



# РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Научно-  
исследовательский  
радиофизический  
институт**



**2014**

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

**Препринт № 557**

Результаты научной деятельности ФГБНУ НИРФИ  
за 2014 год

**Нижний Новгород**

**2015**

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФГБНУ НИРФИ  
ЗА 2014 ГОД // Препринт №557. – Нижний Новгород: ФГБНУ  
НИРФИ, 2015. – с.80

УДК 501

В препринте приведены итоги работы ФГБНУ НИРФИ за 2014 год.

© Научно-исследовательский радиофизический институт, 2015



В препринте изложены основные результаты деятельности федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский радиофизический институт» в 2014 году.

### *Итоги научной деятельности*

В 2014 г. в ФГБНУ НИРФИ выполнялись 48 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 2007-2013 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, 16 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 на протяжении нескольких лет входит в Национальный реестр «Ведущие научные организации России».

Институт внесен в Перечень организаций, за которыми закреплены военные представительства МО РФ.

В 2014 году подтверждено действие сертификата соответствия системы менеджмента качества (ГОСТ ISO 9001-2011) применительно к научным исследованиям и разработке в области естественных и технических наук.

По итогам года 1 результат рекомендован Ученым советом института в годичный отчет Российской Академии наук.

23 результата направлены в Научные советы РАН.

Опубликованы 36 статей в российских и зарубежных журналах и 65 в трудах конференций и симпозиумов, 58 тезисов докладов.

Вышла в свет в 2014 г. монография:

Петухов Ю.В., Разин А.В., Собисевич А.Л., Куликов В.И. Сейсмо-акустические и акустико-гравитационные волны в слоистых средах. М.: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта РАН, 2014. 280 с.

Сотрудниками института защищена 1 докторская диссертация: ***И. Т. Бубукин «Радиометрия температурной пленки морской поверхности».***

При выполнении работ по государственному заданию в 2014 году получены основные результаты по следующим направлениям:

1. Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований и создание научно-технического задела в области

информационных технологий, связанных с прогнозированием солнечной активности.

2. Развитие мониторинговых исследований за состоянием турбулентности ионосферы Земли с использованием методов широкополосного радиозондирования на базе нагревного стенда СУРА.

3. Влияние вертикальных и горизонтальных неоднородностей ионосферы на распространение крайне низкочастотных радиоволн.

4. Исследование характеристик точности и разработка методов их повышения в автоматизированных системах калибровки дистанционных измерений параметров микроволнового рассеяния объектов.

5. Определение структуры излучающего слоя поверхности акваторий в инфракрасном диапазоне и модели подповерхностного микропузырькового слоя по натурным измерениям изменчивости ее собственного излучения.

6. Моделирование рассеяния поверхностных акустических волн Рэлея на объемных неоднородностях грунта с целью совершенствования методов обнаружения карстовых образований.

7. Создание методов диагностики структурных фазовых переходов в природных средах с целью их прогноза.

8. Проведение экспертизы научных, научно-технических программ и проектов по фундаментальным, прикладным научным исследованиям, экспериментальным разработкам.

На основе результатов поисковых и прикладных НИОКР по приоритетным направлениям науки, технологий и техники и критическим технологиям федерального уровня в 2014 году произведено 7 наименований научно-технической продукции.

В институте в 2014 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. В 2014 году в Диссертационном совете защищены 2 докторских диссертации, одна из них – сотрудником ФГБНУ НИРФИ.

ФГБНУ НИРФИ осуществляет выпуск журнала «Известия вузов. Радиофизика», в состав редколлегии которого входят сотрудники института.

Сотрудники института принимали участие в 24 международных и 20 российских конференциях.

В 2014 году 15 сотрудников института занимались учебной и преподавательской работой в вузах и техникумах Нижнего Новгорода.

В 2014 г. стенд СУРА предоставлял услуги коллективного пользования в качестве установки по нагреву ионосферы ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет» (физический факультет ЮФУ), ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского», ФГБОУ «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова» (Физический факультет МГУ), ФГБУН «Институт прикладной физики» Российской академии наук, ФГБУН «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкина» Российской академии наук, ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (Институт физики КФУ), ФГБУН Институт динамики геосфер Российской академии наук. Проводились фундаментальные исследования по следующим научным направлениям:

ЮФУ — проведены исследования возмущенной мощным коротковолновым излучением стенда СУРА области ионосферы методом ЛЧМ зондирования;

НПО «Тайфун» — проведены экспериментальные исследования с использованием методик комплексных измерений характеристик

возмущений, возникающих при взаимодействии радиоизлучения стенда СУРА с ионосферой;

ННГУ — исследовано воздействие мощного коротковолнового радиоизлучения стенда СУРА на интенсивность оптического свечения ночного неба (ионосферы), искусственное радиоизлучение ионосферы;

МГУ — проведены исследования неоднородной структуры возмущенной мощным коротковолновым радиоизлучением стенда СУРА области ионосферы методом радиопросвечивания сигналами навигационных спутников;

ИЗМИРАН — проведены экспериментальные исследования неоднородной структуры области ионосферы, возмущенной мощным коротковолновым радиоизлучением стенда СУРА;

КФУ — экспериментально исследована неоднородная структура возмущенной мощным коротковолновым радиоизлучением стенда СУРА области ионосферы;

ИДГ РАН — проведены экспериментальные исследования низкочастотного излучения, генерируемого в ионосфере при воздействии на нее мощным модулированным радиоизлучением стенда СУРА.

Имеются договоры о научно-техническом сотрудничестве:

- с Институтом ионосферы НАН и МОН Украины (Харьков),
- с Бэлцким госуниверситетом (Молдова)
- с VIRAC, Вентспилс, Латвия;
- с Институтом ионосферы, Алма-Ата, Казахстан;
- с РИ НАНУ г. Харьков.

Сотрудники института участвуют в работах:

- по контракту № UF11253 от 01.08.2011 с Университетом Флориды (США), проект «LIGO- collaboration» по созданию лазерного детектора гравитационных волн,
- в международной программе TANOMAG –INTERGELIOZOND,
- в международной программе по эксплуатации МКС,
- в международном проекте «Резонанс»: «Многоспутниковые исследования внутренней магнитосферы».



## Премии и награды

1. **В. О. Рапопорт** – Почетный работник науки и техники Российской Федерации.
2. **М. Б. Нечаева** – Почетный диплом губернатора Нижегородской области.
3. **Г. П. Комраков** – Почетный диплом губернатора Нижегородской области.
4. **М. И. Агафонов** – Почетный диплом губернатора Нижегородской области
5. **А. В. Троицкий** – Почетный диплом губернатора Нижегородской области
6. **Ю. В. Тихомиров** – Благодарственное письмо Правительства Нижегородской области
7. **А. В. Щенников** – Благодарственное письмо Правительства Нижегородской области
8. **С. Д. Снегирев, А. С. Смирнова, О. А. Шейнер** – первое место в номинации «Лучшее изобретение года в Нижегородской области в сфере электроники и приборостроения» на VIII-м конкурсе объектов интеллектуальной собственности за патент № 2491583 «Способ прогноза геоэффективных солнечных вспышек».
9. **ФГБНУ НИРФИ** – Победитель конкурса с присвоением звания «Лауреат премии Нижегородской области имени И. П. Кулибина» и премии в номинации «Лучшее изобретение года в Нижегородской области».

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

**Решена задача возникновения криовулканизма на телах пояса Койпера: (208996) 2003 AZ<sub>84</sub>, Caron, Haumea, Makemake, Orcus и Quaoar, объясняющая наличие на поверхности кристаллического льда H<sub>2</sub>O, исходя из процесса тепловой эволюции на них.\***

**О. Б. Щуко (ФГБНУ НИРФИ)**

**С. Д. Щуко (НГТУ им. П.Е. Алексеева)**

**Д. В. Карташов (Friedrich-Schiller University Jena, German)**

**Р. Оросей (Istituto di Radioastronomia, Istituto Nazionale di Astrofisica, Bologna, Italy)**

Рассматриваются условия появления криовулканизма на телах Пояса Койпера (КВО): (208996) 2003 AZ<sub>84</sub>, Caron, Haumea, Orcus и Quaoar, на поверхности которых методами спектроскопии (A. Delsanti a.o., 2010, A&A 520, A40) был обнаружен кристаллический лёд H<sub>2</sub>O, и близкий к ним по астрофизическим параметрам КВО Makemake.

При этом предполагается, что рассматриваемые тела образовались в результате аккреции вещества периферийной области протосолнечной туманности, состоящего из пылевых частиц, содержащих радиоактивные изотопы  $^{238}_{92}\text{U}$ ,  $^{235}_{92}\text{U}$ ,  $^{232}_{90}\text{Th}$ ,  $^{40}_{19}\text{K}$ ,  $^{26}_{13}\text{Al}$ , и тонко фракционированный конденсат H<sub>2</sub>O в виде аморфного льда. Радиогенное тепло приводило к фазовым переходам H<sub>2</sub>O, определяющим степень дифференциации вещества небесного тела. При этом количественное содержание радионуклидов в момент начала формирования тела определяло динамически меняющуюся степень дифференциации вещества на различных глубинах КВО от начала формирования тела вплоть до настоящего времени.

Показано, что основным параметром ( $\delta$ ), определяющим динамику тепловой эволюции небесного тела, может рассматриваться отношение количества радионуклидов в аккреционном материале к их содержанию в веществе Земли на момент формирования Солнечной системы. Показано, что с увеличением параметра  $\delta$  температура центральных областей рассматриваемых тел в настоящее время может достигать ~2000 К, тогда как на их поверхности она не превышает 50 К.

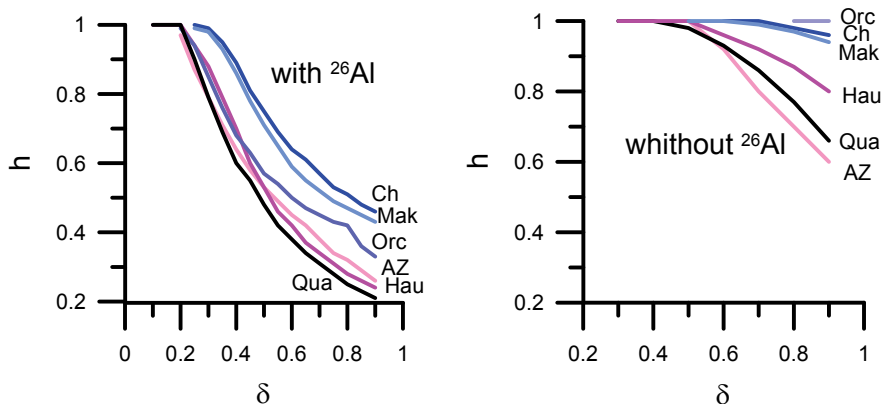
Предполагается, что криовулканизм становится возможным, если температура внутри тела достигает значений, при которых давление водяного пара превышает гравитационное давление вышележащих слоёв вещества. Поскольку рассматриваемые тела различны по размеру и плотности, это превышение достигается на различных глубинах, не превышающих половины радиуса тела. На рисунках приведены нормированные к радиусу тела

---

\*

Результат направлен также в Научный совет РАН по астрономии. Секция «Планетные исследования».

минимальные глубины ( $h$ ) преодоления гравитационного давления в зависимости от параметра  $\delta$  для рассматриваемых тел при наличии  $^{26}_{13}\text{Al}$  и без него.



Показано, что при отсутствии короткоживущего нуклида  $^{26}_{13}\text{Al}$  криовулканизм не был бы возможен ни на одном из рассматриваемых тел.

### Основные публикации

1. Shchuko, O.B., Shchuko, S.D., Kartashov D.V., Orosei R., 2014. Conditions for liquid or icy core existence in KBO objects: Numerical simulations for Orcus and Quaoar. *Planetary and Space Science* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.pss.2014.01.022>.
2. (B0.4-0074-14) "Phase transitions of water and possibility of cryovolcanism in thermal history of KBO objects", O.B. Shchuko, S.D. Shchuko, D.V. Kartashov, R. Orosei. 40<sup>th</sup> COSPAR Scientific Assembly, Moscow (Russia), 2-9 August 2014.

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

Впервые в радионаблюдениях солнечных вспышечных петель обнаружена смена знака степени поляризации вдоль вспышечной петли от оснований к вершине. Установлено, что в основаниях знак поляризации соответствует необыкновенной волне, а вершине – обыкновенной волне.\*

**С. А. Кузнецов, А. С. Моргачев (ФГБНУ НИРФИ)**

**В. Ф. Мельников (ГАО РАН)**

**Основные публикации:**

1. Kuznetsov S.A., Morgachev A.S., Melnikov V.F. Analysis of the polarization degree distribution along limb flaring loops of July 19, 2012 // 14th European Solar Physics Meeting Programme and abstract book, p. 40.

2. Kuznetsov Sergey; Melnikov Victor; Morgachev Alexander Spatial distribution of microwave characteristics along limb flare loop July 19, 2012 // 40th COSPAR Scientific Assembly. Held 2-10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract D2.5-84-14.

---

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

**Впервые по данным радиогелиографа Нобеяма применен метод прямой подгонки для восстановления четырех параметров вспышечных петель (концентрации и показателя энергетического спектра нетепловых электронов, напряженности и направления линий магнитного поля) в событии 19 июля 2012. На основании результатов восстановления предложена интерпретация наблюдаемого изменения степени поляризации вдоль петель, связанная с реализацией во вспышке анизотропии нетепловых электронов.\***

*А. С. Моргачев, С. А. Кузнецов (ФГБНУ НИРФИ)*

*В. Ф. Мельников (ГАО РАН)*

Цель исследования заключалась в диагностике параметров солнечных вспышечных петель в событии 19 июля 2012 для интерпретации наблюдаемой пространственной и временной инверсии степени поляризации. Диагностика проводилась методом прямой подгонки теоретически рассчитанного гиросинхротронного (ГС) радиоизлучения под наблюдаемое с применением генетического алгоритма. Для исследования использовались карты распределения радиояркости на частотах 17 и 34 ГГц и степени круговой поляризации на частоте 17 ГГц, полученные по данным радиогелиографа Нобеяма. Для расчета характеристик ГС излучения использовалась программа быстрого счета [1]. В ходе выполнения работы получены следующие результаты:

- успешно проведено восстановление четырех параметров петли (концентрации и показателя энергетического спектра нетепловых электронов, напряженности и направления линий магнитного поля) для ее оснований (Рис.1) в предположении изотропного и анизотропного питч-углового распределений.
- в вершине вспышечных петель восстановление удалось провести только в предположении анизотропного питч-углового распределения.
- на основании результатов восстановления высказано предположение о том, что изменение степени поляризации во времени и вдоль вспышечной петли может быть объяснено наличием продольной питч-угловой анизотропии нетепловых электронов.

#### ***Используемая литература***

*1. Fleishman G.D., Kuznetsov A.A. – Fast gyrosynchrotron codes, Astrophys. J., 2010, 1127-1141.*

---

\*

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

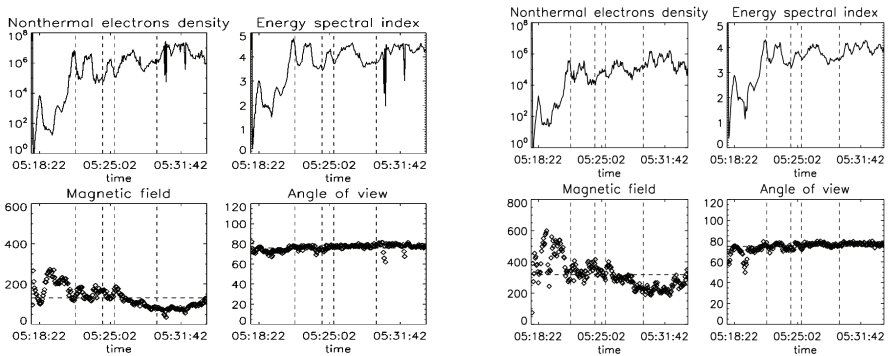


Рисунок 1 – Временные профили восстановленных значений концентрации нетепловых электронов, магнитного поля, показателя энергетического спектра и угла зрения для нижнего основания вспыхивающей петли в предположении изотропного (слева) и продольного (справа) пичч-углового распределений.

**Основные публикации:**

1. Morgachev A.S., Kuznetsov S.A., Melnikov V.F. Radio Diagnostics of the Solar Flaring Loop Parameters by Direct Fitting Method // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2014, Vol. 54, №7, pp.1-10.
2. Моргачев А.С., Кузнецов С.А. Мельников В.Ф. Инверсия поляризации микроволнового излучения и радиодиагностика параметров вспыхивающей петли // *Труды всероссийской конференции «Солнечная и солнечно-земная физика – 2013»*, ГАО РАН, Санкт-Петербург, 2013, стр. 157-160.
3. Morgachev, Alexander; Melnikov, Victor; Kuznetsov, Sergey «Recovering of flare loop parameters from microwave and hard X-Ray characteristics of a flare loop» // *40th COSPAR Scientific Assembly. Held 2-10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract D2.5-52-14.*
4. Моргачев А.С., Мельников В.Ф. Анизотропия ускоренных электронов во вспыхивающей петле как причина инверсии поляризации микроволнового излучения // *Сборник тезисов девятой ежегодной конференции «Физика плазмы в солнечной системе»*, ИКИ РАН, Москва, 2014, стр. 29.



