

УДК 537.876.23:
551.510.535

В. Г. БЕЗРОДНЫЙ¹, Б. ВОТКИНС²,
О. В. ЧАРКИНА¹, Ю. М. ЯМПОЛЬСКИЙ¹

¹ Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: bezrodny@rian.kharkov.ua

² Университет Аляски – Фэрбенкс,
505 Саут Чандалар Драйв, Фэрбенкс, США, АК 99775

ОСЛАБЛЕНИЕ МЕРЦАНИЙ ДИСКРЕТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ПРИ НЕРЕЗОНАНСНОМ ВЧ НАГРЕВЕ ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЫ

Целью работы является исследование реакции спектров и индексов мерцаний дискретных космических источников (ДКИ) на модификацию F-слоя ионосферы мощными электромагнитными полями на частотах, превышающих ленгмюровскую и верхнюю гибридную. Представлены результаты специального эксперимента по наблюдению мерцаний излучения ДКИ Лебедь А с помощью 64-лучевого панорамного риометра, расположенного в пос. Гакона (Аляска, США). Искусственное возмущение ионосферы осуществлялось мощным нагревным стендом HAARP. В исследуемых условиях нерезонансного нагрева ионосферной плазмы установлен неизвестный ранее эффект уменьшения уровня мерцаний ДКИ. Обнаруженному эффекту дана теоретическая интерпретация, на основе которой предложена методика решения обратной задачи – восстановления отклонений средней концентрации и температуры электронов в нагревной области от их невозмущенных значений.

Ключевые слова: риометр, эффект мерцаний, космический фон, дискретный космический источник, взаимная корреляция

1. Введение

Значительное место в теоретических и экспериментальных исследованиях физических процессов, обусловленных модификацией ионосферы мощным ВЧ излучением, занимает изучение явлений, связанных с ее нагревом и возбуждением собственных колебаний и волн. Как показано в обзоре [1], интенсивный нерезонансный нагрев F-слоя ионосферы может приводить к существенному снижению его средней электронной концентрации. Нагрев F-слоя ВЧ излучением О-поляризации на частотах ленгмюровского и верхнего гибридного резонансов (ВГР) стимулирует развитие интенсивных плазменных неоднородностей.

Одним из распространенных методов радиофизической диагностики процессов нагревной модификации ионосферы (см., например [2]) является метод мерцаний дискретных космических источников (ДКИ). В работе авторов (см. [3]) этот метод детально разработан применительно к регистрации мерцаний ДКИ на искусственных неоднородностях ионосферы с использованием панорамных ВЧ риометров. Наблюдения эффектов, возникающих в верхней ионосфере под действием нагрева излучением крупнейшего в мире стенда HAARP

на частоте ВГР, выполненные 64-лучевым панорамным риометром (пос. Гакона, Аляска, США), продемонстрировали значительный рост индекса мерцаний ДКИ, связанный с искусственной турбулизацией ионосферной плазмы [3].

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование мерцаний ДКИ при модификации F-слоя ионосферы мощной радиоволной на нерезонансной частоте (превышающей ленгмюровскую и верхнюю гибридную).

2. Описание эксперимента

Эксперимент по регистрации мерцаний ДКИ Лебедь-А в условиях нерезонансного ионосферного нагрева был проведен 13.11.2012 г. с использованием упомянутых во Введении риометра Гакона и стенда HAARP. На рис. 1 изображена многолучевая (8×8) диаграмма направленности $G_{mn}(\alpha, \psi)$ риометра по уровню 0.5 в полярной системе координат – зенитный угол α , азимут ψ . Начало координат $\alpha = 0$ соответствует направлению в локальный зенит, азимут ψ отсчитывается от направления на географический север N против часовой стрелки. Оси диаграммы направленности ориентированы вдоль и поперек геомагнитного меридиана NmSm. Номера столбцов, $m = 1, \dots, 8$, диаграммной матрицы G_{mn} отсчитываются слева направо (от Em к Wm), номера

