

УДК 550.383

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ СТРУКТУР В ФОНОВОМ УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНОМ ШУМЕ НА РАЗНЫХ ШИРОТАХ

*Е. Н. Ермакова, С. В. Поляков, Д. С. Котик*

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

Выполнены численные расчёты тангенциальных компонент магнитного поля в частотном диапазоне  $0,1 \div 15$  Гц для приёмных пунктов, расположенных на различных географических широтах. Для расчётов использовано решение задачи о возбуждении полости Земля—неоднородная анизотропная ионосфера наземным источником типа вертикальный электрический диполь. Расчёты проводились для различных численных и аналитических модельных профилей ионосферных параметров. Выполнено сравнение результатов моделирования и экспериментальных исследований резонансной структуры спектра на станциях на о. Крит ( $35,15^\circ$  с. ш.,  $25,20^\circ$  в. д.), «Новая жизнь» (Нижегородская область,  $55,97^\circ$  с. ш.,  $45,74^\circ$  в. д.), «Ловозеро» ( $68^\circ$  с. ш.,  $35^\circ$  в. д.) и «Баренцбург» ( $78,09^\circ$  с. ш.,  $14,12^\circ$  в. д.). Выявлена степень соответствия различных модельных профилей реально существующим по результатам сравнения теоретических и экспериментальных спектров. Исследования дополнены анализом расчётных и экспериментальных спектров поляризационного параметра магнитного шума.

### ВВЕДЕНИЕ

Впервые резонансная структура спектра фонового низкочастотного шума была обнаружена на среднеширотном приёмном пункте «Новая жизнь» ( $55,97^\circ$  с. ш.,  $45,74^\circ$  в. д.) [1, 2]. Существование резонансной структуры связано с влиянием ионосферного альвеновского резонатора на распространение низкочастотных полей (диапазон частот  $1 \div 10$  Гц) в полости Земля—ионосфера и проявляется в глубокой гармонической модуляции спектров параметров приземного магнитного шума. Позднее резонансная структура спектра была обнаружена и тщательно исследована в полярных (станция «Соданкюла», Финляндия,  $67,4^\circ$  с. ш.,  $26,5^\circ$  в. д.) [3], низких (станция на о. Крит, Греция,  $35,15^\circ$  с. ш.,  $25,20^\circ$  в. д.) [4, 5] и высоких (станция «Баренцбург», Шпицберген,  $78,09^\circ$  с. ш.,  $14,12^\circ$  в. д.) широтах [6]. Уже в первых работах было отмечено, что резонансная структура спектра зависит от локальных свойств ионосферы над точкой приёма. Поэтому возможно развитие методов диагностики ионосферных параметров, прежде всего концентрации заряженных частиц, по измерениям спектров фонового шума в диапазоне  $0,1 \div 15$  Гц и сопоставлению их с расчётными спектрами.

В настоящей работе выполнено теоретическое моделирование резонансных спектров для приёмных пунктов на разных широтах с использованием различных модельных профилей электронной концентрации IRI-2001 (International Reference Ionosphere), двух аналитических моделей, задающих разный характер спада электронной концентрации на высотах выше максимума  $F$ -слоя [7], и модели ионосферных параметров, построенной по измерениям радара некогерентного рассеяния, расположенного в Свалбарде [6]. По сопоставлению результатов расчётов и наблюдений определены степень соответствия указанных моделей реальным профилям и характер необходимой коррекции данных модельных профилей.

Также проанализировано влияние структуры суб-ИАР [8] на спектры фонового ультранизкочастотного шума на средних и высоких широтах. Выполнены численные расчёты поляризационного параметра (выражающегося через отношение амплитуд правополяризованной и левополяризованной компонент магнитного поля) для разных моделей. На основе анализа результатов расчётов поляризации и профилей показателей преломления показано, что структура суб-ИАР

практически отсутствует для высотного распределения электронной концентрации, построенной на основе данных радара в Свалбарде, что подтверждается монотонным изменением спектра поляризации. Сопоставление расчётов с экспериментальными спектрами поляризации подтверждает адекватность данной модели.

## 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЁТОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

В настоящей работе получила своё дальнейшее развитие методика модельных расчётов резонансной структуры спектра, разработанная в [9]. Моделирование выполнялось для разных ионосферных моделей с разным характером спада электронной концентрации выше максимума  $F$ -слоя и с разными по интенсивности  $E$ -слоями ионосферы. Это позволило по-новому интерпретировать сложные особенности резонансной структуры спектра и объяснить вид спектра поляризационного параметра фонового шума.

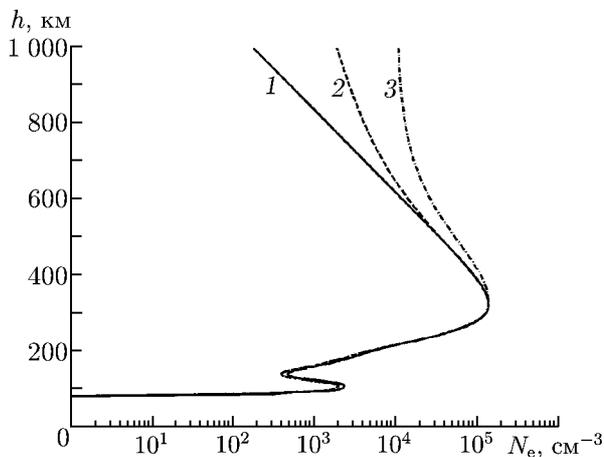


Рис. 1. Профили электронной концентрации для различных ионосферных моделей на 20 : 00 UT, 10.09.2005. Кривая 1 соответствует модели, основанной на упрощённой функции Чепмена, кривая 2 — модели, основанной на полной функции Чепмена, кривая 3 — модели IRI-2001

концентрации на высотах выше максимума  $F$ -слоя: модель IRI-2001 и две аналитические модели, аппроксимирующие профили функциями Чепмена [7]. Согласно работе [7] зависимость электронной концентрации от высоты для этих моделей задаётся следующим выражением:

$$N_e(h) = N_m \left[ \frac{H_m}{H(h)} \right]^{1/2} \exp \left( \frac{1}{2} \{1 - y(h) - \exp[-y(h)]\} \right), \quad (1)$$

$$y(h) = \int_{h_m}^h \frac{dh}{H(h)}, \quad (2)$$

$$H(h) = H_T + \frac{H_m - H_T}{\operatorname{th} \beta} \operatorname{th} \left( \beta \frac{h - h_T}{h_m - h_T} \right). \quad (3)$$

При моделировании низкочастотных спектров мы пользовались решением задачи о возбуждении плоского волновода Земля–ионосфера с учётом наклона магнитного поля Земли [10]. При этом было принято, что источником шума в интересующем нас диапазоне частот являются вертикальные молниевые разряды, расположенные на расстоянии  $r$  от точки приёма в плоском волноводе Земля–ионосфера с толщиной  $h$ . Ионосфера считается плоскостной в вертикальном направлении (ось  $z$ ) и гиротропной. Магнитное поле Земли лежит в плоскости  $zy$  (ось  $z$  перпендикулярна поверхности земли) и составляет угол  $\theta$  с вертикалью.

