примера приведены результаты анализа предвспышечной ситуации события 17.05.2012. За 2 дня до вспышечного события наблюдаются колебания горизонтальной компоненты магнитного поля Земли продолжительностью ~ 6 часов (11:30–17:30 LT). Глобальный вейвлет-спектр имеет два максимума ~ 10 и 40 минут (рис.1). В спектре потока ультрафиолетового излучения за 2 дня до вспышки наблюдается рост средней

* Результат направлен также в Научный совет РАН «Солнце-Земля», секции «Физика солнечной плазмы» и «Физика магнитосферы».

мощности за дневной интервал по сравнению с предыдущими днями (до 1.5×10^{-9} (Вт/м²)²) (рис.2). Продолжительность колебаний составляет порядка 3 часов (12:00–15:00 LT). Глобальный вейвлет-спектр имеет один максимум на периоде ~ 40 минут. При сравнении формы вейвлет-спектра, а также поведения кривой мощности, усредненной по периодам 30–60 минут, можно заметить, что максимум мощности в спектре потока ультрафиолетового излучения приходится приблизительно на 13:15 LT, тогда как в спектре геомагнитного поля на 15:45 LT.

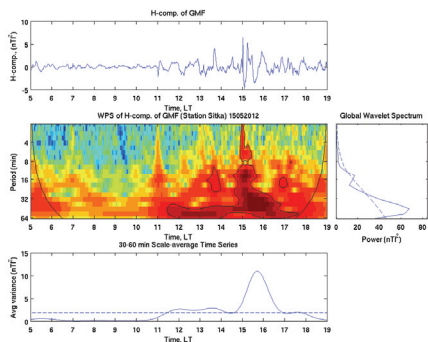


Рисунок 1

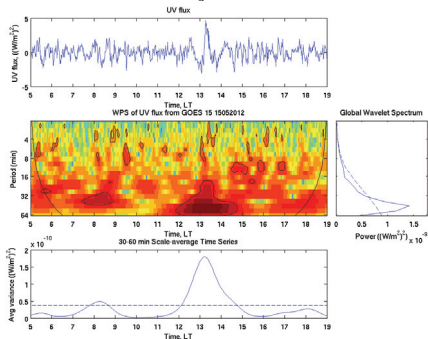


Рисунок 2

Основные публикации:

Смирнова А.С., Снегирев С.Д., Шейнер О.А. Ультрафиолетовое излучение Солнца, как возможная причина предвспышечных долгопериодных колебаний горизонтальной компоненты геомагнитного поля // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Радиофизика. – 2013. – в печати.

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

В радиоастрономической обсерватории ФГБНУ НИРФИ “Старая Пустынь”, продолжены многолетние измерения плотности потока радиоизлучения на частоте 290 МГц молодого остатка сверхновой Кассиопея А $S_{290\text{МГц}}^{\text{КасА}}(t)$ относительно стабильного радиоисточника Лебедь А. Данные измерений $S_{290\text{МГц}}^{\text{КасА}}(t)$ в течение 35 лет (1978–2013 гг.) аппроксимированы степенной функцией от возраста радиоисточника, предсказываемой теорией эволюции радиоизлучения остатка сверхновой. В результате получена следующая зависимость от времени: $S_{290\text{МГц}}^{\text{КасА}}[\text{Ян}] = 9.345 \cdot 10^8 (t[\text{годы}] - 1671)^{-2.049}$.

Е. Н. Виняйкин, А. М. Пасека, Б. С. Формозов (ФГБНУ НИРФИ)

Остаток сверхновой Кассиопея А (Cas A) является одним из наиболее ярких и молодых радиоисточников в классе галактических остатков сверхновых. Он обнаружен в 1948 г. и с тех пор интенсивно исследуется во всём диапазоне радиоволн. Серия наблюдений на частоте 290 МГц, выполненная в радиоастрономической обсерватории “Старая Пустынь”, является наиболее продолжительной по времени, проведённой с помощью одного и того же радиотелескопа. В результате получена кривая вековой эволюции радиоизлучения источника (см. рис.), представляющая интерес как для понимания эволюции остатков сверхновых, так и для применения Кассиопеи А в качестве калибровочного радиоисточника при работе с относительно малыми антеннами. Точность аппроксимации данных наблюдений полученной кривой около 5%.

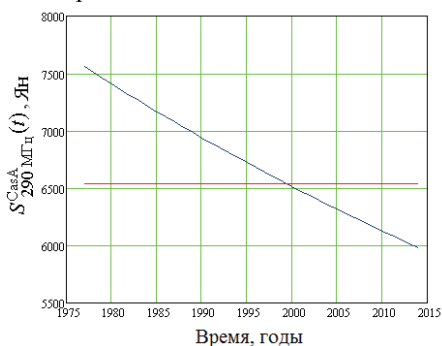


Рисунок 1 – Плотность потока радиоизлучения Кассиопеи А на частоте 290 МГц в зависимости от времени (синяя кривая), красная горизонтальная прямая показывает значение плотности потока радиоизлучения Лебеда А на частоте 290 МГц.

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.

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

Исследована методическая погрешность радиоинтерферометра, предназначенного для высокоточных измерений угловых координат ИСЗ, обусловленная «гиперболическостью» линий положения для разности хода лучей. Получены выражения, позволяющие оценить угловые погрешности в зависимости от отношения размера базы интерферометра к расстоянию до ИСЗ, а также оценить границы «дальней зоны» интерферометра. Показано, что в сантиметровом диапазоне волн при базах больше 20км и точности фазовых измерений ~ 1 град «гиперболическую» методическую погрешность нужно учитывать для всего ближнего космоса (40 тыс. км). Предложены способы учета методической погрешности, в том числе основанные на комплексировании радиоинтерферометра и радиодальномера.

В.И. Абрамов (ФГБНУ НИРФИ)

При проведении координатных измерений радиоинтерферометр обычно рассматривается в качестве **угломерного** инструмента, измеряющего направляющий косинус угла (НКУ) $K = \cos \gamma$ между вектором базы 1-2 интерферометра и вектором направления на точечный источник S радиоизлучения (рис. 1).

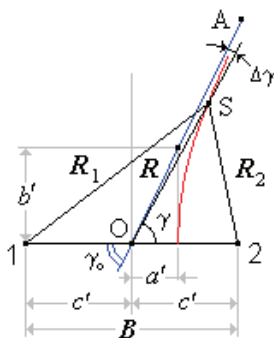


Рисунок 1 – Геометрия радиоинтерферометра для источника S, удаленного на конечное расстояние R

Однако, такое допущение, как известно, справедливо лишь для бесконечно удаленного источника. При конечном расстоянии R оно может приводить к методическим погрешностям измерения угла, поскольку радиоинтерферометр по существу является **разностно-дальномерным** инструментом, у которого линии положения представляют собой не семейство лучей, а семейство гипербол, с фокусами в точках (1 и 2) расположения антенн. Когда же расстояние до источника превышает некоторый размер (границу дальней зоны интерферометра), гиперболические линии положения практически совпадают

с их асимптотами (ОА), исходящими в виде лучей из центра базы (О). В этом случае разностно-дальномерный инструмент допустимо считать угломерным, (в котором НКУ не зависит от расстояния) и для расчета НКУ использовать обычную формулу

$$K_0 = \cos \gamma_0 = \frac{R_1 - R_2}{B} = \frac{\varphi}{2\pi} \frac{\lambda}{B} \quad (1)$$

(где φ – измеренная разность фаз сигналов, принятых в точках 1 и 2, λ – длина волны).

Можно показать, что при произвольном расстоянии выражение для НКУ принимает вид:

$$K = K_0 \sqrt{1 + 0.25 \frac{B^2}{R^2} (1 - K_0^2)}. \quad (2)$$

На рис. 2 приведена зависимость методической угловой погрешности $\Delta\gamma$ (выраженной в угловых секундах) от параметра B/R при разных углах γ_0 .

На рис. 3 приведена зависимость границы дальней зоны радиointерферометра (ближе которой учет гиперболичности существенен) от параметров B [км] и λ [см]. Критерий границы дальней зоны интерферометра определен из условия, что максимальная эквивалентная фазовая ошибка, обусловленная гиперболичностью, не превышает 1 градус.