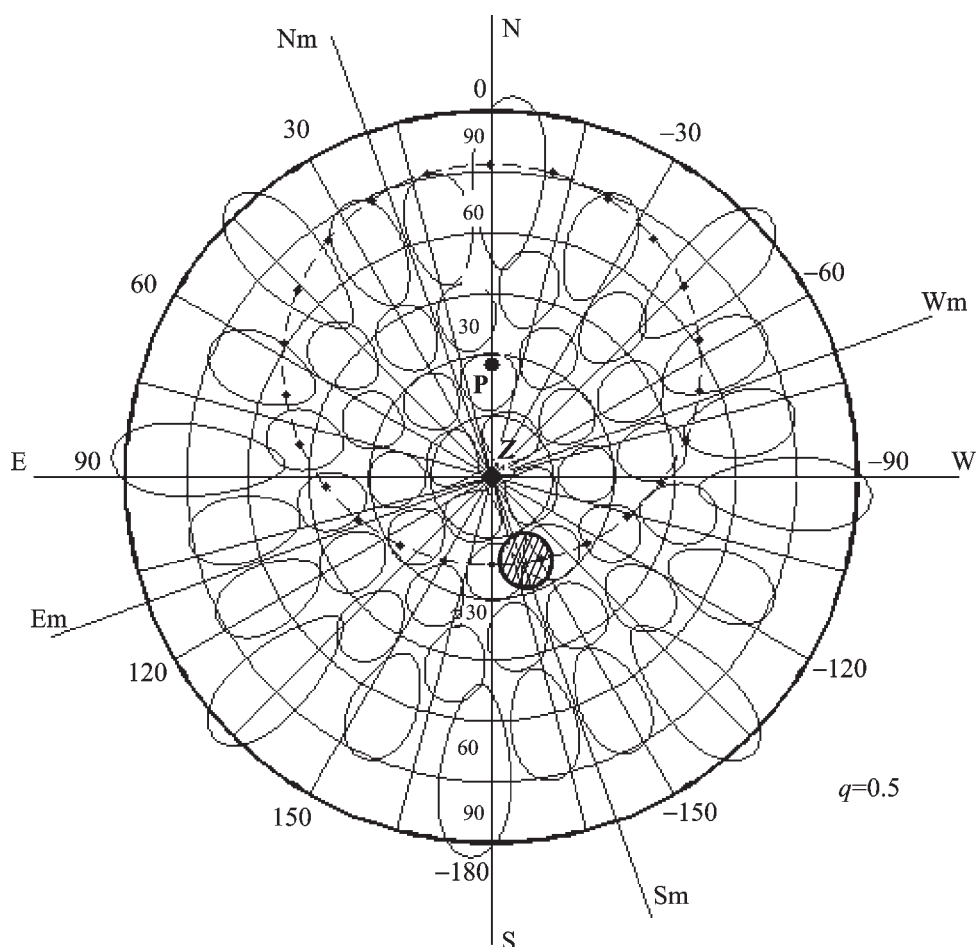


Рис. 1. Диаграмма направленности риометра Гакона: штрих-пунктирная окружность – траектория движения ДКИ Лебедь А, окружность с наклонной штриховкой – ориентация главного лепестка стелды HAARP в наблюдениях 13.11.2012 г.

строк, $n = 1, \dots, 8$, – сверху вниз (от Nm к Sm); P – полюс мира, вокруг которого происходит вращение дискретных космических источников; направление движения источников – против часовой стрелки. Штрих-пунктирная окружность отображает траекторию движения ДКИ Лебедь А, расстояние между двумя соседними точками на окружности соответствует смещению источника за 1 ч. Наблюдения проводились в заходный период суток с 02:35 по 03:05 всемирного времени UT (16:55 – 17:25 местного времени LT), в течение которого ионосферные параметры сравнительно плавно изменялись от дневных значений к ночным. Источник Лебедь А в это время последовательно проходил через лепестки (4;6), (5;6) диаграммы направленности риометра.

В ходе эксперимента было выполнено три цикла нагрева: 5-минутная пауза (OFF) – 5-минутный нагрев (ON). В периоды ON стелд HAARP

излучал волну накачки О-поляризации на частоте $f_{Heat} = 6.9$ МГц, мощность передатчика составляла 3.6 МВт. Диаграмма направленности передающей антенны ориентировалась в плоскости геомагнитного меридиана NmSm в южном направлении под углом $\alpha_0 = 22^\circ$ к зениту. Окружность, отмеченная на рис. 1 наклонной штриховкой, демонстрирует указанную ориентацию луча HAARP по уровню 0.5 в рассматриваемом эксперименте.

Текущее состояние ионосферы вне области нагрева контролировалось во время эксперимента станцией вертикального зондирования, расположенной рядом с HAARP. Средние значения полученных с ее помощью невозмущенных ионосферных параметров для каждого 5-минутного интервала OFF и ON приведены в табл. 1. Здесь z_m – высота максимума слоя F; f_{pm} и $f_{UHm} = \sqrt{f_{pm}^2 + f_H^2}$ – значения плазменной и верхней гибридной частот, соответствующие высоте z_m ;

Таблица 1. Значения невозмущенных ионосферных параметров для интервалов OFF и ON

Параметры	OFF ₁	ON ₁	OFF ₂	ON ₂	OFF ₃	ON ₃
UT	02:35–02:40	02:40–02:45	02:45–02:50	02:50–02:55	02:55–03:00	03:00–03:05
LT	16:55–17:00	17:00–17:05	17:05–17:10	17:10–17:15	17:15–17:20	17:20–17:25
z_m , км	249	246	235	236	264	230
f_{pm} , МГц	6.600	6.542	6.337	6.350	7.117	5.633
f_{UHm} , МГц	6.747	6.690	6.490	6.502	7.253	5.805
$f_m(\alpha_0)$, МГц	7.120	7.056	6.835	6.849	7.677	6.075

$f_H = 1.4$ МГц – гирочастота электронов; $f_m(\alpha_0) = f_{pm} / \cos \alpha_0$ – максимальная частота отражения волны, падающей на ионосферный слой под углом α_0 .