**Показано по результатам статистического исследования 277 уединенных корональных выбросов массы (КВМ) за 2013 год, что наиболее развитым потенциально геоэффективным КВМ типа гало и частичное гало на часовом интервале перед регистрацией на коронографе предшествует микроволновое спорадическое излучение – широкополосные, продолжительностью более 10 минут, радиопредвестники КВМ.**

**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)*

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.

Для анализа выбирались уединенные корональные выбросы масс, т.е. такие, 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 атмосфере Солнца.

В 2013 году, близком к максимуму 11-летнего цикла солнечной активности, таких событий наблюдалось 277. Для более тщательного анализа из приведенного массива данных были выбраны КВМ типа гало и частичное гало – всего 70 КВМ. Проведено сопоставление характеристик радиоизлучения с положением источника КВМ на диске Солнца по данным о координатах активных областей и рентгеновских всплесков.

Получено:

- спорадическое радиоизлучение предшествует 21 событию КВМ на видимой стороне диска Солнца,
- предшествующее спорадическое радиоизлучение не обнаружено для 46 событий КВМ на обратной стороне диска Солнца,

---

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

- события КВМ на видимой стороне диска Солнца, для которых не обнаружено предшествующее спорадическое излучение, составили 3 события. Из них 2 события произошли на краю диска Солнца, где наблюдается ослабление радиоизлучения, и 1 событие – чрезвычайно слабое (Very Poor Event), согласно Каталогу КВМ.

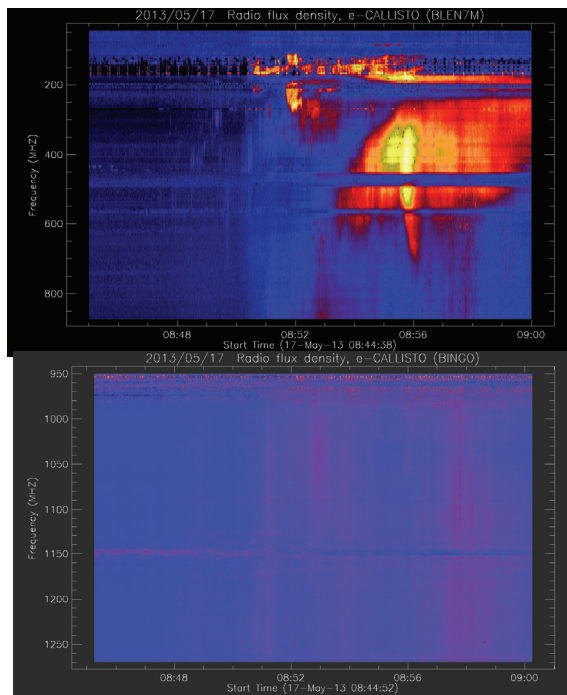


Рисунок иллюстрирует существование радио предвестников для КВМ типа гало 17 мая 2013 года, 09:12:10.

Широкополосное спорадическое радиоизлучение наблюдается в большей части исследуемого диапазона – от 1400 МГц до 150 МГц в течение, по крайней мере, 30 минут до регистрации КВМ на LASCO/C2.

### Основные публикации:

1. Sheiner Olga, Fridman Vladimir A set of phenomena in the solar radioemission prior to the powerful energy release (flares and Coronal Mass Ejections) // The 40th COSPAR Scientific Assembly, Moscow, 2-10 August 2014. Abstract AD2.5-0060-14.
2. Sheiner Olga; Fridman Vladimir An experimental bases for the creation of radioastronomical method of short-term Coronal Mass Ejections forecasting // 11th European Space Weather Week, November 17 - 21, 2013. Liege, Belgium. Final Programme & Abstract Book.

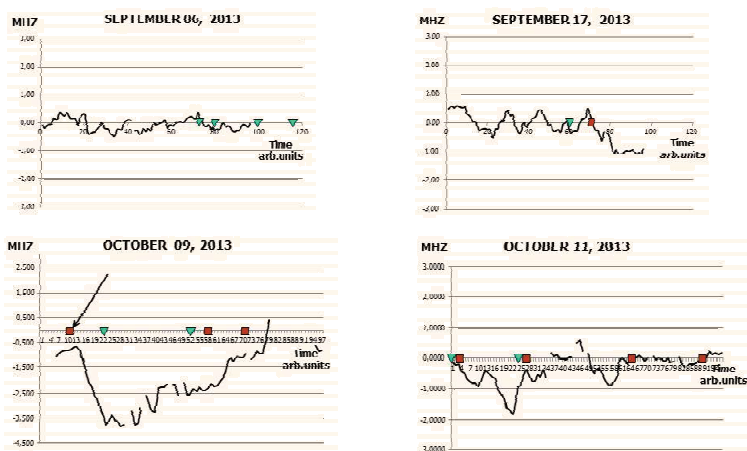
Подтверждено обнаруженное ранее влияние корональных выбросов массы (КВМ) на дифференциальные параметры верхней ионосферы  $\Delta f_0F2$  по данным критических частот  $f_0F2$  за сентябрь-октябрь 2013г., определяемых из единообразных ионограмм, полученных с современного цифрового ионозонда CADI.

Существует отрицательная производная во временном поведении отклонения  $f_0F2$  после возникновения КВМ типа петля.\*

*О. А. Шейнер, Ф. И. Выборнов, А. В. Першин, В. М. Фридман, А. В. Рахлин (ФГБНУ НИРФИ)*

Ранее авторы предложили процедуру обнаружения влияния КВМ на дифференциальные параметры верхней ионосферы  $\Delta f_0F2$ , как более чувствительный по сравнению с традиционными метод. Для проверки обнаруженного соотношения мы использовали в предлагаемом исследовании данные критических частот  $f_0F2$ , определяемые из единообразных ионограмм, полученных с современного цифрового ионозонда CADI. Это ионозонд установлен на загородном полигоне ФГБНУ НИРФИ «Васильсурск» (под Нижним Новгородом) и позволяет осуществлять регулярный съем ионограмм вертикального зондирования в дежурном режиме. Точность определения критической частоты меньше  $\pm 50$  кГц.

На нижеприведенных рисунках проиллюстрированы результаты анализа данных зондирования ионосферы в период сентябрь-октябрь 2013 года: наблюдаются совпадения времен существования КВМ и отрицательных отклонений в  $\Delta f_0F2$ .



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

**Основные публикации:**

1. *Sheiner Olga, Vybornov Feodor, Pershin Alexsander, Fridman Vladimir, Rakhlin Alexander Effect of solar Coronal Mass Ejections on the ionosphere // The 40th COSPAR Scientific Assembly, Moscow, 2-10 August 2014. Abstract D2.3-0046-14.*
2. *Sheiner O., Vybornov F., Pershin A., Rakhlin A., Fridman V. The Impact of Coronal Mass Ejections on the Density of Ionosphere // 11th European Space Weather Week, November 17 - 21, 2014. Liege, Belgium. Final Programme & Abstract Book.*

Зарегистрировано существенное волнообразное с амплитудой до 20% изменение регулярного поведения суточного хода критической частоты слоя F2 ионосферы в наблюдениях в период с 09.09 по 16.09.2014 г. с помощью современного цифрового ионозонда CADI, расположенного на территории загородной лаборатории «Васильсурск» ФГБНУ НИРФИ.

Такое поведение может быть объяснено геоэффективным влиянием солнечной активности на характеристики ионосферной плазмы: эффект наблюдается в период регистрации резкого увеличения солнечной активности.\*

*Ф. И. Выборнов, О. А. Шейнер, А. В. Першин, А. В. Рахлин,  
О. В. Абузярова (ФГБНУ НИРФИ)*

Цифровой ионозонд CADI, развернутый на территории загородной лаборатории «Васильсурск» и введенный в регулярную эксплуатацию в 2013г., представляет собой новое поколение приборов для исследования параметров верхней атмосферы Земли методами вертикального зондирования с применением современных способов формирования и последующей обработки сигналов с целью повышения достоверности получаемой информации.

На Рис.1 приведен суточный ход критической частоты слоя F2 ионосферы за 09-16.09.2014 г.

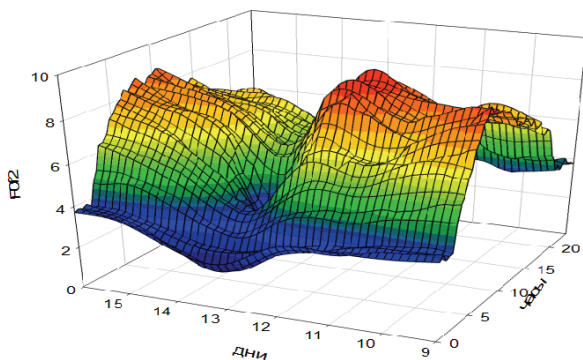


Рисунок 1

Рисунки 2 и 3 отражают ход солнечной активности и характер ее влияния на магнитосферу Земли.

---

\* Результат направлен также в Научный совет РАН «Солнце-Земля», секции «Физика ионосферы» и «Физика магнитосферы», Научный совет РАН по распространению радиоволн

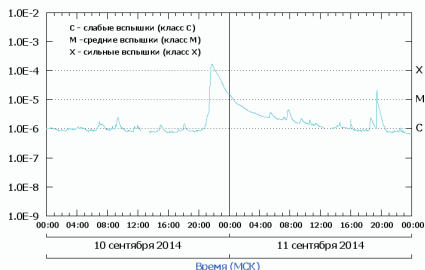


Рисунок 2 – Рентгеновское излучение Солнца с 10 сентября по 11 сентября 2014 года по данным спутника GOES-15

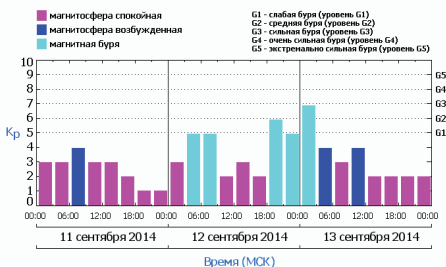


Рисунок 3 – Магнитные бури <http://www.thesis.lebedev.ru/>

Полученные авторами результаты являются логическим продолжением начатых ими же ранее исследований геоэффективности процессов, происходящих на Солнце, в которых в качестве объекта воздействия выступала ионосферная плазма, а инструментом для изучения ее параметров служили станции вертикального зондирования ионосферы АИС и Базис, работавшие до начала 2000-х годов на полигонах института (см., например, *Выборнов Ф.И., Митякова Э.Е., Рахлин А.В., Фридман В.М., Шейнер О.А., Зырянова М.С. О связи проявлений солнечной активности с характеристиками естественных ионосферных возмущений // Геомагнетизм и аэрномия, 2001, т.41, №2, с.215-217.*

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

Путём поляризационных измерений диффузного радиоизлучения Галактики в направлениях области повышенной поляризации G147+9 и северного полюса мира G123+27.4 на частоте 151.5 МГц получены доказательства наличия составляющей в масштабе градусов дуги в угловом распределении параметров Стокса галактического радиоизлучения, которая отсутствует в опубликованных результатах интерферометрических поляризационных измерений, проведённых в том же диапазоне частот при помощи систем апертурного синтеза WSRT и LOFAR. В области G147+9 величина яркостной температуры поляризованной компоненты составила  $2.4 \pm 0.4$  К, позиционного угла плоскости поляризации  $11^\circ \pm 16^\circ$ , в G123+27.4 – соответственно  $2.10 \pm 0.15$  К,  $102^\circ \pm 5^\circ$ .

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

Невозможно корректно определить поляризационную яркостную температуру и позиционный угол плоскости поляризации диффузного галактического радиоизлучения без знания абсолютных значений параметров Стокса  $Q$  и  $U$ , для получения которых необходим учёт низких пространственных частот. Этот учёт требует дополнительных поляризационных наблюдений с одиночной антенной, являющейся фильтром низких пространственных частот, размером не менее минимальной базы в соответствующих интерферометрических наблюдениях. Полученный результат важен как для галактической (изучение локальной межзвёздной среды), так и для внегалактической астрономии (поиск линии водорода 21 см, излучённой в эпоху реионизации при  $6 < z < 12$  и смещённой в диапазон 100–200 МГц).

**Основные публикации:**

1. Виняйкин Е.Н. // *Изв. Вузов, Радиофизика*. 2012. Т.55. № 7. С. 485.

**Публикации по теме:**

1. M. Iacobelli M., M. Haverkorn, P. Katgert. *Astron. Astrophys.*, v.549, A56, 2013.
2. V. Jelić, A.G. de Bruyn, M. Mevius et al. *Astron. Astrophys.*, v.568, A101, 2014.



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

Разработаны алгоритмы и методика определения координат космических аппаратов (КА) в околоземном пространстве по их собственному излучению, а также проведен анализ решения обратной задачи – калибровки РСДБ по сигналам навигационных КА с квазишумовым спектром, находящихся в ближней зоне интерферометра.\*

*Н. А. Дугин, М. Б. Нечаева (ФГБНУ НИРФИ)*

*Д. А. Адамчик (ННГУ)*

Проведенный анализ показал, что есть два условия, зависящих от отношения  $B/r$ , выполнение которых определяет вид условных уравнений для решения обеих задач:  $(B/2r_0)^2 \ll 1$  и  $BR_0/r \ll c \cdot \delta\tau$ ; здесь  $B$  – база,  $r$  – расстояние до источника,  $r_0$  – расстояние от центра базы интерферометра до источника,  $R_0$  – расстояние от центра Земли до центра базы интерферометра,  $c$  – скорость света,  $\delta\tau$  – инструментальная ошибка. При выполнении обоих неравенств расчеты ведутся по стандартным соотношениям для дальней зоны. При выполнении только первого условия используются соотношения для промежуточной зоны, близкие соотношения для дальней зоны. При невыполнении этих условий – ближняя зона и необходимо пользоваться общими соотношениями для радиус-векторов пунктов.

Рассмотрены алгоритмы решения прямой и обратной задач астрометрии методом РСДБ при произвольном расположении источника излучения. При решении обеих задач был применен модифицированный метод наименьших квадратов (метод Левенберга-Маркарда). Эффективность решений проверена в обработке данных экспериментов по калибровке РСДБ НИРФИ.

Проанализированы варианты приемного РСДБ комплекса для измерения положения объектов в околоземном космическом пространстве. Полученные результаты при дальнейшей работе могут служить основой для разработки наземных РСДБ комплексов для контроля положения КА в ближнем космосе.

#### **Основные публикации:**

*Дугин Н. А., Адамчик Д. А., Нечаева М. Б. Применение РСДБ для определения положения источника излучения в околоземном пространстве // Всероссийская радиоастрономическая конференция ВРК-2014, г. Пуцино МО, 22-26 сентября 2014, Тезисы докладов, С.119-120.*

---

\* Результат направлен также в Научный совет РАН по астрономии, секция «Радиотелескопы и методы»

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

**Создан рабочий макет рупорной антенны из графеносодержащего углекомпозитного материала на диапазон частот 1,6 ГГц. Измерения электромагнитных параметров (КСВН, ДН, КУ) показали, что СВЧ антенна, впервые полностью выполненная из углекомпозитных материалов, работоспособна и имеет характеристики, аналогичные характеристикам металлической антенны-образца, существенно выигрывая в весе и стабильности механических и электромагнитных параметров в широком диапазоне температур.**

**Аналоги неизвестны.**

*Н. А. Дугин, В. В. Чугурин (ФГБНУ НИРФИ)*

*Т. М. Заборонкова (ФГБОУ ВПО НГТУ)*

*Е. Н. Мясников (ФБОУ ВПО ВГАВТ).*

В лабораторных условиях измерены электромагнитные параметры рабочего макета антенны из углекомпозитных материалов и металлической антенны-образца (на Рис. 1, 2 антенны показаны вместе):

- коэффициент стоячей волны (КСВН) в двух ортогональных плоскостях в полосе частот 1400-1700 МГц;
- диаграммы направленности (ДН) в Н-плоскости на частоте 1450 МГц;
- коэффициенты усиления (КУ) в двух ортогональных плоскостях на четырех частотах в полосе 1450-1600 МГц.

Показано, что:

1. наблюдается удовлетворительное совпадение КСВН в большей части рабочей полосы;
2. ДН двух антенн идентичны в пределах ошибок измерений;
3. антенны практически идентичны по КУ.

Антенны и другие СВЧ-устройства из углекомпозитных материалов могут полностью заменять металлические аналоги, имея существенные преимущества по ряду основных параметров (вес, долговечность, температурная стабильность и т.д.). В зависимости от условий изготовления графеносодержащие углекомпозитные материалы могут обладать анизотропной электропроводностью, что может существенно влиять на распространение электромагнитных волн в волноводах и рассеяние их на решетчатых дипольных структурах, а также позволяют достигать требуемых на практике электродинамических параметров антенно-фидерных устройств.

Результаты работы могут быть реализованы на предприятиях радиотехнического профиля, изготавливающих антенны и антенно-фидерные устройства различного назначения, а также при создании радиоастрономических и космических СВЧ антенн.



Рисунок 1.



Рисунок 2.

