

УДК 550.388.2

75 ЛЕТ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИОНОСФЕРЫ В РГУ-ЮФУ

П.Ф. Денисенко, И.И. Иванов, О.А. Мальцева, Б.Г. Барабашов, Г.Г. Вертоградов,
Н.П. Данилкин

Представлена краткая история развития и основные достижения Ростовской школы радиофизических исследований ионосферы с 1939 г. по настоящее время.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ИОНОСФЕРА, ИССЛЕДОВАНИЕ, ДОСТИЖЕНИЯ В РГУ-ЮФУ.

ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСКУРС

Направление физики ионосферы и распространения радиоволн в околоземном космическом пространстве было основано проф. С.С. Чавдаровым и получило развитие в РГУ по инициативе профессоров Е.В. Богословского и В.Н. Кессениха в 1936 году. В 1939 г. была создана первая в СССР экспериментальная установка для исследования поглощения высокочастотных (ВЧ) радиоволн в ионосфере и диагностики ее параметров. Регулярные наблюдения начались в 1948 г. В связи с проведением Третьего Международного Геофизического Года в 1957 г. была создана ионосферная станция (как часть существующей международной сети) и оснащена современной по тому времени аппаратурой. Это позволило расширить круг решаемых вопросов. Были начаты систематические исследования спорадического слоя E_s (С.С. Чавдаров, Ю.К. Часовитин, С.П. Чернышева, В.М. Шефтель), распространения ВЧ волн (Б.Г. Барабашов), их поглощения (А.М. Свечников), зимней аномалии (И.К. Мощенко), динамики, случайной неоднородной структуры и мутности ионосферы (В.Л. Позигун), высотного распределения концентрации электронов (Н.П. Данилкин, О.А. Мальцева). Наличие экспериментальной базы и квалифицированных специалистов позволило в 1968 г. открыть кафедру физики ионосферы и распространения радиоволн (в настоящее время — кафедра радиофизики) и начать подготовку кадров по данному направлению. В те же годы под руководством проф. Н.П. Данилкина (в настоящее время сотрудник института прикладной геофизики (ИПГ), г. Москва) была создана уникальная аппаратура и разработаны новые технологии диагностики ионосферы: многочастотные поляризационные измерения поглощения ВЧ сигналов (Ю.Н. Фаер), направленные на исследования высотных зависимостей эффективной частоты соударений электронов (П.Ф. Денисенко), и метод трансionoсферного зондирования (И.И. Иванов), предназначенный для томографирования околоземной плазмы (В.В. Соцкий). Благодаря усилиям Н.П. Данилкина, в 70-е годы прошлого века РГУ был включен в программу ракетных и спутниковых проектов «Интеркосмос». Совместно с институтом космических исследований РАН (ИКИ РАН) были проведены комплексные наземно-ракетные эксперименты при запусках геофизических ракет «Вертикаль» до высот 500–1500 км. В дальнейшем они были продолжены с институтом экспериментальной метеорологии (ныне НПО «Тайфун») при запусках ракет МР-12 до 180 км (Н.Е. Шейдаков). В конце 70-х и в 80-е годы метод трансionoсферного зондирования был успешно реализован совместно с институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН (ИЗМИРАН) и ИПГ в экспериментах с ИСЗ «Интеркосмос-19», «Космос-1809» на сети специализированных стационарных наземных пунктов, из которых восемь — на территории СССР от Калининграда на западе, Петропавловска-Камчатского на востоке, Земли Франца-Иосифа на севере, Ташкента — на юге, по одному — на Кубе и во Вьетнаме, и один — мобильный — в рейсе ледокола «Сибирь» к Северному полюсу. Одновременно проведены эксперименты по синхронному системному зондированию ионосферы (первые эксперименты по томографированию ионосферы).