Из анализа ионосферных данных (табл. 1) следует, что частота мощной волны $f_{Heat} = 6.9$ МГц для всех трех интервалов нагрева ON_{1,2,3} превышала максимальные плазменные и ВГР частоты ($f_{Heat} > f_{pm}, f_{UHm}$). Таким образом, во всей ионосферной толще реализовались условия нерезонансного нагрева плазмы. Условие отражения нагревного излучения, $f_{Heat} < f_m(\alpha_0)$, выполнялось только на интервале ON₁. На интервале ON₂ частота f_{Heat} была близка к $f_m(\alpha_0)$, а для ON₃ – значительно ее превосходила.

3. Обработка экспериментальных данных

Первичная обработка регистраций суммарной интенсивности $I(t) = G_{mn}(t)I_S(t) + I_B(t)$ излучений ДКИ и космического фона в лучах (4;6), (5;6) риометра производилась по методике, предложенной авторами в работе [3]. В частности, для каждого пятиминутного интервала OFF и ON рассчитывалось среднее значение интенсивности, которое считалось постоянным в пределах этого интервала и относилось к его центру. Затем через такие центры проводились сглаживающие кривые, которые аппроксимировали временной ход статистической средней интенсивности $\langle I(t) \rangle$ при нагреве и в паузах. Результаты указанных расчетов нанесены на рис. 2, а, б в виде сплошных (OFF) и штриховых (ON) кривых. Интервалы излучения нагревного стенда отмечены на шкале времени темными прямоугольниками. Верхние панели рис. 2, а и рис. 2, б демонстрируют расчетные значения диаграмм направленности $G_{mn}(t)$ рассматриваемых лучей риометра в направлении $\{\alpha_S(t); \psi_S(t)\}$ на ДКИ Лебедь А в текущие мо-

менты времени t . Зависимости интенсивности среднего космического фона $\langle I_B(t) \rangle$ на нижних панелях аппроксимируются линиями, соединяющими моменты входа источника в соответствующий лепесток диаграммы направленности и выхода из него по уровню $G_{mn} = 0$.

Как показано в работе [4], достаточно высокий уровень флуктуаций космического электромагнитного фона при регистрации мерцаний ДКИ с использованием панорамных ВЧ риометров с пространственными размерами, близкими к размерам риометра Гакона, приводит к заметным ошибкам в результатах диагностики ионосферных неоднородностей методом мерцаний. Именно по этой причине в [4] был предложен и апробирован эффективный метод снижения уровня флуктуаций космического фона путем перехода от спектрального анализа мерцаний в отдельных лучах риометра к их межлучевой корреляционной обработке.

Согласно выводам [4], вычисление межлучевой корреляционной функции (или взаимного временного спектра) суперпозиции излучений ДКИ и космического фона в двух соседних лучах риометра, в силу пространственной δ -коррелированности космического фона, снижает вклад его флуктуаций в оценку уровня мерцаний источника. Подавление фона приблизительно равно отношению площади пересечения ДН лучей риометра к полной площади ДН единичного луча. Для риометра Гакона это отношение оценивается величиной $\sim 1/6$. Справедливость такой оценки качественно подтверждает рис. 3, демонстрирующий взаимное пересечение рассматриваемых лучей риометра по уровню $G_{mn} = 0$. Здесь же для большей наглядности геометрии нагрева в наблюдениях 13. 11. 2012 г. показана ориентация ДН основной энергонесущей (по уровню $G_{Heat} = 0.5$) части луча стенда HAARP.

