

УДК 550.383

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ШИРОКОПОЛОСНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО МАКСИМУМА В ЕСТЕСТВЕННЫХ ШУМОВЫХ ПОЛЯХ КРАЙНЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

Е. Н. Ермакова¹, Д. С. Котик¹, А. В. Рябов¹, А. В. Першин¹, Т. Бёзингер², К. Чжоу³

¹ Научно-исследовательский радиофизический институт, г. Нижний Новгород, Россия

² Отделение физических наук университета г. Оулу, Финляндия

³ Отделение электрической и компьютерной инженерии университета г. Майями, США

Исследована суточная динамика широкополосного максимума в спектрах поляризационного параметра фонового крайне низкочастотного шума. По данным мониторинга 2009–2012 годов на среднеширотном пункте «Новая жизнь» (Нижегородская область, Россия) обнаружено изменение характера суточной динамики максимума в годы возрастающей солнечной активности. Оно проявляется в спорадических вариациях центральной частоты и спектра поляризационного параметра в течение суток. Анализ данных ионозондовых измерений показал, что такие изменения в суточной динамике широкополосного максимума, как правило, не связаны с вариациями электронной концентрации в максимуме F -слоя ионосферы. Установлено, что численные расчёты поляризационного параметра фонового шума, выполненные с использованием модели IRI-2007, не могут объяснить спорадический характер изменения параметров широкополосного максимума в его спектрах.

ВВЕДЕНИЕ

Наряду с резонансной структурой в спектре фонового крайне низкочастотного шума, которая была впервые зарегистрирована на средних широтах [1, 2] и связана с наличием ионосферного альвеновского резонатора в ионосферной плазме, в спектрах магнитных шумовых полей на частотах $2\div 7$ Гц был обнаружен спектральный широкополосный максимум [3]. Первая гипотеза о природе этой спектральной структуры, сформулированная в работе [3], была связана с распространением низкочастотных волн в ионосферном магнитогидродинамическом волноводе. Однако результаты разнесённого приёма крайне низкочастотных полей не подтвердили это предположение, и в работе [4] был рассмотрен новый механизм формирования широкополосного максимума, обусловленный наличием ионосферной долины на высотах $80\div 300$ км. Благодаря большим градиентам показателя преломления на границах данной области вся неоднородная структура ионосферы на высотах ниже максимума F -слоя в целом обладает собственными резонансными свойствами, отличными от резонансных свойств ионосферного альвеновского резонатора и, в частности, может служить причиной появления широкополосного максимума на частотах $2\div 7$ Гц. В работе [4] эта структура получила название «субионосферный» альвеновский резонатор.

В предыдущих исследованиях [3, 4] суточное поведение широкополосного максимума на средних широтах было описано как сдвиг его центральной частоты в сторону более высоких частот с течением времени от заката к полуночи в сочетании с постепенным его расширением. В работах [5, 6], в которых были приведены результаты исследований особенностей спектров крайне низкочастотного шума на низких широтах (остров Крит, 25° с. ш.), были обнаружены долгопериодные вариации в спектре поляризационного параметра в течение суток. В работе [7] они были связаны со спорадическим характером появления широкополосного максимума на этих широтах. Систематическое изучение суточного поведения широкополосного максимума в разных гелиогеофизических условиях на среднеширотном пункте «Новая жизнь» также показало, что в

некоторых случаях его суточная динамика отличается от традиционной. Это может проявляться, например, в существенном спорадическом понижении его центральной частоты около полуночи.

В настоящей работе по данным мониторинга 2009–2012 годов со среднеширотного пункта «Новая жизнь» исследуется влияние структуры «субионосферного» альвеновского резонатора на спектры поляризационного параметра фонового шума. Обнаружены крупномасштабные вариации в течение суток граничной частоты, на которой значение поляризационного параметра обращается в нуль. Анализ данных ионозондовых измерений показал, что такие изменения в суточной динамике, как правило, не связаны с вариациями электронной концентрации в максимуме F -слоя ионосферы, а определяются перераспределением электронной концентрации только на высотах E -слоя и «долины». Численные расчёты поляризационного параметра и компонент магнитного поля, выполненные с использованием модели IRI-2007, не могут объяснить спорадический характер изменения спектров поляризационного параметра. Также выполнены расчёты спектров магнитного поля для низких широт с использованием ионосферных параметров, полученных из измерений радаром некогерентного рассеяния в г. Аресибо (Пуэрто-Рико, $18^{\circ}20'$ с. ш., $66^{\circ}45'$ з. д.). Расчётные спектры подтверждают спорадический характер возникновения широкополосного максимума на этих широтах, появление которого иногда совпадает с образованием E_s -слоя на высоте порядка 100 км. В данной работе исследованы также особенности спектров поляризационного параметра по измерениям фонового шума на среднеширотном пункте «Новая жизнь» в разные сезоны.

1. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ФОНОВОГО МАГНИТНОГО ШУМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ «СУБИОНОСФЕРНОГО» АЛЬВЕНОВСКОГО РЕЗОНАТОРА. ИОНОСФЕРНЫЕ МОДЕЛИ, ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЁТЫ

Для выбора параметров фонового крайне низкочастотного шума, наиболее подходящих для изучения влияния неоднородной структуры ионосферы на высотах до 300 км на магнитный шум, выполним численные расчёты для спектров амплитуды магнитных компонент, сдвига фазы между ними и параметра поляризации для станции «Новая жизнь». В данной статье мы будем использовать результаты решения задачи о вычислении компонент магнитного поля, создаваемого вертикальным электрическим диполем в сферическом горизонтально неоднородном волноводе Земля—ионосфера [8] и пользоваться методикой расчёта поверхностного импеданса анизотропной и неоднородной ионосферы, развитой в работах [9, 10]. Продольная (параллельная направлению на источник) и поперечная компоненты магнитного поля вычисляются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} H_{\varphi} &= \frac{Il \sqrt{D_S}}{4\pi ah(1)} \left(h_{L^{-1}}^{-1}(2)^{\theta\theta} + \frac{h_{S_m, \theta\varphi}}{h_{S_m, \theta\theta}} h_{L^{-1}}^{-1}(2)^{\theta\varphi} \right) \operatorname{ctg}\left(\frac{r}{2a}\right), \\ H_{\theta} &= -\frac{Il \sqrt{D_S}}{4\pi ah(1)} \left(h_{L^{-1}}^{-1}(2)^{\varphi\theta} + \frac{h_{S_m, \theta\varphi}}{h_{S_m, \theta\theta}} h_{L^{-1}}^{-1}(2)^{\varphi\varphi} \right) \operatorname{ctg}\left(\frac{r}{2a}\right). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь Il — токовый момент источника, a — радиус Земли, r — расстояние от источника до приёмника по геодезической линии, D_S — детерминант матрицы \hat{h}_{S_m} , $h(1)$ — высота нижней границы ионосферы в точке источника, цифра «2» означает, что компоненты матрицы $\hat{h}_{L^{-1}}^{-1}$ определяются в точке приёмного пункта, формулы для вычисления матриц $\hat{h}_{L^{-1}}^{-1}$ и \hat{h}_{S_m} приведены в работах [8, 11]. Введём параметр ε , задаваемый выражением