Рассчитаем компоненты магнитного поля для ионосферных параметров, характерных для низких (станция на о. Крит), средних («Новая жизнь»), авроральных («Ловозеро») и высоких («Баренцбург») широт. В расчётах мы будем использовать разные модели электронной концентрации

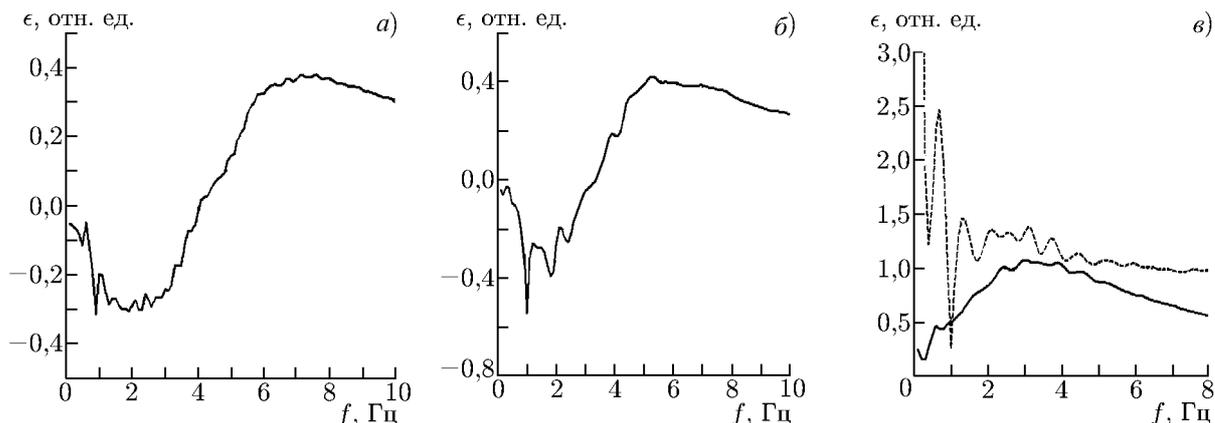


Рис. 2. Расчётные спектры поляризационного параметра (а) и (б) и компонент магнитного поля (в) для станции на о. Крит с использованием модели IRI-2001. Панель а соответствует данным от 23:00 UT 19.06.1999, б — от 23:00 UT 03.01.2000, в — от 02:00 UT 03.01.2000. Угол  $\varphi$  составляет  $20^\circ$  для панелей а и б и равен нулю для панели в. Сплошные линии на панели в соответствуют  $H_r$  (компонента магнитного поля, параллельная направлению на источник), пунктирные —  $H_\varphi$  (компонента магнитного поля, перпендикулярная направлению на источник)

Здесь  $N_m$ ,  $h_m$  и  $H_m$  — электронная концентрация, высота и характерный масштаб изменения  $N_e$  в максимуме  $F$ -слоя соответственно,  $\beta$  и  $H_T$  — параметры модели [7]. Для упрощённой функции Чепмена  $H(h) = H_m = \text{const}$ , для полной функции используется приведённое выше выражение. Параметр  $h = h_T$  определяется высотой, где доминирующие ионы меняются с  $O^+$  на  $H^+$ . Для определения основных параметров для максимума  $F$ -слоя мы пользовались данными модели IRI-2001. Рисунок 1 демонстрирует разный характер спада  $N_e$  с высотой: плавный — для модели IRI-2001 и наиболее резкий — для  $\alpha$ -функции Чепмена. На рис. 2 представлены результаты расчётов для станции на о. Крит. Расчёты выполнены для магнитных компонент и поляризационного параметра  $\epsilon = (|H_R|/|H_L| - 1)/(|H_R|/|H_L| + 1)$  для модели IRI-2001. Здесь  $H_R = (H_{СЮ} + iH_{ВЗ})/\sqrt{2}$ ,  $H_L = (H_{СЮ} - iH_{ВЗ})/\sqrt{2}$ , где  $H_{СЮ}$  — компонента магнитного поля по оси север—юг,

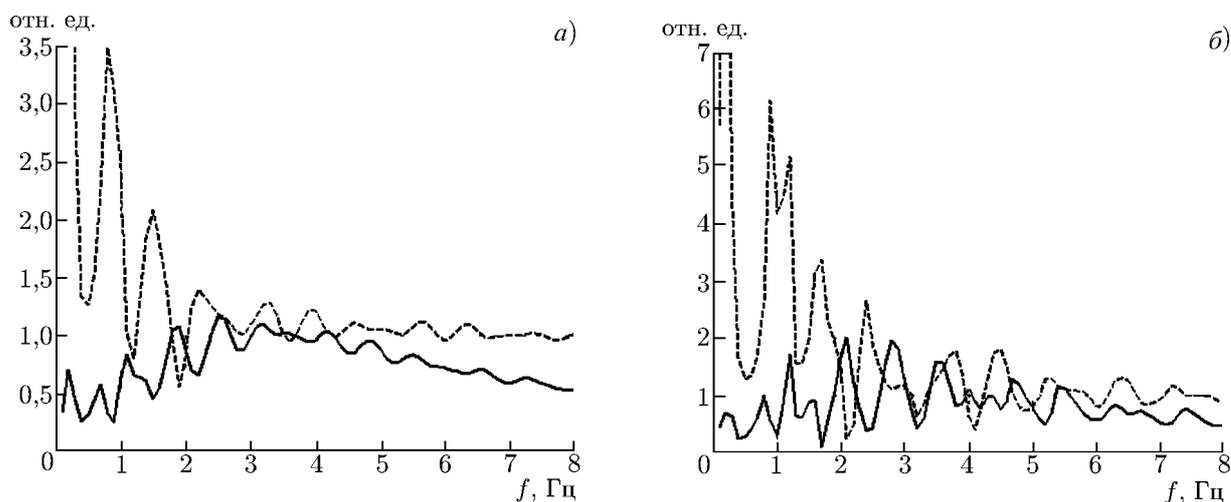


Рис. 3. Расчётные спектры компонент магнитного поля для станции на о. Крит с использованием аналитических моделей высотного распределения электронной концентрации, основанных на упрощённой (а) и полной (б) функциях Чепмена, на 02:00 UT 03.01.2000. Сплошные линии соответствуют  $H_r$ , пунктирные —  $H_\varphi$