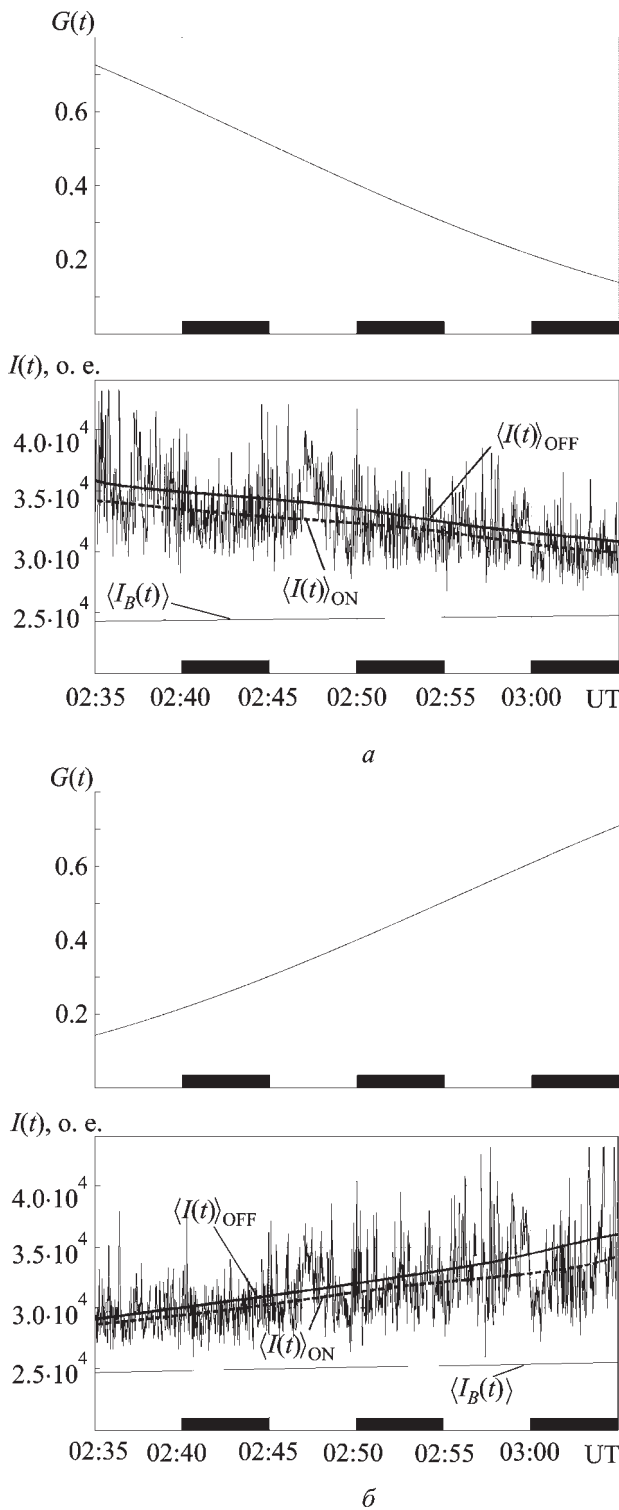


Рис. 2. Результаты первичной обработки данных: *а* – луч (4;6); *б* – луч (5;6). Темные прямоугольники вдоль оси абсцисс – интервалы включения нагревного стенда. Верхние панели рисунков – текущие значения расчетных диаграмм лучей (4;6), (5;6) риометра Гакона в направлении $\{\alpha_S(t); \psi_S(t)\}$ на источник

В отличие от космического фона, значение взаимной корреляционной функции относительных флуктуаций интенсивности ДКИ в тех же лучах в совпадающие моменты времени не отличается от дисперсии (индекса мерцаний) в каждом из них, поскольку регистрация ДКИ в обоих лучах происходит с одного и того же направления. Подобную идентичность имеют также взаимный и энергетический спектры мерцаний в рассматриваемых лучах.

На основе таких рассуждений для расчета спектров $S(f)$ мерцаний ДКИ Лебедь А в условиях нагревного эксперимента 13.11.2012 г. были использованы соотношения, отличающиеся от предложенных в [4] только номерами лучей риометра:

$$S(f) = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M S^{(n)}(f),$$

$$S^{(n)}(f) = \frac{1}{\Delta t} \left(\int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} \frac{\delta I(t)}{\langle I(t) \rangle - \langle I_B(t) \rangle} e^{-i2\pi f t} dt \right)_{(4;6)} \times \left(\int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} \frac{\delta I(t)}{\langle I(t) \rangle - \langle I_B(t) \rangle} e^{i2\pi f t} dt \right)_{(5;6)}.$$

Входящие в приведенные формулы “мгновенные” спектры $S^{(n)}(f)$ определялись по интервалам $\Delta t = 60$ с, число усреднений по номеру n таких спектров в каждой фазе OFF и ON составляло величину $M = 5$. Индексы мерцаний $\beta^2 \equiv \langle (\delta I)^2 \rangle / \langle I \rangle^2$ для каждого из этих циклов оценивались величиной интеграла под соответствующей спектральной кривой. Результаты вычислений спектров и индексов мерцаний для трех циклов нагрева изображены на рис. 4.