$$\varepsilon = \frac{|H_R|/|H_L| - 1}{|H_R|/|H_L| + 1}. \quad (2)$$

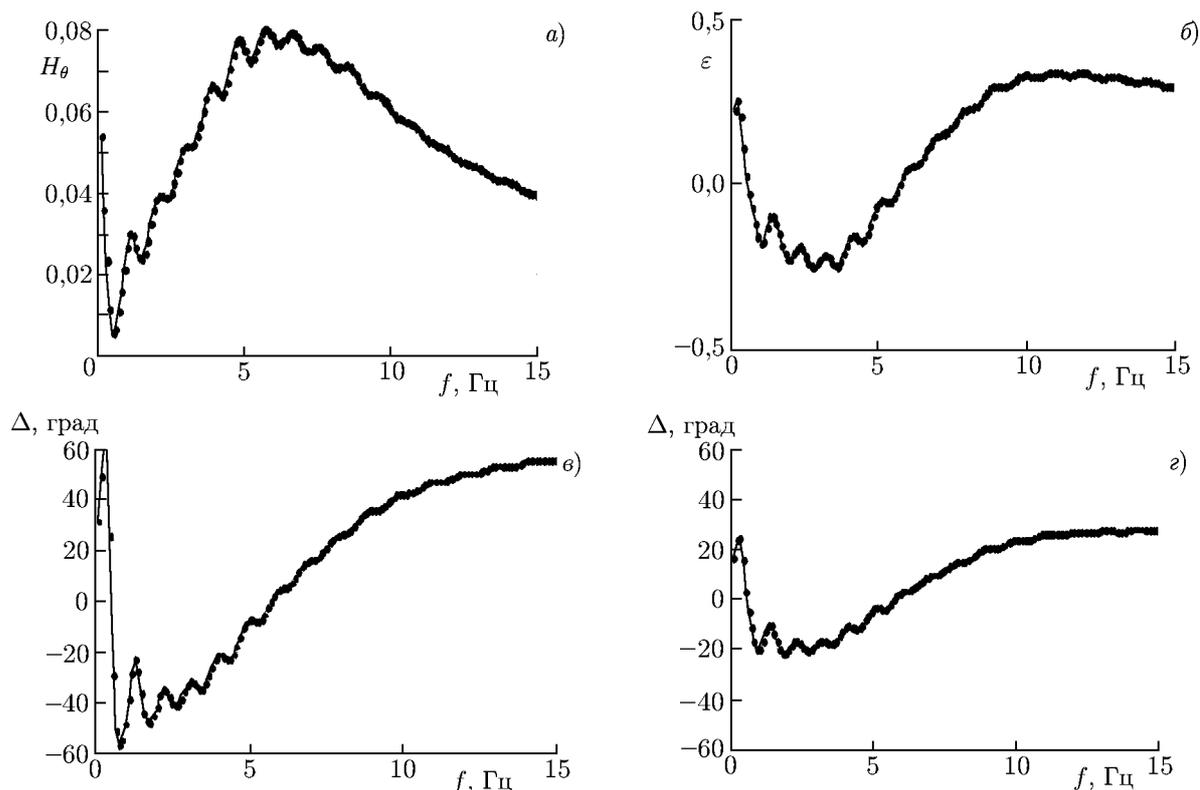


Рис. 1. Результаты численных расчётов спектра H_θ (панель (а)), поляризационного параметра (б) и сдвига фаз Δ между компонентами $H_{ВЗ}$ и $H_{СЮ}$ для направления вдоль магнитного меридиана (в) и под углом 30° к плоскости меридиана (з)

Здесь $H_R = (H_{СЮ} + iH_{ВЗ})/\sqrt{2}$, $H_L = (H_{СЮ} - iH_{ВЗ})/\sqrt{2}$, $H_{СЮ}$ и $H_{ВЗ}$ — компоненты магнитного поля в меридиональной и широтной плоскостях.

На рис. 1 приведены результаты расчёта продольной компоненты H_θ магнитного поля и поляризационного параметра ϵ для плавно меняющихся вдоль волновода свойств ионосферы в ночное время по модели IRI-2007. Координаты приёмного пункта и источника равны соответственно 56° с. ш., 46° в. д. и 5° с. ш., 46° в. д. Расчёты выполнены для 22.01.2011, 17:00 UT. Также приведены результаты расчёта сдвига фазы между компонентами $H_{СЮ}$ и $H_{ВЗ}$ для разного направления на источник. Анализ спектров параметра ϵ и продольной компоненты магнитного поля показывает, что центральная частота максимума совпадает с частотой спектра поляризационного параметра $f_{гр}$, на которой его значение обращается в ноль, а знак параметра ϵ меняется с отрицательного на положительный. Вариации параметра ϵ определяются флуктуациями сдвига фазы между горизонтальными компонентами магнитного поля. Изменение направления на источник может приводить к изменению глубины осцилляций в разности фаз, но не вызывает изменение граничной частоты $f_{гр}$, которая определяется свойствами локальной ионосферы на высотах $80 \div 300$ км. Таким образом, $f_{гр}$ является важной величиной при анализе спектра поляризационного параметра. Анализ спектра поляризации удобен потому, что, являясь отношением магнитных компонент, параметр ϵ свободен от влияния частотной зависимости интенсивности источников и от особенностей амплитудно-частотной характеристики магнитных датчиков. Также при регистрации широкополосного максимума в спектрах амплитуд компонент магнитного поля в летнее время возможна маскировка влияния структуры «субионосферного» альвеновского резонатора локальными источниками гроз, которые существенно изменяют амплитуду компонент