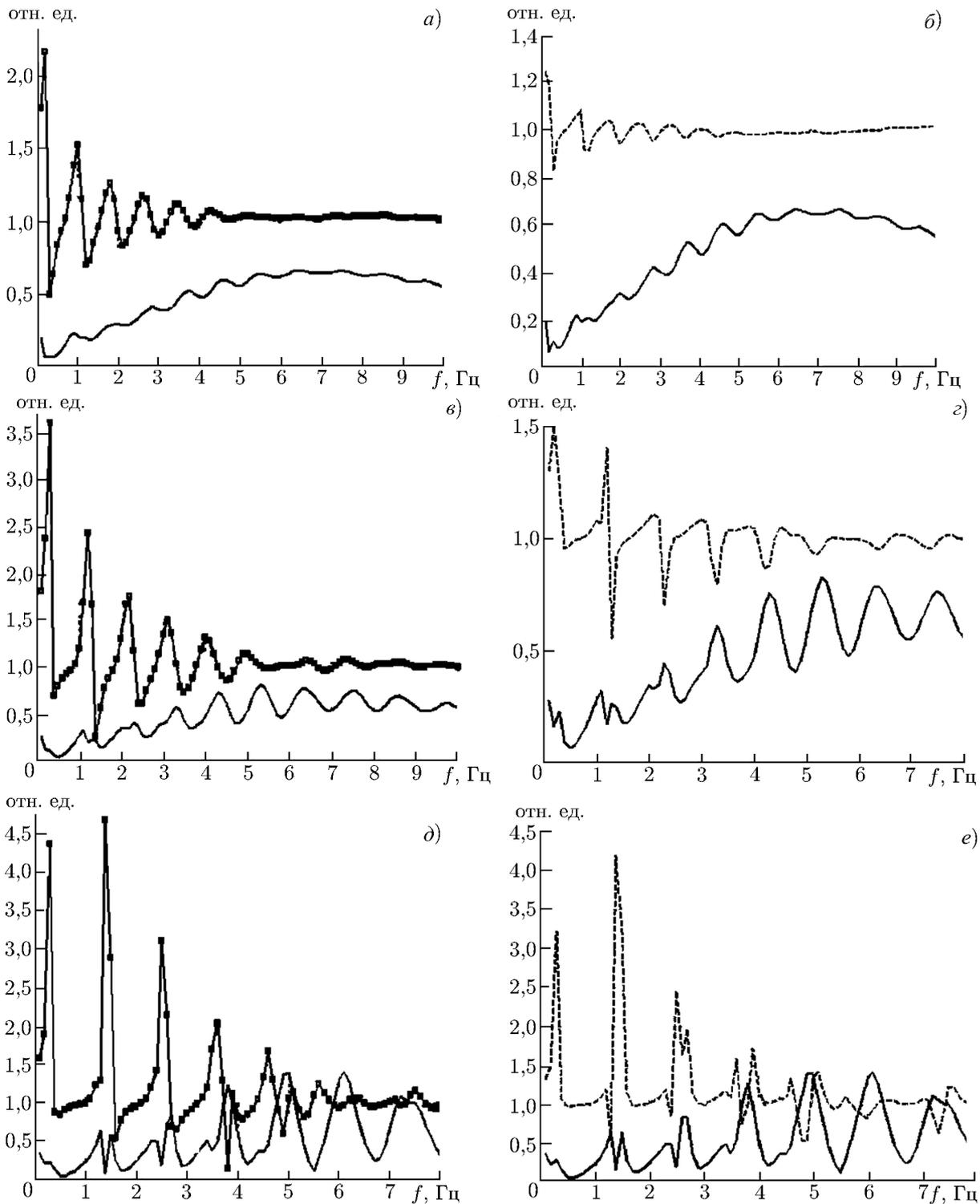


Рис. 4. Результаты численных расчётов компонент магнитного поля для приёмного пункта «Новая жизнь» для разных модельных профилей высотного распределения электронной концентрации для  $\varphi = 20^\circ$  (слева) и  $\varphi = 40^\circ$  (справа) от 20:00 UT 10.09.2005. Панели а и б соответствуют модели IRI-2001, в и г — модели, основанной на полной функции Чепмена, д и е — модели, основанной на упрощённой функции Чепмена. Сплошные линии соответствуют  $H_r$ , пунктирные —  $H_\varphi$

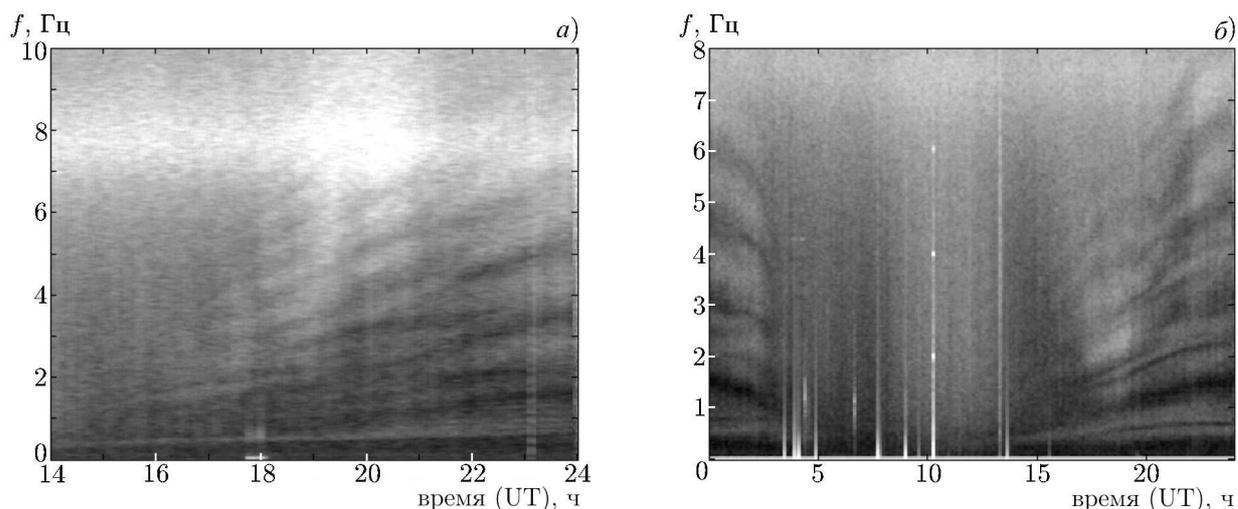


Рис. 5. Спектрограммы компоненты магнитного поля  $H_{\text{НСЮ}}$ , демонстрирующие вид резонансной структуры спектра, наблюдаемой в «Новой жизни» в осенний период, 10.09.2007 (а) и 23.09.2009 (б)

$H_{\text{ВЗ}}$  — по оси восток–запад. Для моделирования выбраны периоды, для которых в работах [4, 5] приведены экспериментальные спектры поляризационного параметра.

Как видно из рис. 2, расчёты дают резонансные осцилляции с очень малой амплитудой и в частотном диапазоне до 3 Гц, что существенно меньше, чем наблюдается в эксперименте [4, 5]. Также результаты моделирования с использованием модели IRI-2001 для широт станции на о. Крит не могут объяснить более сложный характер резонансных спектров, наблюдаемых в этом приёмном пункте.

На рис. 3 представлены результаты расчётов для более резкого спада концентрации на высотах выше максимума  $F$ -слоя, задаваемого функциями Чепмена. Как видно из рис. 3, более резкое спадание не только увеличивает глубину осцилляций и частотный интервал, в котором наблюдается резонансная структура спектра, но и меняет характер осцилляций, приводя к появлению дополнительных максимумов и неэквидистантности в резонансных структурах. Такой вид спектров достаточно часто наблюдается в приёмном пункте на о. Крит [11]. Таким образом, меняя при моделировании характер спада концентрации заряженных частиц в ионосфере на высотах выше максимума  $F$ -слоя, мы можем выбрать модельные профили, наиболее адекватно описывающие характер резонансных структур, наблюдаемых в эксперименте.

На рис. 4 представлены результаты расчётов компонент магнитного поля для разных моделей для среднеширотного пункта «Новая жизнь» для различных направлений на источник. Как видно из рис. 4, разный характер спада  $N_e$  так же, как и для станции на о. Крит, приводит не только к изменению глубины осцилляций, но и к изменению характера самих спектров: при более резком уменьшении концентрации усложняется характер спектров, появляются дополнительные максимумы, причём отличие от квазигармонических осцилляций усиливается при углах  $\varphi$ , близких к  $45^\circ$ . Как следует из рис. 5 и [12], в осенне-весенние периоды для среднеширотного пункта «Новая жизнь» достаточно часто наблюдается сложный характер резонансных структур — появление дополнительных максимумов и зависимость периода осцилляций от частоты. Как показывают результаты моделирования, приведённые на рис. 4, такие сложные резонансной структуры спектра невозможно получить в рамках модели IRI-2001. Таким образом, можно сделать вывод, что профили электронной концентрации над этим пунктом в осенне-весенние периоды в годы минимальной солнечной активности должны более резко спадать, чем в модели IRI-2001. Для указанных периодов эта модель нуждается в существенной корректировке.