**Основные публикации:**

1. Дугин Н. А., Заборонкова Т. М., Мясников Е. Н., Чугурин В. В. Антенно-фидерное СВЧ устройство из углекомпозитного материала и способ его изготовления. Заявка на изобретение. Сентябрь 2014г.
2. Zaboronkova Tatyana, Dugin Nikolai, Myasnikov Evgenii Microwave Horn Antenna Made of a Graphene-Containing Carbon Composite Material, EuCAP 2015: #1570041775.
3. Дугин Н. А., Заборонкова Т. М., Мясников Е. Н., Чугурин В. В. Разработка и исследование параметров рупорной СВЧ антенны из углекомпозитных материалов. Всероссийская радиоастрономическая конференция ВРК-2014, г. Пуцино МО, 22-26 сентября 2014, доклад вне программы.

Проанализированы особенности работы РСДБ при приеме сигналов со сложной частотной и временной структурой. Корреляционная обработка квазишумовых сигналов позволяет получить достоверные значения пространственной задержки и частоты интерференции, но только в пределах дискрета задержки. Учет особенностей спектра сигналов позволяет повысить точность измерений. Проведены эксперименты по приему сигналов навигационных аппаратов СРНС ГЛОНАСС и GPS.

*Н. А. Дугин, М. Б. Нечаева (ФГБНУ НИРФИ)*

*С. А. Назаров (ННГУ)*

Проводимые в ФГБНУ НИРФИ эксперименты на РСДБ-сети по приему сигналов навигационных аппаратов СРНС ГЛОНАСС и GPS выявили ряд особенностей как работы с сигналами со сложным спектром, так и в интерпретации результатов. Это обстоятельство потребовало более точного теоретического исследования эффектов, возникающих из-за сложной частотной и временной структуры подобных сигналов.

Исследованы особенности корреляционной обработки радиоинтерферометрических данных (РСДБ) при приеме фазоманипулированных сигналов навигационных космических аппаратов (НКА) систем ГЛОНАСС/GPS. По результатам теоретических расчетов и по данным, полученным в ходе экспериментов по РСДБ-приему сигналов со сложным спектром, показано, что работа радиointерферометра (РСДБ) по сигналам с квазишумовым спектром НКА СРНС практически идентична работе по шумовым внеземным источникам. В то же время учет особенностей спектра принимаемого сигнала позволяет повысить точность измерений пространственной задержки и частоты интерференции.

**Основные публикации:**

*Дугин Н. А., Нечаева М. Б. О некоторых особенностях корреляционной обработки сигналов со сложным спектром // Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов «Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек». Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2014 (в печати).*

Предложено простое и наглядное геометрическое представление структуры силовых линий электрического поля на сфере в дальней зоне элементарного излучателя линейной поляризации в виде обобщенного элемента Гюйгенса (ОЭГ) с произвольным отношением  $\rho$  магнитного дипольного момента к электрическому.

Показано, что линии электрического поля ОЭГ можно представить в виде окружностей, образованных пересечением единичной сферы и пучка плоскостей, ось которого параллельна оси электрического диполя и пересекает ось ОЭГ на расстоянии  $\rho$  от центра сферы. Условиями ортогональности полей двух ОЭГ является взаимная перпендикулярность осей их электрических диполей и инверсное соотношение для дипольных моментов:  $\rho_2 = 1/\rho_1$ .

*В. И. Абрамов (ФГБНУ НИРФИ)*

Одной из важнейших характеристик излучателей линейной поляризации является форма линий электрического поля на сферической поверхности, расположенной в дальней зоне. Предложенный алгоритм построения силовых линий ОЭГ (Рис. 1) основан на геометрической интерпретации выражения для единичного вектора  $\mathbf{p}_0$  электрического поля в дальней зоне в гармоническом режиме, представленного в неортогональном аффинном базисе, зависящем от точки наблюдения  $\mathbf{u}$ :

$$\mathbf{p}_0 = \frac{(\rho \mathbf{n} + \mathbf{u})\alpha - \mathbf{e}(1 + \rho\gamma)}{\sqrt{(1 + \rho\gamma)^2 + \alpha^2(\rho^2 - 1)}},$$

( $\alpha$ ,  $\gamma$  – направляющие косинусы единичного вектора  $\mathbf{u}$ ).

Структура силовых линий поля излучения ОЭГ в дальней зоне представляет собой бесконечный набор окружностей, образованных пересечением сферы единичного радиуса и пучка плоскостей. Ось пучка параллельна оси электрического диполя и пересекает ось ОЭГ (расположенного в центре сферы) на расстоянии  $\rho$  позади него. Структура силовых линий ОЭГ определяется лишь одним безразмерным параметром  $\rho = p^m / (Z_c p^e)$  описывающим отношение модулей моментов магнитного и электрического диполей. Параметр  $\rho$  изменяется от  $-\infty$  до  $+\infty$ . При  $\rho \geq 0$  главный лепесток диаграммы направленности ОЭГ направлен в сторону орта нормали  $\mathbf{n}$ .

Структура силовых линий электрического поля вертикально поляризованного ОЭГ (для четырех видов) и их эволюция при изменении параметра  $\rho$  от 0 до  $\infty$  показаны на Рис. 2. Величины параметра 0, 1 и  $\infty$  соответствуют электрическому диполю, элементу Гюйгенса и магнитному диполю.

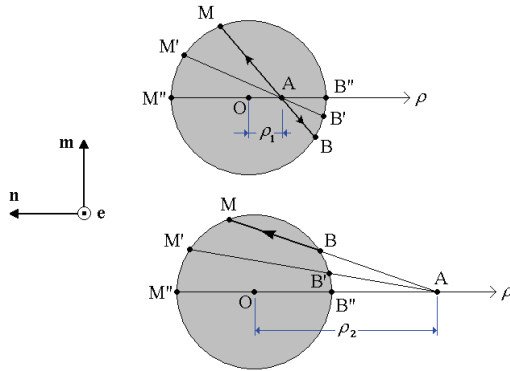


Рисунок 1 – Алгоритм построения силовых линий ОЭГ в плоскости, перпендикулярной орту  $e$  электрического диполя. Вверху – для  $0 \leq \rho < 1$ , внизу – для  $\rho > 1$ . ОЭГ расположен в точке  $O$ .

	$\rho$	0	1	2	3	4	5
0	Вид		ЭД $\rho = 0$	$\rho = 0.5$	ЭГ $\rho = 1$	$\rho = 2$	МД $\rho = \infty$
1	$\uparrow m$ $\leftarrow n$ сверху						
2	$\uparrow e$ $\leftarrow n$ сбоку						
3	$\uparrow e$ $\leftarrow m$ спереди						
4	$\uparrow e$ $\leftarrow m$ сзади						

Рисунок 2 – Структура силовых линий электрического поля вертикально поляризованного ОЭГ для пяти величин параметра  $\rho$ .

**Основные публикации:**

Абрамов В.И. Геометрическое представление структуры силовых линий поля излучения обобщенного элемента Гюйгенса // Изв. ВУЗов «Радиофизика», 2014 (направлена в печать).



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

Экспериментально исследован механизм образования возмущения электронной концентрации вне области резонансного взаимодействия мощных радиоволн с ионосферной плазмой. Исследования возмущений на высотах нижней ионосферы при отражении мощных радиоволн, излучаемых стендом СУРА, в F-области проводились в утренние, дневные и вечерние часы в весенне-осенние сезоны в годы с низкой и высокой солнечной активностью. При нагреве ионосферы в зенит и в направлении магнитного зенита короткими (2–5 секунд) и длинными (5–10 минут) интервалами с эффективной мощностью 50–120 МВт радиоволнами обыкновенной поляризации зарегистрированы изменения высотно-временных характеристик пробных (диагностических) радиоволн. Появление диффузных и квазирегулярных дополнительных сигналов как обыкновенной, так и необыкновенной поляризации на частоте 2,95 МГц связано с ростом электронной концентрации области E при нагреве ее проходящими мощными радиоволнами и развитием неоднородной структуры. Одновременное появление при нагреве сигналов обратного ракурсного рассеяния в диапазоне частот 2,5–6,5 МГц обусловлено рассеянием пробных радиоволн на искусственных неоднородностях с поперечными размерами сотни метров, связанных с распространением возмущения на 40–150 км вниз с высоты отражения мощной радиоволны.

*Н. В. Бахметьева, В. Л. Фролов, В. Н. Бубукина, В. Д. Вяхирев, Е. Е. Калинина, Г. П. Комраков (ФГБНУ НИРФИ)  
А. Д. Акчурина, Е. Ю. Зыков (Казанский федеральный Университет)*

Выполнен цикл экспериментальных исследований влияния нагрева на нижнюю ионосферу – области E и F1. Нагрев производился радиоволнами обыкновенной или необыкновенной поляризации на частотах 4,3, 4,7 и 5,6 МГц с эффективной мощностью 50–120 МВт. Зондирование ионосферы пробными (диагностическими) радиоволнами проводилось одновременно в двух наблюдательных пунктах: методом вертикального импульсного зондирования на частоте 2,95 или 4,7 МГц в пункте, расположенном на расстоянии 1 км от нагревного стенда, и методом многочастотного (2,5–6,5 МГц) наклонного импульсного зондирования в пункте, расположенном в 170 км к востоку от него на практически широтной радиотрассе (пункт «Обсерватория» Казанского (Приволжского) федерального университета).

По изменениям высотно-временных характеристик пробных радиоволн зарегистрировано возмущение электронной концентрации нижней ионосферы

на высотах ниже высоты отражения мощной волны на 40–150 км. Эффект нагрева не зависел от наклона диаграммы направленности нагревного стенда.

Во время сеансов нагрева на высотах как ниже, так и выше зеркального отражения пробной волны через 3–20 с после начала нагрева возникали дополнительные диффузные отражения пробных радиоволн как обыкновенной, так и необыкновенной поляризации, связанные с искусственным воздействием на ионосферу. Возмущения возникали как при длительных (5–10 минут, Рис.1) так и при более коротких (5–10 с, Рис.2) интервалах воздействия. При коротких нагревах наблюдался эффект последствия, когда амплитуда сигнала достигала максимального значения через 5–10 с после окончания нагрева, и эффект накопления, когда наблюдался рост амплитуды сигнала в каждом последующем сеансе нагрева. Наиболее вероятно, что такие особенности развития во времени эффектов нагрева обусловлены развитием плазменных неустойчивостей.

Установлено, что на пробные волны частотой 2,95 МГц оказывало влияние возмущение E-слоя ионосферы и нижней части слоя F1. Появление во время нагрева дополнительных сигналов могло обеспечиваться ростом электронной концентрации в нижней ионосфере при нагреве и усилением ее неоднородной структуры.

В октябре 2014 г. в утренние часы при вертикальном зондировании ионосферы на высоте 100–115 км, то есть вблизи максимума E-области, через 20–30 с были зарегистрированы отражения, пропадавшие после окончания нагрева за такое же время. Оценки по профилям электронной концентрации, восстановленным из ионограмм вертикального зондирования, показали, что эти сигналы появляются вследствие роста электронной концентрации на 5–6%. Пробная волна в паузе отражалась на высоте 150 км (в слое F1), нагревная волна – на высоте 190–200 км (в слое F2).

На частоте пробной волны 4,7 МГц проявления нагрева в высотнo-временных характеристиках пробных радиоволн не обнаружено.

При наклонном зондировании возмущенной области в диапазоне частот 2,5–6,5 МГц в пункте приема «Обсерватория» Казанского (Приволжского) федерального университета при нагреве появлялись сигналы обратного ракурсного рассеяния от вытянутых вдоль геомагнитного поля неоднородностей плазмы с поперечными размерами 50–150 м, которые, по расчетам, занимали область истинных высот от 120 до 210 км при высоте отражения мощной волны 250–280 км. Таким образом, область, занятая искусственными неоднородностями с поперечными размерами сотни метров, занимает по высоте не менее 100–150 км ниже высоты отражения мощной волны. Рассеянные сигналы регистрировались также на ионограммах вертикального зондирования.

Ниже на Рис.1 приведен фрагмент зависимости амплитуды пробного сигнала вертикального зондирования на стенде СУРА частотой 2,95 МГц от высоты и времени 8 октября 2014 г. Желтым цветом указаны периоды нагрева

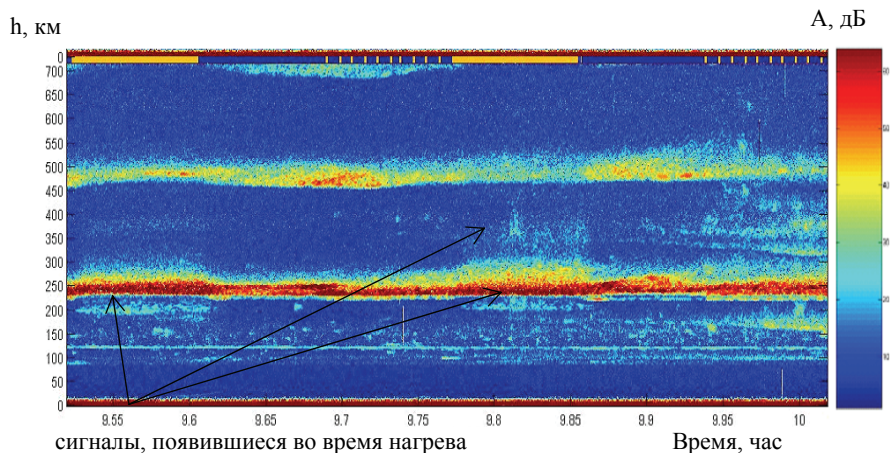


Рисунок 1.

На Рис.2 приведен фрагмент зависимости амплитуды пробного сигнала вертикального зондирования на стенде СУРА частотой 2,95 МГц от высоты и времени 24 марта 2010 г., иллюстрирующий эффекты последействия и накопления в изменении амплитуды сигнала.

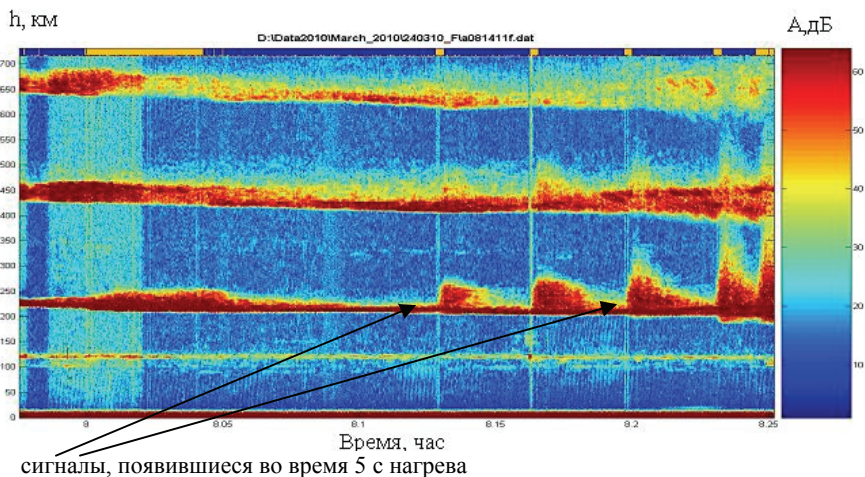


Рисунок 2.

**Основные публикации:**

1. *Bakhmetieva Nataliya and Frolov Vladimir. Formation of artificial plasma perturbations in the lower ionosphere: results of the experimental studies using SURA heating facility. –International Scientific Conference “Science of the Future”, St. Petersburg, 17-20 September, 2014. Proceedings on CD, No 35.*
2. *Бахметьева Н.В., Фролов В.А., Вяхирев В.Д., Калинина Е.Е., Акчурин А.Д., Зыков С.Ю. Нагревные явления в нижней ионосфере. Результаты экспериментальных исследований методом обратного рассеяния радиоволн на искусственных и естественных неоднородностях ионосферной плазмы // Труды XXIV Всероссийской научной конференции «Распространение радиоволн», Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, 2014. Т.3. С.33-36.*

Проведено экспериментальное исследование дополнительного нагрева ионосферы по отношению к созданию искусственных периодических неоднородностей, образующихся в поле стоячей волны при воздействии на ионосферу мощным радиоизлучением. Обнаружено, что при дополнительном нагреве ионосферы радиоволной обыкновенной поляризации на частоте 4,3 МГц и создании неоднородностей на частотах 4,7 и 5,6 МГц амплитуда сигналов, рассеянных периодическими неоднородностями в D- и E-областях ионосферы уменьшалась на 10 дБ и более вплоть до полного пропадания сигнала. При этом значительно возрастала диффузность зеркального отражения от области F. Заметного изменения времени релаксации искусственных периодических неоднородностей не наблюдалось. Уменьшение амплитуды рассеянного сигнала связано с уменьшением интенсивности периодической структуры вследствие возникновения при нагреве неперодических неоднородностей разных масштабов, нарушающих условие резонансного рассеяния радиоволн на этой структуре. Дополнительный нагрев радиоволной необыкновенной поляризации не вызывал уменьшения амплитуды рассеянного сигнала.

