

УДК 550.388

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ СВЕРХНИЗКОЧАСТОТНОГО РАДИОИМПУЛЬСА ВСПЛЕСКОМ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ 27 ДЕКАБРЯ 2004 ГОДА

А. П. Николаенко

Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАНУ, г. Харьков, Украина

Моделируется электромагнитный импульс, возбуждаемый резким снижением заряженной верхней стенки промежутка Земля—ионосфера. Снижение ионосферы на 20 км было зарегистрировано над дневным полушарием Земли в момент гигантской вспышки внегалактического гамма-излучения в созвездии Лебедя (SGR 1806 – 20). Показано, что резкое изменение высоты ионосферы способно вызвать дискретный импульс сверхнизкочастотного радиоизлучения, спектр которого имеет характерные особенности, а амплитуда значительно превышает естественный регулярной шумовой сигнал. Время прихода радиоимпульса к наблюдателю совпадает с моментом гамма-всплеска.

27 декабря 2004 года в 21:30:26,5 мирового времени (UT) на Землю пришёл импульс гамма-излучения от внегалактического источника в созвездии Лебедя (SGR 1806 – 20), который уменьшил высоту нижней ионосферы над дневным полушарием примерно на 20 км. Данные о нижней ионосфере были получены в работе [1], где анализировались радиосигналы удалённых сверхдлинноволновых станций на транстихоокеанских трассах распространения. Регистрация велась на американской антарктической станции «Палмер». Само событие подробно описано в работах [1, 2]. Центр ионосферного возмущения находился в середине Тихого океана в точке с координатами 146,2° з. д. и 20,4° ю. ш. Эта точка была удалена от центра дневной полусферы на расстояние около 450 км. Интенсивность потока гамма-квантов в 2004 году на два порядка превышала поток от вспышки 1998 года, пришедшей от источника SGR 1900+14 (Магелланово облако).

Для нас важны два факта. Первый состоит в том, что снижение границы нижней ионосферы составляло $\Delta h = 20$ км. Исходя из результатов сверхдлинноволновых наблюдений, его развитие можно считать мгновенным [1–4]. Второй факт состоит в том, что между ионосферой и поверхностью Земли имеется постоянная разность потенциалов, создающая так называемое поле хорошей погоды [5–7]. Потенциал ионосферы относительно Земли остаётся стабильным и составляет около 250 кВ, а само электростатическое поле, составляющее вблизи земной поверхности около 100 В/м, поддерживается за счёт подзарядки токами мировых гроз [5]. При оценке тока параметрического источника мы будем считать ионосферу, образующую верхнюю обкладку конденсатора Земля—ионосфера, идеально проводящей. Под воздействием гамма-всплеска эта граница снижается на 20 км над дневным полушарием, а локальное поле хорошей погоды возрастает скачком примерно на 30 %. Нас интересует не статическое, а электромагнитное поле сверхнизких частот (СНЧ), поэтому потребуется оценить ток, связанный с резким смещением границы ионосферы.

Ёмкость сферического конденсатора Земля—ионосфера легко найти из соотношения [8]

$$C = ab/h, \quad (1)$$

где $a = 6,4 \cdot 10^6$ м — радиус Земли, b — радиус нижней кромки ионосферы, $h = b - a$ — высота ионосферы над землёй.

Ёмкость (1) измеряется в сантиметрах (система единиц СГСЕ). При средней высоте нижней ионосферы $h = 60$ км ёмкость конденсатора Земля—ионосфера в системе единиц СИ составит 77 мФ (10^{-12} Ф = 0,9 см). Отсюда следует, что при разности потенциалов $U = 250$ кВ ионосфера

несёт положительный заряд $Q = 2 \cdot 10^4$ Кл. Вертикальное смещение границы эквивалентно протеканию импульсного электрического тока (аналогичные токи текут в «положительных» грозовых пробоях). Токовый момент такого «параметрического» источника равен

$$Id_s = \frac{Q \Delta h}{2 \Delta t} = 2 \cdot 10^{10} \text{ А} \cdot \text{м}. \quad (2)$$

Здесь мы учли, что снижение наблюдается на половине земного шара, поэтому в формулу входит $\Delta h/2$. При оценке тока «параметрического» источника мы считаем, что верхняя граница полости Земля—ионосфера опустилась за время $\Delta t = 0,01$ с (о правомерности такой оценки см. ниже).

Сравним полученный момент тока со средними грозовыми разрядами. Типичный пробой облако—земля имеет длину около 4 км и ток 25 кА, так что его токовый момент равен 10^8 А·м [6–10]. На поверхности Земли одновременно действуют около 2000 гроз, а средняя частота молний составляет от 60 до 100 разрядов в секунду. Электромагнитные импульсы отдельных молний взаимно независимы, поэтому энергия создаваемого ими электромагнитного фона пропорциональна числу разрядов. Отсюда следует, что источник поля, связанный с изменением высоты ионосферы, вызванным гамма-всплеском, порождает одиночный электромагнитный импульс, интенсивность которого превосходит обычный электромагнитный фон сверхнизких частот на два порядка. Надо отметить, что кроме регулярного фона в полости Земля—ионосфера наблюдаются импульсы сверхмощных грозовых разрядов (обычно от положительных пробоев), получившие название СНЧ всплесков.