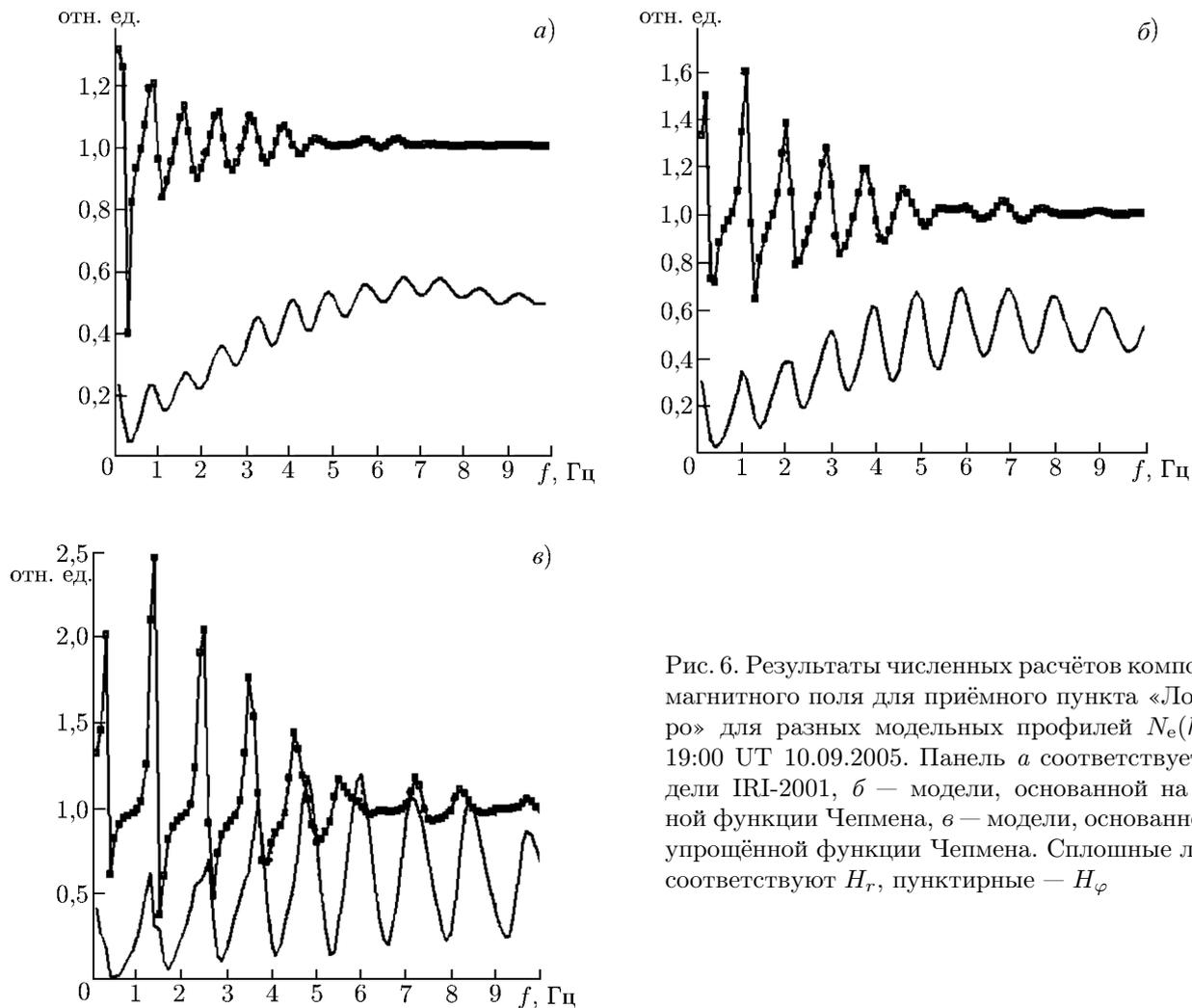


Рис. 6. Результаты численных расчётов компонент магнитного поля для приёмного пункта «Ловозеро» для разных модельных профилей  $N_e(h)$  от 19:00 UT 10.09.2005. Панель *a* соответствует модели IRI-2001, *б* — модели, основанной на полной функции Чепмена, *в* — модели, основанной на упрощённой функции Чепмена. Сплошные линии соответствуют  $H_r$ , пунктирные —  $H_\phi$

На рис. 6 представлены результаты расчёта компонент магнитного поля для авроральной станции «Ловозеро» для разных моделей профиля  $N_e(h)$ . Как видно из рис. 6, характер осцилляций для авроральной станции существенно не меняется и остаётся квазигармоническим для разных модельных профилей. Выбор характера спада концентрации заряженных частиц может определяться в зависимости от частотного диапазона, в котором наблюдаются резонансные спектры. Как следует из [12], верхняя граница этого диапазона может существенно меняться, простираясь до частоты второго шумановского резонанса.

Далее численные расчёты резонансных спектров были выполнены для станции «Баренцбург», расположенной в высоких широтах. Расчёты выполнялись для модели IRI-2001 и модели, построенной по измерениям радара, расположенного в Свалбарде вблизи приёмного пункта «Баренцбург». Целью данных теоретических исследований была интерпретация результатов регистрации резонансной структуры спектра в этом пункте, полученных в [6], и сравнение с результатами расчётов, выполненных в этой же работе. Вычисления резонансных спектров в [6] выполнялись для случая падения низкочастотных волн на ионосферу сверху. Моделирование проведём для условий слабой геомагнитной активности ( $A_p = 15$ ) и минимума солнечной активности (усреднённый за день поток солнечной радиации на длине волны 10,7 см  $F10.7D = 75 \div 85$ ). Для численных расчётов компонент магнитного поля необходимо вычисление профилей показателей преломления