Денисенко Павел Федорович, зав. отделом, д.ф.-м.н., профессор, «ЮФУ», e-mail: denis@ip.rsu.ru

Иванов Игорь Иванович, с.н.с., к.ф.-м.н, НИИФ «ЮФУ»

Мальцева Ольга Алексеевна, зав. лабораторией, д.ф.-м.н., «ЮФУ»

Барабашов Борис Григорьевич, профессор, д.ф.-м.н., «ЮФУ»

Вертоградов Геннадий Георгиевич, профессор, д.ф.-м.н., «ЮФУ»

Данилкин Николай Петрович, д.ф.-м.н., профессор, ФГБУ «ИПГ»

В это же время под руководством д.ф.-м.н. О.А. Мальцевой получили развитие исследования магнитосферы с помощью собственного очень низкочастотного (ОНЧ) излучения. Успехи в глобальной диагностике плазменной оболочки Земли позволили специалистам РГУ участвовать в разработке и создании специального ВЧ радара для зондирования ионосферы Марса и его поверхности (М.Л. Элькин, С.В. Кольвах). В конце 70-х годов под руководством профессора Б.Г. Барабашова была создана новая экспериментальная база, лаборатория «Сигнал», и развернуты работы по пеленгации источников ВЧ излучения (Г.Г. Вертоградов), исследованию распространения очень и сверхвысоко-частотных (ОВЧ, СВЧ) волн в условиях городского ландшафта. Получила развитие дифракционная теория их ослабления на зданиях городской застройки. Под руководством профессора П.Ф. Денисенко были установлены новые механизмы энергетических потерь, дана их теоретическая интерпретация, разработана методика исследования бесстолкновительного затухания ВЧ волн и проведены эксперименты по оценке их ослабления за счет рассеяния на ионосферной турбулентности. Под руководством профессора Н.А. Заботина проведены исследования переноса электромагнитного излучения в условиях многократного рассеяния волн в турбулентных средах.

После распада СССР круг решаемых вопросов из-за отсутствия национальных космических проектов сузился. Тем не менее, и в этих условиях совместно с НПО «Энергия» и ИПГ в 1999 г. были осуществлены эксперименты по зондированию ионосферы с борта пилотируемого комплекса «Мир».

За последнее десятилетие на развитие исследований ионосферы Ростовской школой радиофизиков получено около 20-и грантов по программам INTAS, РФФИ, «Университеты России», фонда Сороса, выполнен ряд контрактов. В 2001–2002 гг. и 2004–2005 гг. при поддержке Международного института космических исследований (ISSI, Берн, Швейцария) осуществлены совместные британско-российские проекты, в которых с британской стороны участвовали университеты графства Сассекс, г. Шеффилд и г. Лейсестер, с российской — РГУ, ИКИ РАН и ИЗМИРАН. Кроме того, в 2007 г. проводились работы по гранту Национального научного фонда США совместно с университетом Колорадо. Развивается международное сотрудничество с университетами графства Сассекс (выполнено три проекта). Поддерживаются активные научные контакты с ИЗМИРАН, ИСЗФ СО РАН, ИКИ РАН, ИПГ, РНИРС, ФГУП ГКБ «Связь», МГУ, СПбГУ, НИРФИ, Иркутским и Томским госуниверситетами, а также рядом других российских предприятий и вузов.

В 2012 г. проведено обновление технологической базы измерений на ионосферной станции, курируемой специалистами НИИ Физики ЮФУ. Устаревшее оборудование было заменено современным антенно-фидерным комплексом и ионозондом «Парус-А».

Более 5000 специалистов, подготовленных за время функционирования Ростовской школы радиофизических исследований ионосферы, работают ведущими исследователями и руководителями во многих ВУЗах и НИИ страны, ближнего и дальнего зарубежья. Профессор А.Е. Микиров, один из представителей Ростовской школы радиофизических исследований ионосферы, стал лауреатом Государственной премии СССР.

При подготовке специалистов высшей квалификации Ростовской школы радиофизических исследований ионосферы было защищено 10 докторских и около 40 кандидатских диссертаций, в том числе по специальности 01.04.03 — «радиофизика». Продолжается подготовка бакалавров, специалистов, магистров, аспирантов и докторантов.

Ростовская радиофизическая школа активно участвует в организации научных мероприятий по развитию ионосферных исследований. В период существования СССР на базе РГУ были проведены четыре всесоюзные (1961, 1974, 1984 и 1991 гг.) и две международные конференции (1977 и 1983 гг.). В 2008 г. была проведена 22-ая Всероссийская конференция по распространению радиоволн.

ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ

В области эмпирического моделирования создание:

- эмпирических моделей среднеширотной ионосферы, в том числе модели спорадического слоя E_s [1];
- справочной модели, как составной части ГОСТ СССР (совместно с НПО «Тайфун»), включая модель эффективной частоты соударений электронов [2].