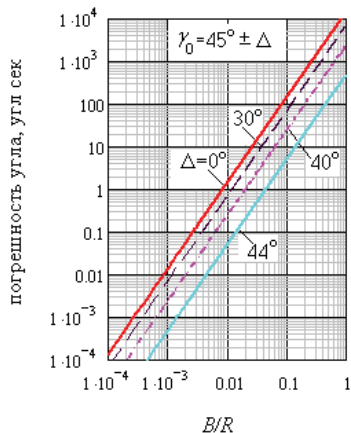


Рисунок 2 – Зависимость методической погрешности угла (в угловых секундах) от параметра B/R при разных углах γ_0

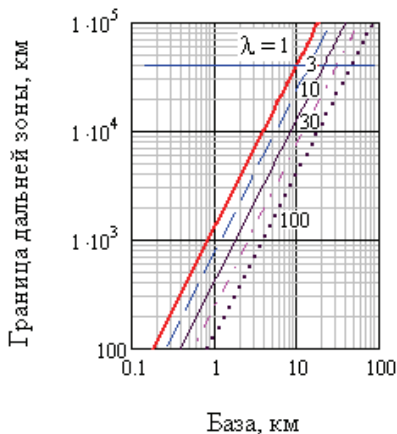


Рисунок 3 – Зависимость границы дальней зоны радиointерферометра от параметров B [км] и λ [см] для эквивалентной фазовой ошибки 1°. Горизонтальной линией показана условная граница «ближнего» космоса (40 тыс км)

**Результаты,
направленные в Научный совет
по астрономии
при отделении Физических наук РАН
15. Планеты и планетные системы**

Определены интервалы количественных значений содержания радионуклидов, при которых в центральной части тел Солнечной системы и дальнего космоса образуется жидкое ядро H_2O с температурой и давлением, создающими условия для криовулканизма.*

О. Б. Шуко (ФГБНУ НИРФИ)

С. Д. Шуко (НГТУ им. П.Е. Алексеева)

Д. В. Карташов (Technische Universität Wien (TUW) Institut für Photonik)

Р. Оросей (Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario, Italy)

В настоящее время вызывает значительный научный интерес проблема существования воды H_2O на телах Солнечной системы и дальнего космоса. Современными спектроскопическими методами было обнаружено наличие кристаллического льда на поверхности различных тел Пояса Койпера таких как Charon, Haumea, Orcus, Quaoar, AZ₈₄, что может свидетельствовать о явлениях криовулканизма в процессе тепловой эволюции этих тел.

Методами математического моделирования было проведено исследование тепловой эволюции вещества небесного тела Пояса Койпера Plutino (90482) Orcus в процессе его формирования и дальнейшего существования до настоящего времени. При этом предполагалось, что строительным материалом рассматриваемого тела являлось твердое пылевое вещество периферийной области протосолнечной туманности и тонко фракционированный конденсат H_2O в виде аморфного льда. Твердое пылевое вещество аккреционного материала представляло собой мелкие пылевые частицы, имеющие различный химико-минералогический состав. Эти частицы являлись носителями радионуклидов ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{26}Al – источников радиогенного тепла. При этом количественное содержание радионуклидов в начале формирования тела являлось определяющим параметром максимального нагрева центральных областей вещества тела.

В процессе исследования были определены интервалы количественных значений содержания радионуклидов, при которых в центральной части тела образуется жидкое ядро H_2O с температурой и давлением, создающими условия для криовулканизма. Поскольку различные исследователи приводят различные значения средней плотности вещества KBO Orcus (1500 кг/м^3 и 1900 кг/м^3), то была показана зависимость условий криовулканизма от этого параметра. Кроме того, для обоих значений средней плотности вещества были определены динамически меняющиеся границы сферически симметричных областей тела с различной степенью дифференциации вещества в них в настоящее время.

Основные публикации:

Shchuko O.B., Shchuko S.D., Kartashov D.V., Orosei R. Conditions for liquid or icy core existence in KBO objects: numerical simulations for Orcus // Planetary and Space Science (направлена в печать)

* Результат направлен также в Научный совет РАН «Солнце-Земля», секция «Физика межпланетной среды».

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

Впервые рассмотрена задача определения мультифрактальных характеристик среднеширотной ионосферы методом радиопросвечивания, когда турбулентный слой с неоднородностями электронной концентрации достаточно толстый ($L_{\text{слоя}} \geq L_0$, где L_0 – внешний масштаб турбулентности). Показано, что для толстого мультифрактального слоя с мелкомасштабными неоднородностями при просвечивании его сигналами ИСЗ одновременно идет усреднение по флуктуациям диэлектрической проницаемости среды как по "вертикали", так и по "горизонтали", в то время как для тонкого мультифрактального слоя усреднение (при быстром сканировании слоя сигналом ИСЗ) идет, в основном, по горизонтали (вдоль поверхности слоя, вдоль орбиты). При этом справедливы общие теоретические соотношения для статистических методов решения задач дифракции волн в случайно-неоднородных средах с учетом дополнительного усреднения по локально-однородным областям турбулентной среды с мультифрактальной структурой.

Ф. И. Выборнов, А. В. Рахлин (ФГБНУ НИРФИ)

Рассмотрены особенности рассеяния радиоволн в мультифрактальных средах, связанные с толщиной и структурой турбулентного слоя с неоднородностями электронной концентрации среднеширотной ионосферы. Показано, что метод многомерных структурных функций при определенных условиях применим для толстого мультифрактального слоя с мелкомасштабными неоднородностями.

Среднеширотная ионосферная турбулентность (сплошная случайная среда) может быть представлена в виде непрерывного набора локально-однородных областей с характерным размером L_0 (внешний масштаб турбулентности).

Внутри этих областей наблюдается самоподобная мелкомасштабная структура неоднородностей электронной концентрации с характерными размерами $l \ll L_0$. Мелкомасштабная структура среды локально-однородной области характеризуется степенной функцией с параметром α (например, для структурной функции $D_2(r, \alpha) \propto r^{2\alpha}$, а для структурной функции q -го порядка $D_q(r, \alpha) \propto r^{q\alpha}$, где $r = l / L_0$). Параметр α меняется случайным образом от одной локально-однородной области к другой.

При зондовых измерениях (например, в турбулентном потоке атмосферного воздуха измеряются флуктуации скорости $\Delta v(l)$) регистрируются характерные физические параметры турбулентных флуктуаций потока вдоль заданного одномерного направления. Далее идет обработка этих записей

методом МСФ на очень длинном участке $L \gg L_0$, но лишь для масштабов $l \ll L_0$ для каждого локально-однородного участка. При измерении флуктуаций электронной концентрации на борту орбитального ИСЗ и при последующей мультифрактальной обработке получают информацию о структурной функции мелкомасштабной структуры неоднородностей вдоль орбиты зонда ИСЗ.

Для дистанционного зондирования верхней среднеширотной ионосферы часто возникает ситуация, что интенсивная область мелкомасштабных неоднородностей содержится около максимума F_2 слоя ионосферы. Его толщина ΔL значительно меньше $L_0 \approx 30$ км. Следовательно, выполнено условие тонкого плоского слоя с одномерной структурой по высоте ($\Delta L/L_0 \ll 1$). Тогда такой тонкий слой сам играет роль зонда при одномерных измерениях флуктуаций амплитуды или фазы принимаемого сигнала ИСЗ на выходе ионосферы. Имея общую длину записи для $L \gg L_0$ по структурным функциям флуктуаций амплитуды $D_{A_q}(r)$ или фазы $D_{\varphi_q}(r)$ сигнала ИСЗ на Земле за счет тонкой структуры неоднородной области в ионосфере вблизи максимума F_2 слоя получаем сведения о мультифрактальной структуре флуктуаций электронной концентрации в этой области ионосферы для мелкомасштабной компоненты неоднородностей. Случай дистанционного зондирования слоя ионосферной турбулентности с резко выраженной одномерной структурой по высоте вблизи $F_{2\text{макс}}$ является наиболее наглядным для интерпретации дистанционных измерений мелкомасштабной фрактальной структуры ионосферы (модель фазового экрана – тонкого неоднородного слоя турбулентности с $\lambda L_{\text{слоя}} \ll l^2$). Именно такая методика измерений мультифрактальной структуры МИТ описана в работах [1, 4].

Как показывают наши дальнейшие исследования [2], изложенная в работах [3,4,5] теория распространения радиоволн за фазовым экраном применима и для случая толстого мультифрактального слоя (когда $L_{\text{слоя}} \geq L_0$ или $L_{\text{слоя}} \gg L_0$) в том же приближении фазового экрана $\lambda L \ll l^2$, $L \gg l$, $L_{\text{слоя}} = L$. Дело в том, что внутри неоднородного слоя структурная функция флуктуаций фазы 2-го порядка определяется только мелкомасштабными плазменными неоднородностями с мультифрактальной структурой турбулентности.

При этом базовые структурные функции флуктуаций фазы на выходе фазового экрана достаточно идентичны [2] как для случая тонкого мультифрактального слоя ($L \ll L_0$), так и толстого ($L \gg L_0$) из-за того, что вклад в них изотропных крупномасштабных неоднородностей с размерами $l \gg L_0$ практически отсутствует. Соответственно, все результаты статей [1, 3–5] могут

быть использованы и для случая толстого мультифрактального плазменного слоя с изотропными и анизотропными мелкомасштабными ионосферными неоднородностями.