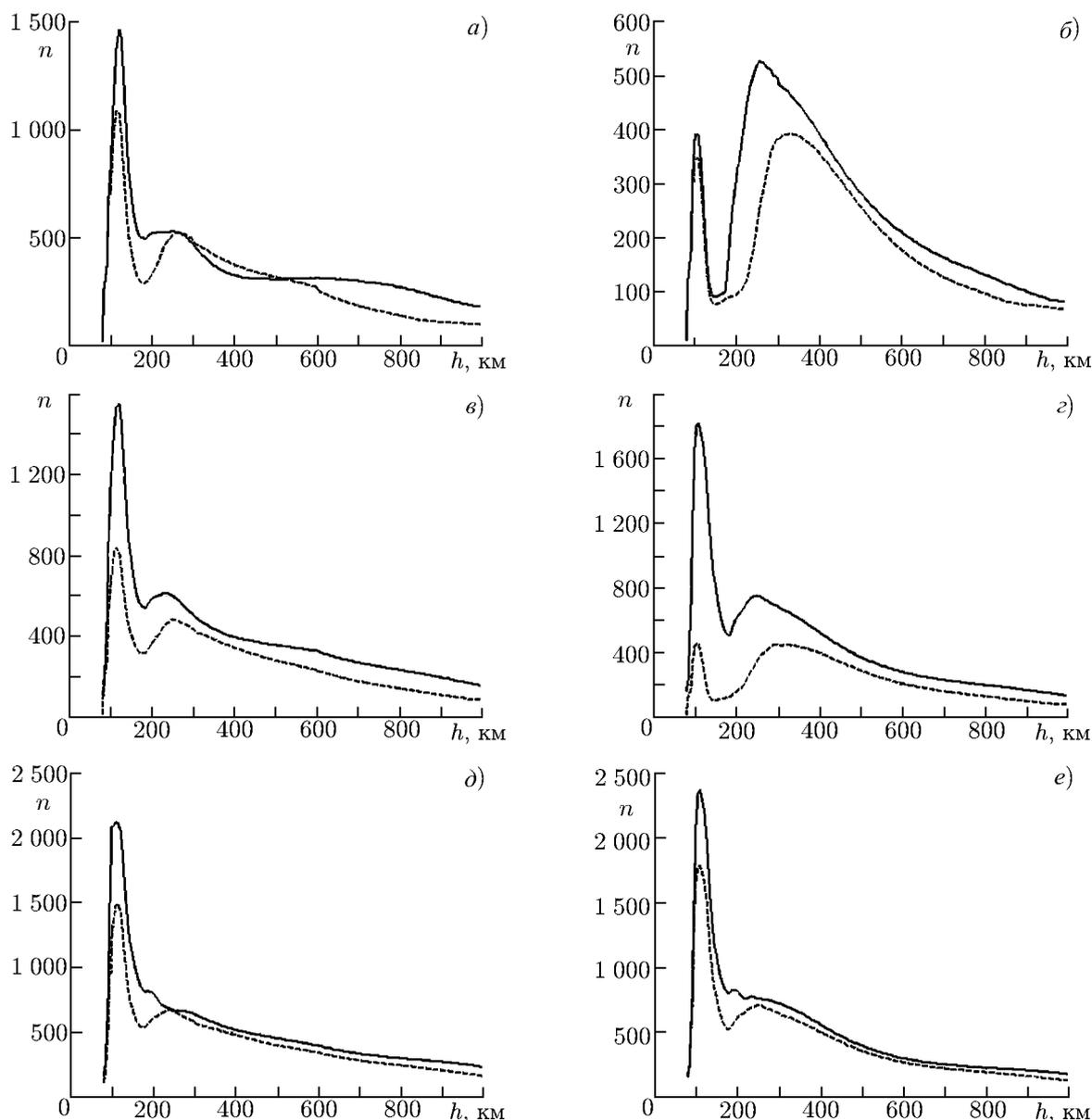


Рис. 7. Сравнение профилей показателя преломления  $n$  в дневное и ночное время суток для разных моделей распределения  $N_e(h)$ , модель IRI-2001 — справа, модель, основанная на данных радара в Свалбарде — слева. Панели *a* и *б* соответствуют 13.12.2005, *в* и *г* — 22.03.2006, *д* и *е* — 05.06.2006. Сплошные линии соответствуют 13:00 LT, пунктирные — 23:00 LT

нормальных низкочастотных волн в ионосферной плазме. Чтобы продемонстрировать, насколько сильно различаются эти профили для разных моделей электронной концентрации, мы привели их на рис. 7. Как видно из рис. 7, наиболее сильно различие в профилях показателя преломления для разных моделей выражено для ночных периодов весной и зимой. Для модели IRI-2001 мы наблюдаем чётко выраженную «долину» в профилях показателя преломления, в то время как для модели, построенной по измерениям радара в Свалбарде, «долина» слабо выражена и значения показателя преломления на высотах  $E$ -слоя существенно больше. Кроме того, для модели IRI-2001 мы наблюдаем наиболее сильное различие в показателях преломления в дневное и ночное

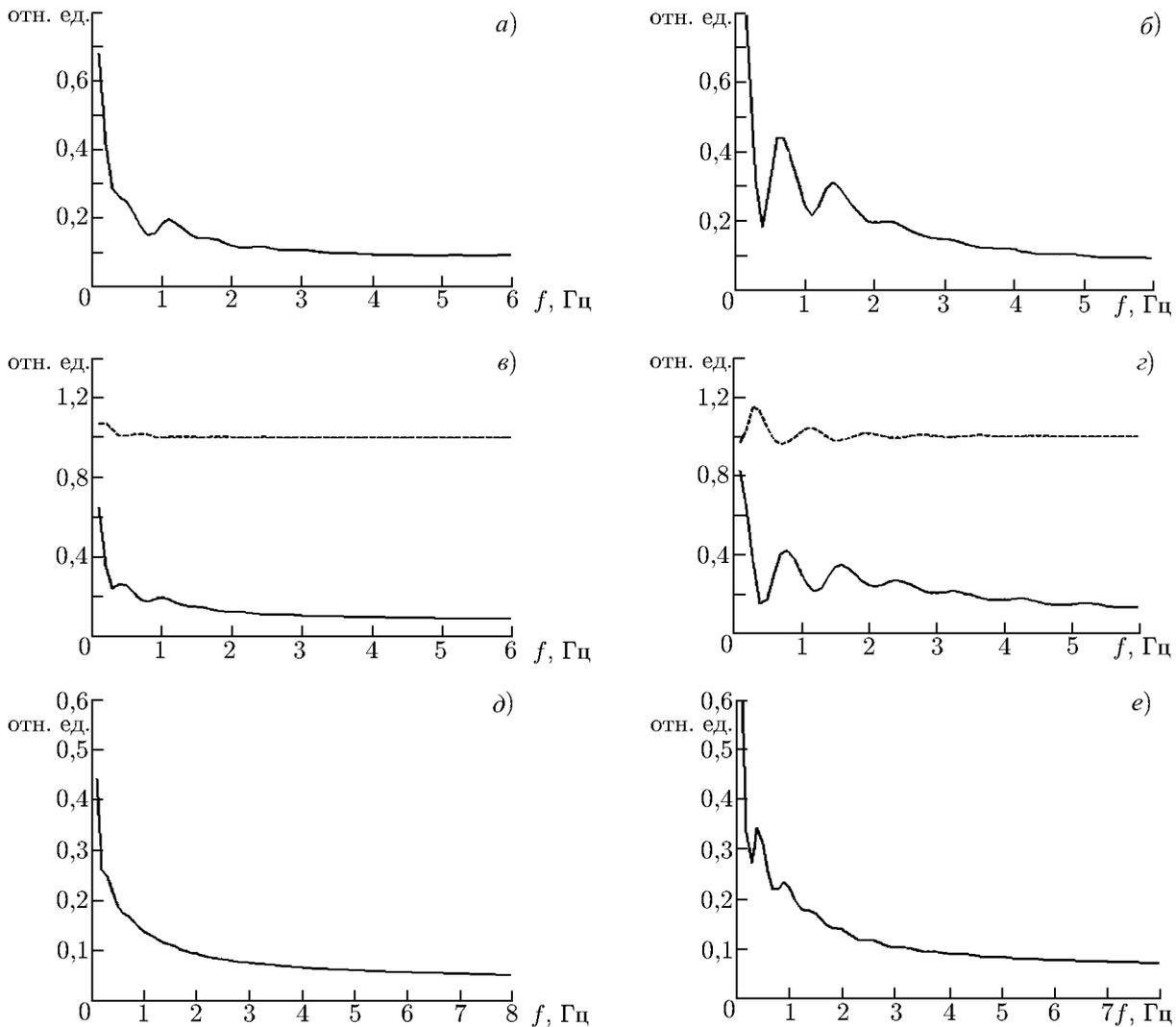


Рис. 8. Результаты численных расчётов компонент магнитного поля  $H_r$  (сплошные линии) и  $H_\phi$  (пунктирные линии) для модели, основанной на данных радара в Свалбарде. Угол  $\varphi = 90^\circ$ , панель *a* соответствует 12:00 UT 13.12.2005, *б* – 22:00 UT 13.12.2005, *в* – 12:00 UT 22.03.2006, *г* – 22:00 UT 22.03.2006, *д* – 12:00 UT 05.06.2006, *е* – 22:00 UT 05.06.2006

время суток на высотах максимума  $F$ -слоя, в то время как для модели, основанной на данных радара в Свалбарде это различие существенно меньше. Рисунок 8 демонстрирует результаты численных расчётов компонент магнитного поля для модели, основанной на данных радара в Свалбарде. Как видно из рис. 8, глубина осцилляций резонансной структуры зависит от времени суток для всех сезонов. При этом глубина осцилляций наименьшая вблизи 12:00 UT.