В области теоретического исследования механизмов распространения радиоволн:

- алгоритмическое обеспечение теории распространения радиоволн [3];

- разработка динамической адаптивной структурно-физической модели ионосферного ВЧ канала [4, 5].
- обоснование наличия физических механизмов бесстолкновительного затухания ВЧ волн в ионосферной плазме при ее естественном состоянии: диссипативного — трансформации обыкновенных волн в медленные необыкновенные, и недиссипативного — многократного рассеяния на случайных неоднородностях [6];
- выявление природы таких излучений, как ОНЧ-хоры, нижнегибридный резонанс, медленные необыкновенные волны в ионосфере [7], вистлеры в солнечной короне [8], обнаружение магнитосферного канала для распространения радиосигналов средневолнового диапазона [9];
- разработка основ теории переноса электромагнитного излучения в магнитоактивной плазме с учетом многократного рассеяния на случайных неоднородностях [10].

В области численного моделирования разработка алгоритмов и программ для:

- обращения интегральных уравнений, возникающие в задачах радиодиагностики ионосферной плазмы (регуляризирующие алгоритмы) [11, 12];
- переноса электромагнитного излучения в турбулентных средах [13];
- обработки ионосферной и угломерной информации для обеспечения работы однопозиционных пеленгаторов [14–16].

В области экспериментальных исследований:

- получение ракетных N(h)-профилей ионосферы методом дисперсионного интерферометра до высот 1500 км [17];
- создание принципиально нового метода определения N(h)-профилей ионосферы при ее вертикальном зондировании [18];
- исследование распространения радиоволн при спутниковом вертикальном и трансionoсферном зондировании в декаметровом диапазоне волн [18–21, 59];
- выявление особенностей ионосферного распространения ВЧ волн при наклонном зондировании на дальностях от 30 км до 9000 км [22].

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ ИОНОСФЕРЫ

В последние годы основные исследования направлены на решение следующих задач.

1. Определение возможностей справочной модели ионосферы СМИ [2] в новой версии модели IRI (IRI-Plas) [23] в связи с активизацией исследований такого параметра ионосферы, как полное электронное содержание (ПЭС). Основной задачей в этом направлении стала разработка метода определения критической частоты области F по данным ПЭС, рассчитываем по характеристикам сигналов Глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS/Galileo и геостационарных КА [24, 25, 60–62].

2. Развитие методов диагностики перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) и определение их характеристик по данным внешнего зондирования [26–33] во время суббурь и бурь.

3. Создание современных программно-аппаратных комплексов для диагностики ионосферы, использующих в пассивном режиме непрерывные, импульсные и ЛЧМ-сигналы: многочастотный доплеровский радар [34, 35], многоканальный ЛЧМ-зонд [36]; многоканальный широкоапертурный пеленгатор-дальномер, многоканальный широкоапертурный ЛЧМ-зонд/пеленгатор [37, 38].

4. Обновление технологической базы измерений на ионосферной станции, курируемой специалистами НИИ Физики ЮФУ, и валидацию установленного современного антенно-фидерного комплекса и ионозонда «Парус-А».

ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЧ РАДИОВОЛН В ИОНОСФЕРЕ

В последнее десятилетие в области распространения радиоволн получены следующие результаты.

1. Проведены исследования особенностей затухания ВЧ волн вблизи границы мертвой зоны (ГМЗ) на трассе Москва — Ростов (протяженность 950 км, рабочая частота 9,996 МГц). Установлено что примерно в 10% случаев наблюдается дополнительное усиление (до 4 дБ) сигнала, не связанное с фокусировкой на ГМЗ [39–41]. Природа эффекта пока не выявлена.

2. Совместно с ФГБНУ НИРФИ (г. Нижний Новгород) проведены комплексные экспериментальные исследования распространения ВЧ волн в невозмущенной, естественно возмущенной и искусственно возмущенной ионосфере нагревным стендом «Сура» [42–46]. С помощью ЛЧМ-зонда/пеленгатора исследованы эффекты распространения радиоволн на трассах протяженностью от 1000 до 6500 км, 14000 км и при кругосветном распространении [42–44]. Изучены эффекты развития и релаксации искусственных ионосферных неоднородностей, в том числе при воздействии на нее волной нагрева, близкой к 4-й гармонике гиромангнитной частоты электронов [45]. В естественно и искусственно возмущенной ионосфере исследована пространственная структура области, заполненной мелкомасштабными магнитоориентированными ионосферными неоднородностями [44, 46].