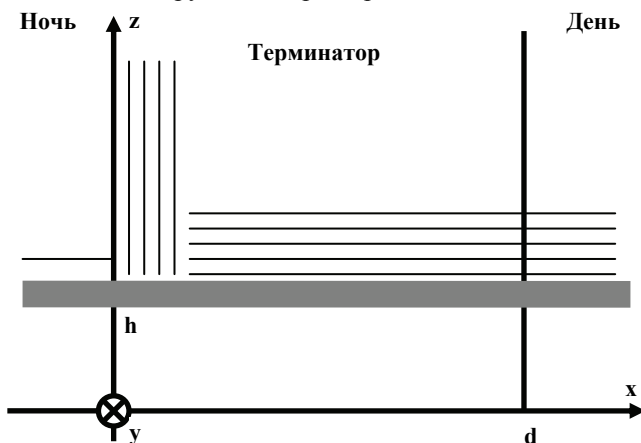
Основные публикации:

1. Алимов В.А., Выборнов Ф.И., Рахлин А.В. О фрактальных свойствах мелкомасштабной ионосферной турбулентности // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 2007. – Т.50, №4. – С. 300–308.
2. Выборнов Ф.И., Особенности рассеяния радиоволн в мультифрактальных турбулентных средах / Труды XXVIII Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред» - СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2013. – Вып. 10, Т.2. – 413 с. С. 233-239.
3. Алимов В.А., Выборнов Ф.И., Рахлин А.В. О фрактальной структуре крупномасштабных неоднородностей электронной концентрации перемещающихся возмущений в среднеширотной ионосфере // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 2008. – Т. 51, №3. – С. 191–198.
4. Алимов В.А., Выборнов Ф.И., Рахлин А.В. О некоторых особенностях фрактальной структуры развитой мелкомасштабной ионосферной турбулентности // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 2008. – Т. 51, № 4. – С. 287–294.
5. Алимов В.А., Выборнов Ф.И., Рахлин А.В. О мультистепенном спектре мелкомасштабной ионосферной турбулентности // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 2009. – Т.52, № 1. – С. 14–22.

Теоретически обоснована возможность существования ионосферного альвеновского резонатора на терминаторе (ИАРТ)

С. В. Поляков (ФГБНУ НИРФИ)

Широко известная Резонансная Структура Спектра (РСС), связанная с Ионосферным Альвеновским Резонатором (ИАР), наблюдается, как правило, в ночных условиях вне терминатора. В механизме формирования РСС полагается, что как ионосфера, так и электромагнитное поле от дальних грозных разрядов пространственно однородны на масштабе высоты полости земля-ионосфера, то есть полагается, что РСС формируется структурой ионосферы в районе точки наблюдения (локальность). С традиционной точки зрения название (аббревиатура) ИАРТ выглядит парадоксально. Так что же позволяет говорить об ИАРТ? Два обстоятельства. Во-первых, продольный ток, как следует из проведенных расчетов, существует вблизи ночной стороны терминатора, где при движении от ночной к дневной стороне терминатора происходит изменение условий освещенности нижней ионосферы. При этом условия освещенности верхней ионосферы, где происходят основные фазовые набеги альвеновских волн, практически не меняются. Во-вторых, толщина слоя с вертикальным током, как следует из проведенных оценок, составляет десятки километров. То есть требования к степени однородности верхней ионосферы по горизонтали очень мягкие. Грубо говоря, на терминаторе (точнее, на малой ночной части терминатора) мы имеем ИАР с дневной верхней ионосферой и с ночной нижней ионосферой. Соответственно, частотный интервал между соседними гармониками ИАРТ будет существенно меньше частотного интервала ИАР в ночной ионосфере. Существование ИАРТ приведет к тому, что в граничном условии для ионосферного тока на терминаторе адмитанс верхней ионосферы Y будет являться комплексной величиной и иметь осциллирующий характер в зависимости от частоты.



На рисунке приведена иллюстрация растекания токов на терминаторе для случая $Y/\Sigma_p = 4$, где Y – волновой адмитанс верхней ионосферы, Σ_p – интегральная педерсеновская проводимость ночной ионосферы. Количество линий на рисунке пропорционально величине тока. Оценки показывают, что горизонтальный размер токового листа с вертикальным током (альвеновские волны) составляет первые десятки километров. Предполагается, что источник крайне низкочастотных магнитных полей находится в полости земля-ионосфера.

Основные публикации:

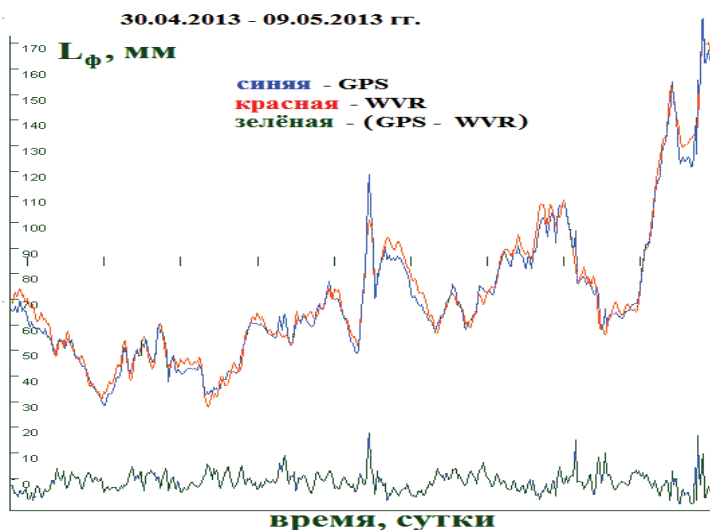
Поляков С.В., Ермакова Е.Н. Граничное условие для нестационарного ионосферного тока на терминаторе. Механизм формирования «тонкой» резонансной структуры спектра грозового шума в диапазоне короткопериодных геомагнитных пульсаций // Abstracts of XXXIV Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”; Russian Academy of Science, Polar Geophysical Institute. P.56

Разработан метод, алгоритм и приёмный радиометрический комплекс оперативного определения тропосферной задержки радиосигнала L_{ϕ} ГНС ГЛОНАСС на основе измерительных данных двухчастотного микроволнового радиометра водяного пара (WVR) ($\nu_1=20,75$ и $\nu_2=38$ ГГц) и их проецирования на линию визирования навигационного сигнала. Реализованная в экспериментах точность определения тропосферной задержки радиосигнала в зенитном направлении (СКО) составляет величину ≤ 3 мм.

А. В. Троицкий (ФГБНУ НИРФИ)

Г. Н. Ильин (ФГУН ИПА РАН)

Радиометрический метод определения рефракционных характеристик тропосферы основан на измерении собственного (теплового) излучения атмосферы в микроволновом диапазоне волн, спектр интенсивности которого полностью определяется основными метеопараметрами атмосферы: профилями температуры, влажности, давления и водностью облаков. Указанные метеопараметры определяются из радиометрических данных путём решения соответствующих обратных задач и используются для расчёта рефракции и тропосферной задержки радиосигнала.



Основные публикации:

Кадыгров Е.Н., Горелик А.Г., Миллер Е.А., Некрасов В.В., Троицкий А.В., Точилкина Т.А., Шапошников А.Н. Результаты мониторинга термодинамического состояния тропосферы многоканальным микроволновым радиометрическим комплексом // Оптика атмосферы и океана. Издательство Сиб. Отд. РАН (Новосибирск). 2013. Т. 26, № 6. С. 459-465.

С использованием натурального моделирования апробирован метод обнаружения, определения координат и эффективных параметров спорадических литосферных источников электромагнитного поля с уровнем ниже регулярного шумового фона по измерениям горизонтальной составляющей магнитного поля в трех приемных пунктах

С. В. Поляков, А. В. Щенников (ФГБНУ НИРФИ)

Метод основан на двух особенностях. Первая особенность заключается в том, что при вычитании тангенциальных компонент магнитного поля в пространственно разнесенных пунктах происходит подавление крупномасштабных естественных шумов. В силу удаленности источника грозовой шум ($f \geq 1$ Гц) слабо меняется на масштабах базы d ($d \leq 100$ км). С другой стороны, при измерениях в сейсмоактивной зоне характерные горизонтальные масштабы изменения магнитного поля от литосферных источников меньше базы, то есть относительно малы. В этом случае синхронные записи колебаний магнитного поля, полученные в двух разнесенных на величину базы приемных пунктах, должны обладать высокой степенью когерентности по грозовому шуму, что может позволить в эксперименте по обнаружению слабых локальных полей (СЛЭ) «опуститься глубоко под шум» путем вычитания временных реализаций (Рис. 1). Это возможно при использовании магнитометров, собственные шумы которых значительно ниже естественного шумового фона планеты. Вторая особенность – это использование универсальной модели подземного источника магнитных сигналов, пригодной для широкого диапазона частот, параметров среды и конфигураций источника и приемных пунктов. Из имеющейся литературы следует, что для достаточно компактного подземного источника с горизонтальными размерами, много меньшими расстояний до приемных пунктов, и на частотах вариаций магнитного поля, для которых глубина скин-слоя в земле также существенно меньше расстояний до приемных пунктов, эффективным источником геомагнитных пульсаций для тангенциальных компонент магнитного поля является точечный горизонтальный магнитный диполь, расположенный на поверхности земли в области проекции подземного источника на поверхность земли.