Спектрограммы резонансных структур, рассчитанные для различных моделей, приведены на рис. 9. Основные различия в суточном ходе резонансной структуры спектра для разных моделей связаны с особенностями высотных профилей показателей преломления низкочастотных волн. Наличие «долины» и слабый  $E$ -слой приводят к уменьшению оптической толщины нижних слоёв ионосферы и, в конечном счёте, к уменьшению затухания и экранировки низкочастотных волн на высотах до максимума  $F$ -слоя. Этим определяется существенно больший диапазон частот, в котором присутствуют резонансные осцилляции для модели IRI-2001. Слабая зависимость ука-

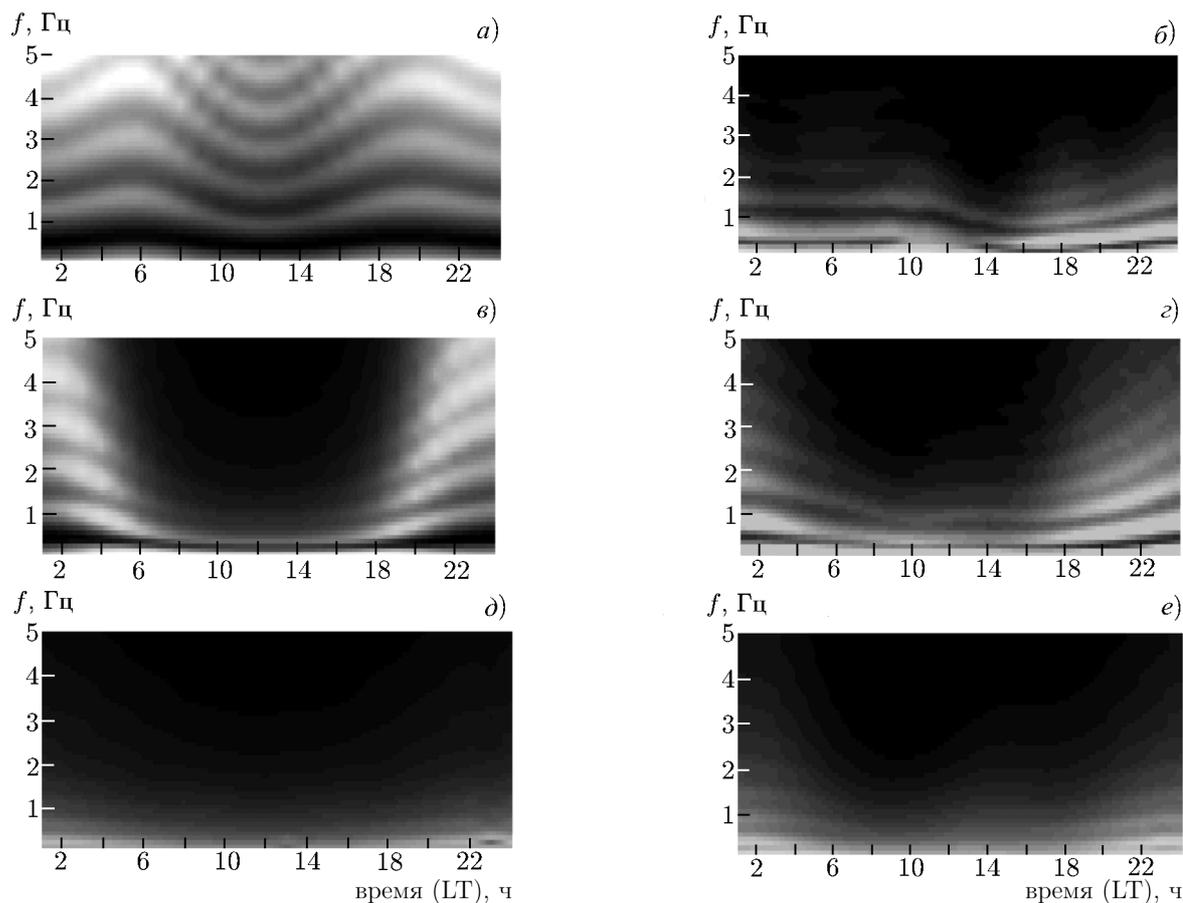


Рис. 9. Спектрограммы компоненты  $H_r$  для модели IRI-2001 (слева) и для модели, основанной на данных радара в Свалбарде (справа). Панели *a* и *б* соответствуют 13.12.2005, *в* и *г* — 22.03.2006, *д* и *е* — 05.06.2006

занных профилей от времени суток на высотах ионосферного альвеновского резонатора приводит к малому наклону резонансных линий для модели, построенной по измерениям радара в Свалбарде. Такой же характер резонансной структуры спектра наблюдается и в эксперименте [6]. Таким образом, эта модель более адекватно описывает наблюдаемые особенности резонансной структуры спектра на станции «Баренцбург».

Сравнительный анализ расчётных спектрограмм, полученных в [6] и в настоящей работе, обнаруживает более сильную зависимость глубины резонансных осцилляций от времени суток при падении низкочастотных волн на ионосферу снизу. При расчётах, выполненных в [6] для падения радиоволн на ионосферу сверху, резонансная структура обнаруживается практически в любое время суток и её свойства слабо меняются в течение суток. Это говорит о том, что ионосферный альвеновский резонатор как структура, связанная с нарушением условия геометрической оптики для низкочастотных волн, существует в любое время суток, но высокие значения показателей преломления в  $E$ -слое, которые наблюдаются днём, мешают проникновению низкочастотных волн в верхние слои ионосферы. Таким образом, ухудшаются условия возбуждения резонатора при падении волн на ионосферу снизу.