4. Обсуждение результатов

Как следует из кривых рис. 4, в двух первых циклах нагрева (рис. 4, *а* и *б*) имело место значительное уменьшение индекса мерцаний при переходе от режима OFF к режиму ON:

$$\beta_{ON1}^2 / \beta_{OFF1}^2 = 0.60, \quad \beta_{ON2}^2 / \beta_{OFF2}^2 = 0.51.$$

В третьем цикле (рис. 4, *в*) реакция на нагрев практически отсутствовала:

$$\beta_{ON3}^2 / \beta_{OFF3}^2 = 0.99.$$

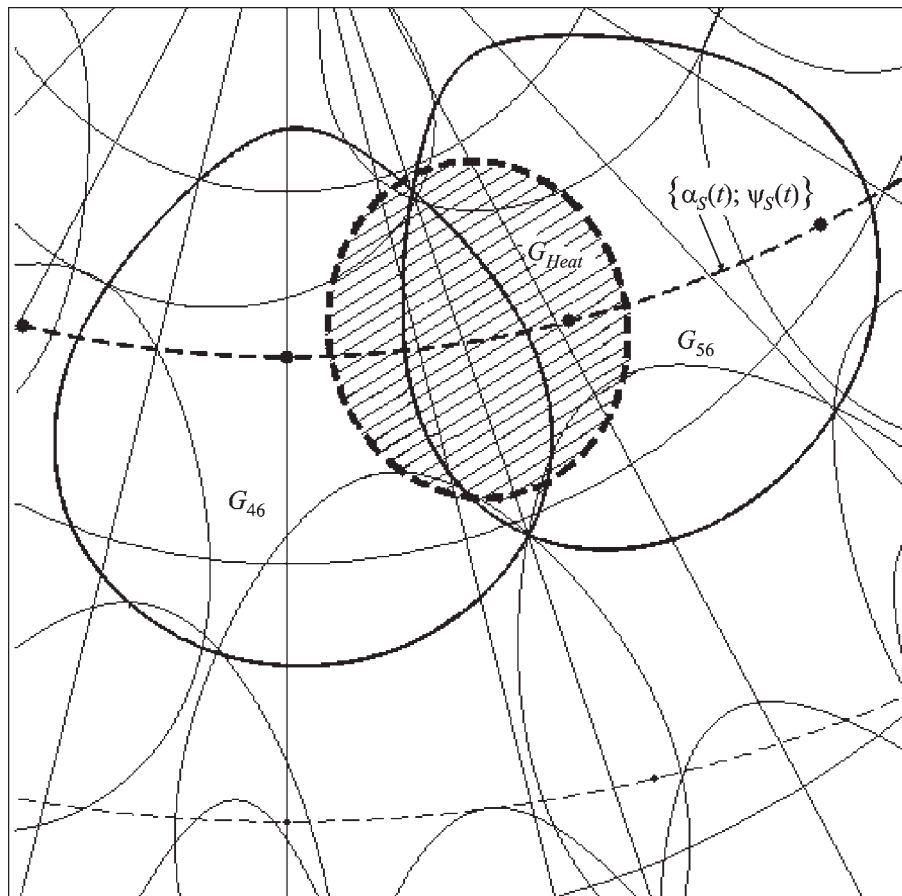


Рис. 3. Взаимное пересечение лучей (4;6), (5;6) риометра Гакона по уровню $G_{mn}(\alpha, \psi) = 0$ и главного лепестка нагревного стенда HAARP по уровню $G_{Heat}(\alpha, \psi) = 0.5$ (штриховая окружность) в наблюдениях 13. 11. 2012 г.

Для объяснения такого поведения индексов мерцаний обратимся к работе А. В. Гуревича [5]. Согласно ее результатам, нагрев F-слоя ионосферы, обусловленный поглощением мощного ВЧ излучения, приводит к уменьшению электронной плотности плазмы вследствие ее теплового расширения и последующей диффузии из области нагрева вдоль силовых линий геомагнитного поля. Изменения регулярных (в отсутствие случайных флуктуаций) значений концентрации электронов, $\Delta N_e \equiv N_e(T_e) - N_e(T_0)$, и их температуры, $\Delta T \equiv T_e - T_0$, в каждой точке такой области, согласно [5], связаны между собой соотношением

$$\frac{\Delta N_e}{N_{e0}} = -C \frac{\Delta T}{T_0}. \quad (1)$$

Здесь $N_{e0} \equiv N_e(T_0)$; T_e , T_0 – температуры электронов и нейтральных частиц; $C = \frac{2\delta_i v_{ei} + v_{in}}{2\delta_i v_{ei} + 2v_{in}}$ – коэффициент связи, зависящий от высоты z и вре-

мени суток; v_{ei} , v_{in} – частоты соударений электронов с ионами и ионов с нейтральными молекулами; $\delta_i = 2m_e/M_i$ – средняя доля энергии, теряемой электроном при одном столкновении с ионом; m_e , M_i – массы электронов и ионов соответственно. Полагается, что в отсутствие нагрева выполняется равенство $T_e = T_i = T_0$, где T_i – температура ионов. Исходя из приведенных в [5] высотных зависимостей ионосферных параметров, для интервала высот F-слоя, $z = 200 \div 300$ км, и рассматриваемого нами заходного периода суток может быть получена оценка $C \approx 0.7$.