Важная особенность рассматриваемого параметрического радиоимпульса состоит в известном времени его прихода.

Рассмотрим спектральные особенности необычного импульса. Они обусловлены специфическим пространственным распределением тока источника. Действительно, сверхдлинноволновые измерения [1] показали, что гамма-всплеск снижает ионосферу почти над всем дневным полушарием одновременно. Одинаковые изменения сверхдлинноволновых радиосигналов наблюдались на трассах распространения, проходивших по дневной полусфере и удалённых от её центра на угловое расстояние вплоть до 60° . Следовательно, и величина ионосферного возмущения была неизменной в этих пределах. Таким образом, синфазные токи параметрического источника занимают весьма значительный объём, что не может не сказаться на спектре колебаний.

Прежде чем приступить к формальному решению задачи, перечислим основные допущения. При оценке тока источника мы рассматриваем ионосферу как металлическую границу, несущую определённый заряд. Гамма-всплеск смещает эту границу на 20 км одновременно над всей дневной полусферой, создавая электрический ток, момент которого мы оценили, приняв, что перемещение зарядов происходит за 0,01 с. Эта постоянная времени согласуется с данными наблюдений и с моделями спрайтов [11, 12], согласно которым развитие спрайта, связанное с перемещением свободных зарядов, лежит в диапазоне от единиц до 10 мс.

Получив оценку величины токового момента параметрического источника, в расчётах электромагнитного импульса мы полагаем, что спектр источника от частоты не зависит. Такое допущение приемлемо в силу того, что поле с частотой выше 100 Гц сильно затухает при распространении в полости Земля—ионосфера [6, 7].

Используется модель однородного по угловым координатам резонатора. Применение более точной, но сложной модели с неоднородностью типа день—ночь нецелесообразно, т. к. известно [7], что влияние такой неоднородности приводит к амплитудным эффектам меньше 10 %. Поскольку нас интересуют отличительные свойства параметрического СНЧ импульса, угловая неоднородность резонатора играет второстепенную роль, тем более, что влияние асимметрии день—ночь на СНЧ всплески экспериментально не обнаружено.

Электромагнитное поле точечного источника единичной амплитуды находят с помощью соотношений [6, 7]

$$e_r(\omega, \theta_H) = \frac{i\nu(\nu+1)}{4ha^2\varepsilon\omega} \frac{P_\nu[\cos(\pi - \theta_H)]}{\sin(\pi\nu)}, \quad (3)$$

$$h_X(\omega, \theta_H) = h_\varphi(\omega, \theta_H) \cos(A_s), \quad (4)$$

$$h_Y(\omega, \theta_H) = h_\varphi(\omega, \theta_H) \sin(A_s), \quad (5)$$

$$h_\varphi(\omega, \theta_H) = -\frac{P_\nu^1[\cos(\pi - \theta_H)]}{4ha \sin(\pi\nu)}. \quad (6)$$

Здесь e_r и h_φ — вертикальное электрическое и горизонтальное магнитное поля точечного источника с единичным моментом тока (функции Грина) соответственно, ε — диэлектрическая постоянная вакуума, $P_\nu[x]$ и $P_\nu^1[x]$ — функция и присоединённая функция Лежандра, ν — комплексная постоянная распространения СНЧ радиоволн в полости Земля—ионосфера, θ_H — угловое расстояние от источника до наблюдателя, A_s — угол прихода радиоволны к наблюдателю.

Постоянная распространения ν находится из модели возмущённого резонатора Земля—ионосфера, использованной в работах [9, 10]. Предполагается, что проводимость атмосферы описывается моделью «колена» (knee model). В рамках этой модели высотный профиль состоит из двух экспонент, которые, пересекаясь на некоторой высоте, образуют «колени». Ниже «колена» проводимость растёт с высотой медленней, чем выше него, это и обеспечивает излом профиля. Гамма-вспышка снижает высоту колена на 10 км на всей планете от её регулярного значения 55 км. Более подробное описание модели можно найти в работах [9, 10].

Поле, создаваемое распределёнными в пространстве токами, представляет собой свёртку решений (3)–(6) с функцией, описывающей распределение момента тока M_C (произведение тока элементарного вертикального диполя на его длину):

$$E_r = \int_0^\pi \beta d\beta \int_0^{2\pi} e_r(\cos \gamma) M_C(\beta, \psi) d\psi, \quad (7)$$

$$H_X = \int_0^\pi \beta d\beta \int_0^{2\pi} h_\varphi(\cos \gamma) M_C(\beta, \psi) \cos(A_s) d\psi, \quad (8)$$

$$H_Y = \int_0^\pi \beta d\beta \int_0^{2\pi} h_\varphi(\cos \gamma) M_C(\beta, \psi) \sin(A_s) d\psi. \quad (9)$$

Здесь β и ψ — «полярная» и «азимутальная» координаты элемента тока источника соответственно, отсчитываемые от центра возмущения ионосферы, $\gamma(\beta, \psi)$ — угловое расстояние от наблюдателя до элементарного источника, а $A_s(\beta, \psi)$ — азимут направления на этот источник из точки наблюдения. Функции $\gamma(\beta, \psi)$ и $A_s(\beta, \psi)$ находят с помощью формул сферической тригонометрии [6].

