

Том II, с. 79–82

УДК: 533.9.08+537.868

**ДИНАМИЧЕСКИЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ИСКУССТВЕННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ И ДЕКАМЕТРОВЫХ
НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПРИ МОЩНОМ КВ-ВОЗДЕЙСТВИИ
НА ИОНОСФЕРНУЮ ПЛАЗМУ НАД СТЕНДОМ СУРА В ОБЛАСТИ
ЧЕТВЁРТОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ГИРОГАРМОНИКИ**

Е. Н. Сергеев¹, Е. Ю. Зыков², Г. Г. Вертоградов³, С. М. Грач¹, А. В. Шиндин¹

¹Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,

603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

E-mail: esergeev@nirfi.unn.ru

²Казанский федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18

E-mail: Evgeniy.Zykov@kpfu.ru

³Южный федеральный университет, 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 5

E-mail: vertogradovgg@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты одновременных исследований динамических и спектральных характеристик радиосигналов, ракурсно рассеянных на декаметровых искусственных неоднородностях с поперечными к геомагнитному полю размерами $l_{\perp} \sim 10 - 100$ м, и искусственного радиоизлучения ионосферы при мощном воздействии на ионосферную плазму в области четвертой гармоники гирочастоты электронов на стенде «Сура».

Ключевые слова: мощные радиоволны; искусственная турбулентность ионосферной плазмы; искусственное радиоизлучение ионосферы; ракурсное рассеяние радиоволн; электронные гирогармоники

**DYNAMIC AND SPECTRAL FEATURES OF THE DECAMETER ARTIFICIAL
IRREGULARITIES AND THE STIMULATED ELECTROMAGNETIC EMISSION
OVER THE SURA HEATING FACILITY NEAR THE FOURTH ELECTRON
GYROHARMONIC**

E. N. Sergeev, E. Yu. Zykov, G. G. Vertogradov, S. M. Grach, A. V. Shindin

Abstract. The results of simultaneous studies of the dynamic and spectral characteristics of radio signals scattered off the decameter artificial striations with transverse dimensions $l_{\perp} \sim 10 - 100$ m to the geomagnetic field and the stimulated electromagnetic emission by a powerful action on the ionospheric plasma in the fourth harmonic region of the electron gyrofrequency on the “Sura” facility are presented.

Keywords: powerful radio waves; artificial turbulence of ionospheric plasma; stimulated electromagnetic emission; back scattering radio waves; electron gyroharmonics

Введение

С начала экспериментов по мощному КВ воздействию на ионосферную плазму для диагностики свойств возбуждаемой плазменной турбулентности широко применяются методы её дистанционного зондирования. В работе представлены результаты комплексного использования ракурсного рассеяния радиоволн и измерений искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) для исследования процессов возбуждения декаметровых неоднородностей при воздействии на ионосферную плазму в области четвертой электронной гирогармоники $4f_c$.

Постановка задачи и методика измерений

Одновременные исследования динамических и спектральных характеристик искусственных декаметровых неоднородностей в диапазоне поперечных к геомагнитному полю масштабов $l_{\perp} \sim 10 - 100$ м и ИРИ при мощном воздействии на ионосферную плазму в области частот $f_0 \sim 4f_c$ впервые были выполнены 20–21 июня 2011 г. на нагревном стенде «Сура» (Васильсурск, измерения ИРИ), в лаборатории «Сигнал» ЮФУ (Ростов-на-Дону, ~ 1100 км от стенда «Сура»,

измерения ракурсного рассеяния радиоволн в диапазоне частот 10–15 МГц) и Зеленодольской ионосферной обсерватории КФУ (Казань, ~ 170 км от стенда «Сура», измерения ракурсного рассеяния радиоволн в диапазоне частот 2–7 МГц).