Метод экспериментально апробирован в июле 2011 года на полигоне НИРФИ «Старая Пустынь». В месте проведения эксперимента уровень промышленных помех был достаточно низок. Были установлены три приемных пункта с магнитометрами измеряющими горизонтальные компоненты H_x и H_y магнитного поля, пункт сбора данных и пункт - источник сигнала. Эксперимент проведен на малых базах порядка ста метров. В качестве генератора была использована рамка с током, подключенная к усилителю мощности и генератору синусоидальных сигналов. Ток в рамке был выбран

таким, чтобы уровень сигнала в пунктах приема был ниже естественного шумового фона. Питание всех систем осуществлялось от аккумуляторов.

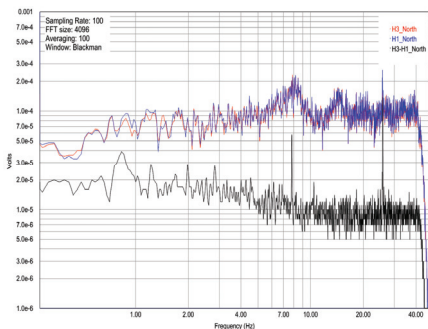


Рисунок 1. Результат вычитания временных реализаций

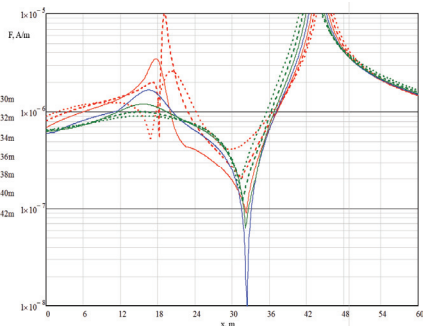


Рисунок 2. Результат поиска минимума функции F

Задача нахождения координат и магнитного момента рамки сводится к поиску минимума функции F , приведенной ниже:

$$F = \left| \Delta H_{21} - \frac{3r_2(r_2 M')}{r_2^5} + \frac{M'}{r_2^3} + \frac{3r_1(r_1 M')}{r_1^5} - \frac{M'}{r_1^3} \right| + \left| \Delta H_{31} - \frac{3r_3(r_3 M')}{r_3^5} + \frac{M'}{r_3^3} + \frac{3r_1(r_1 M')}{r_1^5} - \frac{M'}{r_1^3} \right|,$$

где ΔH_{21} , ΔH_{31} – величины разностных сигналов между пунктами приема Н2–Н1 и Н3–Н1 соответственно, r_1 , r_2 , r_3 – радиус-векторы пунктов приема, M' – магнитный момент рамки.

Минимум функции F находится численными методами. На рисунке 2 показано семейство кривых, каждой из которых соответствует фиксированная координата y . Глубокий минимум F четко проявляется при координатах, соответствующих местоположению генераторной рамки.

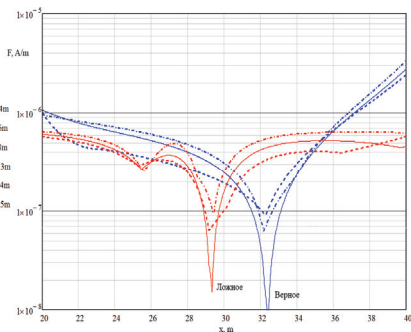


Рисунок 3. Верное и ложное решения

Существует также ложное решение данной задачи, показанное наряду с верным на рисунке 3. По некоторым признакам, таким как решение прямой задачи для найденных параметров и результатам обработки непосредственных прямых сигналов без вычитания, можно выделить ложные решения и не принимать их во внимание.

По натурным измерениям собственных излучений атмосферы и морской поверхности в ИК-диапазоне и теоретическим исследованиям установлено, что обнаруженный ранее микропузырьковый воздушный слой под пленкой поверхностного натяжения морской поверхности является универсальным образованием в структуре морской поверхности холодного пограничного слоя, возникающим в следствие фундаментальных процессов тепло и газообмена на границе атмосфера – морская поверхность.

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

В ФГБНУ НИРФИ предложен метод дистанционного исследования параметров плёночного слоя водной поверхности, использующий корреляционные свойства её собственного теплового излучения и излучения атмосферы по зеркальному лучу [1]. Метод реализован в инфракрасном диапазоне длин волн, где для реализации подсветки морской поверхности сигналом известной, но изменяющейся мощности использована естественная изменчивость атмосферы. Эксперимент показал, что в ИК-диапазоне, в натуральных условиях, диэлектрическая проницаемость плёночного слоя изменчива и меньше величины, полученной для морской воды в лабораторных измерениях. Обнаруженный эффект объясняется наличием под пленкой поверхностного натяжения морской поверхности слоя (толщиной порядка десятка микрон), заполненного смесью воды и воздуха - микропузырькового слоя [2].

Растворение атмосферных газов в морской воде. Образование микропузырькового слоя под пленкой поверхностного натяжения.

Холодный пограничный слой морской поверхности образуется, когда температура воды больше температуры воздуха, и поток тепла направлен из моря в атмосферу. За счет испарения и диффузионного переноса тепла происходит охлаждение воды на границе раздела морская поверхность – атмосфера. Плотность морской воды зависит от температуры и солёности, от двух свойств с разными скоростями молекулярной диффузии, что порождает неустойчивость и последующую конвекцию. Конвекция ограничивает толщину холодного пограничного слоя несколькими миллиметрами и при слабых ветрах не превышает 5...7 мм. Она определяет вертикальный локальный профиль температуры, который имеет вблизи поверхности квазилинейный участок толщиной около 2 мм и наибольший температурный градиент. Общий перепад температур воды на поверхности и ниже холодного пограничного слоя не превосходит -1.5 °С.

Так как растворимость кислорода и азота в морской воде определяет температура воды в поверхностной температурной пленке, то в случае холодного пограничного слоя образуется насыщенный раствор атмосферных газов, имеющий температуру меньшую, чем температура воды ниже плёночного пограничного слоя. Холодный тяжелый слой воды с повышенной

соленостью вследствие испарения оказывается сверху над более теплым легким и менее соленым слоем внизу, что создает неустойчивость среды. Вода с поверхности, опускаясь вниз попадает в слои с более высокой температурой и, следовательно, в ней должна уменьшиться молекулярная концентрация насыщенного раствора атмосферных газов. Таким образом, в холодном пограничном слое на глубине наибольших температурных градиентов и ниже их происходит уменьшение концентрации растворенных атмосферных газов, и избыток кислорода и азота выделяется из водного раствора в виде газовых микропузырьков, которые всплывают и удерживаются поверхностным давлением под пленкой поверхностного натяжения, образуя тонкий, толщиной порядка десятка микрон, микропузырьковый воздушный слой. В результате процессов перемешивания при ветровом волнении более холодная вода с поверхности также может попадать в более глубокие теплые слои, что будет приводить к выделению избытка атмосферных газов и влиянию волнения на формирование микропузырькового слоя. Основная его характеристика - объемная доля воздуха в микропузырьковом слое по данным натурных измерений существенно изменчива[3]. Экспериментальные данные о параметрах поверхностной пленки морской поверхности по натурным измерениям в ИК-диапазоне, с синхронно измеренными рядами метеоданных (скорость ветра, температура и влажность воздуха) позволяют выявить зависимость параметров микропузырькового слоя от состояния водной поверхности и приземной атмосферы и исследовать механизм образования микропузырькового слоя под пленкой поверхностного натяжения морской поверхности[4]. На рис. 1 приведено распределение измеренных величин объемной концентрации микропузырьков воздуха в скин-слое ИК-излучения в диапазоне 8-14 мкм в зависимости от разности температур воды в поверхностной температурной пленке t_W и на глубине 1 м - $t_{\text{воды}}$, изменявшейся в пределах $-1.2 < (t_W - t_{\text{воды}}) \leq 0$. Прямая линия на графике представляет регрессионную зависимость:

$$\rho = -0.306 \cdot (t_W - t_{\text{воды}}) + 0.224$$

с коэффициентом корреляции $K = -0.84$. Объемная концентрация максимальна $\rho_{\text{макс}} = 0.57$ при наибольшей по абсолютной величине разности температур и падает при ее уменьшении. График характеризует продуцирование воздушных микропузырьков в процессе конвективного переноса. Насыщенная атмосферными газами вода на поверхности охлажденная и более соленая благодаря испарению становится тяжелой и тонет в нижележащих слоях, имеющих более высокую температуру воды. Максимальный перепад температур воды равен разности $(t_W - t_{\text{воды}})$. В соответствии с тепловым эффектом концентрация насыщенного раствора в затонувшей воде должна уменьшиться, а избыток растворенных газов выделяется в виде воздушных микропузырьков, всплывающих к поверхности

и удерживаемых поверхностным давлением под пленкой поверхностного натяжения.