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

Эксперименты выполнены в сентябре 2014 г. Традиционная схема измерений с созданием искусственных периодических неоднородностей (ИПН), которая включает в себя нагрев в течение 3 с и последующую паузу в 12 с, была дополнена режимом нагрева (+1, -2 мин.), то есть в течение одной минуты производился нагрев ионосферы, а в течение двух следующих минут была пауза в работе стенда. Таким образом, применялся дополнительный (по отношению к образованию неоднородностей) нагрев ионосферы в указанном режиме. Создание и диагностика ИПН осуществлялись одним передатчиком стенда СУРА радиоволнами необыкновенной поляризации на частоте 4,7 МГц в 2004 г. и частоте 5,6 МГц в 2014 г. в обычном режиме – трехсекундный нагрев с последующим импульсным зондированием на стадии релаксации ИПН, а дополнительный нагрев проводился двумя передатчиками стенда на частоте 4,3 МГц радиоволнами обыкновенной поляризации.

Такая методика измерений позволила исследовать вопрос о влиянии дополнительного (по отношению к созданию ИПН) нагрева ионосферы на амплитуду и время релаксации рассеянного сигнала. Было обнаружено, что дополнительный нагрев заметно влиял на амплитуду сигнала, рассеянного ИПН. Так, при нагреве амплитуда сигналов, рассеянных периодическими неоднородностями в E- и D-областях, уменьшалась на 10 дБ и более, иногда до полного пропадания сигнала. На частоте 4,7 МГц уменьшение амплитуды

было выражено сильнее. Наблюдавшийся эффект связан с уменьшением интенсивности стоячей волны, образующейся в результате интерференции падающей и отраженной от F-области мощных радиоволны. Периодические неоднородности ионосферной плазмы возникают в поле стоячей радиоволны под действием неравномерного нагрева. Уменьшение ее интенсивности обусловлено рассеянием радиоволн на непериодических неоднородностях плазмы разных масштабов, всегда возникающих в области отражения мощной радиоволны обыкновенной поляризации. В результате искажение периодической структуры должно было приводить к уменьшению амплитуды рассеянного сигнала. О применимости такой интерпретации свидетельствовало значительное увеличение при нагреве ионосферы диффузности сигнала, зеркально отраженного от F-области. Дополнительный нагрев не повлиял на время релаксации (пропадания) рассеянного сигнала в процессе исчезновения периодических искусственных неоднородностей. При дополнительном нагреве радиоволной необыкновенной поляризации уменьшения амплитуды рассеянного сигнала не наблюдалось.

Ниже приведены примеры влияния дополнительного нагрева на амплитуду сигнала, рассеянного искусственными периодическими неоднородностями.

На Рис.1 показан высотный профиль средней за сеанс нагрева (красная кривая) и паузы (черная кривая) амплитуды рассеянного сигнала для измерений 3.09.2014 в сеансе 19:13:46.

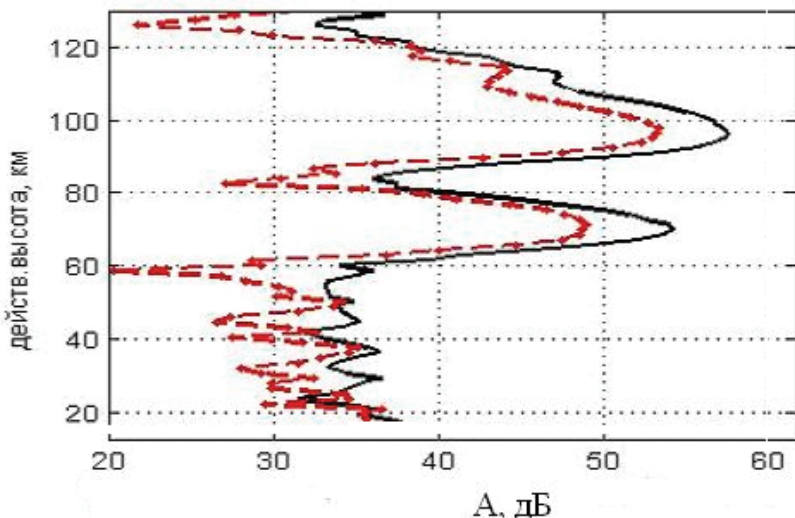


Рисунок 1.

На Рис. 2 приведен пример процесса релаксации рассеянного сигнала при дополнительном нагреве ионосферы (желтый прямоугольник на верхней оси) в координатах действующая высота  $h$ -амплитуда-время для измерений 3.09.2014

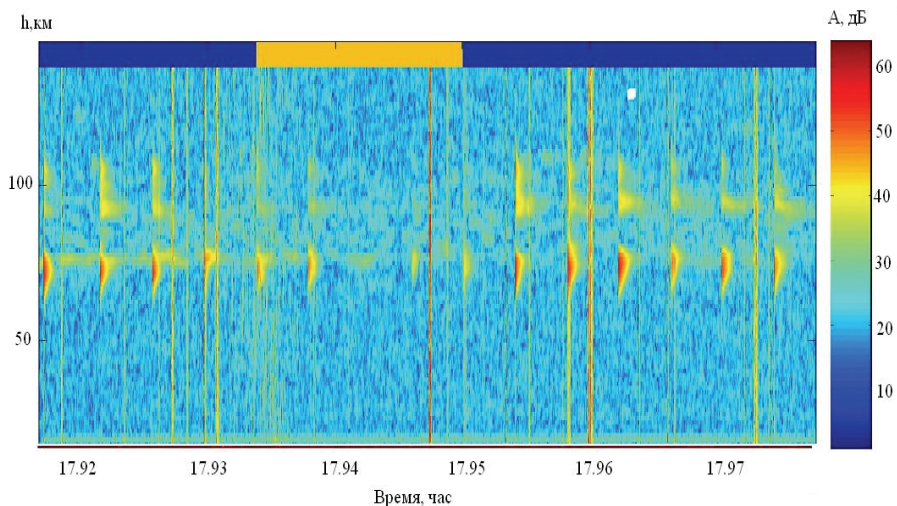


Рисунок 2.

**Основные публикации:**

*Бахметьева Н. В., Вяхирев В. Д., Калинина Е. Е. Влияние дополнительного нагрева ионосферы на характеристики сигнала, рассеянного искусственными периодическими неоднородностями. (Статья готовится к публикации в журнале Известия вузов. Радиофизика)*



Выполнен цикл теоретических работ с целью экспериментальной диагностики когерентных структур на высотах мезосферы и нижней термосферы, которые представляют собой вихревые упорядоченные образования, возникающие в нижней ионосфере Земли под действием неоднородного горизонтального и вертикального ветра и внутренних гравитационных волн. Рассмотрено влияние вихревых образований на характеристики сигнала, рассеянного искусственными периодическими неоднородностями, создаваемыми при возмущении ионосферы мощным высокочастотным радиоизлучением. Показано, что при существовании на высотах нижней ионосферы когерентных структур, увлекаемых горизонтальным ветром, частота радиоволны, рассеянной искусственными периодическими неоднородностями, будет периодически возрастать и убывать по отношению к частоте радиоволны, используемой для создания и диагностики неоднородностей. Вихревое движение среды с осью вращения, перпендикулярной вертикальному направлению распространения возмущающей волны и оси образования искусственных периодических неоднородностей, влияет на время их релаксации после прекращения воздействия на ионосферу и ухудшает возможности их диагностики в результате нарушения условий пространственного синхронизма между квазипериодической структурой и диагностической волной. Найдено, что в E-области ионосферы турбулентные вихри, заметно нарушающие синхронизм, в условиях экспериментов на стенде СУРА должны иметь период не более 80 с, а частотная расстройка может составить 50 Гц. Регистрация частотной расстройки и уменьшения времени релаксации рассеянного сигнала по сравнению с диффузионным временем позволяет обнаруживать когерентные структуры в нижней ионосфере и оценивать их параметры.

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

*В. Г. Лапин (ФГБНУ НИРФИ, ННГАСУ)*

Исследованы вариации амплитуды, времени релаксации и частоты сигнала, рассеянного искусственными периодическими неоднородностями (ИПН), образующимися при возмущении ионосферы мощным высокочастотным радиоизлучением, под влиянием упорядоченных вихревых структур, существующих в нижней ионосфере Земли. Рассмотрены вихревое движение среды относительно горизонтальной оси и увлечение вихревой структуры (цепочки вихрей) горизонтальным ветром. Такие движения приводят к

отличию частоты сигнала, рассеянного неоднородностями, от частоты мощной волны, используемой для их создания, и уменьшению времени релаксации рассеянного сигнала в Е-слое ионосферы по отношению к времени разрушения неоднородностей под действием амбиполярной диффузии (из-за нарушения условий пространственного синхронизма для рассеяния падающей на периодическую структуру волны). В результате вихревого движения среды изменяется пространственный период искусственных периодических неоднородностей ионосферной плазмы в направлении распространения зондирующей волны, и появляется зависимость фазы периодической структуры от поперечной координаты  $\Delta\varphi \approx kx \cdot \sin(\Omega t)$ , где  $k=2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  – длина радиоволны, зондирующей периодическую структуру,  $n$  – показатель преломления,  $\Omega$  – угловая скорость вращательного движения среды.

Увлечение цепочки вихрей горизонтальным ветром вызывает изменение частоты рассеянного сигнала на величину  $\Delta\omega \approx 2kR\Omega$ , где  $R$  – радиус вихря. Таким образом, частота сигнала, рассеянного неоднородностями, зависит от угловой скорости вращения вихря. Для условий эксперимента с ИПН на стенде СУРА при  $\lambda=60$  м, радиусе вихря  $R=1000$  м и  $\Omega=0,4$  с<sup>-1</sup> получим  $\Delta\omega=50$  Гц, что можно обнаружить в эксперименте. Для тех же параметров время релаксации неоднородностей составит 0,25 с, в то время как измеренные диффузионные времена на исследуемых высотах составляют 1–2 с. Кроме того, вынос неоднородностей из объема рассеяния приводит к заметному уменьшению амплитуды рассеянного сигнала за время  $\Delta t \geq l \cdot V^{-1} \approx 100$  с ( $l=10$  км,  $V=100$  м/с). Таким образом, по измеренным характеристикам зондирующих сигналов, рассеянных искусственными периодическими неоднородностями, можно обнаружить наличие или отсутствие упорядоченных вихревых структур на ионосферных высотах и оценить их характеристики.

#### **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. 2014. Т.57. № 5. С. 400–412. (Bakhmet'eva N.V., Grigor'ev G.I., Lapin V.G. On the Impact of Eddy Motions in the Mesosphere and Lower Thermosphere on the Evolution of the Signal Scattered by Artificial Periodic Irregularities // Radiophysics and Quantum Electronics (2014). 360 0033-8443/14/5705-0360. Springer, New York. DOI 10.1007/s11141-014-9519-4.
2. Бахметьева Н.В., Григорьев Г.И., Лапин В.Г. О влиянии турбулентных и регулярных движений в мезосфере и нижней термосфере на характерные времена радиосигналов, рассеянных искусственными периодическими неоднородностями // Доклад на XXIV Всероссийской конференции «Распространение радиоволн», 29 июня – 5 июля 2014 г., г. Иркутск, Институт солнечно-земной физики РАН. Сборник трудов конференции. Т. 3. С. 29–32.
3. Бахметьева Н.В., Григорьев Г.И., Лапин В.Г. Когерентные структуры в нижней ионосфере – новый метод экспериментального исследования // Доклад на Международной научной конференции «Трансформация волн, когерентные структуры и турбулентность» (MSS-14) б г. Москва, ИКИ РАН, 24 – 27 ноября 2014 г. Сборник трудов конференции. С. 345–350.

Исследована динамика спектров геомагнитных пульсаций на необычно высоких частотах (в т.ч. выше шумановского резонанса, 8 Гц), впервые обнаруженных на среднеширотном пункте Новая Жизнь ( $L=2.6$ ) во время сильной магнитной бури 07-14.11.2004. На основании анализа данных и результатов расчетов сделан вывод о том, что зарегистрированные сигналы по своему происхождению являются высокочастотным аналогом пульсаций  $Pc1$  и связаны с генерацией ионно-циклотронных волн в магнитосфере на необычно низких широтах, обусловленных, вероятно, смещением на эти широты плазмопаузы во время сильной магнитной бури.

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

*А. Г. Яхнин, Т. А. Яхнина (ПГИ КНЦ РАН)*

*А. Г. Демехов (ИПФ РАН)*

Для интерпретации частот наблюдавшихся эмиссий использованы данные низкоорбитальных спутников *NOAA*, регистрирующих локализованные высыпания энергичных (30-80 кэВ) протонов (ЛВЭП), и расчеты однопроходового циклотронного усиления электромагнитных ионно-циклотронных (ЭМИЦ) волн. Сопоставлены амплитудные и поляризационные характеристики спектров изучений в диапазоне частот до 15 Гц на станциях Новая Жизнь и Ловозеро ( $L=5.2$ ). Показано, что регистрация колебаний магнитного поля в частотном диапазоне 7-15 Гц коррелирует с наблюдениями ЛВЭП и протонных сияний на геомагнитных широтах  $CGLat=50-57^\circ$  ( $L=2.42-3.37$ ). Показано также, что при достаточно высокой анизотропии пичч-углового распределения протонов кольцевого тока на таких низких геомагнитных широтах, частотный спектр наблюдаемого высокочастотного излучения хорошо согласуется с рассчитанным положением максимума однопроходового циклотронного усиления ЭМИЦ волн.

На Рис.1 приведены спектрограммы магнитных компонент «высокочастотных  $Pc-1$ » за 10-11.11.2004 (верхняя панель), данные спутников *NOAA* по регистрации локализованных протонных высыпаний в 01:16 UT 10 ноября (нижняя левая панель), однопроходовый коэффициент усиления ионно-циклотронных волн на низких геомагнитных широтах (нижняя правая панель).

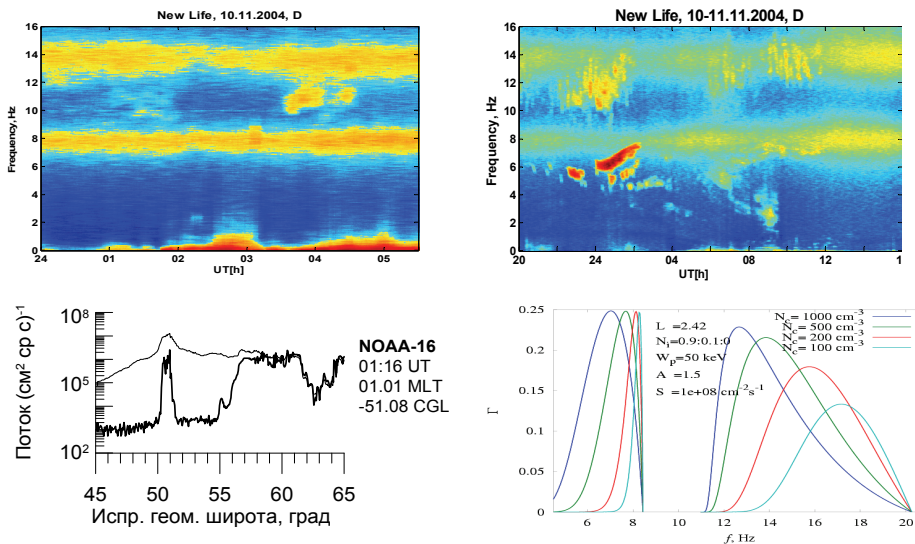


Рисунок 1.

**Основные публикации:**

1. Ермакова Е.Н., Котик Д.С., Яхнин А.Г., Яхнина Т.А., Демехов А.Г. Исследование особенностей спорадических излучений магнитосферного происхождения в частотном диапазоне до 15 Гц // Тезисы Девятой Ежегодной Конференции «Физика Плазмы в Солнечной Системе», 10 - 14 февраля 2014 г., с.117, ИКИ РАН
2. Ermakova E., Kotik D., Yahnin A., Yahnina T., Demekhov A. High-frequency "Pc1" during the geomagnetic storm of November 2004 // 40th COSPAR Scientific Assembly 2014, Moscow, Abstract D3.1-0044-14.

Проанализировано распространение магнитогравитационных волн (МГВ) в приэкваториальной области ионосферы с учетом ее конечной проводимости. Анализ полученных дисперсионных соотношений показал, что в условиях ионосферного слоя F2 существуют две распространяющиеся моды МГВ: высокочастотная и низкочастотная. Для них получены дисперсионные соотношения и определены характерные частоты и скорости распространения. Исследованы спектральные особенности возмущений смещения среды для МГВ, генерируемых модельным источником массы. Полученные результаты применены для оценки значений спектральных компонент магнитогравитационных возмущений плотности, давления и магнитного поля, вызываемых горизонтальным пролетом метеора. Выполненные оценки можно использовать при анализе ионосферных возмущений, возбуждаемых высокоэнергичными геофизическими источниками.