магнитного поля на частотах ниже первого шумановского резонанса. На параметр ε не влияют источники, расположенные на малых (до 100 км) расстояниях от приёмного пункта.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

В настоящей работе приводятся результаты обработки данных по регистрации тангенциальных компонент магнитного поля фонового шума $H_{\text{СЮ}}$ и $H_{\text{ВЗ}}$ в среднеширотном пункте «Новая жизнь». Обработка заключалась в построении спектров поляризационного параметра на временном интервале 10 с с последующим усреднением по 80–100 спектральным реализациям, что соответствует усреднению по 15–20 мин. Анализ данных за период 2009–2012 годов позволил определить особенности суточной динамики поляризации магнитного шума в разные сезоны. При анализе спектра параметра ε исследовалось поведение двух величин: абсолютных значений ε и значения граничной частоты $f_{\text{ГР}}$. Было установлено, что влияние структуры «субионосферного» альвеновского резонатора в тёмное время суток регистрируется практически всегда и сказывается в знакопеременности вариаций поляризационного параметра. Однако было обнаружено, что в зимние месяцы, а также в ноябре и марте глубина этих вариаций существенно уменьшается и, как правило, не превышает по абсолютной величине значения 0,1 на всех частотах, кроме частот шумановских резонансов, а $f_{\text{ГР}}$ увеличивается и может быть больше 8 Гц.

Характерный вид спектрограммы и спектра поляризационного параметра в зимнее время приведён на рис. 2. В период с апреля по ноябрь происходит уменьшение граничной частоты и увеличение глубины осцилляций параметра ε в тёмное время суток. Характерные спектрограммы и спектры изображены на рис. 3. Как показывает сравнительный анализ спектров компонент магнитного поля и поляризационного параметра, широкополосный максимум в спектрах компонент регистрируется, когда глубина осцилляций ε достигает значений 0,2–0,3, а $f_{\text{ГР}}$ становится меньше 4–5 Гц.

Рисунок 4 демонстрирует спектрограммы такого периода, когда влияние структуры «субионосферного» альвеновского резонатора регистрируется и в спектре компоненты магнитного поля СЮ, и в спектре параметра ε . На панелях (в) и (г) приведены спектры поляризационного параметра, по которым можно судить о глубине его осцилляций и граничной частоте. Из этих графиков видно, что $f_{\text{ГР}}$ опускается до значений порядка 2 Гц. Следующий рис. 5 демонстрирует разный характер суточной динамики спектра поляризационного параметра после захода Солнца. Он может заключаться в монотонном увеличении $f_{\text{ГР}}$ со временем, которое наблюдается на рис. 5е; внезапном понижении или повышении $f_{\text{ГР}}$ (рис. 5в и з); периодическом уменьшении глубины ос-

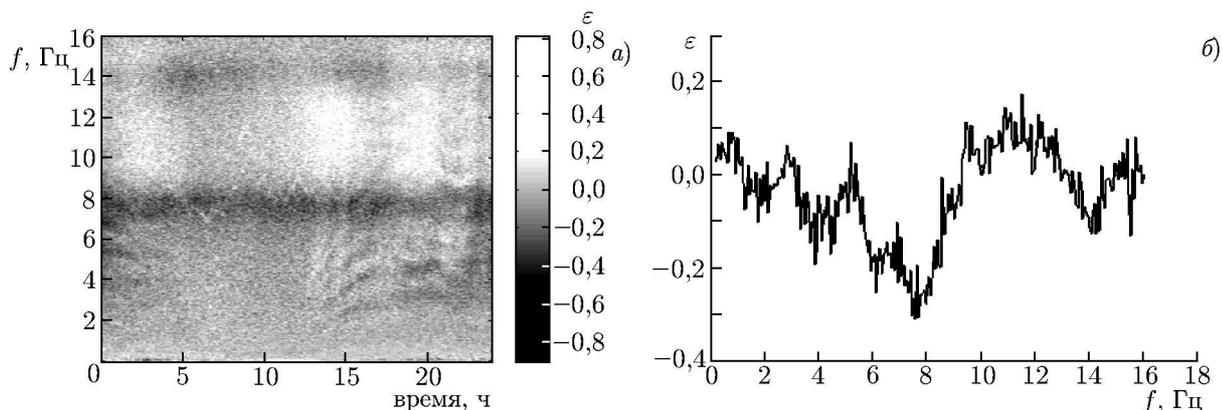


Рис. 2. Спектрограмма (панель (а), 13.12.2010) и спектр параметра ε (панель (б), 22.01.2011, 17:00 UT), характерные для зимнего периода

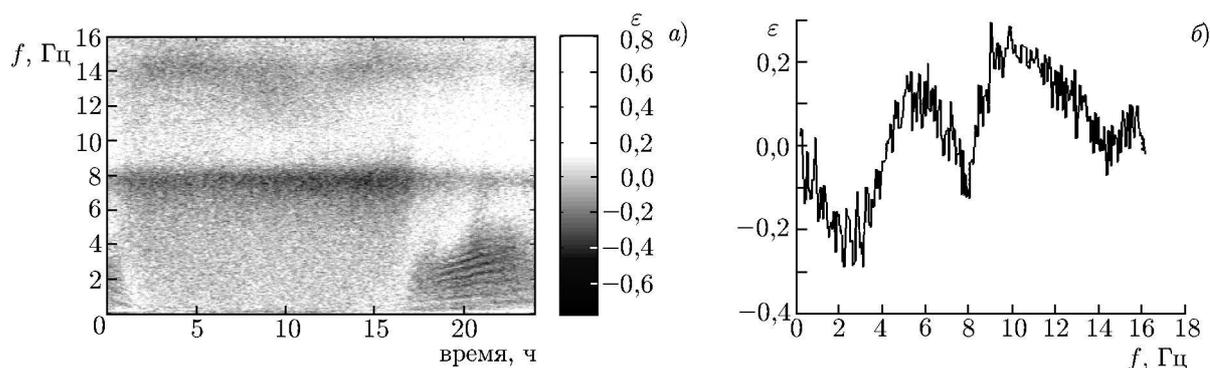


Рис. 3. Спектрограмма (панель (а), 25.04.2011) и спектр поляризационного параметра ε (панель (б), 25.04.2011, 19:40 UT), демонстрирующие более низкие значения $f_{\text{ГР}}$