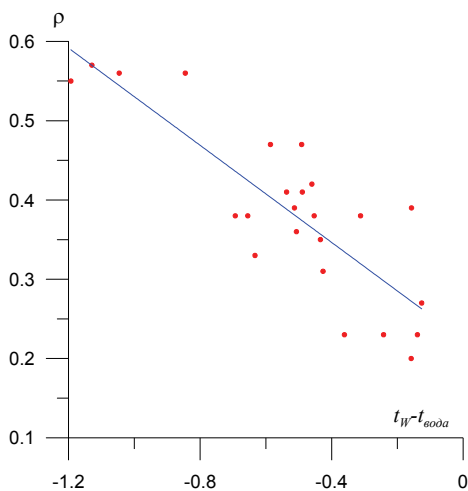


Рисунок 1.

Основные публикации:

1. Бубукин И.Т., Станкевич К.С. Радиометрия температурной плёнки морской поверхности // Успехи современной радиоэлектроники. 2006. №11. С.39-55.
2. 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.
3. Бубукин И.Т., Станкевич К.С. Структура поверхностной пленки морской поверхности по натурным измерениям в ИК-диапазоне // Труды XXIII Всероссийской научной конференции по "Распространению радиоволн", Труды конференции, 23-26 мая 2011 г., г.Йошкар-Ола, стр.161-164.
4. И.Т.Бубукин, К.С.Станкевич «Газообмен между морем и атмосферой и механизм образования микропузырькового слоя под пленкой поверхностного натяжения морской поверхности по натурным измерениям собственных излучений этих сред в ИК диапазоне и метеоданных»// Труды IV Всероссийской научной конференции «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике» (III Всероссийские Армандовские чтения). 25-27 июня 2013 г., г.Муром, 2013 г. С.39-43.

Методом частичных отражений экспериментально исследовано возмущение температуры электронов в области D ионосферы при воздействии на нее мощным радиоизлучением стенда «Сура». При излучении в зенит радиоволн необыкновенной поляризации в интервале высот 74–82 км наблюдалось увеличение электронной температуры с максимальным изменением до 20-40 % на высоте 78-80 км, обусловленное ростом при нагреве эффективной частоты соударений. Воздействие на ионосферу производилось на частоте 4,544 МГц с эффективной мощностью 70 МВт.

Н. В. Бахметьева, В. Д. Вяхирев, Е. Е. Калинина, Г. П. Комраков, Д. С. Котик, А. В. Рябов (ФГБНУ НИРФИ)

В августе и октябре 2013 г. проведены измерения электронной температуры в D-области ионосферы при возмущении ее мощным высокочастотным радиоизлучением и диагностикой методом частичных отражений. Нагрев ионосферы проводился излучением стенда СУРА в зенит радиоволн необыкновенной поляризации на частоте 4,544 МГц с эффективной мощностью 70 МВт. Оба передатчика – нагревный (стенд СУРА) и диагностический (передатчик «Поиск» установки частичных отражений) работали синхронно в импульсном режиме. Длительность нагревного импульса составляла 30 мс с периодом повторения 120 мс. За время 30 мс возмущение температуры электронов достигает стационарного значения, а за 90 мс следующей за нагревом паузы температура электронов T_e релаксирует. Возмущением электронной концентрации N за столь короткое время можно пренебречь, так как характерное время ее роста на высотах 75-90 км составляет от нескольких десятков секунд до нескольких минут. Передатчик пробных (зондирующих) радиоволн синхронно с нагревным стендом излучал на частоте 2,95 МГц пары импульсов длительностью 25 мкс каждый с частотой повторения, в 2 раза больше частоты повторения импульсов нагрева. При этом каждые два зондирующих импульса приходились на интервал нагрева, а следующие два – на интервал паузы в работе стенда.

Методом дифференциального поглощения на основе регистрации магнитоионных компонент рассеянного D-областью пробного сигнала найдены высотные профили электронной концентрации при нагреве ионосферы и в невозмущенных условиях. При условии, что электронная концентрация в период нагрева длительностью 30 мс не успевает измениться, определено возмущение эффективной частоты соударений, возникающее при нагреве ионосферы, которое пропорционально возмущению температуры электронов. В результате в разные дни наблюдений наблюдался рост температуры электронов в интервале высот 74–82 км с максимумом 20-40% на высоте 78-80 км.

Основные публикации:

1. Н.В. Бахметьева, В.Д. Вяхирев, Г.И. Григорьев, М.Н. Егеров, Е.Е. Калинина, А.В. Толмачева. Резонансное рассеяние радиоволн на искусственных периодических неоднородностях ионосферной плазмы как метод исследования динамики нижней ионосферы // Труды Международной научной конференции "Излучение и рассеяние электромагнитных волн" - ИРЭМВ-2013. Изд-во Южного федерального государственного университета. Таганрог. 2013. - доклад

С целью экспериментальной диагностики вихревых упорядоченных структур на высотах мезосферы и нижней термосферы, подобных тем, что возникают при распространении внутренних гравитационных волн в стратифицированных течениях в атмосферном пограничном слое, решена задача о влиянии турбулентного вихря с осью вращения, перпендикулярной оси искусственной периодической структуры, создаваемой в ионосфере мощной стоячей радиоволной, на время релаксации этой структуры после окончания нагрева ионосферы. Найдено соотношение времени релаксации искусственных периодических неоднородностей после окончания воздействия на ионосферу и периода вращения турбулентного вихря, при выполнении которого вихревое движение данного типа существенно нарушает выполнение условия синхронизма, то есть ухудшает возможности диагностики искусственных неоднородностей. Показано, что в E-области ионосферы период вихря, нарушающего синхронизм, не должен превышать 80 с.

*Н. В. Бахметьева, Г. И. Григорьев (ФГБНУ НИРФИ)
В. Г. Лапин (ННГАСУ)*

Исследована временная динамика сигнала, рассеянного искусственными периодическими неоднородностями, образующимися при работе нагревного стенда, на стадии их релаксации в атмосфере, учитывающей вихревое движение среды относительно горизонтальной оси. В результате такого движения среды периодическая структура электронной концентрации (искусственные периодические неоднородности), ориентированная в начальный момент по вертикальной координате z , далее с течением времени t приобретает вид $N(z,t,x)=\Delta N_0 \sin [2kz \cdot \cos(\Omega t)+2kx \cdot \sin(\Omega t)]$, где $k=2\pi n/\lambda$, λ – длина радиоволны, зондирующей периодическую структуру, n – показатель преломления, Ω – угловая скорость вращательного движения среды. Из-за этого меняется как пространственный период, так и фаза $2kx \cdot \sin(\Omega t)$ искусственных периодических неоднородностей, что нарушает условие синхронизма, то есть ухудшает условия резонансного рассеяния радиоволн этими неоднородностями. В результате появляется время жизни периодической структуры τ_v , связанное с вихревым движением среды. Найдено условие $\Omega \tau_v \geq 0,1$, при котором вихревое движение существенно влияет на релаксацию неоднородностей, обусловленную амбиполярной диффузией и прохождением внутренних гравитационных волн. Из этого условия следует, что при частоте вращательного движения $\Omega=0,08 \text{ с}^{-1}$ время жизни неоднородностей составляет $\tau_v = 1 \text{ с}$. При увеличении Ω вихревое движение разрушает периодическую структуру за меньшее время, то есть быстрее, чем это происходит вследствие диффузии. Показано, что в E-области

ионосферы, где релаксация неоднородностей происходит вследствие амбиполярной диффузии со средним значением времени релаксации неоднородностей 1 с, период вихря, нарушающего синхронизм, не должен превышать 80 с. Таким образом, время пропадаания рассеянного сигнала, то есть, время релаксации неоднородностей, при наличии вихрей с периодом вращения меньше 80 с становится меньше 1 с.

Основные публикации:

1. Бахметьева Н.В., Григорьев Г.И., Лапин В.Г. Влияние вихревых движений в мезосфере и нижней термосфере на эволюцию сигнала, рассеянного искусственными периодическими неоднородностями // Известия вузов. Радиофизика (в печати).
2. Бахметьева Н.В., Григорьев Г.И., Лапин В.Г. О возможности исследования турбулентных явлений в нижней ионосфере методом резонансного рассеяния радиоволн на искусственных периодических неоднородностях ионосферной плазмы // Труды XVII научной конференции по радиофизике, ННГУ, 2013.
3. Лапин В.Г. О влиянии вихревых движений в атмосфере на эволюцию сигнала, рассеянного искусственными периодическими неоднородностями // Труды XVII научной конференции по радиофизике, ННГУ, 2013.

Сформирована база экспериментальных данных о величинах температуры, плотности нейтральной атмосферы и частоты соударений ионов с молекулами на высотах 95-120 км, Данные получены методом резонансного рассеяния на искусственных периодических неоднородностях в течение 1990 – 2012 гг. База данных будет представлена на сайте ФГБНУ НИРФИ.