*Г. И. Григорьев (ФГБНУ НИРФИ)*

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

Анализ распространения магнитогравитационных волн (МГВ) в условиях ионосферы выполнен на основе линейных уравнений магнитной гидродинамики. Учтены конечная электропроводность среды и горизонтально направленное геомагнитное поле. Для упрощения расчетов была выбрана изотермическая модель атмосферы. В качестве источников волновых возмущений использованы модельные источники массы и силы, сосредоточенные в ограниченной области пространства и гармонически изменяющиеся во времени. Получено неоднородное дисперсионное уравнение МГВ. Выполнен его численный анализ, который позволил определить спектральные характеристики генерируемых возмущений, скорости и направление их распространения. Оказалось, что высокочастотная мода в диапазоне 2,1-3,2 МГц распространяется без заметного затухания для длин волн, превышающих 230 км, и характеризуется скоростями в интервале 550-4700 м/сек. Для низкочастотной моды значения фазовой скорости изменяются в диапазоне 130-470 м/сек. Выполненные оценки планируется использовать при анализе ионосферных возмущений, генерируемых высокоэнергичными источниками.

***Основные публикации:***

*Grigoriev G.I., Barhatov N.A., Barhatova O.M. Geomagnetism and Aeronomy, 2014, v.54, No.6, pp.819-831, 832-840.*

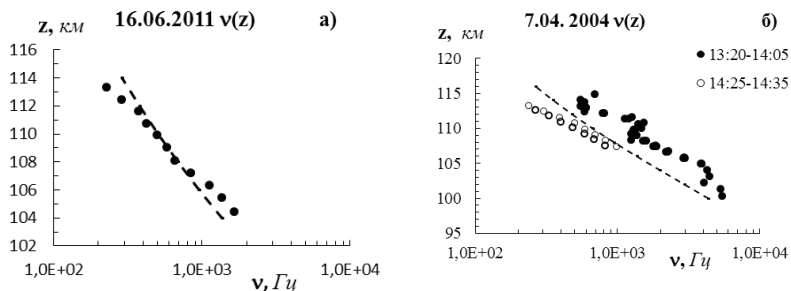
Впервые представлены экспериментальные данные о частоте ионно-молекулярных соударений на высотах Е-слоя ионосферы, полученные методом резонансного рассеяния радиоволн на искусственных периодических неоднородностях ионосферной плазмы. Временные изменения  $\nu_{in}(t)$  отражают волновые процессы, происходящие в области верхней мезосферы – нижней термосферы: распространение внутренних гравитационных волн и приливных волн. Высотные зависимости волновой возмущенности  $\nu_{in}(z)$  близки к модельным значениям, если уровень атмосферной волновой возмущенности невелик. Значительные отклонения от модельных значений (на 300-500 Гц) могут быть связаны с процессами горизонтального или вертикального переноса воздуха или с развитием неустойчивостей.

*А. В. Толмачева (ФГБНУ НИРФИ)*

Полученные результаты измерений частоты ионно-молекулярных соударений методом резонансного рассеяния радиоволн на искусственных периодических неоднородностях находятся в русле современных экспериментальных данных и им не противоречат. Ошибки определения частоты соударений ионов с молекулами составляли 20–25 %.

Высотно-временные изменения  $\nu_{in}(t)$  связаны с атмосферными волновыми процессами, происходящими в области верхней мезосферы – нижней термосферы: прохождением внутренних гравитационных и приливных волн.

Не обнаружено уверенной зависимости частоты соударений от солнечной и магнитной активности на высотах 95-115 км. Предполагается, что вариации атмосферных параметров, обусловленные солнечной и геомагнитной активностью в умеренных широтах, меньше, чем волновые колебания, маскирующие зависимости от геомагнитной и солнечной активности. Рисунки иллюстрируют высотные зависимости  $\nu_{in}(z)$ . Пунктиром показаны величины, рассчитанные по атмосферной модели.



#### **Основные публикации:**

*Толмачева А.В. Результаты измерений частоты соударений ионов с молекулами в нижней термосфере методом резонансного рассеяния радиоволн на искусственных периодических неоднородностях. 2014, принята к печати в журнале «Известия вузов. Радиофизика».*

Исследования свойств крупномасштабных искусственных ионосферных неоднородностей (с размерами поперек линий геомагнитного поля порядка нескольких километров) позволили установить, что:

1. при модификации  $F_2$ -области ионосферы мощными радиоволнами O-поляризации, когда они отражаются вблизи максимума слоя, эти неоднородности имеют наибольшую интенсивность (десятки процентов) в области магнитного зенита;

2. при модификации  $F_2$ -области ионосферы мощными радиоволнами обеих поляризаций имеет место усиление их генерации на краю диаграммы направленности пучка мощных радиоволн (эффект края диаграммы).

*В. Л. Фролов (ФГБНУ НИРФИ)*

*В. Е. Куницын, А. М. Падохин (МГУ)*

*А. Д. Акчурин (КФУ)*

**Основные публикации:**

*Фролов В.Л., Болотин И.А., Комраков Г.П., Першин А.В., Вертоградов Г.Г., Вертоградов В.Г., Вертоградова Е.Г., Куницын В.Е., Падохин А.М., Курбатов Г.А., Акчурин А.Д., Зыков Е.Ю. Генерация искусственных ионосферных неоднородностей при воздействии на среднеширотную ионосферу Земли мощными КВ радиоволнами X-поляризации // Изв. вузов. Радиофизика, 2014. Т. 57, № 6, с. 437-463.*

Впервые проведены экспериментальные исследования кругосветного распространения коротких радиоволн с помощью новой техники наклонного зондирования ионосферы. Определены частотно-временные интервалы прохождения прямых кругосветных сигналов (ПКС), их амплитудно-частотные и угловые частотные характеристики. Предложен механизм распространения и трансформации кругосветных сигналов за счет рефракции радиоволн на поперечных градиентах электронной концентрации в области сближения двух оптимальных трасс, проходящих через передатчик и приемник, каждая из которых составляет наименьший угол с терминатором. Показано, что предложенный механизм хорошо согласуется с экспериментально наблюдаемым эффектом изменения азимута прямого кругосветного сигнала на временном интервале его прохождения на трассе Кипр – Ростов-на-Дону и с отсутствием изменения азимута ПКС на трассе Алис Спрингс (Австралия) – Ростов-на-Дону. Установлено, что для сверхдальнего распространения коротких радиоволн на трассах Вирджиния (США) – Йошкар-Ола и Пуэрто Рико – Йошкар-Ола (дальности ~ 8000-10000 км) наилучшие условия распространения имеют место, когда трассы проходят в освещенной ионосфере вблизи границы с терминатором, составляя с ним небольшой угол ~ 10-25°.

*В. П. Урядов, А. А. Понятов (ФГБНУ НИРФИ)*

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

*В. В. Шумаев, А. Г. Чернов (ООО «СИТКОМ», Йошкар-Ола)*



Во время мощной рентгеновской вспышки класса X1.9 в 9:40 UT 24 сентября 2011 г. зарегистрировано синхронное уменьшение уровня радиосигналов вещательных станций на среднеширотных трассах евроазиатского континента на величину  $\sim 35-65$  дБ в зависимости от частоты, протяженности и ориентации трассы. Установлено, что за несколько минут до блэкаута на всех трассах наблюдалось синхронное резкое возрастание доплеровского смещения частоты радиосигналов. На различных частотах всплеск доплеровского смещения частоты (ДСЧ) достигал значений  $\sim 10-20$  Гц. Далее следовали квазипериодические (с периодами  $\sim 20-30$  с) флуктуации доплеровского смещения частоты с убывающей амплитудой. Первый максимум ДСЧ совпадал с моментом времени максимальной скорости изменения потока рентгеновского излучения. Эта особенность является предвестником как сильных, так и более слабых эффектов блэкаута. Исследована динамика изменения во времени модельных профилей электронной концентрации в нижней ионосфере, рассчитанных по результатам измерения напряженности поля дециметровых радиоволн на трассе Москва–Ростов-на-Дону во время рентгеновской вспышки. Показано, что для момента времени, соответствующего периоду вспышки рентгеновского излучения электронная концентрация на высотах  $\sim 65-80$  км превышала невозмущенный уровень от 10 до 100 раз.

*В. П. Урядов (ФГБНУ НИРФИ)*

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

Представлены результаты экспериментов по приему сигналов станда СУРА в диапазоне 9 МГц на космическом аппарате WIND. Предложена и реализована методика определения временного спектра неоднородностей электронной концентрации  $N$  магнитослоя на масштабах  $\leq 100$  км на основе спектра мерцаний в рамках теории слабого рассеяния радиоволн. С учетом данных прямых измерений  $N$  на космических аппаратах с временным разрешением  $\geq 3$  сек установлено, что внутренний масштаб турбулентности магнитослоя меняется в пределах (10-90) км со средним значением порядка 30 км.

*Ю. В. Токарев (ФГБНУ НИРФИ)*

**Разработан механизм формирования тонкой структуры спектра регулярного шумового фона в диапазоне короткопериодных геомагнитных пульсаций.**

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

Тонкая структура спектра (ТСС) была обнаружена в 1992 году по наблюдениям регулярного шумового фона в диапазоне короткопериодных геомагнитных пульсаций на о.Крит (Греция). В отличие от двух других ранее обнаруженных спектральных структур (резонансная структура спектра – РСС, широкополосный спектральный максимум – ШСМ) ТСС является нелокальной. Это означает, что параметры ТСС не связаны с ионосферным альвеновским резонатором в точке наблюдения. Новый механизм основан на граничном условии для нестационарного горизонтального ионосферного тока на терминаторе с учетом излучения альвеновских волн. Решена задача о прохождении и отражении крайне низкочастотных полей на терминаторе. При этом происходит перенос резонансных свойств ионосферы в районе терминатора на наблюдаемое поле вне терминатора.

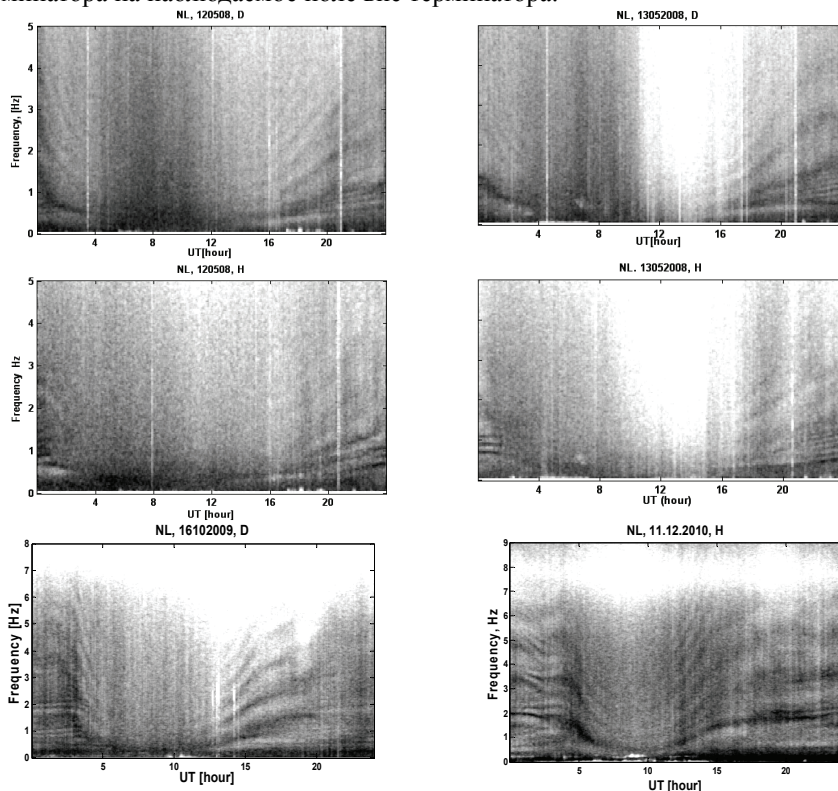


Рисунок 1 – Спектрограммы тонкой структуры спектра регулярного шумового фона

**Основные публикации:**

1. Поляков С.В. *Граничное условие для нестационарного горизонтального ионосферного тока на терминаторе с учетом затекания части тока в верхнюю ионосферу и магнитосферу.* // Изв. ВУЗов. Радиофизика. 2014. т.57, №12

**Выполнены экспериментальные и теоретические исследования морской поверхности в ИК-диапазоне в результате которых установлено, что микропузырьковый воздушный слой под пленкой поверхностного натяжения морской поверхности является индикатором величины теплового потока на границе море-атмосфера. На основе этого предложен метод и разработана радиометрическая ИК-технология обнаружения и экологического мониторинга вулканической и любой другой тепловыделяющей деятельности в морях и океанах.**

*И. Т. Бубукин (ФГБНУ НИРФИ)*

Разработанные в ФГБНУ НИРФИ методы и приборы для исследования физических процессов в пленочном слое взволнованной морской поверхности в ИК-диапазоне позволили исследовать его структуру и обнаружить существенное отличие диэлектрических свойств верхней части пленочного слоя, граничащего с атмосферой, от данных лабораторных измерений. Обнаруженный эффект объясняется наличием под пленкой поверхностного натяжения морской поверхности слоя (толщиной в десятки микрон), заполненного смесью воды и воздуха – микропузырькового слоя. Основная его характеристика – объемная доля воздуха в микропузырьковом слое по данным натурных измерений существенно изменчива.

По данным натурных измерений в прибрежной зоне Черного моря распределение измеренных величин объемной концентрации воздуха в скин-слое ИК-излучения в диапазоне 8-14 мкм (толщиной в десятки микрон) в зависимости от разности температур воды в поверхностном слое температурной пленки ( $T_W$ ) и на глубине 1 м ( $T_{воды}$ ) максимальна при наибольшей по абсолютной величине разности температур и падает при ее уменьшении, что характеризует продуцирование воздушных микропузырьков в процессе конвективного переноса.

Полный тепловой поток на границе море-атмосфера пропорционален градиенту температуры в пограничном слое, который определяется по температурам в скин-слоях морской поверхности в ИК ( $T_W$ ) и сантиметровом ( $T_W^{см}$ ) диапазонах, и по данным натурных измерений составлял  $\approx (120 \div 180) \text{Вт}/\text{м}^2$ .

Так как  $(T_W - T_{воды})$  включает в себя  $(T_W - T_W^{см})$ , то концентрация воздуха в микропузырьковом слое может быть индикатором величины теплового потока на границе море-атмосфера.

Актуальной является задача обнаружения и экологического мониторинга вулканической активности на океанском дне. При остывании  $\sim 200$  тонн базальтовой лавы на  $500^\circ$  в течении 100 сек тепловая мощность, выделяемая в

воду, составляет  $P_{\text{воды}} \sim 1$  Гвт. В стационарной ситуации, если скорости теплового переноса по горизонтали и вертикали одинаковые, выделяемое тепло должно распространяться вверх внутри конуса с углом при вершине  $\sim 90^\circ$ . При глубине моря в месте извержения 2 км, тепловой поток выходит на поверхность на площади  $S \sim 16 \text{ км}^2 = 1.6 \cdot 10^7 \text{ м}^2$ . Тогда тепловой поток от вулканической активности на поверхности составит  $\approx 60 \text{ вт/м}^2$ . Эта величина сравнима с фоновыми значениями, и радиометрическая система ИК-диапазона, измеряющая параметры микропузырькового слоя, способна по их изменению обнаруживать и следы вулканической активности на морской поверхности, вызванные остыванием лавовых потоков.

#### **Основные публикации:**

1. Бубукин И.Т. Экологический мониторинг вулканической активности на дне океана дистанционным радиометрическим методом по изменчивости микропузырькового слоя в скин-слое ИК-диапазона на морской поверхности // Труды III Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды» г. Санкт-Петербург, 2014 г., Т.2, С.29-33,
2. Бубукин, И.Т. Дистанционная диагностика пленочного слоя морской поверхности в инфракрасном диапазоне/ И.Т. Бубукин, К.С. Станкевич// Радиотехника и электроника.- 2012.- Т.57. -№10.- С.1089-1098.
3. Бубукин, И.Т. Влияние микропузырькового воздушного слоя под плёнкой поверхностного натяжения морской поверхности на тепловые потоки в системе морская поверхность – атмосфера по одновременным измерениям собственных излучений этих сред в ИК и СВЧ диапазонах/ И.Т. Бубукин, К.С. Станкевич// Методы и устройства передачи и обработки информации.- 2013. – № 15(15). - С.28-33.

Показано, что в физических исследованиях фрактальной структуры ионосферной плазмы целесообразно ориентироваться на современный метод обработки нестационарных сигналов MF-DFA (multifractal-detrended fluctuation analysis) наряду с использованием метода многомерных структурных функций (МСФ).

Установлено, что применение популярных в настоящее время методов вейвлет-преобразования при проведении анализа результатов радиозондирования неоднородной структуры ионосферы выявило ряд трудностей:

а) выбор вейвлета значительно влияет на линейность скейлинговой кривой;

б) построение мультифрактального спектра по данным вейвлет-обработки оказалось не всегда возможным из-за значительной погрешности в оценке показателя скейлинга.

Показано, что применение простого комплексного вейвлет-преобразования может иметь некоторые преимущества перед методом максимумов модулей вейвлет-преобразования (ММВП) по той причине, что:

а) характеризует весь набор данных на анализируемом интервале;

б) результат обработки не зависит от какого-либо критерия поиска скелетона для извлечения «эффективных» коэффициентов вейвлет-преобразования.

в) скейлинговая кривая оказывается более «гладкой», чем при обработке методом ММВП.