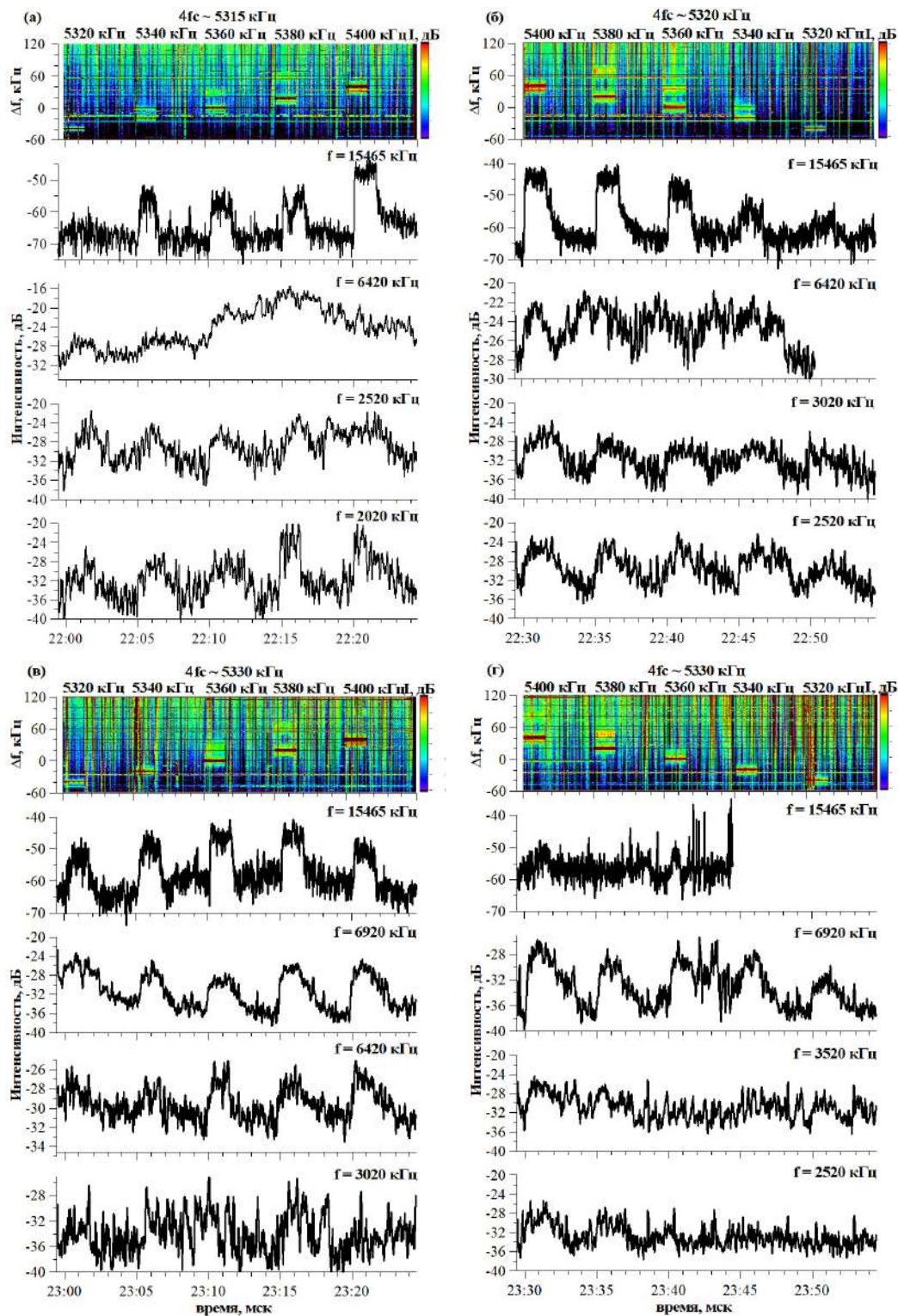


Рис. 1. Спектрограммы ИРИ (цветные панели, f_0 над панелями) и рассеянный сигнал от возмущенной области на сетке частот, отвечающих рассеянию на декаметровых неоднородностях с $l_{\perp} \sim 10 - 100$ м для четырех получасовых циклов измерений (а-г). $4f_c \sim 5315 - 5330$ кГц. 20.06.2011, 22:00–24:00 мск.