А. В. Толмачева, Е. Е. Калинина (ФГБНУ НИРФИ)

Метод определения атмосферных параметров был разработан и введен в практику исследований в Научно-исследовательском радиофизическом институте в рамках научных исследований по модификации ионосферы мощным коротковолновым радиоизлучением [1,2]. Первые регулярные измерения параметров нейтральной атмосферы были сделаны в период кампании 1990–1991 гг. Исследования были возобновлены в 1999 г. и далее проводились почти каждый год кратковременными циклами. В течение более 20 лет был накоплен значительный объем экспериментальных данных, позволивший получить ряд новых научных результатов [3-5].

Данные, приведенные в базе, сгруппированы в ежегодные каталоги. Они состоят из текстовых файлов, содержащих информацию за конкретные дни и часы. Имеется справочный раздел, куда входят: краткое описание метода получения атмосферных параметров путем резонансного рассеяния радиоволн, описание методики обработки результатов измерений, иллюстрации характерных временных и высотных зависимостей атмосферных параметров и краткая библиография основных работ. Пример иллюстрации приведен на рис.1.

Основные публикации:

1. *V.V. Belikovich, E.A. Benediktov, N.P. Goncharov, A.V. Tolmacheva. Diagnostics of the Ionosphere and Neutral Atmosphere at the E Region Heights Using the Artificial Periodic Inhomogeneities. // J.Atmos.Terr.Phys., 1997. Vol. 59, Pages 2447-2460.*
2. *Бенедиктов Е.А., Беликович В.В., Толмачева А.В., Бахметьева Н.В. Исследование ионосферы с помощью искусственных периодических неоднородностей. Н. Новгород: ИПФ РАН, 1999. 156 с.*
3. *Tolmacheva A.V., Belikovich V.V. Measurements of the temperature and density of the neutral atmosphere using artificial periodic irregularities during the summer seasons of 1999 – 2000 // International journal of geomagnetism and aeronomy. 2004. Vol. 5. G11008, doi:10.1029/2004GI000061.*
4. *Толмачева А.В., Беликович В.В., Калинина Е.Е. Результаты измерений атмосферных параметров с помощью искусственных периодических неоднородностей с разными пространственными масштабами. // Геомагнетизм и аэронавигация. 2009. Т. 49. №2. С. 254-261*
5. *А.В. Толмачева, Г.И. Григорьев, Н.В. Бахметьева. Вариации параметров верхней атмосферы по измерениям с помощью искусственных периодических неоднородностей плазмы // Химическая физика. 2013. Т. 32. № 9. С. 89 – 96.*

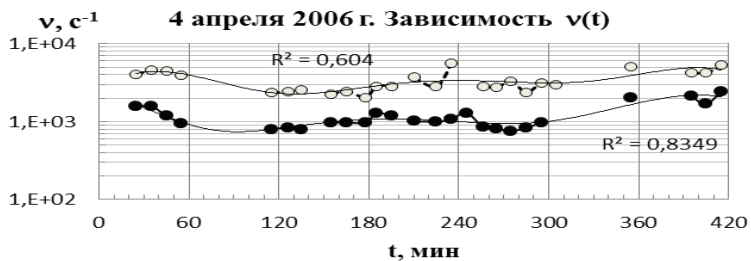


Рисунок 1 – Изменения частоты соударений ионов с молекулами 4 апреля 2006 г. с 10 до 17 ч московского времени. Кружки соответствуют высоте 104 км, точки – высоте 108 км. Линиями показаны полиномиальные тренды. Достоверности аппроксимации обозначены как R^2 .

Выявлены причины возникновения многополосных излучений в диапазоне геомагнитных пульсаций Pc-1, обусловленные наличием множественных источников ионно-циклотронных волн, расположенных на разных геомагнитных широтах и долготах в области плазмопаузы. Определены структурные особенности амплитудных и поляризационных спектров подобных излучений.

Е. Н. Ермакова, Д. С. Котик, С. В. Поляков (ФГБНУ НИРФИ)

А. Г. Яхнин, Т. А. Яхнина (ПГИ КФ РАН)

А. Г. Демехов (ИПФ РАН)

Анализ спектров интенсивных излучений типа Pc-1 на наземных станциях, разнесенных на малые (порядка 100 км) и большие расстояния (более 1500 км) выявил особенности амплитудных спектров в разных полосах, особенности их поляризации при наличии. Одновременный анализ данных наземных магнитометров и низкоорбитальных спутников по регистрации высыпаний энергичных протонов показал:

1. в начале исследуемого события амплитуда излучения Pc-1 в более высокочастотной полосе (выше гирочастоты ионов гелия) была существенно выше, чем в низкочастотной полосе (ниже гелиевой гирочастоты), что является нетипичным для источников циклотронной неустойчивости на плазмопаузе (Рис. 1, верхняя панель);
2. образование двух полосного спектра Pc-1 после прохождения солнечного терминатора через меридиан наиболее интенсивных высыпаний связано с появлением источников циклотронных волн на плазмопаузе на более высоких геомагнитных широтах (Рис.1, справа – указанные источники обозначены зеленым цветом);
3. наличие множественных источников циклотронных волн, расположенных на разных геомагнитных долготах привело к частотной зависимости поляризации в нижней полосе Pc-1 и разному характеру поляризации в разных частотных пиках.

Основные публикации:

1. Ермакова Е.Н., Котик Д.С., Поляков С.В., Яхнин А.Г., Яхнина Т.А., Демехов А.Г., Исследование динамики многополосных спорадических излучений Pc-1. Тезисы Восьмой Ежегодной Конференции «Физика Плазмы в Солнечной Системе» 4 - 8 февраля 2013 г., с.108, ИКИ РАН

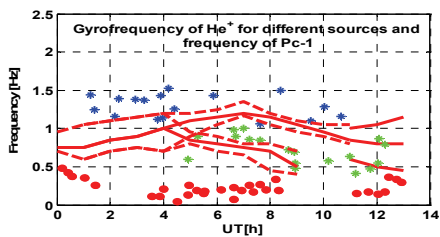
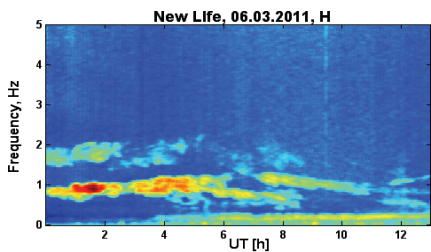
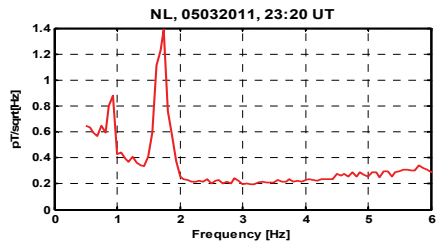
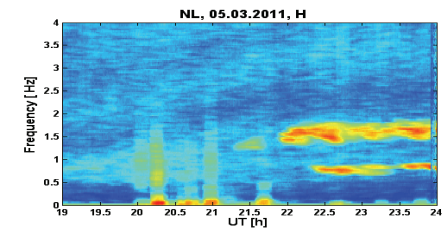


Рисунок 1 – Спектры амплитуд Pc-1 за 05.03.2011 (верхняя панель), спектрограмма магнитной компоненты, демонстрирующая событие Pc-1 06.03.2011 (нижняя панель, слева), гирочастоты ионов гелия для всех видов источников (справа, красными линиями схематично изображены частотные границы спектра Pc-1).

Проведены радарные наблюдения F -рассеяния в среднеширотной ионосфере с помощью ЛЧМ ионозонда-радиопеленгатора на трассе наклонного зондирования Кипр – Ростов-на-Дону [1]. Получено, что в вечерние, ночные и ранние утренние часы зимних и весенних месяцев (январь 2011г. – январь 2012г.) в условиях спокойной геомагнитной обстановки наблюдалось явление F -рассеяния на частотах превышающих МНЧ 1F прямого сигнала на 2–5 МГц. Типичный пример работы ЛЧМ ионозонда-радиопеленгатора в условиях F -рассеяния показан на рис.1. Сигнал F -рассеяния отмечен маркером PC1. Сигнал PC2 – сигнал возвратно-наклонного зондирования.

В. П. Урядов (ФГБНУ НИРФИ)

Г. Г. Вертоградов, Е. Г. Вертоградова (ЮФУ)

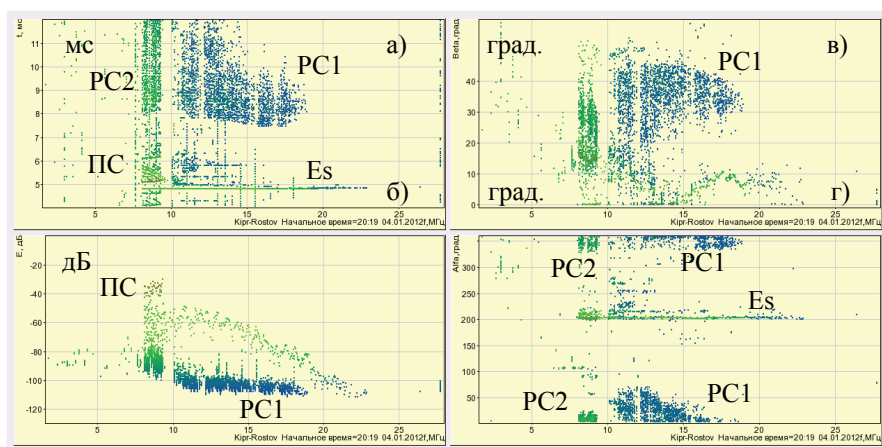


Рисунок 1 – ДЧХ (а), АЧХ (б) и УЧХ (в – угол места, г – азимут) на трассе

Кипр – Ростов-на-Дону. 00:19 мск. 05.01.2012г.