3. На калиброванных радиотрассах экспериментально оценена изменчивость в пределах часа наиболее важных энергетических характеристик узкополосного ВЧ канала — среднего уровня сигнала и эффективного значения помех. Также исследовано поведение во времени частоты появления ошибок при передаче бинарных сигналов. На выборке более 5000 часов установлено, что процессы, ответственные за энергетику поля ВЧ волн (как сигнала, так и помехи), обладают инерционными свойствами, что обеспечивает сохранение их статистических и корреляционных характеристик без существенных отклонений на некоторое время вперед. Именно эти обстоятельства позволяют строить оперативный прогноз качества ВЧ связи на время упреждения до часа [47–49].

4. Разработан новый подход к прогнозированию качества передачи дискретных сообщений по узкополосному ВЧ каналу [50–53]. Он использует имитационную модель канала и учитывает реальные механизмы распространения радиоволн в ионосфере с привязкой к конкретным гелио- и геофизическим условиям. При этом обеспечивается возможность прогнозирования качества передачи в реальном времени. Кроме числа ошибок, методика позволяет прогнозировать такие статистические характеристики, как частоту искажений кодового слова, распределение слов по числу ошибок, распределение интервалов между ошибками и т. д.

5. С учетом 30-летнего опыта исследований создан Программный комплекс (ПК) расчета (прогнозирования) характеристик ВЧ (ДКМ) каналов связи. Пакет предназначен для решения задач планирования и эксплуатации радиолиний протяженностью от 0 до 9000 км в диапазоне частот 2,0–30,0 МГц [54–57]. Превосходство ПК и его преимущество по сравнению с известными отечественными и зарубежными аналогами по точности и полноте набора рассчитываемых характеристик доказана результатами экспериментальных исследований в наиболее трудных с точки зрения распространения условиях — на калиброванных трассах малой протяженности, в годы низкой и высокой солнечной активности. Различные версии ПК используются во многих организациях.

RADIOPHYSICAL RESEARCH OF THE IONOSPHERE IN RSU-SFU

P.F. Denisenko, I.I. Ivanov, O.A. Maltseva, B.G. Barabashov, G.G. Vertogradov, N.P. Danilkin

In the report, the short history of development of radio physical investigations in RSU-SFU since 1939 on the present is stated. The achievements received at an early stage of investigations are shown. Also the main results of the last years are presented.

KEYWORDS: IONOSPHERE, RESEARCH, INVESTIGATION, RADIOPHYSIC.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чавдаров С.С., Часовитин Ю.К., Чернышева С.П., Шефтель В.М. Среднеширотный спорадический слой E ионосферы. - М.: Наука, 1975. 120 с.
2. Часовитин Ю.К., Денисенко П.Ф., Клюев В.А. и др. Справочная модель распределения концентрации, температуры и эффективной частоты соударений электронов в ионосфере на высотах ниже 200 км (под ред. Ю.К. Часовитина). - Обнинск: Изд-во ИЭМ, 1983. 400 с.
3. Данилкин Н.П., Мальцева О.А. Ионосферные радиоволны (теория, алгоритмы, программы). - Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1977, 176 с.
4. Барабашов Б.Г., Вертоградов Г.Г. Динамическая адаптивная структурно-физическая модель декаметрового канала связи// Математическое моделирование. 1995. № 12. С. 29-31.