Следует отметить, что квазиоднородная структура корреляционной функции слабых флуктуаций амплитуды сигналов, принимаемых при дистанционном зондировании ионосферы сигналами ИСЗ, воспроизводит такую же структуру слабых флуктуаций фазы этих сигналов на выходе неоднородного ионосферного слоя. Поскольку быстрые флуктуации фазы сигналов в ионосфере обусловлены мелкомасштабной неоднородной структурой ионосферной плазмы, то, исследуя мультифрактальную структуру флуктуаций амплитуды принимаемых на Земле сигналов, мы фактически получаем информацию о структуре мелкомасштабной ионосферной турбулентности.

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

### **Основные публикации:**

1. Выборнов Ф.И., Рахлин А.В. Экологические проблемы ионосферы // В сборнике трудов I Всероссийской научной конференции "Экология и космос" имени К.Я. Кондратьева, 7 февраля 2014 года, Санкт-Петербург).
2. Выборнов Ф.И., Першин А.В., Рахлин А.В. Особенности исследований мультифрактальной структуры мелкомасштабной ионосферной турбулентности с использованием вейвлет-преобразования // Девятая ежегодная конференция Физика плазмы в Солнечной системе 10-14 февраля 2014 г., Москва, ИКИ РАН.
3. Выборнов Ф.И., Першин А.В., Рахлин А.В. Особенности исследований ионосферной турбулентности с использованием методов вейвлет-преобразования // В сборнике научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды», 16-17 апреля 2014 года, г. Санкт-Петербург.



## **Обнаружено и исследовано неравновесное радиоизлучение атомов и молекул верхней атмосферы, индуцированное мощным КВ излучением стенда СУРА.**

*А. В. Троицкий, А. В. Востоков, В. Л. Фролов (ФГБНУ НИРФИ)*

Нейтральная компонента верхней атмосферы ( $h > 100$  км) состоит, в основном, из атомов и молекул  $O$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $NO$ ,  $H$ ,  $He$ . Нейтральная компонента может ионизироваться под действием коротковолнового солнечного ультрафиолетового излучения. Кроме ионизации нейтральных компонент верхней атмосферы, может происходить их возбуждение. Состояния атомов, молекул и ионов с большими значениями главного квантового числа  $n$  (вплоть до уровней  $n$  порядка 1000) называется Ридберговскими состояниями. Атомные спектры таких состояний находятся вблизи границы ионизации и характеризуются большим временем жизни – порядка нескольких секунд. Переходы между соседними Ридберговскими состояниями лежат в радиодиапазоне. Отметим, что радиолинии излучения, соответствующие переходам между Ридберговскими состояниями, наблюдаются вплоть до  $n \sim 300$  от областей НП, планетарных туманностей, центральных областей Галактики.

Потенциал ионизации нейтральной компоненты верхней атмосферы (за исключением гелия) составляет величину  $\sim 12 \div 15$  эВ. Если нейтральной компоненте сообщить энергию чуть меньшую энергии ионизации, атомы и молекулы верхней атмосферы перейдут в Ридберговское состояние и начнут излучать э/м энергию в широком диапазоне радиоволн от метрового до микроволнового. В дециметровом диапазоне и ниже спектр такого излучения становится практически сплошным, т.к. расстояния между линиями становятся малыми ( $\Delta\nu \sim 1/n^2$ ), а сами линии расширяются (расщепляются) вследствие различных эффектов (Доплер, Зееман, Штарк и т.д.). Предионизационную энергию нейтральной компоненте можно сообщить столкновениями с электронами, в обычном состоянии энергия которых в ионосфере – десятки доли эВ. Мощное КВ излучение стенда СУРА способно разогреть электроны до энергий  $\sim 10$  эВ. Сталкиваясь с атомами и молекулами нейтральной компоненты, «горячие» электроны могут перевести их в Ридберговское состояние с последующим излучением э/м энергии.

Исследование неравновесного (ридберговского) радиоизлучения атомов и молекул верхней атмосферы, индуцированного мощным КВ излучением стенда СУРА, проводилось на полигоне «Васильсурск». Приём радиоизлучения верхней атмосферы (ионосферы) осуществлялся на частотах 140, 90, 37, 22 и  $1 \div 2$  ГГц. Диаграммы направленности всех антенн синхронизированы с диаграммой направленности стенда СУРА. Неравновесное радиоизлучение ионосферы было обнаружено в диапазоне  $1 \div 2$  ГГц. Яркостная температуры излучения составила величину  $\sim 10 \div 40$  К, что соответствует потоку радиоизлучения  $\sim 3000$  ян.

**В результате экспериментальных и теоретических исследований морской поверхности в ИК-диапазоне показано, что имеющиеся данные натурального эксперимента согласуются с моделью тонкого (по сравнению со скин-слоем ИК-диапазона) микропузырькового слоя с величиной доли воздуха в микропузырьковом слое  $0.5 \div 0.6$  и толщиной слоя  $\sim 2$  мкм.**

*И. Т. Бубукин (ФГБНУ НИРФИ)*

Разработанные в ФГБНУ НИРФИ методы и приборы для исследования физических процессов в пленочном слое взволнованной морской поверхности в ИК-диапазоне позволили исследовать его структуру и обнаружить существенное отличие диэлектрических свойств верхней части пленочного слоя, граничащего с атмосферой, от данных лабораторных измерений. Обнаруженный эффект объясняется наличием под пленкой поверхностного натяжения морской поверхности слоя (толщиной в десятки микрон), заполненного смесью воды и воздуха - микропузырькового слоя.

Первые данные натуральных измерений ранее интерпретировались в однослойной модели оптически толстого однородного микропузырькового слоя с толщиной, по крайней мере, 1.5-2 толщин скин-слоя, состоящего из статистической смеси воды и микропузырьков воздуха, формирующегося под пленкой поверхностного натяжения. Полученные в эксперименте значения отражательной способности позволяли, в рамках однородного слоя, определить концентрацию воздуха в микропузырьковом слое. Изменчивость микропузырькового слоя в этом случае связана с изменением доли воздуха в микропузырьковом слое. Однако всплывающие пузырьки воздуха могут концентрироваться под пленкой поверхностного натяжения, что не учитывается в модели однородного слоя. Это можно учесть в двухслойной модели: оптически тонкий микропузырьковый слой — вода. В этом случае изменчивость связана с толщиной микропузырькового слоя, а доля воздуха остается постоянной и равной максимальной величине доли воздуха в микропузырьковом слое, наблюдавшейся в эксперименте. По данным натуральных измерений ИК-излучений пленочного слоя морской поверхности и приводной атмосферы в рамках однослойной модели максимальная концентрация воздуха в микропузырьковом слое составляла  $\rho_{\max} = 0.57$ .

Создана радиофизическая модель собственного излучения двухслойной поглощающей среды, состоящей из среды с сильным поглощением, покрытой полупрозрачным поглощающим слоем с отличающейся диэлектрической проницаемостью. Аналитическая модель применима для собственного ИК-излучения слоя под пленкой поверхностного натяжения морской поверхности, состоящего из смеси воды и микропузырьков воздуха (микропузырькового слоя) и находящейся под ним водной среды.

**Разработан и апробирован метод повышения характеристик точности в автоматизированных системах калибровки дистанционных измерений параметров микроволнового рассеяния объектов на основе использования модели представления зондируемых калибровочных объектов в виде набора независимых рассеивающих центров. Разработаны алгоритмы и программы обработки результатов измерений, структурная и функциональная схемы автоматизированного измерительного комплекса для проведения испытаний калибровочных объектов, программное обеспечение управления устройством сканирования для проведения испытаний.**

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

Выделение особенностей на поверхности рассеивающих сред при дистанционном зондировании с подвижных носителей, их распознавание, определение характеристик их описания неизбежно требует проведения предварительных экспериментальных исследований, проводимых с разрабатываемой аппаратурой дистанционного зондирования, следовательно, подробного анализа ее инструментальных и методических погрешностей, вносимых в результаты измерений. Использование фазовой информации, получаемой в экспериментах с помощью современных векторных анализаторов цепей, значительно повышают точность измерений характеристик обратного рассеяния в широком диапазоне частот, включая миллиметровый диапазон.

Оценки точности выполняются с помощью испытуемых калибровочных объектов, рассеивающие свойства которых определяются аналитическими методами и методами электромагнитного моделирования, играющими роль средств верификации результатов измерений. Возможность избежать влияния на результаты калибровки отдельных элементов структуры испытательных комплексов реализуется либо алгоритмически, либо использованием радио безэховых камер. С целью сокращения времени испытаний измерительные установки калибровок автоматизируются. При этом важным условием является включение в их состав измерительных приборов дистанционного зондирования с исследованными характеристиками точности. Все вспомогательные элементы установки калибровок также детально исследуются.

Разработан и апробирован метод повышения характеристик точности в автоматизированных системах калибровки дистанционных измерений параметров микроволнового рассеяния объектов на основе использования модели представления зондируемых калибровочных объектов в виде набора независимых рассеивающих центров. Разработаны алгоритмы и программы обработки результатов измерений, структурная и функциональная схемы автоматизированного измерительного комплекса для проведения испытаний

калибровочных объектов, программное обеспечение управления устройством сканирования для проведения испытаний.

Результаты работы позволяют, с незначительной модернизацией, использовать аппаратуру и алгоритмы обработки данных дистанционного зондирования в ближней зоне исследуемых объектов, и, следовательно, значительно расширить сферы применения методов зондирования, например, в область проблем противодействия терроризму, радиовысотометрии, радиовидения, интроскопии различных сред и в ряде других областях технологий.

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

Экспериментально обнаружен эффект самовоздействия в пучке интенсивных акустических волн, имеющих пилообразную форму профиля, приводящий к усилению амплитуды фронта разряжения в отражённых от мягкой границы нелинейных волнах. Для проведения исследований разработан метод и создана экспериментальная установка для определения основных закономерностей трансформации профиля и спектра интенсивного акустического сигнала в непосредственной близости от отражающей мягкой границы.

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

*В.В.Курин (ННГУ)*

Результат получен в ходе экспериментальных исследований взаимодействия интенсивных полей с границами раздела сред. Особое внимание было направлено на эксперименты, связанные с исследованиями пространственного изменения профиля и эволюции спектра интенсивной акустической волны, отражённой от акустически мягкой границы.

Эксперименты проводились на специально разработанной установке (Рис.1).

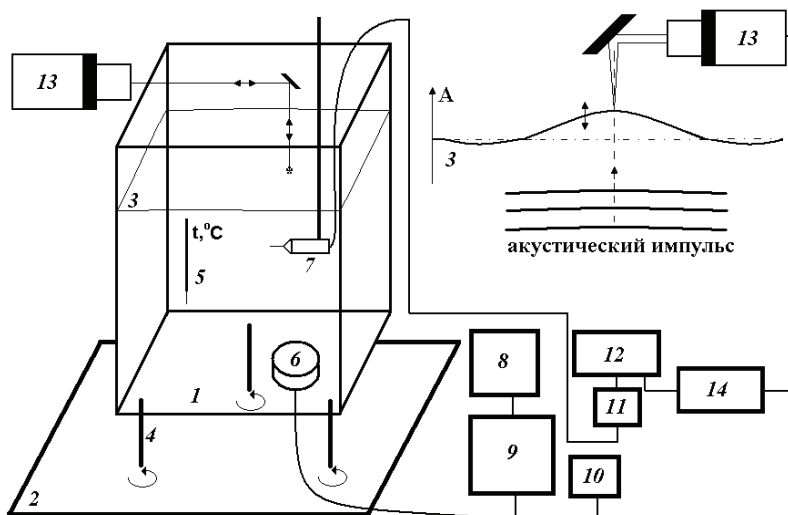


Рисунок 1.

Расстояние между апертурой излучателя и границей (граница раздела вода – воздух) примерно соответствовало координате последнего дифракционного максимума осевого распределения поля на частоте накачки. Интенсивность излучения подбиралась таким образом, чтобы обеспечить нелинейное взаимодействие волн как до, так и после отражения. На Рис 2 представлены результаты абсолютных измерений амплитудных значений фаз сжатия и

разряжения в нелинейных акустических волнах на оси пучка в зависимости от расстояния от апертуры излучателя.

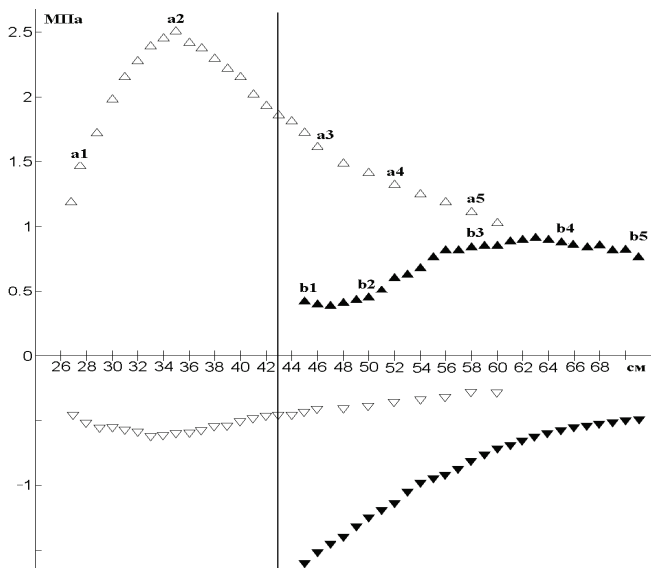


Рисунок 2

Вертикальной прямой на расстоянии 43 см отмечено местоположение границы раздела вода – воздух. Белыми треугольниками изображены результаты измерений амплитудных значений фаз сжатия и разряжения в нелинейных акустических волнах в отсутствии границы раздела. Черными треугольниками представлены результаты для волны, испытавшей отражение.

В работе показано, что противофазное взаимодействие между гармониками в отраженной волне, сформированной до границы, и гармониками, формирующимися после отражения, приводит к существенному изменению ее профиля и спектра, что оказывает определяющее влияние на дальнейшее формирование нелинейных волн, в частности, к усилению амплитуды фазы разряжения непосредственно после отражения. Дальнейшее распространение отраженной волны сопровождается интенсивным нарастанием амплитуды фазы сжатия сигнала и формированием нового ударного фронта. В распределении амплитуд гармоник наблюдается немонотонность спадания в зависимости от их номера. По мере удаления от границы, эта особенность поведения спектра отмечается во все более низкочастотной его части. В качестве примера на Рис. 3 приведены профили и спектры интенсивной волны испытавшей отражение от мягкой границы. Осциллограмма **b1** соответствует суммарному расстоянию в 45 см, пройденному волной (2 см ниже границы раздела после отражения), **b2** – 51 см, **b3** – 58 см, **b4** – 65 см и **b5** – 71 см. По оси ординат отложены десятичные логарифмы от амплитудных компонент

спектра, нормированных на амплитуду первой гармоники, сплошной линией изображена функция  $1/n$ , где  $n$  – номер гармоники сигнала.

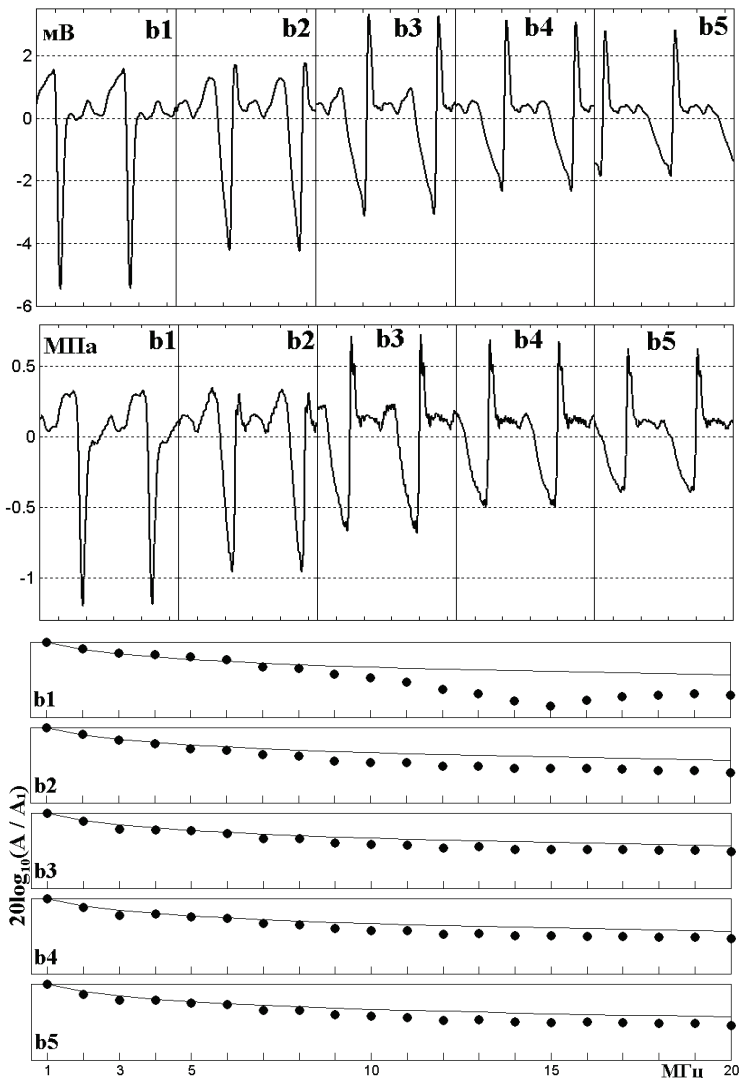


Рисунок 3.