Процедура свёртки имеет простой физический смысл: сложный источник разбивается на элементы, каждый из которых создаёт своё поле. Поля элементарных источников суммируются в пункте приёма с учётом фаз. Так вычисляются представленные ниже спектры импульсного СНЧ излучения, возбуждаемого снижающейся заряженной верхней стенкой конденсатора Земля—ионосфера. Поскольку нас интересуют сверхнизкие частоты, на которых длина волны λ сравнима с длиной экватора $2\pi a = 4 \cdot 10^4$ км, то геометрические размеры элементарных источников могут оказаться значительными. Достаточно, чтобы они оставались малыми по сравнению

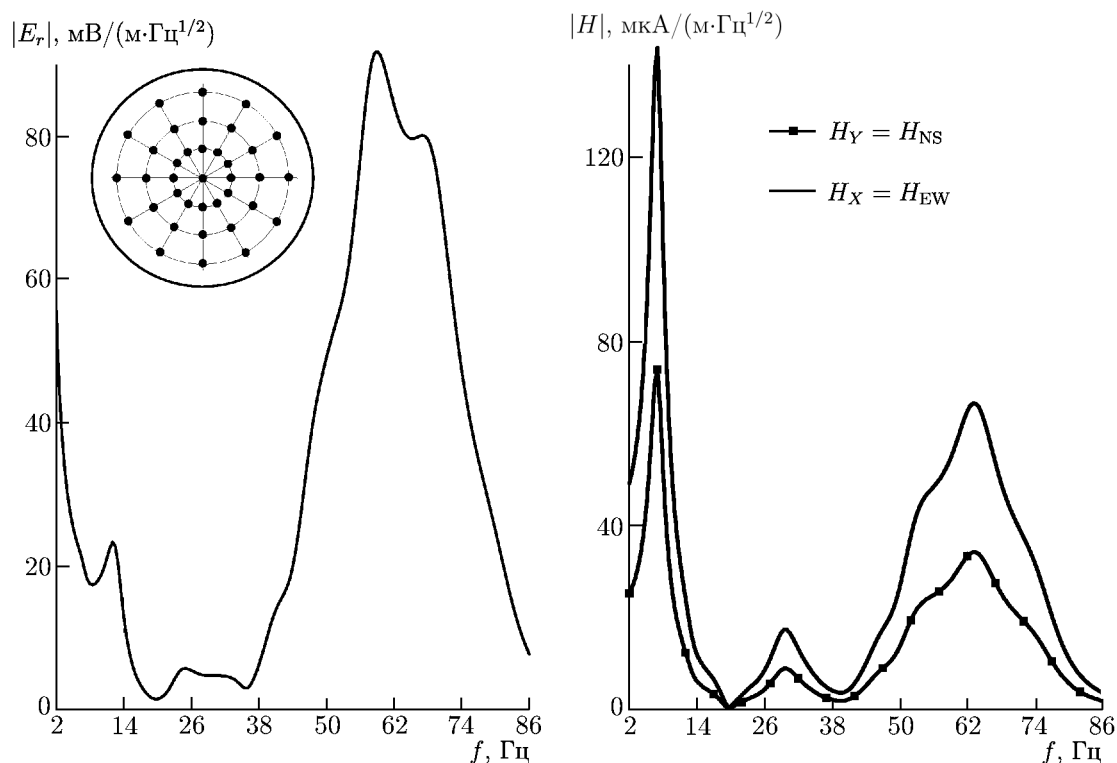


Рис. 1. Спектр СНЧ всплеска, вызванного снижением ионосферы вследствие гамма-всплеска, ожидаемый в обсерватории Мошири. Компонента H_{NS} направлена вдоль локального меридиана, H_{EW} — вдоль локальной параллели

с λ . Указанное соображение позволяет экономить вычислительный ресурс за счёт применения элементарных ячеек с размером $5,8^\circ \times 24^\circ$.

Ионосфера снижается одновременно почти над половиной земного шара. Элементарные поля отличаются величиной и фазовым набегом, поэтому эффективно возбуждаться могут только низшие моды шумановского резонанса. Колебания высших типов взаимно погасят друг друга. Интерференция на частотах выше шумановского резонанса снова может привести к взаимному усилению волн: это станет возможным, когда разность хода от отдельных частей распределённого тока оказывается сравнимой с длиной волны. Тогда фазовый набег может привести не к гашению, а к усилению радиосигнала.

На рис. 1 приведены расчётные амплитудные спектры СНЧ радиосигнала для обсерватории Мошири, Япония ($44,365^\circ$ с. ш. и $142,240^\circ$ в. д.). Пиктограмма в левом верхнем углу рисунка иллюстрирует распределение элементарных токов, использованное в расчётах. Точки показывают положение отдельных источников одинаковой амплитуды. Один из них находится в центре возмущения, а остальные расположены на концентрических окружностях вдоль радиусов. Точки покрывают почти всю дневную полусферу, поскольку в вычислениях используется 15 таких окружностей, отстоящих друг от друга на $5,8^\circ$. Лучи, вдоль которых расположены источники, отстоят друг от друга на 24° . Легко видеть, что плотность тока в такой «радиально-концентрической» модели убывает как $\cos \beta$, где β — угловое расстояние от центра возмущения. Заметим, что радиальная проекция потока гамма-квантов, падающих на Землю, изменяется по этому же закону.