Что касается индекса мерцаний ДКИ, то в первом приближении метода возмущений по малым случайным флуктуациям δN_e электронной концентрации ионосферы он описывается соотношением (см., например, [6])

$$\beta^2 = \frac{\pi \omega_{pm}^4 \Delta z}{\omega_0^2 c^2 \cos \alpha_S} \int_{-\infty}^{\infty} d\kappa_x \times$$

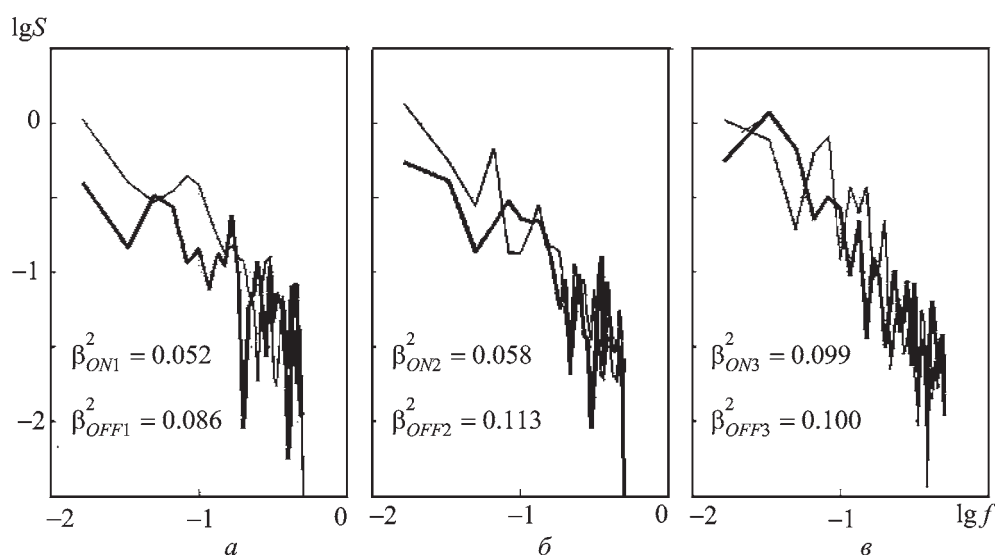


Рис. 4. Спектры и индексы мерцаний ДКИ Лебедь А в трех циклах нагрева 13.11.2012 г.: жирные линии – интервалы ON, тонкие – интервалы OFF

$$\times \int_{-\infty}^{\infty} dk_{y'} \left\{ 1 - \cos \left(\frac{(\kappa_{x'}^2 + \kappa_{y'}^2) z_m}{k_0 \cos \alpha_S} \right) \right\} \Phi_N(\kappa_{x'}, \kappa_{y'}, \kappa_{z'} = 0). \quad (2)$$

Здесь ω_0 – циклическая частота излучения ДКИ; $k_0 = \omega_0/c$, c – скорость света; ω_{pm} – значе- ние плазменной частоты в максимуме z_m ионо- сферного слоя; Δz – характерная толщина слоя; $\Phi_N(\bar{\kappa})$ – трехмерный пространственный спектр флуктуаций $\delta N_e/N_e$. Начало системы координат совмещено с приемным пунктом, ось z' ориенти- рована на источник, образуя с направлением в зенит угол α_S . При выводе (2) пренебрегалось отличием средней электронной концентрации плаз- мы от регулярного значения N_e и полагалось вы- полненным неравенство $\Delta z \ll z_m$.

Как следует из формулы (2), величина индекса мерцаний источника определяется значением средней электронной концентрации $N_{em} \sim \omega_{pm}^2$ в максимуме слоя и интегральным множителем в правой части формулы, характеризующим ин- тенсивность относительных флуктуаций $\delta N_e/N_e$. Есть все основания полагать, что нерезонансный, чисто столкновительный, нагрев плазмы не мо- жет изменять характеристик ее турбулентных флуктуаций, вследствие чего указанный множи- тель должен оставаться в процессе нагрева не- изменным. Такое допущение приводит к выводу о том, что в рассматриваемых нами условиях

ионосферной модификации величина индекса мерцаний должна определяться только изме- нениями средней концентрации электронов в максимуме ионосферного слоя, связанными с соответствующими изменениями температуры соотношением (1).

Указанная реакция интенсивности мерцаний на уменьшение средней электронной концентрации в области нерезонансного ионосферного нагрева является противоположной той, которая сопровож- дает суточное уменьшение концентрации плаз- мы при переходе ионосферы от дневных условий освещенности к ночным. А именно, хорошо изве- стно (см., например, [7–9]), что ночные мерцания обычно значительно превышают дневные. Такая суточная динамика очевидным образом связа- на с усилением ночью нерегулярных процессов в ионосферной плазме в условиях отсутствия ионизирующего солнечного излучения, в резуль- тате чего резко возрастает уровень турбулизации плазмы, и второй множитель в выражении (2) ста- новится преобладающим.