**Основные публикации:**

Касьянов Д.А., Дерябин, Курин В.В. Особенности формирования ударных акустических волн в ограниченных пучках большой интенсивности при наличии мягкой границы в области взаимодействия // Изв. Вузов. Радиофизика, 2014, т. 57, с.291-300



**Впервые в прямом промышленном эксперименте получены доказательства того, что акустический канал, состоящий из плети труб НКТ способен передавать информацию о состоянии забоя эксплуатационной газовой скважины, непосредственно находящейся в состоянии эксплуатации. В ходе проведения экспедиционных работ на Комсомольском газовом промысле были осуществлены успешные спуски автономных скважинных снарядов (АСС) в действующие скважины, закрепление АСС на забое скважины, измерение забойных параметров, передача информации по колонне труб НКТ и приём этой информации на фонтанной арматуре скважин.**

***Д. А. Касьянов, А. В. Ванягин, Е. В. Лебедев, В. А. Жогликов, В. Ю. Беляков, Ю. П. Шангин, М. С. Дерябин (ФГБНУ НИРФИ) В. Т. Фурманчук, И. В. Горский, Д. Е. Чуфырин (НПА ВираРеалтайм).***

Реализована следующая концепция телеметрической системы передачи данных с забоя действующей эксплуатационной газовой скважины.

Телеметрическая система контроля параметров забоя, использующая колонну труб для передачи данных с помощью акустического поля, состоит из наземного модуля приёма и обработки сигнала и спускаемого в колонну труб забойного модуля, в состав которого входит блок измерения забойных параметров, блок управления забойным модулем, блок акустического генератора, устройство соединения и рассоединения с трубой из колонны труб, реализующее функцию фиксации забойного модуля внутри колонны труб, и исполнительный механизм, реализующий функцию создания акустического контакта исполнительного механизма с трубой, а так же блок питания. Исполнительный механизм выполнен с возможностью обеспечения непосредственного акустического контакта с поверхностью внутренней стенки трубы путем прижима к ней выполненного из материала с твёрдостью, превышающей твёрдость материала трубы, элемента с внедрением последнего в материал стенки трубы, блок питания забойного модуля выполнен автономным. Наземный модуль приёма и обработки сигнала выполнен с функцией регистрации параметров информационного сигнала, полученного в одном или нескольких отличных друг от друга частотных диапазонах, и с функцией определения рабочих частотных диапазонов акустического поля путем их выбора внутри частотных полос, в которых уровень естественных и конструктивных шумов в области приёма информативного сигнала на поверхности минимален по отношению к уровню указанных шумов в других частотных полосах.

Данная концепция реализована в опытном образце автономного скважинного снаряда (АСС), представленном на Рис.1, где 1 – Блок механической фиксации (БМФ), 2 – Блок постановщик забойной части (БП), 3 – Измерительный блок (ИБ), совмещённый с акустическим генератором, 4 – Экстрактор (ловильная

цанга). На Рис. 2 показан АСС непосредственно перед монтажом в действующую газовую скважину.

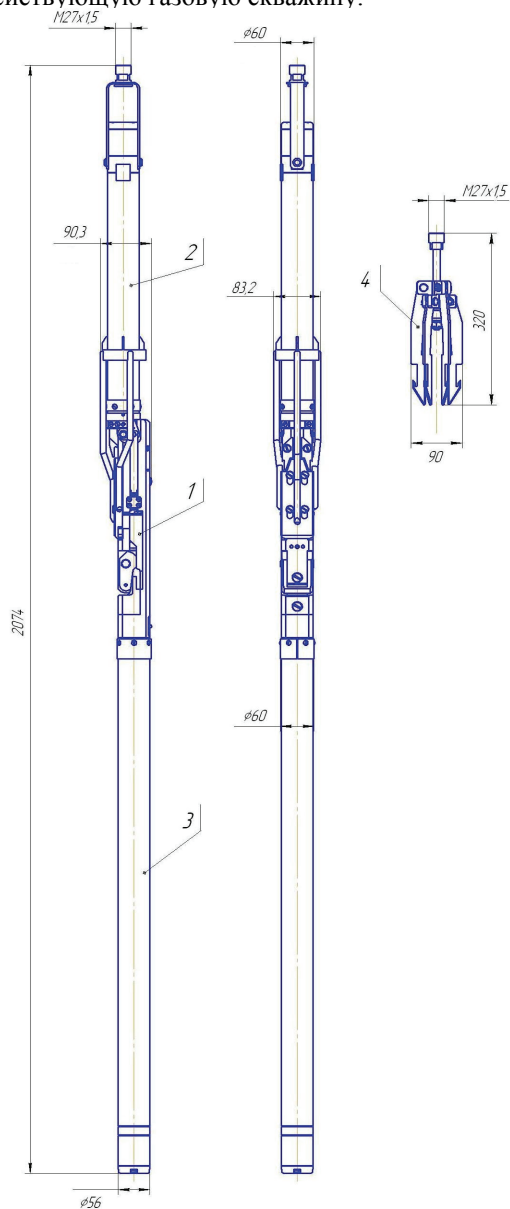


Рисунок 1 – Структура АСС



Рисунок 2 – АСС перед опусканием в скважину

Постановка АСС осуществляется следующим образом.

1. Задаётся расписание работы ПИПЗ, для чего используется беспроводной канал данных.
2. АСС через лубрикатор вводится в скважину и опускается на заданную глубину.
3. В заданный момент времени (должно быть известно время опускания АСС на заданную глубину) срабатывает двигатель в блоке БП, который приводит в действие фиксирующий механизм блока БМФ.
4. При достижении определённого усилия прижима блока БМФ к внутренней стенке НКТ происходит расцепление блоков БП и БМФ.
5. В момент времени, соответствующий времени начала расписания работы БП + время срабатывания блока БП + 10 мин, начать движение геофизическим подъёмником вверх. При этом производится подъём блока БП, который извлекается и может быть использован для дальнейшей постановки других экземпляров АСС.
6. В скважине остаётся БМФ и ИБ, в верхней части БМФ расположено кольцо, ориентированное осесимметрично с трубой НКТ всё время, пока сборка БМФ-ИБ находится в прижатом к стенке скважины состоянии.
7. Сборка может быть извлечена из скважины в произвольное время с помощью экстрактора 4.
8. Экстрактор 4 имеет геометрические размеры и конфигурацию, обеспечивающие ему возможность попадания в кольцо БМФ.
9. При подъёме экстрактора кольцо БМФ фиксируется крючками экстрактора. При дальнейшем подъёме кольцо тянет вверх конструкцию, которая освобождает силовую пружину, создающую усилие прижима, и сборка БМФ-ИБ начинает свободно двигаться вверх по трубе и извлекается через лубрикатор.

В верхней части Рис. 3 показаны 2 образца БМФ: один в собранном состоянии, другой в разобранном. В нижней части Рис.3 показаны также блок БП и экстрактор. На Рис.4 демонстрируется момент извлечения АСС из действующей газовой скважины

Измерение параметров и передача данных АСС на поверхность по беспроводному каналу связи также осуществляется по заданному расписанию. В реализованном в настоящее время варианте измеряются такие физические параметры на забое, как давление и температура, также на АСС существует индикатор наличия воды. В заданное время происходит измерение параметров, параметры кодируются и в виде акустической посылки излучаются в стенку трубы НКТ. Далее информационный акустический сигнал передаётся по звукопроводу, состоящему из плети труб НКТ, и достигает фонтанной арматуры, где принимается с внешней стороны, т.е. никаких датчиков внутрь фонтанной арматуры не вводится. Сигнал декодируется в блоке ЭУС (электронное устройство сопряжения) и полученные данные о физических параметрах передаются в систему телемеханики.

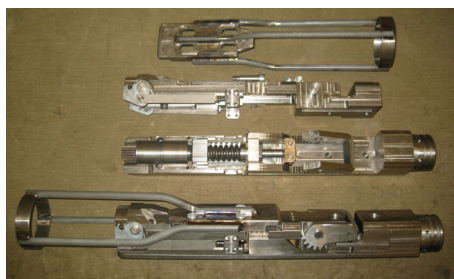
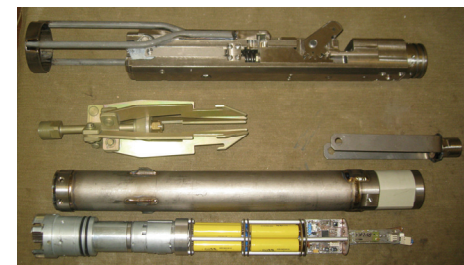


Рисунок 3.



Рисунок 4.



На Рис.5 схематически изображено крепление приёмного датчика на одном из фланцев фонтанной арматуры, где 1 – собственно приёмный датчик, 2 – элемент, обеспечивающий надёжный акустический контакт, 3 – фланец, 4 – опоры хомута, 5 – стяжки хомута. На Рис.6 представлена реализация схемы, показанной на Рис.5.

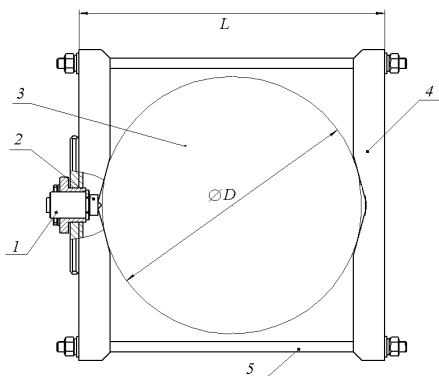


Рисунок 5.



Рисунок 6.

**Основные публикации:**

Касьянов Д.А. и др. Телеметрическая система контроля параметров забоя, Евр. Заявка, Положительное решение ЕАПО от 05.11.2014

Изучена динамика нелинейных характеристик акустического поля, распространяющегося в среде, представляющей собой полимеризующийся компаунд, при учёте зависимости этой динамики от количественного содержания наполнителя. Изучена также динамика нелинейных характеристик акустического поля, распространяющегося в модельной среде, находящейся под нагрузкой, и в которой существует массообмен между фильтрующей жидкой фазой и твёрдым скелетом. Разработаны модельные среды, в которых реализуются перколяционные фазовые переходы, пригодные для физического моделирования реальных природных процессов и разработан и изготовлен экспериментальный стенд для исследования нелинейных явлений в физических полях, при их распространении в средах, находящихся на пороге перколяционного фазового перехода.

*Д. А. Касьянов, А. В. Ванягин, Е. В. Лебедев, В. А. Жогликов, В. Ю. Беляков, Ю. П. Шангин, М. С. Дерябин, В. Е. Сазонов, В. В. Гуцин, С. Н. Рубцов, Т. К. Бяшерава, Е. Х. Куликова, Н. П. Черагин, С. Б. Сперанский (ФГБНУ НИРФИ)*

Цель проведённых исследований – это развитие радиофизических методов исследования гетерогенных материалов и многофазных природных сред, находящихся вблизи структурного фазового перехода перколяционного типа, вызванного изменениями архитектуры связей структурных элементов и изменением их концентрации (диссоциация, ассоциация, растворение, полимеризация). Примерами подобного фазового перехода являются: потеря прочности грунтов (карстовые явления), переход типа завершенная – незавершенная матрица в лёссоподобных структурах, тиксотропный переход в коллоидальных системах, скачкообразное изменение проницаемости нефтегазовых коллекторов и др. Исследования проведены в целях диагностики подобных переходов. Метод исследования: проведение лабораторного моделирования взаимодействия сред, находящихся на пороге структурного фазового перехода, с физическими полями, в частности, с акустическим полем. Для проведения исследований был разработан стенд, реализующий бесконтактный способ снятия информации о параметрах акустического поля. Блок-схема стенда представлена на Рис.1. На Рис. 2 показана фотография установки.

Сигнал возбуждения формируется генератором Tektronix AFG3022 (1), усиливается усилителем Amplifier Research 800A100A (2) и подаётся на плоский пьезокерамический излучатель (3). В качестве сигнала возбуждения используется последовательность радиоимпульсов с периодом следования 20 мс, длительностью 100 мкс и частотой заполнения 150 кГц. Амплитуда напряжения подаваемого на излучатель составляет 300 В. Измерения

производятся в емкости с размерами 11×11×7 см, наполненной эпоксидной смолой ЭД-20.

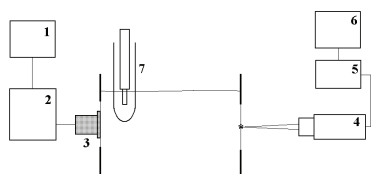


Рисунок 1.

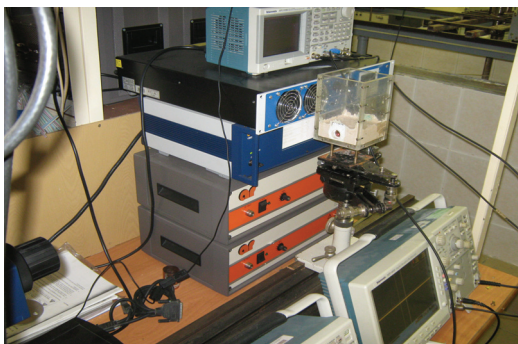


Рисунок 2.

В используемой емкости на противоположных стенках проделаны отверстия, на которые наклеены мембраны толщиной 0.1 мм. Пьезокерамический излучатель крепился на мембрану на внешней стороне емкости. Прием акустического сигнала осуществляется дистанционно лазерным виброметром OFV5000 (4), снимающим колебания с мембраны на противоположной стороне емкости. Точность измерения амплитуды колебательной скорости у данного лазерного виброметра не хуже 1%. После декодера VD02 (5) принятый сигнал регистрируется и записывается с помощью осциллографа Tektronix DPO4032 (6). Дальнейшая обработка полученных в ходе эксперимента осциллограмм осуществляется на персональном компьютере. Температура в исследуемой эпоксидной смоле определяется с помощью термометра (7), имеющего погрешность не хуже 0,1°C. Термометр помещается в полиэтиленовую оболочку, позволяющую производить измерения температуры, в том числе и в затвердевшей смоле. Расстояние между двумя мембранами в кювете составляет  $110 \pm 0.1$  мм. С помощью эталонных жидкостей (дистиллированная вода, этиловый спирт) определяется точность измерения скорости звука с помощью данного стенда, которая составила 1,5%. В качестве иллюстрации далее представлена серия экспериментов по изучению нелинейной акустической динамики затвердевающих компаундов. Эксперименты производились следующим образом: смола (ЭД-20) и отвердитель (ПЭПА) в соотношении 1/20 тщательно перемешивались, сразу после перемешивания производились акустические измерения амплитуды первой, второй и третьей спектральных составляющих принятого сигнала и времени прихода сигнала, измерения продолжались до практически полного затвердевания эпоксидной смолы.

На Рис.3 представлены зависимости скорости звука в эпоксидной смоле в процессе полимеризации, в зависимости от продолжительности эксперимента, и соответствующая температурная зависимость. Как видно из рисунка, при соотношении смолы и отвердителя 1/20 нагрев вещества составляет всего

несколько градусов и приводит к незначительному отклонению скорости звука от начального состояния.

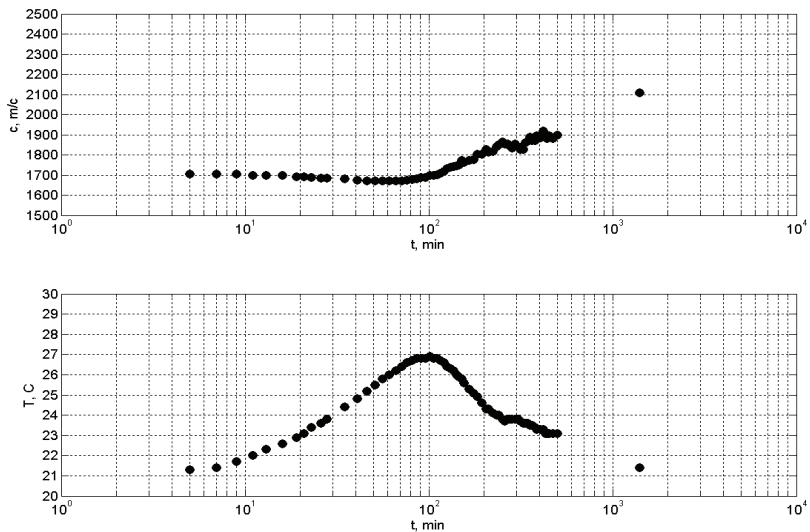
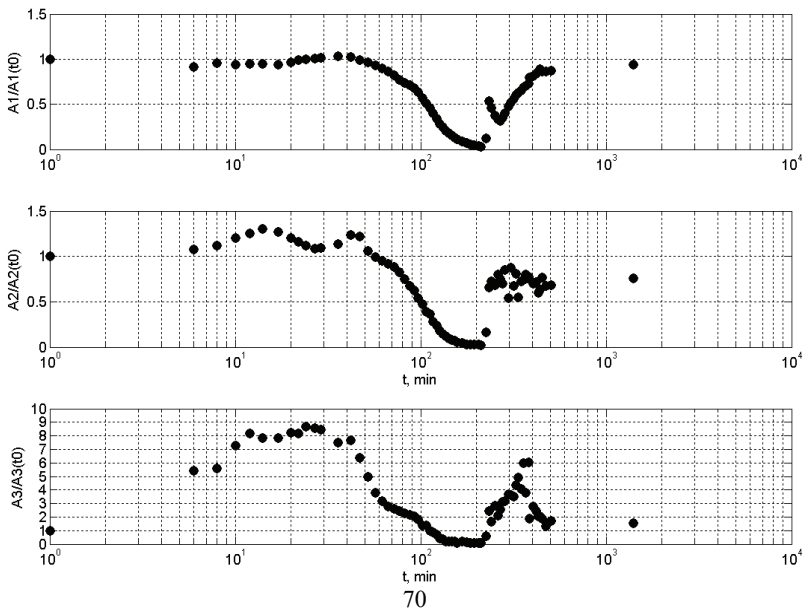


Рисунок 3.