Выполним теперь численные расчёты для спектров параметра поляризации для станций «Новая жизнь» и «Баренцбург». Как известно из [8], этот параметр очень чувствителен к состоянию ионосферы на нижних высотах до максимума  $F$ -слоя и полностью определяется характером про-

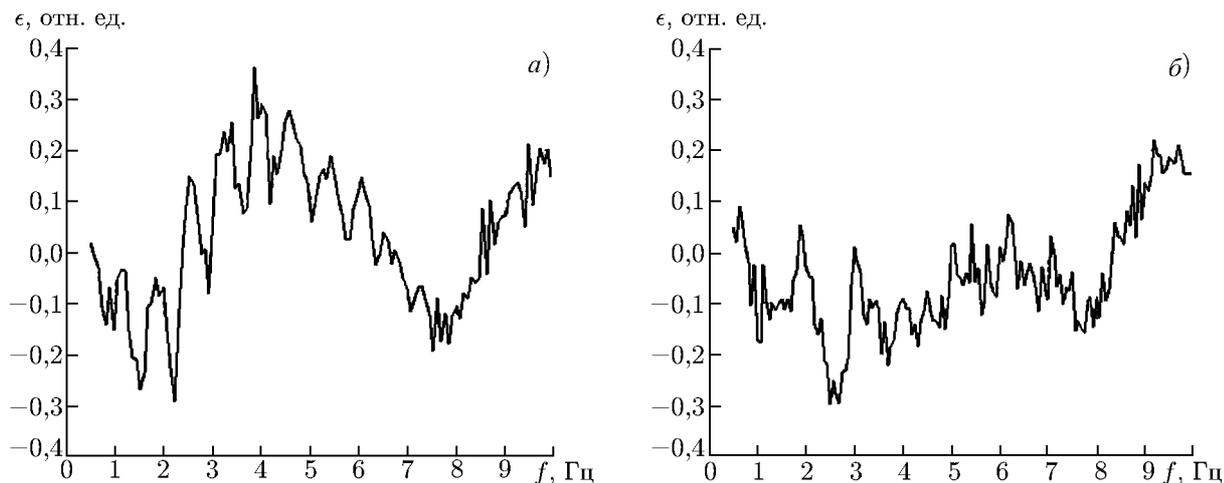


Рис. 10. Спектры поляризационного параметра на станции «Новая жизнь» для разных периодов солнечной активности: (а) — 20:00 UT 13.09.2003, год выхода солнечной активности из максимума, (б) — 20:00 UT 21.09.2009, год минимальной солнечной активности

филей ионосферных параметров, а, следовательно, и профилем показателей преломления низкочастотных волн на этих высотах. Анализ спектров именно этого параметра для исследования влияния ионосферной структуры суб-ИАР удобен ещё и потому, что, являясь отношением компонент магнитного поля, параметр  $\epsilon$  свободен от влияния частотной зависимости интенсивности источников низкочастотных излучений в КНЧ диапазоне и от особенностей амплитудно-частотной характеристики магнитных датчиков. Этот параметр, как показывают численные расчёты, слабо зависит от направления на источник. Как следует из [8], при уменьшении оптической толщины нижних слоёв ионосферы, широкополосный спектральный максимум в амплитудах магнитных компонент сильно смещается в сторону частоты первого шумановского резонанса и расплывается, и его тяжело зарегистрировать в эксперименте. Удобнее в таких случаях анализировать спектры поляризационного параметра. На рис. 10 приведены спектры поляризационного параметра, построенные по измерениям компонент шума магнитного поля на станции «Новая жизнь» в разные периоды солнечной активности.

Анализ данных мониторинга шума показал, что спектры поляризационного параметра в годы минимума имеют характер более плавных осцилляций, чем в годы максимальной активности Солнца, с меньшими абсолютными значениями  $\epsilon$  в тёмное время суток. Широкополосный максимум в амплитудах компонент в эти периоды наблюдается редко, обычно 1–2 часа сразу после захода солнца. Также спектры поляризационного параметра сильно зависят от времени суток [8]. На рис. 11 приведены экспериментальные и расчётные спектры параметра  $\epsilon$  для модели IRI-2001, которые качественно правильно отражают временную динамику этого параметра. Однако для получения количественных совпадений необходима существенная корректировка этой модели. Это возможно при проведении одновременной регистрации фонового шума и, например, ионзондовых измерений ионосферы над точкой регистрации низкочастотных полей.

Приведём результаты моделирования спектров параметра поляризации  $\epsilon$  для высокоширотного пункта «Баренцбург» с использованием модели IRI-2001 и модели, основанной на данных радара в Свалбарде. Как видно из рис. 12 (слева и справа), экспериментальный и расчётный для модели радара спектры параметра  $\epsilon$  имеют монотонный характер. Это связано с отсутствием ярко выраженной долины в профилях показателей преломления (см. рис. 7). Полученная теоретическая кривая для модели радара адекватно описывает наблюдаемые спектры параметра поляризации на станции Баренцбург, которые имеют слабую частотную зависимость: параметр

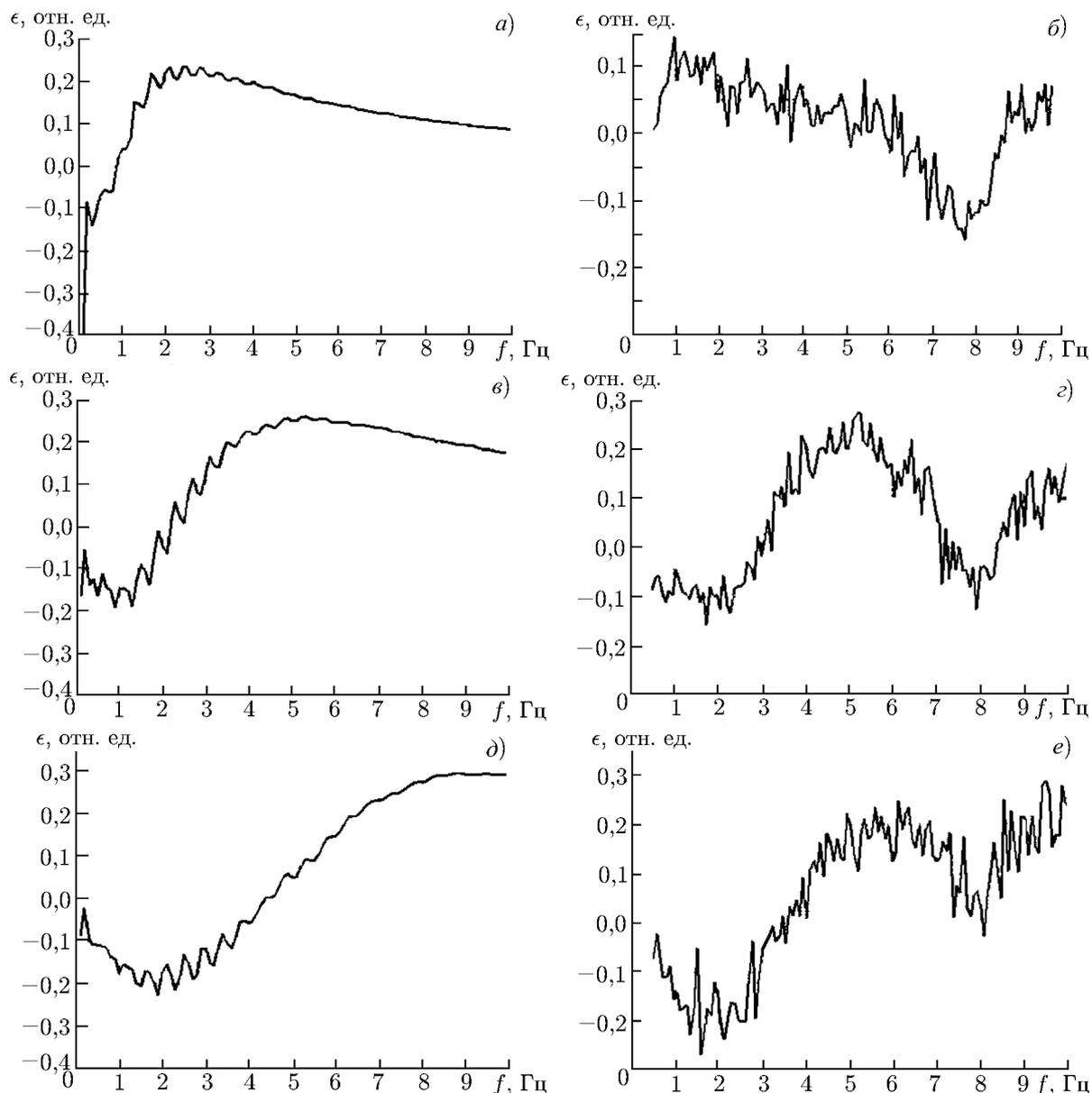


Рис. 11. Временная динамика спектров параметра  $\epsilon$  для 06.07.2003, слева — расчётные спектры (при расчётах не учитывалось влияние шумановского резонанса). Панель *a* соответствует 21:25 LT 06.07.2003, *b* — 21:40 LT 06.07.2003, *в* — 22:00 LT 06.07.2003, *г* — 23:20 LT 06.07.2003, *д* — 23:00 LT 06.07.2003, *e* — 01:00 LT 06.07.2003

$\epsilon$  близок к нулю практически для всех частот до первого шумановского резонанса.