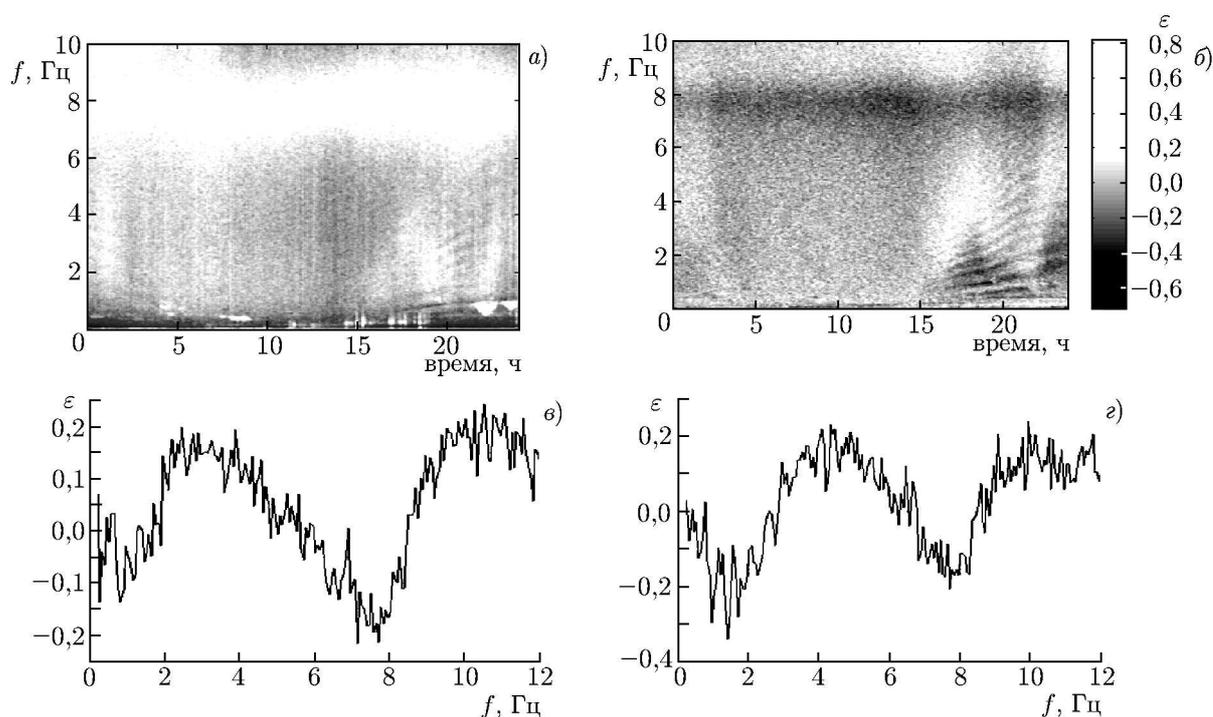


Рис. 4. Амплитуды компоненты магнитного поля $H_{\text{СЮ}}$ (панель (а), 21.09.2011) и спектрограммы параметра ε (панель (б), 21.09.2011) для периода, когда широкополосный максимум отчётливо наблюдается и в спектрах амплитуд магнитных компонент. Внизу (панели (в), 21.09.2011, 16:33 UT, и (г), 21.09.2011, 17:40 UT) приведены спектры ε

циллирующий спектра параметра ε до нуля (при этом спектрограмма выглядит как набор светлых вертикальных полос, см. рис. 5д); и, наконец, в крупномасштабных 2÷4-часовых вариациях $f_{\text{ГР}}$, которые наблюдаются в течение всего тёмного периода суток (рис. 5жс). На рис. 5б приведена рассчитанная по модели IRI-2007 спектрограмма поляризационного параметра для 21.08.2010. Как видно из рис. 5в, в эти сутки регистрировалось спорадическое уменьшение $f_{\text{ГР}}$ вблизи полуночи, т. е. модель IRI-2007 не объясняет наблюдаемый характер суточных изменений ε . Схожую с расчётной динамику спектра ε мы можем также наблюдать в эксперименте, отражённым на рис. 5а, но с гораздо меньшими значениями $f_{\text{ГР}}$. Сравнение экспериментальных значений ε (см. рис. 2б) и рассчитанных по модели IRI-2007 (см. рис. 1б) для зимнего сезона также обнаруживает существенную разницу глубины осцилляций и граничной частоты $f_{\text{ГР}}$ в спектрах поляризационного