На Рис.4 изображены зависимости амплитуд первой, второй и третьей гармоник принятого сигнала в зависимости от продолжительности эксперимента.



Для удобства амплитуды гармоник на рисунке нормированы на амплитуду гармоник в начальный момент времени. Как видно из графиков, в процессе полимеризации в исследуемой смоле резко возрастает третья гармоника сигнала, что, по-видимому, связано с проявлением кубической нелинейности в веществе. Также «аномально» возрастает и вторая гармоника сигнала.

На Рис.5 представлена динамика параметра квадратичной нелинейности  $\mathcal{E}$  в исследуемой смоле в течение эксперимента. Параметр нелинейности нормирован на начальное значение  $\mathcal{E}_0$ .

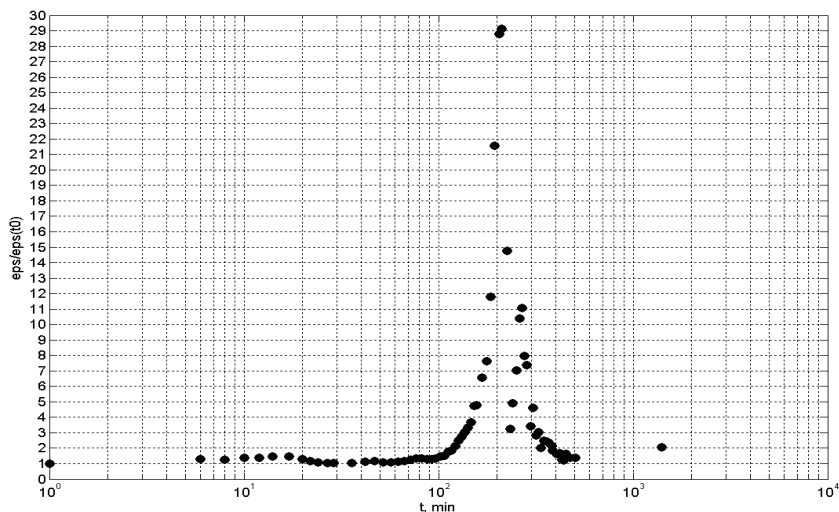


Рисунок 5.

Оценка производилась стандартным образом. Измерялась амплитуда второй гармоники, значение которой можно представить следующим выражением:

$$P_2 = \frac{\epsilon}{2} \left( \frac{P_{10}^2}{\rho_0 c^2} kx \right)$$

где  $P_{10}$  – амплитуда акустического давления первой гармоники на начальной апертуре излучателя;  $P_2$  – амплитуда акустического давления второй гармоники;  $\rho_0$  – плотность среды, которая, практически, не менялась в ходе полимеризации;  $c$  – скорость звука, изменение которой учитывались;  $kx$  – волновое расстояние от начальной апертуры до точки измерения, которое в ходе эксперимента было постоянным.

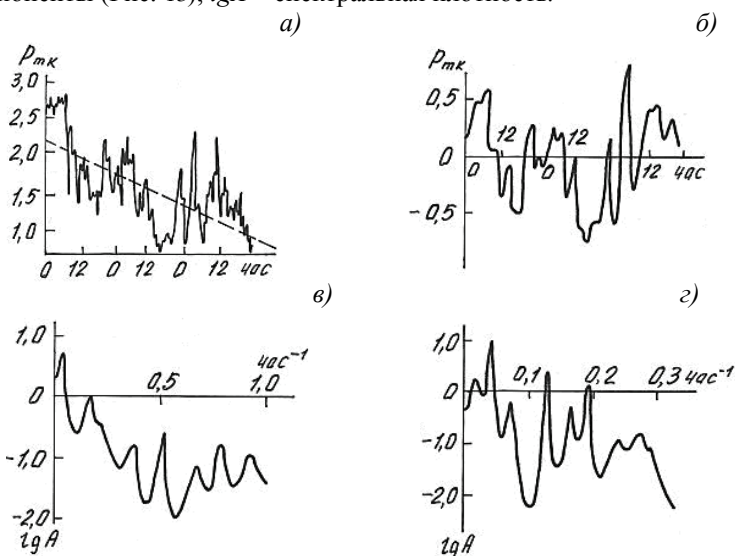


На основе экспериментальных измерений величины кавитационных порогов (КП) морской воды в трех различных районах Мирового океана обнаружена временная изменчивость КП, связанная с наличием общего суточного ритма физических, химических и биологических процессов в океане, в частности, с колебаниями слоя скачка под действием внутренних волн.

*Н. П. Мельников (ФГБНУ НИРФИ)*

Акустическим порогом кавитации принято называть амплитуду акустического поля  $P_{mk}$ , при котором начинается кавитация – явление, заключающееся в образовании пузырьков и каверн в некоторых участках жидкости под действием переменных полей давления. В экспериментальных работах по измерению величины кавитационных порогов в реальной морской воде, исследованию пространственной изменчивости КП и связи этой величины с различными гидрофизическими, гидрохимическими и гидробиологическими характеристиками морской воды, были обнаружены значительные временные вариации величин кавитационных порогов. Для определения характера этих вариаций были предприняты специальные исследования. Ниже для примера приводятся результаты таких исследований в закрытом мелководном морском заливе.

Первичная обработка исходного временного ряда величин кавитационных порогов (Рис. 1а): учет тренда (штриховая линия на Рис. 1а), выполнение численной фильтрации и децимации – прореживания (Рис. 1б) позволила выделить в первоначальном спектре (Рис. 1в) низкочастотные спектральные компоненты (Рис. 1г);  $lgA$  – спектральная плотность.



Спектры исходного ряда и его низкочастотной составляющей (Рис. 1*в, з*), показывают, что временная изменчивость кавитационных порогов в закрытом мелководном морском заливе имеет весьма сложный характер: кроме наиболее интенсивной суточной составляющей в спектре наблюдаются значимые (с достоверностью 80%) спектральные компоненты с более короткими периодами – 14,3; 7,6; 6; 2,6; 1,9; 1,5 и 1,08 час.

На Рис. 2 приведены наиболее характерные спектры временных рядов величин кавитационных порогов длительностью 24 часа со сдвигом по времени 3 часа. Обнаружилось, что частота и амплитуда некоторых спектральных компонент претерпевают значительные изменения во времени. В частности, спектральные компоненты со средними периодами 6; 1,5 и 1,08 ч могут становиться сравнимыми и даже превышать амплитуду суточной компоненты (Рис. 2*а, з*).

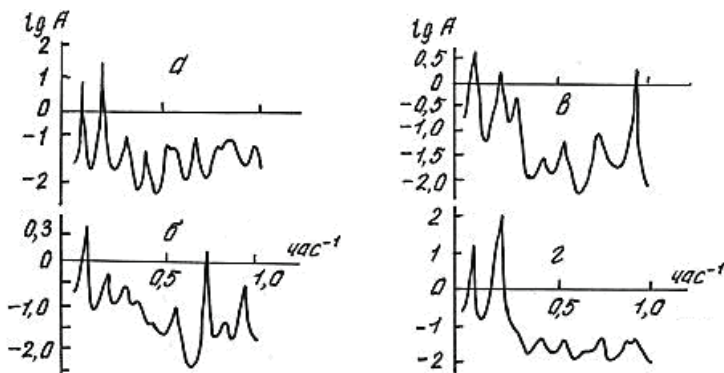


Рисунок 2 – Спектры суточных серий. Начальное время: *а* –  $t_1=00.30$ ; *б* –  $t_1=22.00$  первого дня; *в* –  $t_1=01.00$ ; *г* –  $t_1=19.00$  второго дня измерений

На Рис. 3 показано временное поведение спектральных компонент:  $T_1=6$  ч (1),  $T_2=2,6$  ч (2),  $T_3=1,9$  ч (3) и  $T_4=1,25$  ч (4), соответственно.

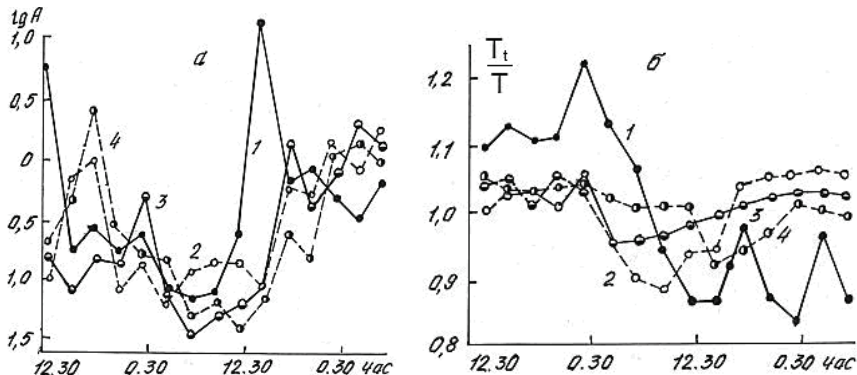


Рисунок 3 – Поведение спектральных компонент,  $T_1$  – текущий период.

Как видно из Рис. 3, амплитуды и частоты спектральных составляющих со средними периодами  $T = 6; 2,6; 1,9$  и  $1,25$  ч меняются во времени сходным образом. Особенно сильная изменчивость во времени характерна для компоненты со средним периодом 6 ч: её частота изменяется от 7,8 до 5,15 ч, а амплитуда – более чем на два порядка. Следует отметить также, что в конце вторых суток эта спектральная компонента исчезает вовсе и появляется в начале третьих суток, оставаясь весьма малой. Для объяснения наблюдаемой временной изменчивости кавитационных порогов и их отдельных спектральных составляющих необходимо учесть метеорологические условия, в которых проводился эксперимент. Начало работ пришлось на длительный период ясной безветренной погоды. К концу первых суток поднялся ветер, постепенно усиливающийся в течении вторых суток и стихший к середине третьих. По-видимому, постепенное снижение величины КП, исчезновение суточной компоненты и уменьшение амплитуд отдельных спектральных составляющих могут быть связаны с перемешиванием поверхностного слоя воды. Кроме того, оценки показали, что в данном районе под действием шквальных ветров могут генерироваться внутренние волны с периодами, близкими к наблюдаемым нами периодами во временной изменчивости кавитационных порогов. В частности, с этим явлением может быть связано заметное увеличение амплитуд спектральных составляющих со средними периодами 5; 2,6; 1,9 и 1,05 ч, происходящее на вторую половину вторых суток.

**Основные публикации:**

*Мельников Н.П., Елистратов В.П. Временная изменчивость кавитационных порогов морской воды // Труды 1-ой Всероссийской акустической конференции совмещенной с 28 сессией Российского акустического общества, 06-09 октября 2014 г., Москва, секция Акустика океана.*

Решена задача о рассеянии гармонической поверхностной акустической волны Рэлея на слабоконтрастной неоднородности, находящейся в упругом полупространстве вблизи его границы. Размеры неоднородности малы по сравнению с длиной волны в направлении, перпендикулярном поверхности полупространства. В направлениях, параллельных границе упругой среды неоднородность имеет произвольные 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. Рассмотрено рассеяние рэлеевской волны в рэлеевскую волну. Получены приближенные выражения для компонент вектора смещений в рассеянной волне, а также выражение для ее мощности излучения.

Установлено, что если неоднородность имеет горизонтальные размеры, сравнимые с длинами упругих волн, то преобладает рассеяние вперед, причем диаграмма направленности излучения рассеянного рэлеевского поля является тем более острой, чем ближе к поверхности находится лоцируемая неоднородность. Это позволяет сделать вывод, что при поисках протяженных подземных объектов необходимо проводить сейсмическую локацию «на просвет».

#### *А. В. Разин (ФГБНУ НИРФИ)*

Решена задача о рассеянии гармонической поверхностной акустической волны Рэлея на слабоконтрастной неоднородности, находящейся в упругом полупространстве вблизи его границы. Размеры неоднородности малы по сравнению с длиной волны в направлении, перпендикулярном поверхности полупространства. В направлениях, параллельных границе упругой среды неоднородность имеет произвольные размеры. Материал неоднородности отличается от материала вмещающей среды только плотностью. Падающая на неоднородность волна Рэлея возбуждается гармоническим поверхностным силовым источником, действующим на границе полупространства по нормали к ней. Рассмотрение выполнено в рамках борновского приближения метода возмущений. Исследовано рассеяние рэлеевской волны в рэлеевскую волну. Получены выражения для горизонтальной и вертикальной компонент вектора смещений в рассеянной волне Рэлея, а также выражения для плотности потока мощности и мощности излучения.

Установлено, что если горизонтальные размеры неоднородности малы по сравнению с длиной волны, то наиболее существенно рассеяние вперед, то есть в направлении распространения зондирующей волны, однако и в направлении назад рассеяние также является заметным. Если же неоднородность имеет размеры, сравнимые с длиной волны, то значительно преобладает рассеяние вперед, причем диаграмма направленности излучения рассеянного рэлеевского поля является тем более острой, чем ближе к поверхности находится лоцируемая неоднородность. Это позволяет сделать вывод, что при поисках протяженных подземных объектов, например, карстовых образований, необходимо проводить сейсмическую локацию «на просвет».

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

Для квантовой системы  $n$  тождественных частиц с короткодействием доказано, что в пространствах симметричных (+) и антисимметричных (-) функций последовательность основных состояний системы при  $n$ , стремящемся к бесконечности, не может асимптотически отвечать распадению системы на  $n$  не взаимодействующих между собой частиц (здесь  $n$  пробегает соответственно бесконечную серию значений  $n$  (+) и  $n$  (-), для которых существование связанных состояний доказано ранее).

*Г. М. Жислин (ФГБНУ НИРФИ)*

**Результаты,  
направленные в Отчет института**

Введен в действие радиотелескоп на базе антенны РТ-8 в лаборатории «Васильсурск»: восстановлена отражающая поверхность зеркала РТ-8, установлены тяги и трехчастотный облучатель (0.327, 0.61 и 1,6 ГГц), проложены кабельные трассы, подготовлено технологическое помещение.

Отдел №3

В периоды с 12 по 15 августа и с 5 по 10 октября 2014 года проведены радиоинтерферометрические эксперименты по исследованию вспыхивающего радиоизлучения Солнца и отработке методов высокоточной калибровки баз РСДБ по сигналам навигационных космических аппаратов (GPS и ГЛОНАСС).

Отдел №3

Ведется разработка автоматизированных локальных и региональных систем сбора данных, в том числе, о метеопараметрах, о химической и радиационной обстановке, контроля судового хода внутренних рек и т.д.

Отдел №3

В продолжение программы, ведущейся в РАО «Старая Пустынь» с 1977 г., в ноябре 2014 г. выполнены очередные измерения плотности потока радиоизлучения молодого остатка сверхновой Кассиопея А относительно стабильного радиоисточника Лебедь А на частоте 290 МГц.

Отдел №3

Выполнен анализ возможностей томографической реконструкции пространственной структуры вращающихся объектов по двумерным проекциям (изображениям) в зависимости от угла наклона (вариант 3D2D).

Отдел №3

Введен в строй на круглосуточное патрулирование состояния ионосферы в евроазиатском долготном секторе России модернизированный ЛЧМ ионозонд наклонного зондирования.

Отдел №8

**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 плёночных и гибридных микросхем.

Встроенная система контроля информирует о прохождении сварочного импульса и измеряет импеданс выходной цепи. На жидкокристаллическом экране прибора после прохождения сварочного импульса высвечивается импеданс выходного тракта, который состоит: из импеданса выходного усилителя; сопротивления проводов соединяющих трансформаторный выход усилителя с инструментом и сопротивление самого инструмента, а также сопротивления зоны сварки. Импеданс сварочного тракта может варьироваться в пределах 40-150 мОм. При отлаженной технологии импеданс не должен меняться более, чем на 5% от сварки к сварки. В случае, если импеданс превышает нормальное 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.....	9
2. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Солнце.....	12
3. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Межзвездная среда и звездообразование .....	22
4. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Астрометрия и прикладная астрономия.....	24
5. Результаты, направленные в Научный совет по астрономии при отделении Физических наук РАН. Радиотелескопы и методы .....	26
6. Результаты, направленные в Научный совет РАН по распространению радиоволн .....	31
7. Результаты, направленные в Научный совет по акустике при отделении Физических наук РАН .....	59
8. Результаты, направленные в отделение математических наук РАН .....	75
9. Результаты, направленные в Отчет института.....	77