ПС – прямой сигнал, PC1-PC2 – рассеянные сигналы.

Определены параметры рассеянных сигналов вида PC1: диапазон задержек $\sim 6 \div 7,5 - 8,5 \div 11$ мс, диапазон частот $\sim 10 \div 14 - 13 \div 19$ МГц, интервал вертикальных углов прихода $\sim 20 - 45^\circ$, интервал азимутальных углов прихода $\sim 330 - 50^\circ$, амплитуда рассеянных сигналов была на 70-80 дБ меньше амплитуды прямого сигнала. В ряде случаев рассеянный сигнал расщивался в координатах частота–задержка–азимут на несколько треков, иногда это расслоение имело вид квазипериодических структур.

На основе моделирования и сопоставления с экспериментальными данными установлено, что наблюдаемые сигналы обусловлены обратным рассеянием

радиоволн на мелкомасштабных неоднородностях с размерами $\sim 8-10$ м. Неоднородности занимали протяженную область среднеширотной ионосферы $\sim 500 \times 1000$ км по широте и долготе соответственно ($\sim 50-55^\circ\text{N}$, $35-48^\circ\text{E}$) на высотах как ниже, так и выше максимума F -слоя ($h \sim 250-450$ км). Сделаны оценки относительных флуктуаций электронной концентрации рассеивающих неоднородностей $\delta N \approx 7,8 \cdot 10^{-3}$, что примерно в 3-5 раз превышает значение δN естественных флуктуаций электронной концентрации для обычных условий в F -области среднеширотной ионосферы.

Основные публикации:

1. Урядов В.П., Вертоградов Г.Г., Вертоградова Е.Г. Радарные наблюдения F -рассеяния в среднеширотной ионосфере с помощью ионзонда-радиопеленгатора // Изв. Вузов. Радиофизика. 2013, т. 56, №1, с.1-12.

Установлено, что в условиях, когда частота волны накачки O -поляризации ниже критической частоты f_0F_2 , но не больше чем на $0.5\text{--}0.7$ МГц, наблюдается прохождение электромагнитной волны в закрритическую плазму (во внешнюю ионосферу).

*В. Л. Фролов, Н. А. Митяков, Е. А. Шорохова (ФГБНУ НИРФИ)
М. Парро (LPCE, Франция)*

С помощью бортовой аппаратуры французского микро спутника DEMETER на высотах ~ 670 км выполнены измерения напряжённости электрического поля мощной радиоволны, излучаемой нагревным стендом СУРА, которые позволили установить, что в условиях, когда частота ВН ниже критической частоты f_0F_2 , но не больше чем на $0.5\text{--}0.7$ МГц, напряжённость электрического поля во внешней ионосфере (в закрритической плазме) может быть сравнима с напряжённостью поля при нагреве «на просвет». Определены энергетические и пространственные характеристики прошедшей через ионосферу мощной радиоволны. Показано, что имеет место совпадение пятна с наибольшей интенсивностью сигнала с дактом повышенной плотности плазмы, формируемом при модификации ночной F_2 -области ионосферы мощными КВ радиоволнами O -поляризации. Выполненные исследования демонстрируют, что в таких условиях заметная часть мощности ВН может проходить сквозь ионосферу. Прохождение электромагнитной волны в закрритическую плазму (во внешнюю ионосферу) при модификации ионосферы мощными радиоволнами O -поляризации определяется формированием полости с дефицитом плотности плазмы вблизи максимума F_2 -слоя ионосферы и генерацией в F -области ионосферы искусственных ионосферных неоднородностей километровых масштабов.

Основные публикации:

1. Фролов В.Л., Митяков Н.А., Шорохова Е.А., Парро М. Структура электрического поля мощной короткой радиоволны во внешней ионосфере Земли // Изв. Вузов Радиофизика, 2013. Т. 56, № 6, с. 361-381.

Измерена спектральная интенсивность ИИН в области масштабов от 10 м до десятков километров, которые возбуждаются при модификации среднеширотной F2-области ионосферы мощными КВ радиоволнами X-поляризации, излучаемыми стендом СУРА.

В. Л. Фролов, И. А. Болотин (ФГБНУ НИРФИ)

совместно с МГУ, ЮФУ, КазФУ

По результатам измерений генерации искусственных ионосферных неоднородностей различных масштабов при модификации среднеширотной F2-области ионосферы мощными радиоволнами X-поляризации, выполненных в 2009 – 2012 гг. на стенде СУРА, установлено, что:

- В экспериментах в среднеширотной ионосфере, в отличие от аналогичных экспериментов в авроральной ионосфере на стенде EISCAT-heating, не наблюдалось генерации декаметровых ИИН масштабами $l_{\perp} \approx 10 - 20$ м.
- Генерация неоднородностей с $l_{\perp} = 50 - 200$ м имела место при модификации ионосферы в вечерних и ночных условиях. При этом их интенсивность была только на 4 – 6 дБ меньше, чем в случае модификации ионосферы мощными радиоволнами O-поляризации. В утренних и дневных условиях проведения измерений генерация этих неоднородностей не была зарегистрирована.
- В вечерних и ночных условиях имела место генерация ИИН с $l_{\perp} = 0.5 - 3$ км, проявляющаяся как развитие достаточно интенсивного F_{spread} на ионограммах вертикального зондирования. При этом в оптимальных условиях проведения измерений интенсивность F_{spread} , а следовательно, и интенсивность неоднородностей уступала его интенсивности при модификации ионосферы волнами O-поляризации, но не более, чем в несколько раз. В утренние часы F_{spread} имел, как правило, невысокую интенсивность, а в некоторых случаях даже не развивался при мощности волны накачки ~ 100 МВт. В дневных условиях появление F_{spread} на ионограммах было достаточно редким явлением, его интенсивность при этом имела низкий уровень. Также отмечается, что пороговые мощности генерации ИИН с $l_{\perp} = 0.5 - 3$ км в условиях вечерней и ночной ионосферы составляли 20 – 30 МВт.
- Генерация ИИН километровых и более крупномасштабных неоднородностей на высотах вблизи максимума F2-слоя ионосферы имела место только в условиях вечерней и ночной ионосферы. При этом их интенсивность была почти на порядок меньше их интенсивности при модификации ионосферы волнами O-поляризации.

Таким образом, можно предполагать, что в среднеширотной ионосфере декаметровые неоднородности возбуждаются только при модификации ионосферы мощными радиоволнами O-поляризации, и это происходит за счет развития тепловой (резонансной) параметрической неустойчивости. Развитие

более крупномасштабных неоднородностей с $l_{\perp} \approx 0.3 - 1$ км при модификации ионосферы мощными радиоволнами X -поляризации, следует, по-видимому, связывать с развитием самофокусирующей неустойчивости. Механизм генерации более мелкомасштабные ИИН с $l_{\perp} \approx 50 - 200$ м, скорее всего, связан с нелинейной перекачкой энергии плазменной турбулентности по её спектру от более крупных масштабов к более мелким. ИИН с размерами от нескольких километров до десятка и более километров являются результатом усиления естественных неоднородностей при нагреве ионосферной плазмы на высотах F_2 -области. В силу всего вышесказанного, спектр ИИН при X -модификации ионосферы обрывается для неоднородностей с $l_{\perp} < 50$ м, его спектральная интенсивность в несколько раз слабее по сравнению со случаем O -нагрева в области масштабов 50 м – 3 км и имеет заметно более слабую (по сравнению со случаем O -нагрева) спектральную интенсивность в области масштабов $l_{\perp} \geq 5$ км.

**Результаты,
направленные в Межведомственный
научный совет РАН и Российского
авиационно-космического агентства
по проблемам космической энергетики**

Разработана стратегия тепловой защиты космических оптических телескопов большой апертуры в условиях сближения с Солнцем. Результаты разработки воплощены в схемных решениях широкоапертурных оптических телескопов российской космической миссии «ИНТЕРГЕЛИОЗОНД», планируемой к запуску в 2025 году.

И. Е. Кожеватов, Е. Х. Куликова (ФГБНУ НИРФИ)

Е. А. Руденчик (ИЗМИРАН)

Одной из интригующих загадок солнечной плазмы является тонкая структура магнитных полей на уровне фотосферы. Существуют многочисленные аргументы и свидетельства того, что магнитное поле сосредоточено в очень мелких жгутах, находящихся за пределами разрешения земных телескопов, но все эти свидетельства в основном косвенные. Для детального изучения тонкой структуры атмосферы Солнца на сегодняшний день запланирован целый ряд космических миссий. Для этих целей предполагается направить Солнечные космические зонды, способные приблизиться к Солнцу на расстояния много меньшие, чем орбита планеты Меркурий.