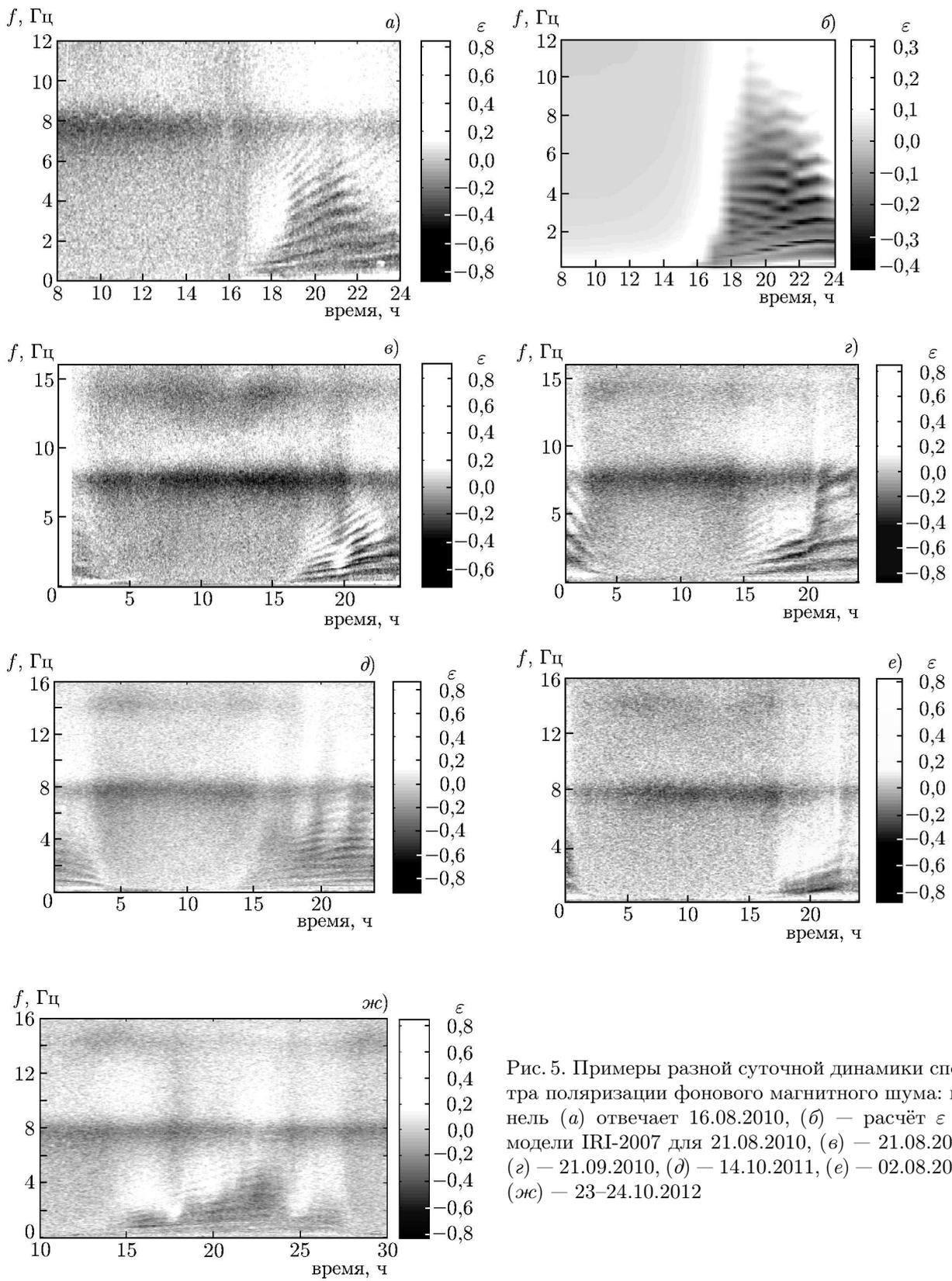


Рис. 5. Примеры разной суточной динамики спектра поляризации фонового магнитного шума: панель (а) отвечает 16.08.2010, (б) — расчёт ϵ по модели IRI-2007 для 21.08.2010, (в) — 21.08.2010, (г) — 21.09.2010, (д) — 14.10.2011, (е) — 02.08.2010, (ж) — 23–24.10.2012

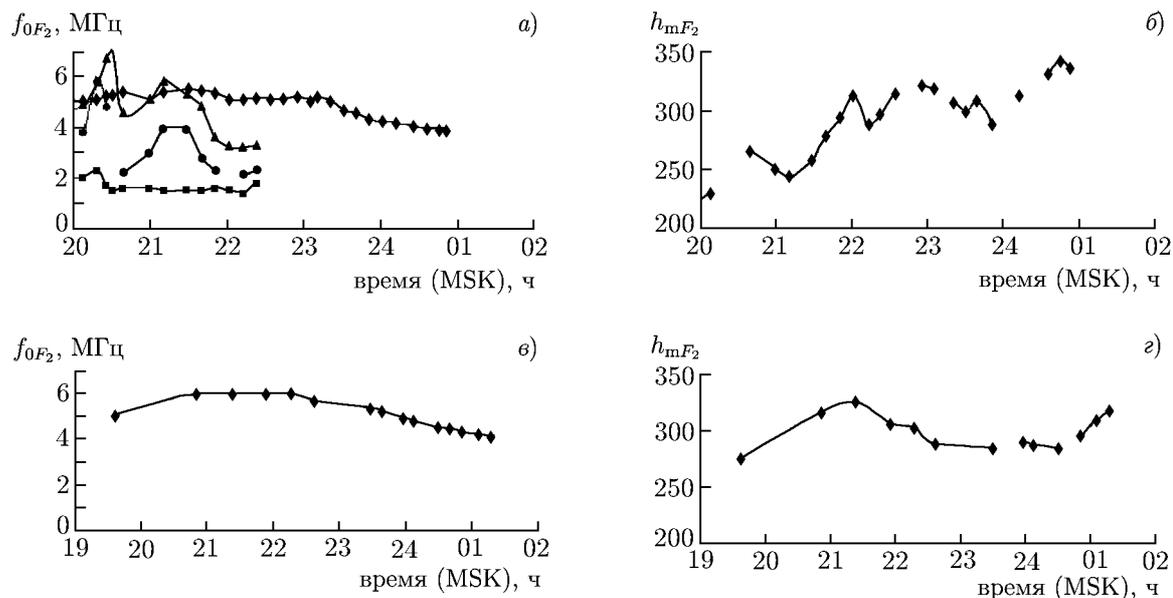


Рис. 6. Данные с ионозонда на полигоне «Васильсурск» за 16.08.2010 (панели (а) и (б)) и 21.08.2010 (панели (е) и (з))

параметра. Таким образом, можно сделать вывод, что модель IRI-2007 неадекватно описывает суточный ход поляризационного параметра фонового шума на средних широтах.

Чтобы понять, какие именно слои ионосферной плазмы ответственны за наблюдаемые спорадические изменения параметров широкополосного максимума, проанализируем суточный ход критической частоты и высоты максимума F -слоя, т. е. величины f_{0F_2} (критическая частота) и h_{mF_2} (высота максимума F -слоя), по данным ионозонда, расположенного на полигоне «Васильсурск» (25 км от низкочастотного приёмного пункта). Анализ данных ионозонда за двое суток (16.08.2010 и 21.08.2010) показывает, что никаких резких изменений в параметрах F -слоя, т. е. величин f_{0F_2} и h_{mF_2} , в период понижения центральной частоты широкополосного максимума 21.08.2010 с 19:00 UT не произошло (см. рис. 6). Таким образом, за это спорадическое изменение параметров широкополосного максимума ответственны изменения электронной концентрации на более низких высотах.

3. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ШИРОКОПОЛОСНОГО МАКСИМУМА НА НИЗКИХ ШИРОТАХ

В работе [7] исследовалось поведение широкополосного максимума на низкоширотной станции на острове Крит ($35,15^\circ$ с. ш., $25,20^\circ$ в. д.) и был обнаружен спорадический характер его возникновения. Исследования спектра поляризационного параметра показали, что его долгопериодные вариации наблюдаются в тёмное время суток гораздо чаще, чем на среднеширотном пункте «Новая жизнь». Это связано с более сильной изменчивостью ионосферы на низких широтах. На рис. 7а приведена часть спектрограммы поляризационного параметра из работы [7], которой соответствует тёмное время суток 17–18.10.1999. Она построена по данным регистрации компонент магнитного поля $H_{\text{СЮ}}$ и $H_{\text{ВЗ}}$ на острове Крит. На ней отчётливо видны вариации граничной частоты параметра ε . На рис. 7б на основе формул (1) и (2) построена спектрограмма параметра ε за тот же период времени с использованием модели IRI-2007 для источника, лежащего в

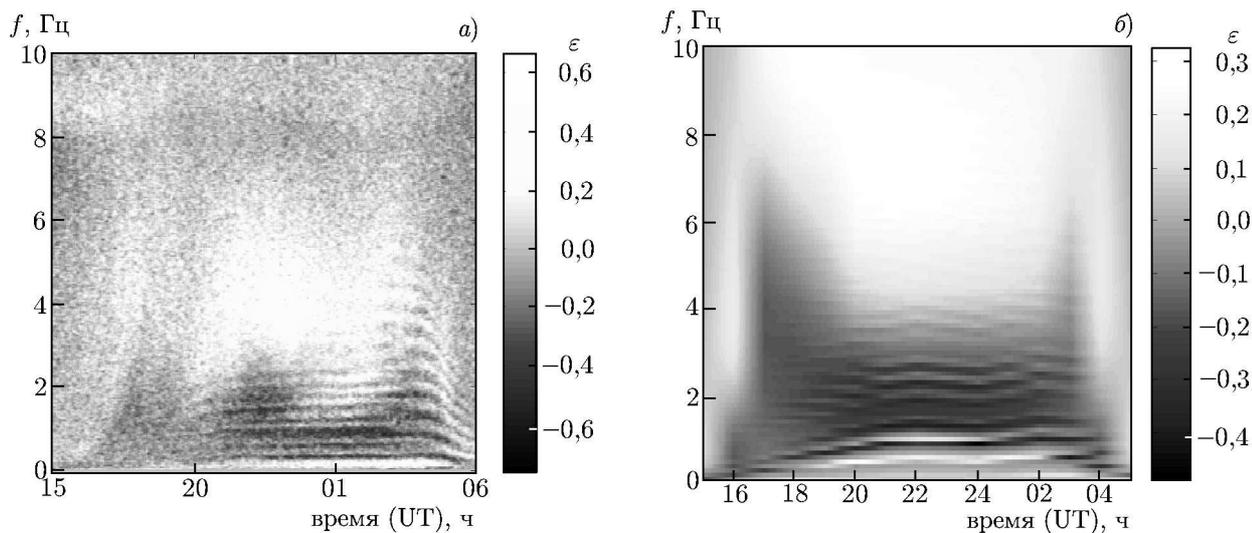


Рис. 7. Экспериментальная (а) и расчётная (б) спектрограммы параметра ε за 17–18.10.1999 на острове Крит

плоскости магнитного меридиана. Как следует из спектрограмм, приведённых на рис. 7, расчётные значения $f_{\text{ГР}}$ оказались выше экспериментальных и в них не присутствовали спорадические 3–4-часовые вариации, наблюдаемые в эксперименте. Далее были выполнены расчёты спектров поляризационного параметра крайне низкочастотных магнитных полей для приёмного пункта «Аресибо» ($18,3^\circ$ с. ш. и $66,75^\circ$ з. д.). К сожалению, в настоящее время отсутствуют данные магнитометрической аппаратуры по регистрации крайне низкочастотного фонового шума в этом пункте. Но для численного моделирования можно использовать профили электронной концентрации, полученные по измерениям радара некогерентного рассеяния в «Аресибо». Его результаты представлены на рис. 8 и 9. Численные расчёты были выполнены для периодов с разным уровнем солнечной активности (1989 и 1994 годы). Были построены также профили показателя преломления для нормальной волны в ионосферной плазме для частот 2 и 4 Гц. Для сравнения на всех графиках приведены кривые, соответствующие модели IRI-2007.

Были проанализированы спектры параметра ε для данных радара в период с 02 по 06.10.1989.

Характерный вид спектра продольной магнитной компоненты и поляризационного параметра изображён на рис. 8. Из-за очень плотной ионосферы на высотах «долины» (где величина показателя преломления доходила до 300) центральная частота максимума смещалась в сторону низких частот, меньших 1 Гц, а добротность «субионосферного» альвеновского резонатора была очень низкой из-за большого затухания и ухудшения условий отражения от его верхней стенки. Можно сделать вывод, что в год максимума солнечной активности на этой станции широкополосный максимум зарегистрировать невозможно. На рис. 9 представлены те же расчёты, но только для года минимальной солнечной активности. Результаты показывают, что спектр параметра ε характеризуется немонотонной частотной зависимостью, возникающей при существовании «субионосферного» альвеновского резонатора. При этом глубина вариаций меняется очень существенно в тёмное время суток, а сами эти изменения являются спорадическими. Особенно наглядно эту изменчивость на высотах до максимума F -слоя демонстрируют профили показателя преломления, рассчитанные для модели, построенной по данным радара в г. Аресибо. Профили $\text{Re}(n)$, вычисленные с помощью модели IRI-2007, меняются со временем плавно в отличие от профилей, полученных с радара, которые могут существенно измениться в течение часа (см., например, рис. 9а–в).