Рисунок 1 показывает расчётные спектры вертикальной электрической E_r и горизонтальной магнитной H_φ компонент поля. Первая измеряется в $\text{mV}/(\text{m} \cdot \text{Hz}^{1/2})$, а вторая — в $\text{mA}/(\text{m} \cdot \text{Hz}^{1/2})$. Вдоль горизонтальных осей отложена частота f . Как видно из рисунка, графики ортогональ-

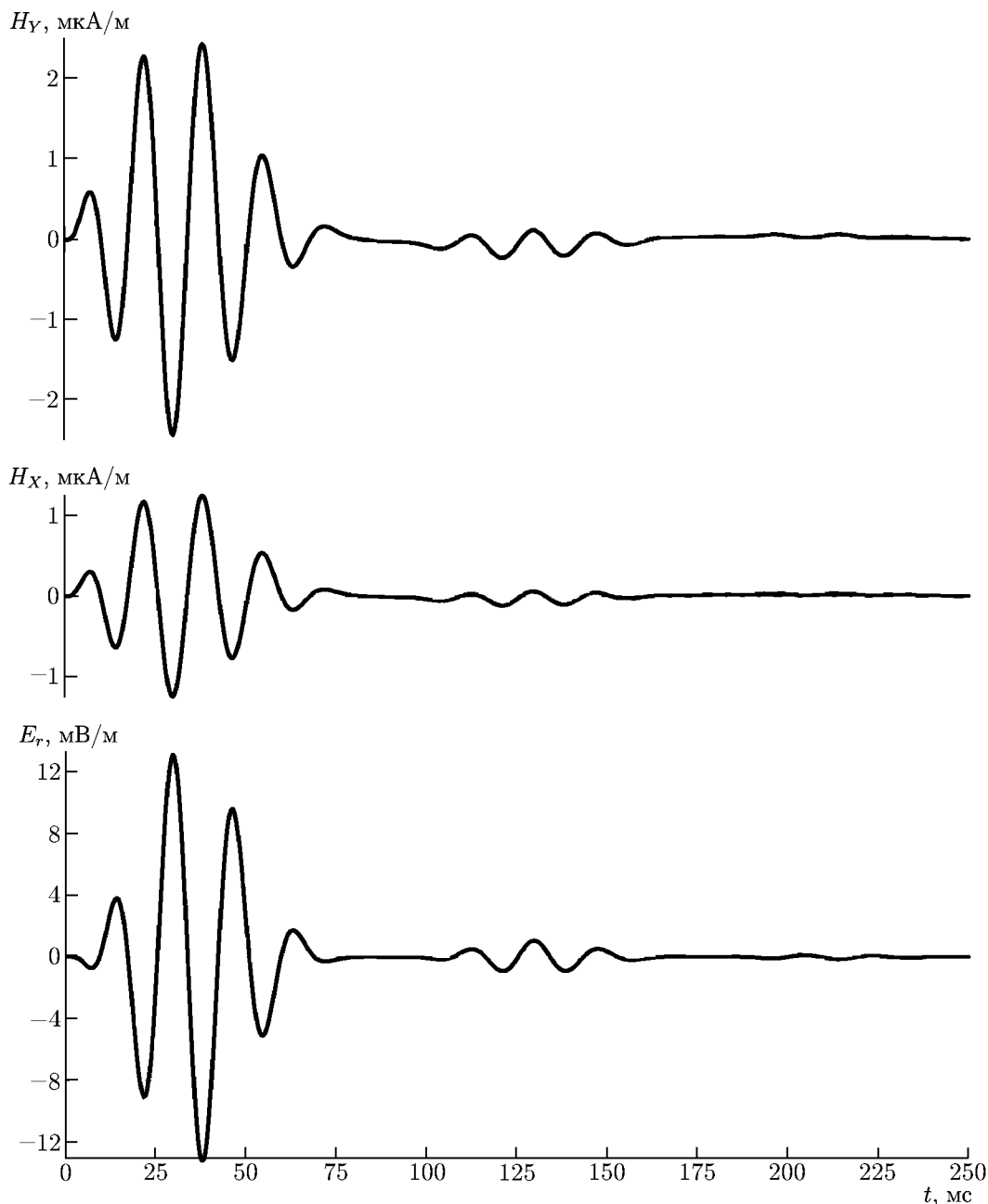


Рис. 2. Ожидаемая в обсерватории Мошири временная реализация СНЧ импульса, возбуждённого снижением заряженной ионосферы

ных компонент горизонтального магнитного поля похожи, они отличаются за счёт среднего угла прихода радиоволн. В амплитудном спектре магнитного поля отчётливо виден пик на первом резонансном моде (8 Гц), достигающий уровня $140 \text{ мкА}/(\text{м} \cdot \text{Гц}^{1/2})$, тогда как средний уровень фоновых сигналов шумановского резонанса обычно составляет около $20 \div 30 \text{ мкА}/(\text{м} \cdot \text{Гц}^{1/2})$. Спектр электрического поля имеет совсем иную форму. В нём заметен второй резонансный максимум, около $25 \text{ мВ}/(\text{м} \cdot \text{Гц}^{1/2})$, что примерно в 20 раз превышает средний уровень фона. Таким образом, имеются реальные шансы экспериментально обнаружить параметрическое возбуждение всплесков СНЧ излучений за счёт модуляции высоты промежутка Земля—ионосфера.