5. Barabashov B.G., Anishin M.M., Pelevin O. Yu. Mathematical space-time model of a sky wave radio field. //Radio Sci. 2006. V. 41. RS5S42, doi: 10.1029/2005RS003332.
6. Danilkin N.P., Denisenko P.F., Barabashov B.G., Vertogradov G.G. Electron collision frequency and HF waves attenuation in the ionosphere. International Journal of Geomagnetism and Aeronomy// 2005. V. 5, doi: 10.1029/2004GI1000081, 13 с.
7. Мальцева О.А., Молчанов О.А. Распространение низкочастотных волн в магнитосфере Земли. - М., Наука, 1987, 120 с.
8. Мальцева О.А., Чернов Г.П. Кинетическое усиление (затухание) вистлеров в солнечной короне// Кинематика и физика небесных тел. 1989. Т. 5, № 6. С. 44-54.
9. Blagoveshchensky D.V., Dobroselsky K.A., Maltseva O.A. Main ionospheric trough as a channel for MF propagation in the magnetosphere// Radio Science. 1997. V. 32, № 4. P. 1477-1490.
10. Zabotin N.A., Bronin A.G., Kovalenko E.S. Group propagation time of quasi-monochromatic radiation in a plane layer of plasma with random irregularities// Radio Sci. 2001. Vol. 36, №. 5. P. 1093-1103.
11. Denisenko P.F, Gough M.P, Nastasyina-Beloff N.V., Noranovich D.A. The errors of ionospheric parameter diagnostics by vertical sounding method// Radio Sci. 2001. V. 36, № 5. P. 1103-1110.
12. Beloff N., P.F. Denisenko and M.P. Gough. The reconstruction of non-monotonic N(h)-profiles from vertical sounding ionograms by the regularisation method// Radio Sci. 2002. V. 37, № 6.
13. Zabotin N.A., Wright J.W., Kovalenko E.S. Multiple scattering effects in ionospheric radio sounding// Radio Sci. 2004. V. 39. № 3. RS002959.
14. Барабашов Б.Г., Мальцева О.А. Ионосферное обеспечение однопозиционных пеленгаторов дальномеров диапазона декаметровых волн// Труды НИИ радио. 2003. С. 120-126.
15. Вертоградов Г.Г., Мятешников Ю.П. Многооконый метод спектрального анализа сигналов, отраженных от ионосферы// Геомагнетизм и аэрномия. 2004. Т. 44, № 3. С. 357-371.
16. Денисенко П.Ф., Вертоградов Г.Г., Шевченко В.Н., Кузнецов Е.В. Использование радиодиагностики ионосферы в задаче пеленгации источников декаметрового излучения// Электромагнитные волны и электронные системы. 2006. Т. 11, № 5. С. 24-27.
17. Ракетное зондирование атмосферы и ионосферы до высоты 1500 км. - Ростов-на-Дону: Изд. РГУ, 1989, 160 с.
18. Zabotin N.A., Wright J.W. and Zhabankov G.A. New approaches in the problem of electron density inversion from dynasonde measurements using three-dimensional echolocation data// IES2005 Symposium, Alexandria, Virginia, 3-4 May 2005, 7B51-7B58.
19. Avdushin S.I, Danilkin N.P., Ivanov I.I., Kusshnerevsky Yu.V and Migulin V.V. Transionospheric sounding as a final link in the information system// Advances in space research. 1988. V. 8, № 4. P. 29 - 38.
20. Васильев Г.В., Гончаров Л.П., Данилкин Н.П., Иванов И.И., Кушнеревский Ю.В., Фаер Ю.Н. Устройство для исследования ионосферы// Авторское свидетельство СССР № 620131, приоритет от 03.01.1975 г., зарегистр. 21.04.1978 г.
21. Букин Г.В., Васильев Г.В., Гончаров Л.П., Иванов И.И., Киселев Г.Н., Коробков Ю.С. Способ исследования магнитосферы и устройство для его осуществления// Авторское свидетельство СССР № 882330, приоритет от 11.02.1980 г., зарегистр. 14.07.1981 г.
22. Вертоградов Г.Г., Урядов В.П., Вертоградов В.Г. Характеристики ионосферного КВ канала на среднеширотных трассах различной протяженности и ориентации в спокойных и возмущенных условиях/ Материалы Международной научной конференции «Излучение и рассеяние ЭМВ – ИРЭМВ-2005». - Таганрог: ТРТУ, 2005. С. 372-374.
23. Gulyaeva T.L., Bilitza D. Towards ISO standard Earth ionosphere and plasmasphere model// In: Larsen, R.J. (Ed.). New developments in the standard model. NOVA Publishers, USA. 2011. P. 11–64.
24. Maltseva O.A., Mozhaeva N.S., Zhabankov G.A. Advantages of the new model of IRI (IRI-Plas) to simulate the ionospheric electron density: Case of the European area// Advances in Radio Science. 2013. V. 11. P. 307-311.
25. Жбанков Г.А., Мальцева О.А. Полное электронное содержание ионосферы: условия распространения радиоволн. Издательство LAMPERT Academic Publishing. 2013, 193 с.
26. Karpachev A.T., Deminova G.F., Beloff N., Garozzi T.D., Denisenko P.F., Karhunen T.J.T., Lester M. Global pattern of ionospheric response to large-scale internal gravity waves// J. Atmos. and Solar-Terr. Phis. 2007. V.69. P. 906-924.
27. Денисенко П.Ф., Сказик А.И. Определение перемещающихся ионосферных возмущений по данным спутникового зондирования// Электромагнитные волны и электронные системы. 2007. Т. 12, №5. С. 33-35.
28. Денисенко П.Ф., Карпачев А.Т. Спектр квазиволновых возмущений во внешней дневной ионосфере по данным радиозондирования с борта ИСЗ «ИНТЕРКОСМОС-19»// Геомагнетизм и аэрномия. 2009. Т. 49, № 4. С. 1-6.
29. Denisenko P.F., Karpachev A.T. Spectrum of Quasi-Wave Disturbances in the Topside Daytime Ionosphere according to the Data of Radiosounding on the Intercosmos-19 Satellite// Geomagnetism and Aeronomy. 2009. V. 49, № 4. P. 497- 502.