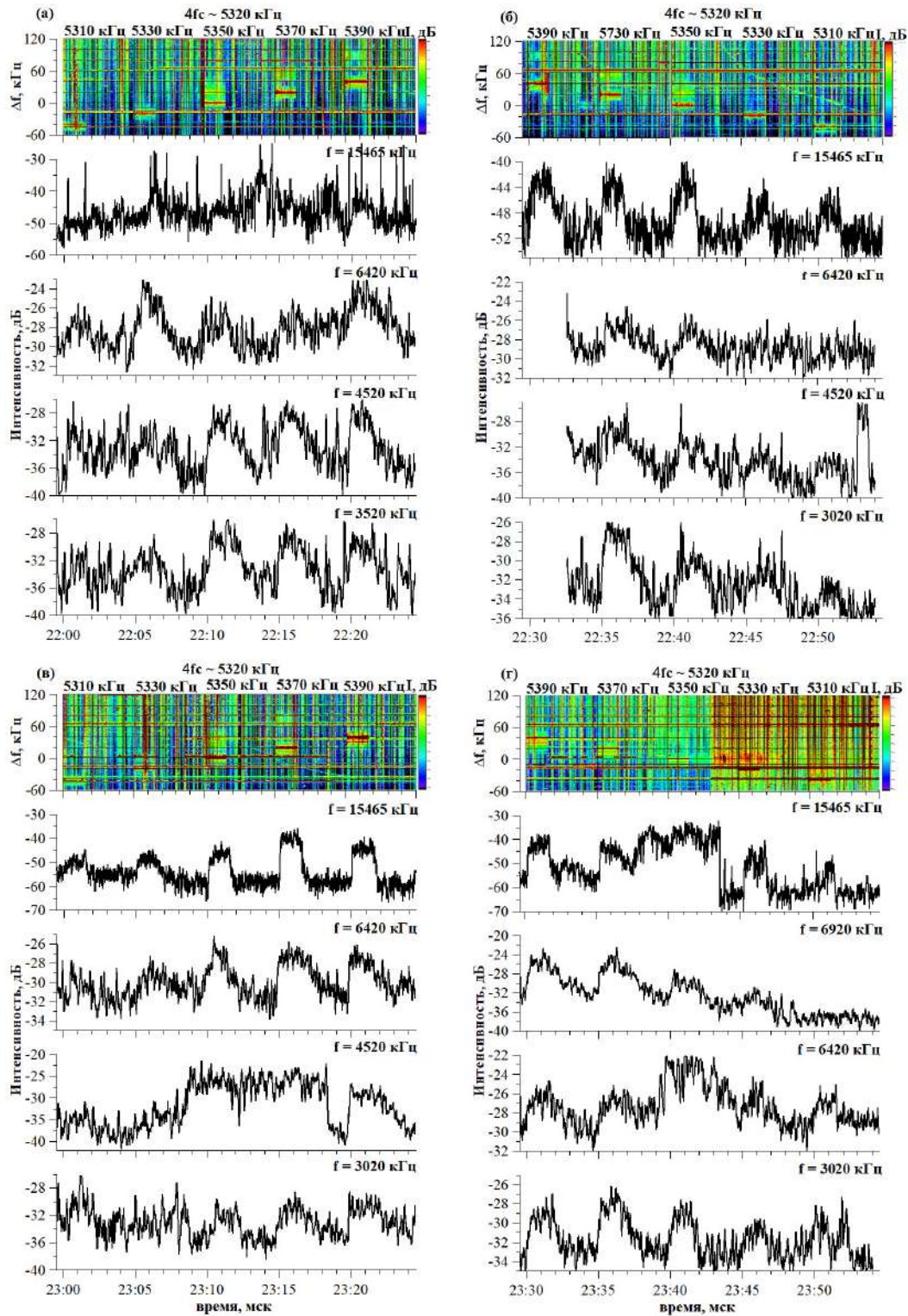


Рис. 2. Спектрограммы ИРИ (цветные панели, f_0 над панелями) и рассеянный сигнал от возмущенной области на сетке частот, отвечающих рассеянию на декаметровых неоднородностях с $l_{\perp} \sim 10 - 100$ м для четырех получасовых циклов измерений (а-г). $4f_c \sim 5320$ кГц. 21.06.2011, 22:00–24:00 мск.