Отличие форм спектров магнитного и электрического полей объясняется относительным расположением источника и приёмника. Центр распределённого тока удалён от обсерватории на расстояние 10,6 Мм, а его географический азимут равен примерно 120° . Поэтому первый резонансный мод отсутствует в спектре электрического поля, но хорошо виден в спектре магнитного поля, а сами компоненты H_Y и H_X отличаются по амплитуде примерно вдвое.

В обоих расчётных спектрах в окрестности 60 Гц (примерно десятый мод шумановского резонанса) виден широкий максимум. Он достигает $100 \text{ мВ}/(\text{м} \cdot \text{Гц}^{1/2})$ в электрическом поле и $70 \text{ мкА}/(\text{м} \cdot \text{Гц}^{1/2})$ в магнитном. «Высокочастотный» пик обусловлен сложением волн, приходящих от удалённых друг от друга элементарных источников, когда разности фаз за счёт распространения становятся близкими к 2π . Поскольку полоса частот типичного приёмника шумановских резонансов лежит в области ниже 50 Гц, этот «высокочастотный» максимум будет ослаблен измерительной аппаратурой. Сам же СНЧ всплеск, если его удастся отличить от промышленной импульсной помехи 60 Гц, будет представителем «спокойных» всплесков (Q-burst), в спектре которых не только отсутствует высокочастотная составляющая, но доминирует одна частота.

Комбинация одного мода из спектра шумановского резонанса с широким пиком в окрестности 60 Гц является характерной особенностью импульсного параметрического возбуждения колебаний источником большого размера. Эта особенность отличает СНЧ всплеск, порождённый гамма-излучением, от сигналов сверхмощных молний. В спектрах последних всегда присутствует несколько резонансных модов, а амплитуда высших колебаний обычно уменьшается с частотой.

На рис. 2 приведены расчётные волновые формы радиоимпульсов, пришедших в обсерваторию Мошири от параметрического источника, созданного всплеском гамма-излучения. Представлены три графика, отвечающие соответственно импульсным колебаниям компонент поля H_Y , H_X и E_r (сверху вниз). По горизонтальной оси рисунка отложено время t в мс, отсчитываемое от начала гамма-всплеска. Импульс состоит из нескольких периодов частоты 60 Гц, он повторяется в ослабленном виде при приходе кругосветной волны (около 120 мс от начала события). Форма сигнала кардинально отличается от СНЧ всплесков, порождённых типичным вертикальным пробоем (см. рис. 3). Это обстоятельство следует использовать при обработке экспериментальных записей, создав своеобразный согласованный приёмник.

Идея таких измерений очень проста. «Приёмник» (а на самом деле вычислительный алгоритм) вычисляет свёртку записанного «широкополосного» СНЧ сигнала с ожидаемой волновой формой. Таким образом, измеряется коэффициент взаимной корреляции ожидаемого и измеренного сигналов, который должен резко возрасти при совпадении импульсов. Измерения такого сорта позволили бы не только обнаружить «параметрический» СНЧ импульс, но и определить его положение на оси времени, что может служить индикатором развития неоднородности нижней ионосферы во времени.

На рис. 3 сплошной кривой относительно левой ординаты показан СНЧ радиоимпульс, вызванный гамма-излучением. Кривой с точками относительно правой ординаты показан СНЧ всплеск от типичного грозового разряда, помещённого в центр возмущения. Токовый момент грозового пробоя равен $10^8 \text{ А} \cdot \text{м}$, что соответствует току в 25 кА при длине канала молнии 4 км. Видно, что «параметрический» импульс превосходит типичный СНЧ всплеск по амплитуде примерно в тридцать раз и заметно отличается по форме от привычных естественных радиосигналов.

В настоящее время одновременно работают несколько обсерваторий, где ведётся запись шумановского резонанса. Мы выполнили расчёты для тех из них, что заведомо работали в момент гамма-всплеска 2004 года. На рис. 4 показаны спектры электрической (слева) и магнитной (справа) компонент поля в следующих пунктах наблюдения (а) Мошири, Япония ($44,4^\circ$ с. ш., $142,2^\circ$ в. д.), (б) Надьченк, Венгрия ($47,6^\circ$ с. ш., $16,7^\circ$ в. д.), (в) Род Айленд, США ($41,6^\circ$ с. ш., $71,6^\circ$ з. д.), (г) Мицпе Рамон, Израиль ($30,6^\circ$ с. ш., 35° в. д.), (д) Лехта, Карелия, Россия ($64,4^\circ$ с. ш.,