30. Денисенко П.Ф., Сказик А.И., Котов М.Ю., Хомяков А.А. Выделение слабых пространственных структур ионосферы по данным внешнего зондирования// *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2010. Т. 15, № 5. С. 30–33.
31. Karpachev A.T., Beloff N., Garozzi T.D., Denisenko P.F., Karhunen T.J.T., Lester M. Detection of large scale TIDs associated with the dayside cusp using SuperDARN data// *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. June 2010. V. 72. P. 653–661.
32. Karpachev A.T., Deminova G.F., Beloff N., Garozzi T.D., Denisenko P.F., Lester M., Karhunen T. Asymmetric response of the topside ionosphere to large-scale IGW generated during the November 30, 1979, substorm// *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. April, 2011. V. 72. P. 667–677.
33. Денисенко П.Ф., Хомяков А.А. Выделение методом SSA квазиволновых структур в ионосфере по данным спутникового зондирования// *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2013. Т. 18, № 9. С. 19–22.
34. Вертоградов Г.Г., Урядов В.П., Вертоградов В.Г., Вертоградова Е.Г., Плохотнюк Е.Ф., Кубатко С.В., Хайдау Ю.М., Понятов А.А., Шумаев В.В., Черкашин Ю.Н., Крашенинников И.В., Валов В.А., Бредихин Д.В., Макаров А.В. Диагностика искусственно-возмущенной ионосферы с помощью современной техники зондирования// *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2010. Т. 15, № 5. С. 22–29.
35. Вертоградов Г.Г., Мятешников Ю.П. Многооконный метод спектрального анализа сигналов, отраженных от ионосферы// *Геомагн. и аэрономия*. 2004. Т. 44, № 3. С. 357–371.
36. Вертоградов Г.Г., Урядов В.П., Вертоградова Е.Г. Расчет оптимальных рабочих частот связной радиопередачи по данным наклонного зондирования ионосферы// *Известия вузов. Радиофизика*. 2008. Т. 51, № 1. С. 10–21.
37. Вертоградов Г.Г., Урядов В.П., Вертоградов В.Г., Вертоградова Е.Г., Кубатко С.В. Ионозонд-радиопеленгатор с линейно-частотно модулированным сигналом — новый инструмент для исследования ионосферы и распространения радиоволн// *Известия вузов. Радиофизика*. 2013. Т. 56, № 5. С. 287–306.
38. Вертоградов Г.Г., Кубатко С.В., Урядов В.П. Определение параметров ионосферной модели по результатам наклонного зондирования с помощью ЛЧМ-зонда/пеленгатора// *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2011. Т. 16, № 5. С. 35–40.
39. Денисенко П.Ф., Вертоградов Г.Г., Вертоградов В.Г., Сказик А.И. Дополнительные энергетические потери высокочастотных волн в ионосфере вблизи максимально применимой частоты// *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2005. Т. 10, № 5. С. 67–70.
40. Денисенко П.Ф., Вертоградов В.Г., Сказик А.И., Новиков В.М. Энергетические потери ВЧ волн вблизи границы мертвой зоны// *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2009. Т. 14, № 5. С. 25–28.
41. Денисенко П.Ф., Сказик А.И., Котов М.Ю. Особенности затухания декаметровых радиоволн вблизи границы мертвой зоны// *Антенны*. 2013. № 10. С. 50–54.
42. Вертоградов Г.Г., Урядов В.П., Вертоградова Е.Г. Сверхдальнее зондирование ионосферного канала с помощью ионозонда/пеленгатора с линейной частотной модуляцией сигнала // *Известия вузов. Радиофизика*. 2010. Т. 53, № 3. С. 176–187.
43. Урядов В.П., Вертоградов Г.Г., Вертоградова Е.Г. Влияние неоднородной структуры высокоширотной ионосферы на дальнейшее распространение коротких радиоволн// *Известия вузов. Радиофизика*. 2012. Т. 55, № 4. С. 255–265.
44. Вертоградов Г.Г., Вертоградова Е.Г., Урядов В.П. Радарные наблюдения F-рассеяния в среднеширотной ионосфере с помощью ионозонда-радиопеленгатора// *Известия вузов. Радиофизика*. 2013. Т. 56, № 1. С. 1–12.
45. Фролов В.Л., Болотин И.А., Комраков Г.П., Вертоградов Г.Г., Вертоградов В.Г., Вертоградова Е.Г., Акчурун А.Д., Бочкарев В.В., Дрешер А.М., Зыков Е.Ю., Латыпов Р.Р., Петрова И.Р., Юсупов К.М., Куницын В.Е., Падохин А.М., Курбатов Г.А. Гирогармонические свойства генерации искусственных ионосферных неоднородностей// *Известия вузов. Радиофизика*. 2012. Т. 55, № 6. С. 1–28.
46. Вертоградов Г.Г., Вертоградова Е.Г., Урядов В.П., Вертоградов В.Г., Комраков Г.П., Крашенинников И.В., Черкашин Ю.Н., Валов В.А., Бредихин Д.В., Макаров А.В. Кластерная структура искусственной ионосферной турбулентности по данным радарных измерений с помощью ионозонда-радиопеленгатора// *Известия вузов. Радиофизика*. 2012. Т. 55, № 1–2. С. 1–13.
47. Барабашов Б.Г., Огарь А.С., Радио Л.П. Оценка кратковременной стабильности энергетических характеристик ионосферного ВЧ-радиоканала// *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2011. Т. 16, № 4. С. 41–45.
48. Varabashov B.G., Ogar A.S. and L.P. Radio (2011). Estimation of time stability of characteristics of HF communication channel (Results of experimental research)// *Ionospheric Effects Symposium, IES2011, Alexandria VA USA*, 2011. P. 312–315.
49. Барабашов Б.Г., Огарь А.С., Радио Л.П. Исследование кратковременной стабильности характеристик ионосферного радиоканала// *Труды НИИР*. 2012, № 3. С. 57–67.
50. Барабашов Б.Г. Прогнозирование качества передачи бинарных сообщений по ВЧ-радиопередача на основе имитационной модели канала// *Труды НИИР*. 2008, № 4. С. 47–51.