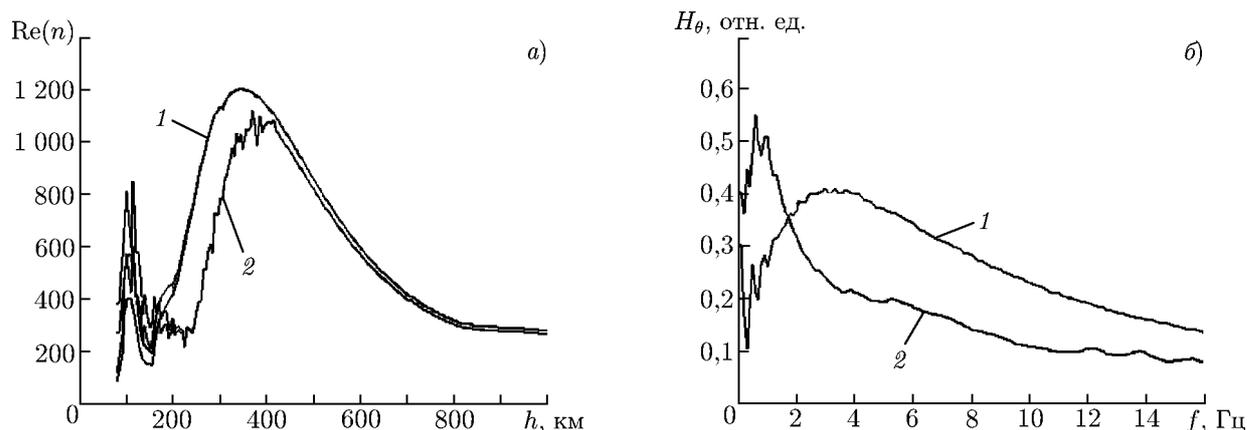
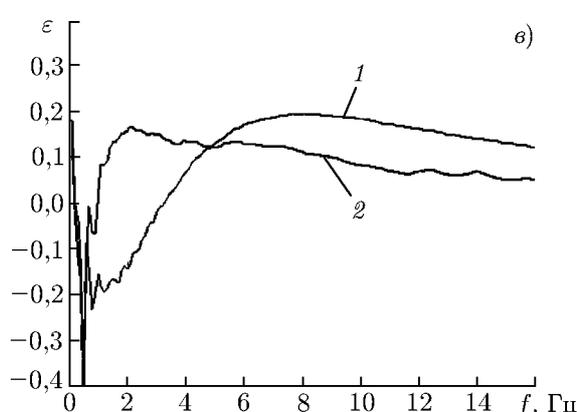


Рис. 8. Результаты расчётов для станции «Аресибо» для периода с максимальной солнечной активностью 03.10.1989, 05:00 LT: профили показателя преломления (а), кривые 1 построены с помощью модели IRI-2007, кривые 2 отвечают измерениям радара некогерентного рассеяния (кривые, соответствующие 2 и 4 Гц, совпали); спектр продольной магнитной компоненты (б), кривая 1 построена для модели IRI-2007, кривая 2 — по измерениям радара некогерентного рассеяния; спектр ε (в), кривая 1 построена с помощью модели IRI-2007, кривая 2 соответствует измерениям радара некогерентного рассеяния



В этот час существенно возросла оптическая толщина ионосферных слоёв на высотах «долины», а также изменилась высота максимума F -слоя и характер спада $\text{Re}(n)$ на частоте 2 Гц на нижнем основании F -слоя, что привело к ухудшению условий отражения от верхней границы «субионосферного» альвеновского резонатора. В период с 23:00 UT 11.01.1994 по 01:30 UT 12.01.1994 величина ε во всём частотном диапазоне спектра была близка к нулю. Затем началось увеличение глубины осцилляций ε с одновременным уменьшением $f_{\text{гр}}$, что коррелировало по времени с возникновением E_s -слоя.

4. ОБСУЖДЕНИЕ, ВЫВОДЫ

В настоящей работе на основе моделирования спектров компонент магнитного поля и поляризационного параметра для модели горизонтально неоднородной ионосферы показано, что центральная частота максимума спектров компонент магнитного поля и граничная частота в спектре параметра ε совпадают. Расчёты для спектра параметра поляризации, построенного для компонент магнитного поля СЮ и ВЗ, показали, что $f_{\text{гр}}$ не зависит от направления на источник и определяется параметрами локальной ионосферы. Поэтому исследование экспериментальных спектров параметра ε является наиболее адекватным для развития методов диагностики профилей электронной концентрации ионосферы на высотах до 300 км.

По измерениям на среднеширотном пункте «Новая жизнь» было обнаружено изменение характера суточной динамики широкополосного спектрального максимума в годы возрастающей