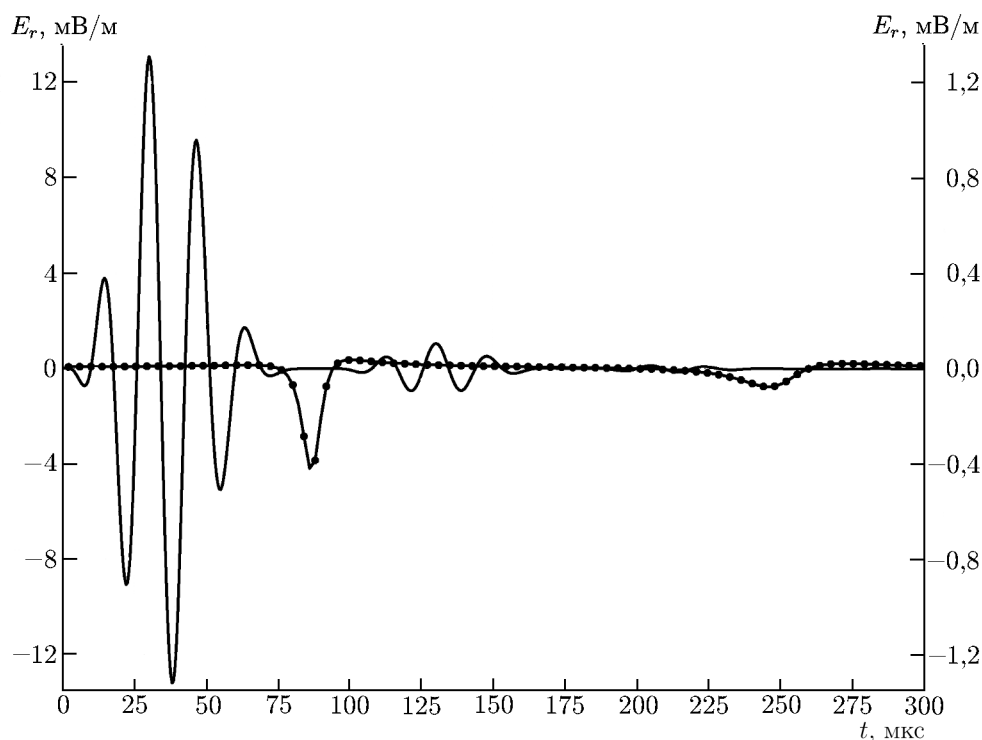


Рис. 3. Временная реализация СНЧ импульса, возбуждённого снижением заряженной ионосферы (сплошная кривая) и импульс (кривая с точками), пришедший от типичного разряда на удалении 10,2 Мм с токовым моментом 10^8 А·м

33,97° в. д.). Из рисунка видно, что наибольший по амплитуде импульс должен наблюдаться в записи обсерватории Мишпе Рамон (Израиль). Значительный сигнал должен присутствовать также в пунктах Надьченк (Венгрия) и Род Айленд (США). Расчёт также показывает, что в пункте приема Лехта кроме широкого пика в окрестности 60 Гц присутствует заметный сигнал на частотах шумановского резонанса. Резонансные пики проявляются в горизонтальном магнитном поле более ярко, чем в электрическом, и в этих обсерваториях СНЧ импульс, спровоцированный гамма-вспышкой, можно обнаружить при помощи стандартного приемника шумановского резонанса. Отношение амплитуд ортогональных компонент магнитного поля должно позволить найти направление на центр распределённого источника, созданного гамма-вспышкой.

Широкий пик в окрестности 60 Гц присутствует в спектрах всех пунктов наблюдения, он оказывается типичным признаком параметрического возбуждения полости Земля—ионосфера за счёт модификации нижней ионосферы. Формы спектральной линии в электрической и магнитной компонентах поля отличаются, их детали зависят от координат наблюдателя, однако пик присутствует во всех модельных данных. Поэтому волновые формы СНЧ всплесков, ожидаемые в указанные пункты наблюдения, содержат явно выраженные колебания на частоте 60 Гц (см. рис. 5).

Вдоль горизонтальной оси на графиках рис. 5 отложено время, прошедшее от начала гамма-всплеска, в мс. Графики слева показывают изменения вертикального электрического поля в милливольт-метрах, а справа — импульсы, ожидаемые в магнитных компонентах поля $H_X = H_{EW}$ (жирные линии) и $H_Y = H_{NS}$ (тонкие линии) в микроамперах на метр. Как видно из рисунка, радиосигналы во всех пунктах похожи друг на друга: «параметрический» СНЧ импульс состоит из нескольких колебаний частоты 60 Гц. Эта же волновая форма повторяется в уменьшенном виде через 125 мс после начала гамма-всплеска (кругосветная волна). В сигналах каждой из