## 2. ОБСУЖДЕНИЕ, ВЫВОДЫ

Приведённые результаты моделирования спектров компонент магнитного поля и поляризационного параметра фонового шума и сопоставление их с экспериментом позволяют определять модели ионосферных параметров, наиболее адекватно описывающих результаты мониторинга шумовых полей. Такой анализ позволил сделать вывод о полном несоответствии профилей элек-

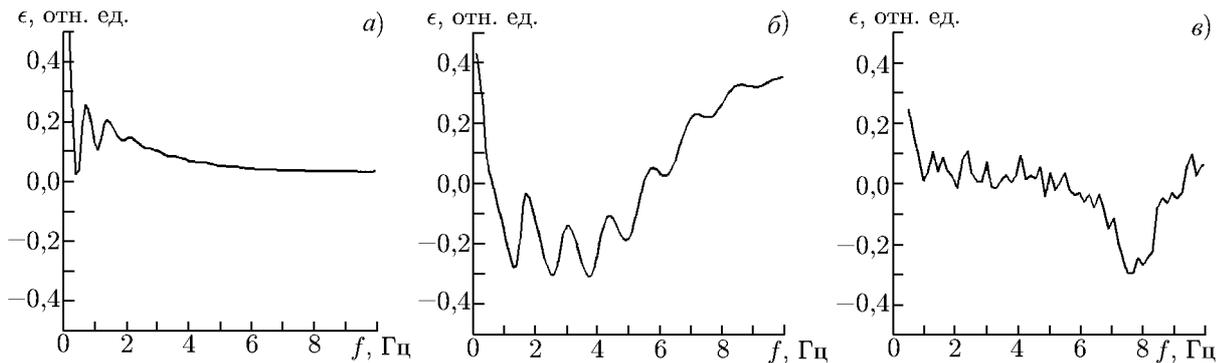


Рис. 12. Спектры параметра  $\epsilon$  для станции «Баренцбург» на 21:00 UT 13.12.2005: модель, основанная на данных радара в Свалбарде (а), модель IRI-2001 (б), экспериментальный спектр (в)

тронной концентрации, которые даются моделью IRI-2001, на низких (станция на о. Крит) и высоких («Баренцбург») широтах. Сравнение результатов моделирования и эксперимента позволили также выявить периоды для станции «Новая жизнь», для которых численная модель IRI-2001 не адекватна: это весенне-осенние периоды в годы минимальной солнечной активности. Имеющимися аналитическими моделями, которые задаются функциями Чепмена, можно корректировать модели на высотах выше максимума  $F$ -слоя. Для коррекции модели IRI-2001 в нижних слоях ионосферы возможен анализ расчётных и экспериментальных спектров поляризационного параметра магнитного шума. Для станции «Баренцбург» мы имели возможность проанализировать результаты расчётов двух различных моделей и сравнить их с экспериментом. Было показано, что модель, основанная на данных радара в Свалбарде, наиболее адекватно описывает спектры компонент магнитного поля и поляризационного параметра. Однако, все особенности наблюдаемой суточной зависимости вероятности появления резонансной структуры спектра на станции «Баренцбург» (практически полное отсутствие резонансной структуры в период околополуденных часов), невозможно объяснить с помощью усреднённой модели, основанной на данных радара в Свалбарде. Требуется коррекция указанной модели с учётом особенностей высотных профилей ионосферных параметров на высоких широтах, например, в периоды близости к дневному каспу. Для верификации метода диагностики ионосферы на основе измерений естественных магнитных крайне низкочастотных полей важно проведение одновременных ионозондовых или радарных измерений в точке регистрации фонового шума.

Авторы благодарны А. Г. Яхнину за предоставленные данные по регистрации крайне низкочастотных шумов на станции «Баренцбург».

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 07-02-01189, 09-02-97035\_p\_поволжье\_a).

### 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. Belyaev P. P., Bosinger T., Isaev S. V., et al. // J. Geophys. Res. 1999. V. 104. P. 4 305.
4. Böisinger T., Haldoupis C., Belyaev P. P., et al. // J. Geophys. Res. A. 2002. V. 107, No. 10. P. 1 281.

5. Bösinger T., Demekhov A. G., Trakhtengerts V. Yu. // *Geophys. Res. Lett.* 2004. V. 31. Art. no. L18802.
6. Semenova N. V., Yahnin A. G. // *Ann. Geophys.* 2008. V. 26. P. 2245.
7. Reinisch B. W., Nsumei P., Huang X., Bilitza D. K. // *Adv. Space Res.* 2007. V. 39. P. 731.
8. Ермакова Е. Н., Котик Д. С., Поляков С. В., Щенников А. В. // *Изв. вузов. Радиофизика.* 2007. Т. 50, № 7. С. 607.
9. Ермакова Е. Н., Котик Д. С., Поляков С. В. // *Изв. вузов. Радиофизика.* 2008. Т. 51, № 7. С. 575.
10. Собчаков Л. А., Поляков С. В., Астахова Н. Л. // *Изв. вузов. Радиофизика.* 2003. Т. 46, № 12. С. 1503.
11. Bösinger T., Ermakova E. N., Haldoupis C., Kotik D. S. // *Ann. Geophys.* 2009. V. 27. P. 1313.
12. Ermakova E. N., Kotik D. S., Semenova N. V., Popova T. A. // *Proc. XXXI Annual Seminar, Apatity, 2008.* P. 141.

Поступила в редакцию 1 апреля 2010 г.; принята в печать 13 октября 2010 г.

### STUDYING SPECTRAL STRUCTURES IN THE BACKGROUND ULTRALOW-FREQUENCY NOISE AT DIFFERENT LATITUDES

*E. N. Ermakova, S. V. Polyakov, and D. S. Kotik*

We numerically calculate the horizontal components of the magnetic field in the frequency range 0.1–15 Hz for reception points located at different geographical latitudes. For calculations, we used the solution of the problem on excitation of the Earth — vertically nonuniform anisotropic ionosphere waveguide by a source like a vertical electrical dipole [1]. Calculations were carried out for different numerical and analytical models of the ionospheric parameter profiles [2]. The results of modeling and experimental studies of the spectral resonant structure at the stations on Crete (35.15 N, 25.20 E), New Life (Nizhny Novgorod region, 55.97 N, 45.74 E), Lovozero (68 N, 35 E), and Barentsburg (78.09 N, 14.12 E) were compared. The degree of conformity of the different model profiles to the actual ones was revealed from a comparison of theoretical and experimental spectra. The studies were complemented by an analysis of calculated and experimental spectra of the magnetic noise polarization parameter.