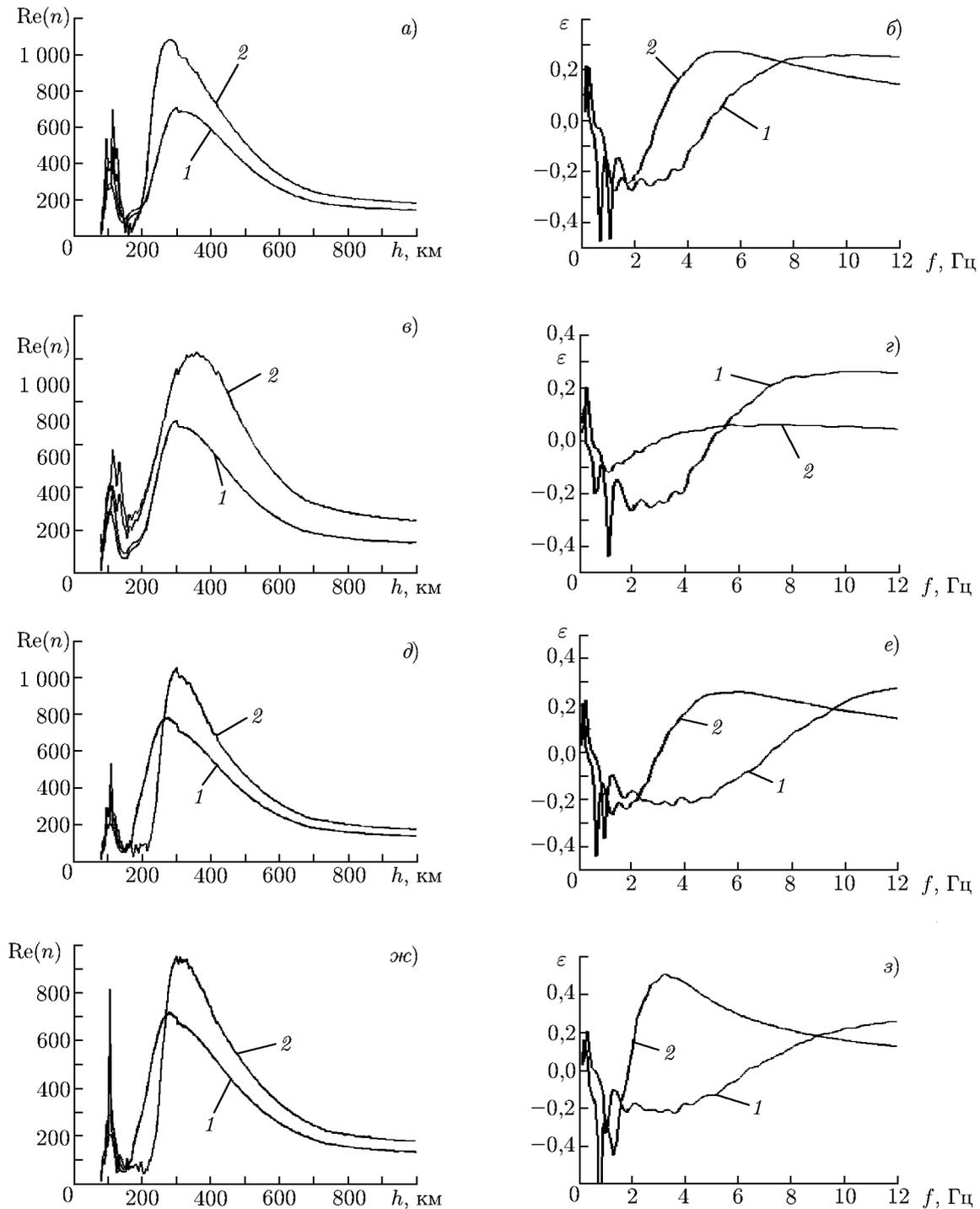


Рис. 9. Результаты расчётов для станции «Аресибо» для периода с минимальной солнечной активностью. Обозначения те же, что и на рис. 8. Панели (а) и (б) отвечают 11.01.1994, 22:00 LT, (в) и (г) — 11.01.1994, 23:00 LT, (д) и (е) — 12.01.1994, 02:00 LT, (жс) и (з) — 12.01.1994, 03:00 LT

солнечной активности, что проявляется в спорадических уменьшениях его центральной частоты (часто около полуночи), а также в вариациях граничной частоты, отделяющей в спектрах поляризационного параметра отрицательные значения от положительных. Также обнаружено, что

особенности спектра поляризационного параметра, связанные с влиянием структуры «субионосферного» альвеновского резонатора, имеют сезонную зависимость. Анализ данных с ионозонда показал, что такие изменения в суточной динамике, как правило, связаны с перераспределением электронной концентрацией N_e на высотах E -слоя и «долины».

Расчёт поведения поляризационного параметра и компонент магнитного поля, выполненный с использованием модели IRI-2007, не может объяснить спорадический характер изменения параметров широкополосного максимума на средних и низких широтах. Существенным оказывается также различие в значениях f_{gr} для расчётных и реальных спектров параметра ε на этих широтах. В результате можно сделать вывод, что модель IRI-2007 неадекватно описывает профили ионосферных параметров на высотах 80–300 км на средних и низких широтах.

Расчёты спектров магнитного поля для низких широт с использованием данных некогерентного радара в г. Аресибо подтверждают возможность спорадического возникновения широкополосного максимума на этих широтах, появление которого часто совпадает с образованием E_s -слоя на высоте порядка 100 км. Анализ профилей показателей преломления нормальных волн в ионосферной плазме показывает, что изменения параметра ε для этой модели связаны как с изменением N_e на высоте E -слоя и «долины», так и с изменением высоты h_m максимума F -слоя, который является верхней границей «субионосферного» альвеновского резонатора.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 11–02–97104-р-поволжье-а и 11–02–97101-а) и Министерства образования и науки РФ (госконтракт 16.518.11.7066).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев П. П., Поляков С. В., Рапопорт В. О., Трахтенгерц В. Ю. // Докл. АН СССР. 1987. Т. 297. С. 840.
2. Беляев П. П., Поляков С. В., Рапопорт В. О., Трахтенгерц В. Ю. // Изв. вузов. Радиофизика. 1989. Т. 32, № 7. С. 802.
3. Беляев П. П., Поляков С. В., Ермакова Е. Н. и др. // Изв. вузов. Радиофизика. 2002. Т. 45, № 2. С. 156.
4. Ермакова Е. Н., Котик Д. С., Поляков С. В., Щенников А. В. // Изв. вузов. Радиофизика. 2007. Т. 50, № 7. С. 607.
5. Böisinger T., Haldoupis C., Belyaev P. P., et al. // J. Geophys. Res. A. 2002. V. 107, No. 10. P. 1 281.
6. Böisinger t., Shalimov S. L. // Ann. Geophys. 2004. V. 22. P. 1.
7. Böisinger T., Demekhov A. G., Haldoupis C. // Abstracts XXXII Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”, 3–6 March 2009. P. 54.
8. Кириллов В. В., Копейкин В. Н. // Изв. вузов. Радиофизика. 2003. Т. 46, № 1. С. 1.
9. Ермакова Е. Н., Котик Д. С., Поляков С. В. // Изв. вузов. Радиофизика. 2008. Т. 51, № 7. С. 575.
10. Böisinger T., Ermakova E. N., Haldoupis C., Kotik D. S. // Ann. Geophys. 2009. V. 27. P. 1 313.
11. Ермакова Е. Н., Поляков С. В., Семёнова Н. В. // Изв. вузов. Радиофизика. 2011. Т. 54, № 12. С. 881.

Поступила в редакцию 24 декабря 2012 г.; принята в печать 28 декабря 2012 г.

**STUDYING THE VARIATIONS OF THE BROADBAND SPECTRAL
MAXIMUM PARAMETERS IN THE NATURAL ULF FIELDS**

E. N. Ermakova, D. S. Kotik, A. V. Ryabov, A. V. Pershin, T. Bösinger, and K. Zhou

We study the daily dynamics of the broadband spectral maximum in the polarization parameter spectra of ELF background noise. According to the monitoring data of 2009–2012, changes in the diurnal dynamics of the broadshifted maximum (BSM) were detected in the increasing solar activity period at the New Life midlatitude station. The effect manifests itself in sporadic variations in the center frequency and polarization parameter spectrum during the day. Data analysis of ionosonde measurements shows that such changes in the daily dynamics of the BSM are usually not related with the electron number density variations at the ionospheric F-layer maximum. It is found that numerical calculations of the background noise polarization parameter within the IRI-2007 model cannot explain the sporadic change in the BSM in the polarization parameter spectra.