Полученный вывод открывает возможность для решения обратной задачи – восстановления значений относительных изменений средней кон- центрации и температуры электронов в области нерезонансного ВЧ нагрева слоя F по регистра- циям ионосферных мерцаний. Для этой цели мо- гут быть использованы формулы, непосредственно следующие из соотношений (1), (2):

$$\left(\frac{N_{ON} - N_{OFF}}{N_{OFF}} \right)_{z=z_m} = - \left(1 - \frac{\beta_{ON}}{\beta_{OFF}} \right), \quad (3)$$

$$\left(\frac{T_{ON} - T_{OFF}}{T_{OFF}} \right)_{z=z_m} = \frac{1 - \beta_{ON}/\beta_{OFF}}{C}.$$

Подстановка в (3) значений β_{ON}/β_{OFF} , полученных в начале этого раздела для каждого из трех циклов нагрева 13.11.2012 г., приводит к следующим оценкам:

$$\left(\frac{N_{ON1} - N_{OFF1}}{N_{OFF1}} \right)_{z=z_m} \approx -0.22,$$

$$\left(\frac{N_{ON2} - N_{OFF2}}{N_{OFF2}} \right)_{z=z_m} \approx -0.29,$$

$$\left(\frac{N_{ON3} - N_{OFF3}}{N_{OFF3}} \right)_{z=z_m} \approx -0.005,$$

$$\left(\frac{T_{ON1} - T_{OFF1}}{T_{OFF1}} \right)_{z=z_m} \approx 0.32,$$

$$\left(\frac{T_{ON2} - T_{OFF2}}{T_{OFF2}} \right)_{z=z_m} \approx 0.41,$$

$$\left(\frac{T_{ON3} - T_{OFF3}}{T_{OFF3}} \right)_{z=z_m} \approx 0.007.$$

Можно видеть, что полученные оценки вариаций температуры и концентрации электронов не противоречат динамике ионосферных данных табл. 1. Действительно, согласно установившимся литературным представлениям (см., например, [5, 10]), наиболее сильное диссипативное затухание ВЧ волны в F-слое, а значит и наибольший нагрев плазмы, происходит в так называемой отклоняющей области высот, определенной условием близости частоты нагревного излучения к частоте отражения от ионосферного слоя при выбранном угле облучения. В этой области имеет место максимальное рефракционное искривление траектории волны и возрастание ее амплитуды. Именно такие условия реализовались в двух первых циклах нагрева. В третьем цикле частота нагревной волны f_{Heat} значительно превосходила

максимальную частоту отражения от слоя $f_m(\alpha_0)$. В результате эта волна распространялась по неискривленной траектории и практически не испытывала поглощения в слое.

5. Выводы

1. В ходе эксперимента 13.11.2012 г. по модификации F-слоя ионосферы мощным радиоизлучением с частотой, превышающей ленгмюровскую и верхнюю гибридную, зарегистрирован неизвестный ранее эффект ослабления мерцаний диагностического электромагнитного излучения ДКИ Лебедь А.

2. Установлено, что необходимым условием наблюдения указанного эффекта является близость частоты нагревного излучения к частоте отражения от ионосферного слоя, соответствующей выбранному зенитному углу облучения.

3. Предложена теоретическая модель, объясняющая ослабление мерцаний ДКИ в модифицированной ионосфере уменьшением средней электронной концентрации плазмы вследствие ее теплового расширения и последующей диффузии из области нерезонансного ВЧ нагрева.

4. Разработаны алгоритмы определения величин относительных изменений средней концентрации и температуры ионосферной плазмы в области нерезонансного нагрева по регистрациям мерцаний ДКИ и приведены соответствующие оценки, полученные в эксперименте 13.11.2012 г. с использованием нагревного стенда HAARP и панорамного ВЧ риометра Гакона.

Представленная работа выполнена в рамках НИР “Исследования возмущений в геокосмосе и разработка новых дистанционных методов их зондирования” (“Ятаган-2”, №0111U000063) при частичной финансовой поддержке по теме “Совместные с ассоциацией EISCAT исследования ионосферных и магнитосферных возмущений во время максимума солнечной активности в высоких и средних широтах” (“Шпицберген-2013”, № 0113 U002656).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуревич А. В. Нелинейные явления в ионосфере // УФН. – 2007. – Т. 177, № 11. – С. 1145–1177.
2. Беликович В. В., Бенедиктов Е. А., Гетманцев Г. Г., Ерухимов Л. М., Зуйков Н. А., Комраков Г. П., Коробков Ю. С., Митяков Н. А., Рапопорт В. О., Трахтенгерц В. Ю., Фролов В. Л. Новые результаты исследований