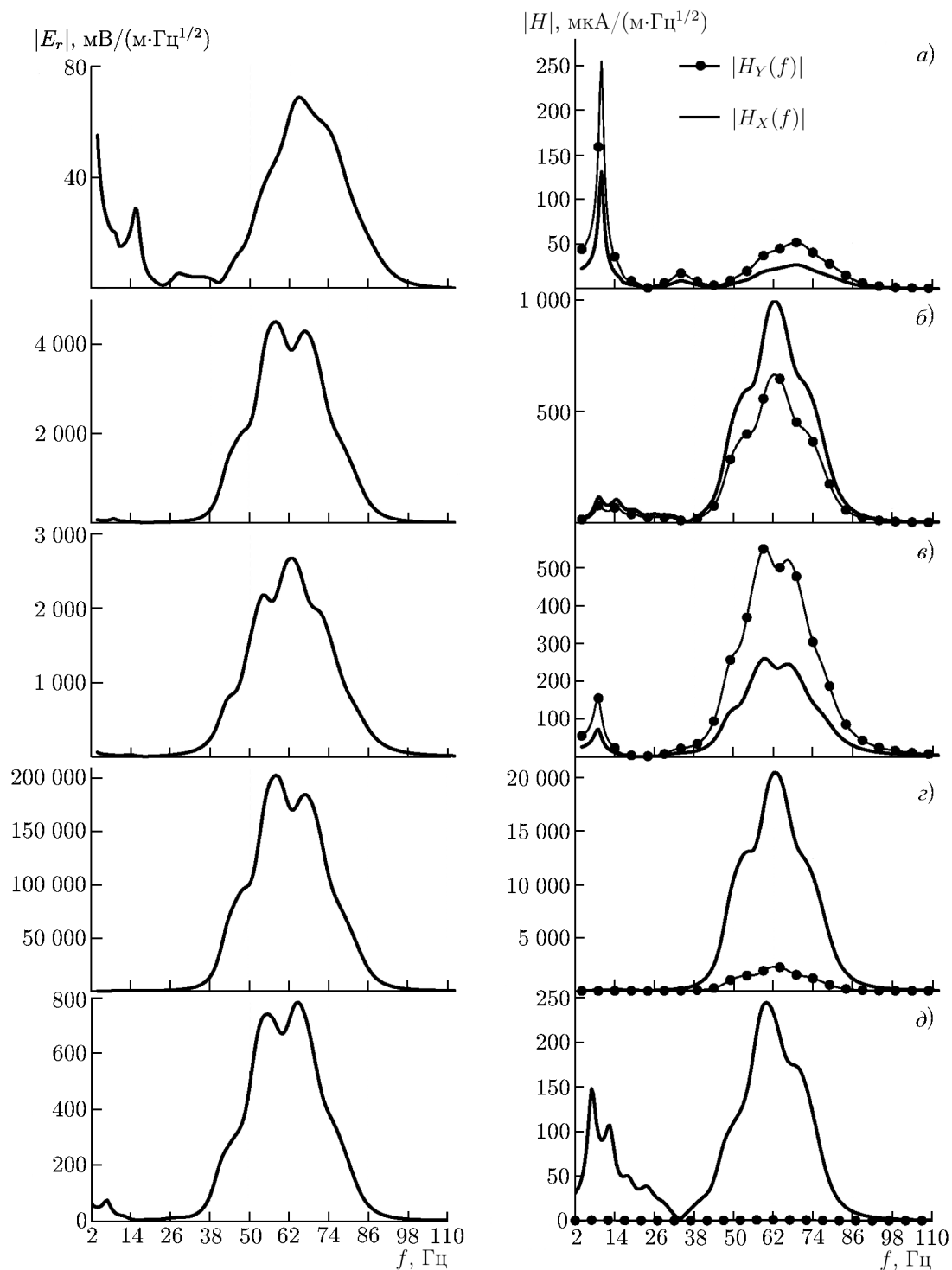


Рис. 4. Сопоставление расчётных спектров амплитуды СНЧ всплесков, ожидаемых в различных обсерваториях ((а) Мошири, (б) Надьченк, (в) Род Айленд, (г) Мишче Рамон, (д) Лехта) в момент прихода внегалактического гамма-всплеска