Одним из препятствий использования сближения к Солнцу для более детального изучения является квадратичная зависимость мощности излучения, падающей на апертуру оптического телескопа, от расстояния до Солнца и линейная зависимость от апертуры телескопа. Именно это обстоятельство послужило основанием исключить из космической миссии «Solar Orbiter» (Европейское Космическое Агентство) большеапертурный оптический телескоп высокого разрешения. Из космической миссии «Solar Plus» (NASA США) оптический телескоп исключен вообще.

В ФГБНУ НИРФИ разработана стратегия тепловой защиты оптического солнечного телескопа, что дало основание к разработке широкоапертурного оптического телескопа для аналогичных солнечных зондов, разрабатываемых в России. Ключевым решением этой стратегии является сброс в открытый космос части излучения, используемой в детекторе телескопа, еще до его взаимодействия с элементами телескопа, способными поглощать падающее излучение и, таким образом, минимизировать тепловыделение до уровня, не представляющего опасности для схемы телескопа и самого космического аппарата.

Основные публикации:

1. «TAXOMAG – vector-magnetograph for INTERGELIOZOND» the LWS/SDO-3/SOHO-26/GONG-2011 Workshop "Solar Dynamics and Magnetism from the Interior to the Atmosphere", Bechter Conference Center – Encina Hall, Stanford University, CA, USA, 31.10-04.11.2011, p. 31.
2. Многофункциональный оптический телескоп "ТАХОМАГ". Общее описание // В Трудях рабочего совещания по проекту «Интергелио-Зонд», Таруса, 11-13 мая 2011, под ред. В.Д.Кузнецова, Механика, управление и информатика, М. 2012, с.21-26.

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

Установлена принципиальная возможность определения координат локальной подповерхностной неоднородности малых по сравнению с длиной волны размеров в упругом полупространстве, граничащем с газом (воздухом), на основе анализа пространственного распределения поля акустической волны, возбуждаемой в газообразной среде при рассеянии данной неоднородностью волны Рэлея, распространяющейся вдоль границы раздела двух сред. Горизонтальные координаты неоднородности определяются по измерениям горизонтальных компонент вектора смещений рассеянного акустического поля не менее чем в двух точках над поверхностью упругой среды. Определение глубины расположения неоднородности основано на том, что при определенном соотношении между глубиной и длиной волны распределение рассеянного акустического поля в газе обладает цилиндрической симметрией, в то время как в общем случае диаграмма направленности рассеянного поля вытянута в направлении распространения зондирующей волны. Расчеты поля и энергетических характеристик акустической волны, возникающей в газе при рассеянии упругих волн на подповерхностной неоднородности, находящейся в граничащей с газом твердой среде, показали, что мощность излучения рассеянной волны в газе составляет сотые доли процента мощности рассеянных упругих волн.

А. В. Разин (ФГБНУ НИРФИ)

Решена задача о поле акустической волны, возбуждаемой в газообразной среде при рассеянии гармонической волны Рэлея, распространяющейся вдоль границы твердой среды с газом (воздухом), на локальной подповерхностной неоднородности, находящейся в упругом полупространстве вблизи его поверхности

Неоднородность является слабоконтрастной и имеет малые по сравнению с длинами волн размеры. Падающая на неоднородность волна Рэлея возбуждается поверхностным силовым источником, действующим на границе полупространства по нормали к ней. Рассмотрение выполнено в рамках борновского приближения метода возмущений. Показано, что в случае, когда вещество неоднородности отличается от вещества полупространства только плотностью, а их модули упругости совпадают, неоднородность представляет собой эффективный источник рассеянных волн в виде сосредоточенной силы, который наряду с упругими волнами в твердой среде возбуждает также сферическую акустическую волну в газе. Получены приближенные выражения для акустического давления в этой волне, а также выражения для плотностей потоков мощности излучения акустической волны.

Установлена принципиальная возможность определения координат локальной подповерхностной неоднородности на основе анализа пространственного распределения поля акустической волны. Горизонтальные координаты неоднородности определяются по измерениям горизонтальных компонент вектора смещений рассеянного акустического поля не менее чем в двух точках над поверхностью упругой среды. Определение глубины расположения неоднородности основано на том, что при определенном соотношении между глубиной и длиной волны распределение рассеянного акустического поля в газе обладает цилиндрической симметрией, в то время как в общем случае диаграмма направленности рассеянного поля вытянута в направлении распространения зондирующей волны.

Расчеты поля и энергетических характеристик акустической волны, возникающей в газе при рассеянии упругих волн на подповерхностной неоднородности, находящейся в граничащей с газом твердой среде, показали, что мощность излучения рассеянной волны в газе составляет сотые доли процента мощности рассеянных упругих волн.

**Результаты,
направленные в Отчет института**

Проведены исследования пленочного слоя морской поверхности методом «черного ящика» в целях оперативного измерения физических параметров пленочного слоя морской поверхности приземной атмосферы на основе данных дистанционной диагностики этих сред в ИК-диапазоне. Для этого создана плавающая измерительная система ИК-диапазона «ИК-капсула». Конструктивно измерительная система «ИК-капсула» состоит из двух элементов: плавающей платформы «ИК-колокол» для оперативного измерения температуры воды и системы измерения флуктуаций яркостной температуры ИК-излучения морской поверхности с высоким пространственным и временным разрешением «ИК-удочка».

Отдел №1

В периоды 17 – 21 мая и 12 – 13 ноября 2013 года были проведены радиоинтерферометрические эксперименты по исследованию влияния ионосферы Земли на распространяющееся через нее радиоизлучение сигналов навигационных космических аппаратов (GPS и ГЛОНАСС). Эксперименты осуществлялись с помощью РСДБ-комплекса, включающего радиотелескопы в Ирбене (РТ-32, ВМРЦ, Латвия) и РуА и в Нижнем Новгороде (Россия): РТ-2 (Нижегородский государственный университет) и РуА (Научно-исследовательский радиофизический институт), а также нагревного стенда СУРА. Решались следующие задачи:

- исследование ионосферы в спокойном и искусственно возмущенном состоянии при просвечивании ее сигналами навигационных космических аппаратов (НКА);
- экспериментальное тестирование облучателя на 1.6 ГГц, изготовленного из углекомпозитных материалов;
- измерение базовых линий интерферометрического комплекса по сигналам НКА.

Выполнялся корреляционный анализ принятых сигналов для анализа воздействия ионосферы Земли на сигналы НКА. В функции ФГБНУ НИРФИ входило планирование эксперимента, составление расписания сеанса, подготовка приемных комплексов и осуществление наблюдений.

Отдел №3

Имевшиеся результаты о дискретном спектре гамильтонианов n -нуклонных систем (с учетом перестановочной симметрии) при n , стремящемся к бесконечности, распространены на максимальное (для существующих методов) множество типов перестановочной симметрии.

Отдел №6

Установлен закон отражения от нелинейной границы волн тока и напряжения, распространяющихся в ограниченной телеграфной линии, закороченной на другой границе.

Отдел №6

Показано, что временная изменчивость кавитационной прочности морской воды в различных районах Мирового океана носит весьма сложный характер и связана с наличием общего суточного ритма физических, химических и биологических процессов в океане, в частности, с приливными явлениями и с суточной миграцией планктона, а также колебаниями слоя скачка под действием внутренних волн.

Отдел №6

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 сварки расщепленным электродом. В установке внедрена новая технология сварки микродеталей, в частности, время сварочного импульса составляет 300-700 микросекунд, по сравнению с обычными режимами, где время сварки составляло 20-60 миллисекунд. В результате расширились технологические возможности установки – в два раза увеличилась толщина свариваемых деталей, в пять раз повысилась стойкость сварочного электрода, а также повысилась производительность на 25%.

Источник тока сварки пайки ИТСП-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.

С целью обеспечения технологии создания электронной компонентной базы сборочным оборудованием отдел проводит работы по организации его мелкосерийного производства на базе ФГБНУ НИРФИ.

Отдел №11

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Результаты, направленные в Годичный отчет РАН.....	8
2. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Звезды.....	27
3. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Солнце.....	32
4. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Межзвездная среда и звездообразование	42
5. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Радиотелескопы	44
6. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Планеты и планетные системы....	47
7. Результаты, направленные в Научный совет РАН по распространению радиоволн	49
8. Результаты, направленные в Межведомственный научный совет РАН и Российского авиационно-космического агентства по проблемам космической энергетики.....	73
9. Результаты, направленные в Научный совет по акустике при отделении Физических наук РАН	75
10. Результаты, направленные в Отчет института.....	78

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФГБНУ НИРФИ
ЗА 2013 ГОД

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

Подписано в печать 08.12.14. Формат 60x84/16
Бумага писчая. Объем 4,65 усл.п.л.
Тираж 50. Заказ 5634

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