- нелинейных явлений в ионосфере // Изв. вузов. Радиофизика. – 1975. – Т. 18, № 4. – С. 516–526.
3. Безродный В. Г., Чаркина О. В., Ямпольский Ю. М., Воткинс Б., Гровс К. Исследование стимулированных ионосферных мерцаний и поглощения излучения дискретных космических источников с помощью панорамного ВЧ риометра // Радиофизика и радиоастрономия. – 2010. – Т. 15, № 2. – С. 151–163.
 4. Безродный В. Г., Воткинс Б., Чаркина О. В., Ямпольский Ю. М. Межлучевая кросскорреляционная обработка ионосферных мерцаний дискретных космических источников, регистрируемых панорамными ВЧ риометрами // Радиофизика и радиоастрономия. – 2013. – Т. 18, № 3. – С. 224–230.
 5. Гуревич А. В. Воздействие радиоволн на ионосферу в области F-слоя // Геомагнетизм и аэрономия. – 1967. – Т. 7, № 2. – С. 291–299.
 6. Гершман Б. Н., Ерухимов Л. М., Яшин Ю. Я. Волновые явления в ионосферной и космической плазме. – М.: Наука, 1984. – 392 с.
 7. Aarons J., Whitney H. E., and Allen R. S. Global morphology of ionospheric scintillations // Proc. IEEE. – 1971. – Vol. 59, No. 2. – P. 159–172.
 8. Crane R. K. Ionospheric scintillations // Proc. IEEE. – 1977. – Vol. 65, No. 2. – P. 180–199.
 9. Рашковский С. Л. Исследование астрономическими методами декаметровых ионосферных мерцаний на радиотелескопе УРАН-1 // Изв. вузов. Радиофизика. – 2004. – Т. 47, № 9. – С. 705–721.
 10. Davies K. Ionospheric radio. – London: Peter Peregrinus LTD, 1989. – 580 p.

В. Г. Безродный¹, Б. Воткинс², О. В. Чаркина¹,
Ю. М. Ямпольский¹

¹Радиоастрономічний інститут НАН України,
вул., Червонопрапорна, 4, м. Харків, 61002, Україна

²Університет Аляски – Фербенкс,
505 Саут Чандалар Драйв, Фербенкс, США, АК 99775

ПОСЛАБЛЕННЯ МЕРЕХТІНЬ ДИСКРЕТНИХ КОСМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ ПРИ НЕРЕЗОНАНСНОМУ ВЧ НАГРІВІ ВЕРХНЬОЇ ІОНОСФЕРИ

Метою роботи є дослідження реакції спектрів та індексів мерехтінь дискретних космічних джерел (ДКД) на модифіка-

цію F-шару іоносфери потужними електромагнітними полями на частотах, що перевищують ленгмюрівську та верхню гібридну. Надаються результати спеціального експерименту щодо спостереження мерехтінь випромінювання ДКД Лебідь А за допомогою 64-променевого панорамного риометра, розташованого у селищі Гакона (Аляска, США). Штучне збурення іоносфери здійснювалося потужним нагрівним стендом HAARP. У досліджуваних умовах нерезонансного нагріву іоносферної плазми виявлено невідомий раніше ефект зменшення рівня мерехтінь ДКД. Вказаному ефекту надано теоретичну інтерпретацію, на базі якої запропоновано методику розв'язку оберненої задачі – відновлення відхилень середньої концентрації та температури електронів у нагрівній області від їх незбурених значень.

V. G. Bezrodny¹, B. Watkins², O. V. Charkina¹,
and Y. M. Yampolski¹

¹Institute of Radio Astronomy,
National Academy of Science of Ukraine,
4, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

²University of Alaska Fairbanks,
505 South Chandalar Drive, Fairbanks, AK 99775

ATTENUATION OF SCINTILLATION OF DISCRETE COSMIC SOURCES DURING NONRESONANT HF HEATING OF THE UPPER IONOSPHERE

The aim of the work is to experimentally investigate the response of scintillation spectra and indices of discrete cosmic sources (DCS) to modification of the ionospheric F-region by powerful electromagnetic fields with frequencies exceeding the Langmuir and upper hybrid ones. The results of a special experiment on the scintillations of radiation from DCS Cygnus A observed with using the 64-beam imaging riometer located near the Gakona village (Alaska, USA) are here presented. The ionosphere was artificially disturbed by powerful HAARP heater. Under the studied conditions of nonresonant heating of the ionospheric plasma, an earlier unknown effect of reducing the level of DCS scintillation was discovered. The theoretical interpretation has been given for the discovered effect, which using allowed the proposed technique of solving the inverse problem (recovery deviations of average electron density and temperature in the modified region from their unperturbed values).

Стаття поступила в редакцію 13.01.2014