51. Барабашов Б.Г., Огарь А.С. Прогнозирование качества передачи цифровых сообщений по ВЧ радиоканалам// Электромагнитные волны и электронные системы. 2010, Т. 15, № 6 С. 40–43.
52. Barabashov B.G., Anishin M.M., Pelevin O.Y. Prediction of Quality of Binary Message Transmission via a Narrowband HF Channel// The XI International Conference on IRST 2009. 28-30 April 2009. Edinburgh, UK.
53. Barabashov B.G., Ogar A.S., Pelevin O.Y. Real-time prediction of quality of binary message transmission via radiolinks using a channel simulation model//15-17 May 2012, Royal Yourk Hotel, UK, Ionospheric Radio Systems and Techniques 2012 (IRST 2012). P 05.
54. Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Прогнозирование характеристик декаметровых каналов связи// Труды НИИР. 2002, С. 99–103.
55. Barabashov B.G., Anishin M.M., Radio L.P. Field Strength Prediction for Short and Medium-Range Ionospheric Radiopaths // Proceedings of Ionospheric Effects Symposium, Alexandria, VA, (USA), May 13–15, 2008. P. 341–346.
56. Barabashov B.G., Anishin M.M., Pelevin O.Y. High-frequency field strength prediction for ionospheric propagation at short and medium range radio paths//Radio Sci. 2009. V. 44. RS0A18, doi:10.1029/2008RS004038.
57. Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Программный комплекс прогнозирования траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2-30 МГц "Трасса" (часть 1)// Техника радиосвязи. 2013. Выпуск 1 (19). С. 25–34.
58. Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Программный комплекс прогнозирования траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2-30 МГц "Трасса" (часть 2)// Техника радиосвязи. 2013. Выпуск 2 (20). С. 13–21.
59. Иванов И.И. Синхронизация бортовых и наземных ионозондов при системном зондировании ионосферы. // Физические основы приборостроения. 2012, Т.1, № 1. С. 101–111.