Программа измерений состояла из дневного (14:30–16:30 мск.) и ночного (22:00–24:00 мск.) циклов наблюдений. Длительность нагрева днем составляла 2 мин., ночью — 1–1.5 мин с периодом 5 мин. Дополнительно в паузу нагрева излучались диагностические импульсы длительно-

стью 20 мс (100 мкс в последний час) с периодом 1 с (100 мс). От сеанса к сеансу частота нагрева изменялась на 20 кГц в диапазоне частот волны накачки: $f_0 = 5440 - 5520$ кГц (20.06 день, $4f_c = 5440$ кГц), $f_0 = 5400 - 5480$ кГц (21.06 день, $4f_c = 5440$ кГц), $f_0 = 5320 - 5400$ кГц (20.06 ночь, $4f_c = 5315 - 5330$ кГц) и $f_0 = 5310 - 5390$ кГц (21.06 ночь, $4f_c = 5320$ кГц). Эффективная мощность передатчиков для O -моды излучения в зенит составляла $P_{эфф} \sim 60 - 120$ МВт. Измерения ИРИ по пропаданию главного спектрального максимума DM при $f_0 = 4f_c$ и появлению положительного максимума BUM в спектре излучения при $f_0 > 4f_c$ [1] позволяли определять положение частоты волны накачки относительно четвертой гирогармоники $4f_c$, динамика диагностического ИРИ после выключения нагрева сопоставлялась с динамикой релаксации ракусно рассеянных сигналов. Подобные сигналы наблюдались на частотах 9996, 14996 и 15465 кГц (радиостанции в Подмоскowie) в ЮФУ, отвечая масштабам рассеяния $l_{\perp} \sim 10$ м, и сетке частот 2020, 2520, 3020, 3520, 4020, 4520, 5360, 5920, 6420 и 6920 кГц на ионозонде «Циклон» в КФУ, отвечая масштабам рассеяния $l_{\perp} \sim 40 - 120$ м. Если исследования динамики рассеяния для масштабов $l_{\perp} \sim 10$ м вблизи гирогармоник проводились и ранее [2, 3], то для более крупных декаметровых масштабов такие измерения проведены впервые.

Результаты исследований

Для дневных часов проведения экспериментов рассеянные сигналы наблюдались лишь в ЮФУ для максимальных частот зондирования и лишь единичные сеансы рассеяния были зарегистрированы для $f = 6920$ кГц в КФУ при нагреве выше 4-й гирогармоники. На рисунках 1–2 представлены данные измерений ИРИ и зондирующих волн в ночное время суток. В ночных измерениях рассеянный сигнал наблюдался практически всегда для всей сетки регистрируемых частот, имел максимальные значения при максимальной положительной отстройке частоты волны накачки от частоты гирогармоники $f_0 - 4f_c \sim 40$ кГц, и значительно уменьшался по интенсивности (до 20 дБ для $l_{\perp} \sim 10$ м и до 5–10 дБ для $l_{\perp} \sim 100$ м) при прохождении частотой нагрева частоты гирогармоники и ниже нее. В целом эти результаты согласуются с данными работы [3]. В измерениях наблюдалось возрастание времен релаксации наиболее крупных декаметровых неоднородностей и диагностического ИРИ от 10–15 сек. днем до 2–2.5 мин в ночное время суток, ранее наблюдавшееся в исследованиях [4].

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19–02–00343).

Список литературы

1. Leyser T. B. Stimulated electromagnetic emission by high-frequency electromagnetic pumping of the ionospheric plasma // Space Sci. Rev. — 2001. — Vol. 98. — P. 223–3282.
2. Ponomarenko P. V., Leyser T. B., Thide B. New electron gyroharmonic effects in HF scatter from pump-excited magnetic fieldsaligned ionospheric irregularities // J. Geophys. Res. — 1999. — Vol. 104. — P. 10081–10087.
3. Фролов В. Л., Болотин Г. Г., Комраков Г. П., Вертоградов Г. Г., Вертоградов В. Г., Вертоградова Е. Г., Акчурин А. Д., Бочкарёв В. В., Дрешер А. М., Зыков Е. Ю., Латыпов Р. Р., Петрова И. Р., Юсупов К. М., Куницын В. Е., Падохин А. М., Курбатов Г. А. Гирогармонические свойства генерации искусственных ионосферных неоднородностей // Изв. ВУЗов. Радиофизика. — 2012. — Т. 55. — С. 393–420.
4. Сергеев Е. Н., Зыков Е. Ю., Акчурин А. Д., Насыров И. А., Вертоградов Г. Г., Вертоградов В. Г., Ким В. Ю., Полиматиди В. П., Грач С. М. Результаты комплексных исследований возмущенной области ионосферы с помощью КВ-локации в широкой полосе частот и искусственного радиоизлучения ионосферы // Изв. ВУЗов. Радиофизика. — 2012. — Т. 55. — С. 79–93.