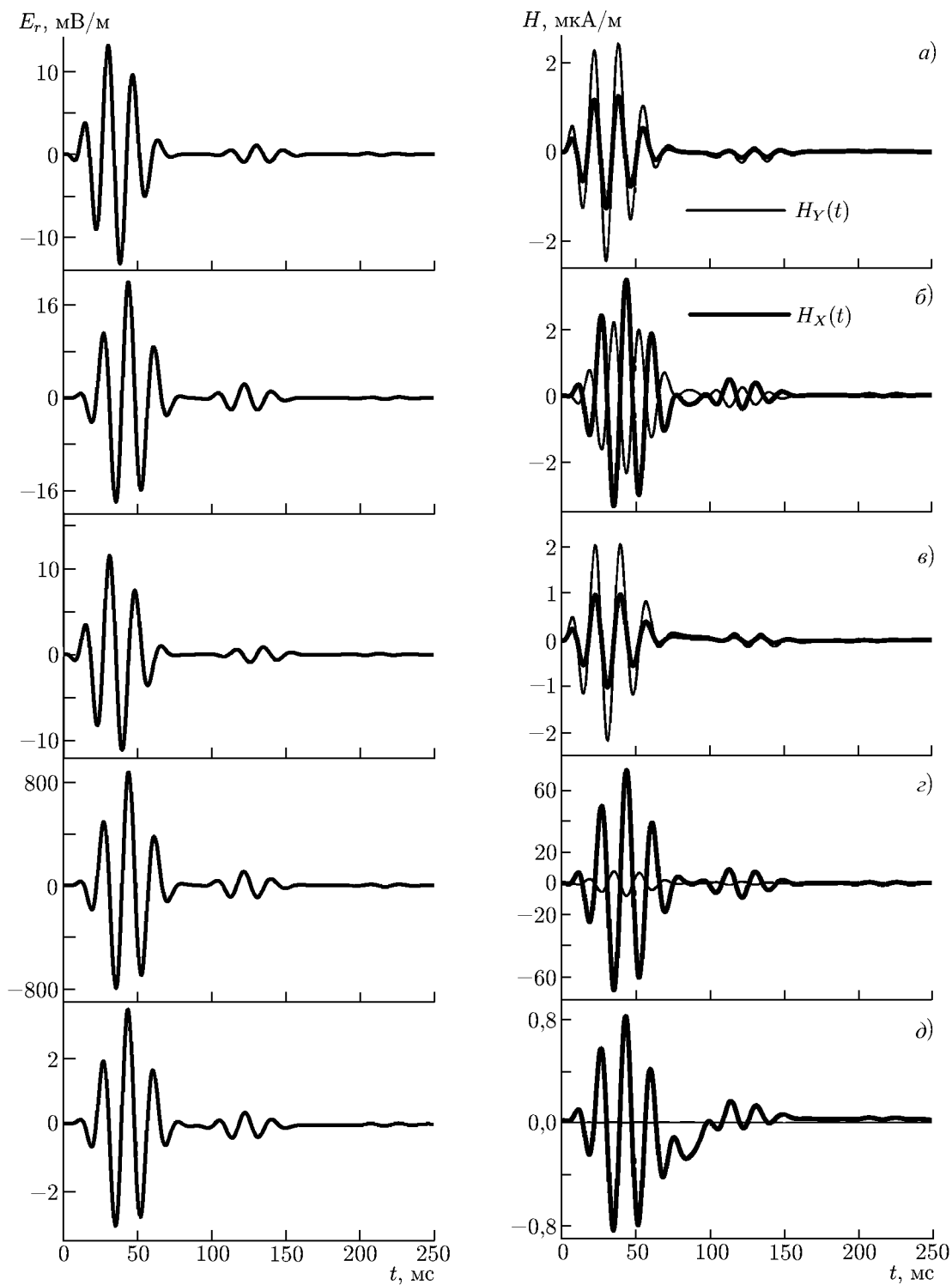


Рис. 5. Расчётные СНЧ импульсы, вызванные гамма-всплеском при наблюдении в различных обсерваториях ((a) Мошири, (б) Надьченк, (в) Род Айленд, (г) Мицпе Рамон, (д) Лехта)

обсерваторий имеются отличия, обусловленные интерференцией волн, которая зависит от местоположения наблюдателя, однако главное отличие состоит в амплитуде импульсов. Мы видим, что амплитуда всплесков СНЧ излучения в Мошири, Надьченке и Род Айленде примерно одинакова, она в 20÷30 раз превышает уровень резонансного фона. Что же касается обсерватории Мицпе Рамон, то в ней ожидаемый СНЧ всплеск на три порядка по величине превосходит уровень фоновый сигнала. Поиск «параметрического» импульса следует начинать с записей именно этой обсерватории. Главное осложнение при этом связано с «неудачным» значением несущей частоты колебания, близкой к индустриальной частоте 60 Гц: сигналы этой частоты обычно фильтруются в приёмниках СНЧ радиоизлучений.

ВЫВОДЫ

В заключение перечислим основные результаты моделирования.

Снижение заряженной ионосферы, вызванное гигантской внегалактической гамма-вспышкой 27 декабря 2004 года, должно было породить дискретный СНЧ импульс, совпадающий во времени со вспышкой. Спектры «параметрических» СНЧ импульсов имеют широкий максимум в окрестности 60 Гц во всех пунктах наблюдения, что обусловлено геометрическими размерами импульсного источника. Форма импульса, вызванного гамма-вспышкой, содержит 3÷4 периода частоты 60 Гц в обоих магнитных компонентах поля. Близость частоты к индустриальной помехе может затруднить обнаружение эффекта или же привести к его ошибочной интерпретации. Амплитуда всплесков СНЧ излучения, вызванных гамма-вспышкой, в большинстве работающих в настоящее время обсерваторий примерно одинакова, она на порядок величины превышает уровень фонового сигнала шумановского резонанса. В обсерватории Мицпе Рамон ожидаемый всплеск должен был быть на три порядка выше фонового сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Inan U. S., Lehtinen N. G., Moore R. C., et al. // *Geophys. Res. Lett.* 2007. V. 34. Art. no. L08103.
2. Hurley K., Boggs S. E., Smith D. M., et al. // *Nature*. 2005. V. 434. P. 1098.
3. Inan U. S., Lehtinen N. G., Lev-Tov S. J., et al. // *Geophys. Res. Lett.* 1999. V. 26. P. 3357.
4. Tanaka Y. T., Terasawa T., Yoshida M., et al. // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113. Art. no. A07307.
5. Rycroft M. J., Harrison R. G., Nicoll K. A., Mareev E. A. // *Space Sci. Rev.* 2008. V. 137. P. 83.
6. Блюх П. В., Николаенко А. П., Филиппов Ю. Ф. Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земля—ионосфера. Киев: Наукова думка, 1977. 199 с.
7. Nickolaenko A. P., Hayakawa M. // *J. Geophys. Res.* 2001. V. 106. P. 18555.
8. Тамм И. Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1989. 504 с.
9. Николаенко А. П., Хайакава М. // *Радиофизика и электроника*. 2010. Т. 15, № 1. С. 78.
10. Nickolaenko A. P., Hayakawa M. // *J. Atmos. Electricity*. 2010. V. 30, No. 1. P. 1.
11. Sprites, Elves and Intense Lightning Discharges: NATO Science Series / Ed. by M. Füllekrug, E. A. Mareev, M. J. Rycroft. Dordrecht: Springer, 2006. 398 p.
12. Pasko V. P. Sprites, Elves and Intense Lightning Discharges: NATO Science Series / Ed. by M. Füllekrug, E. A. Mareev, M. J. Rycroft. Dordrecht: Springer, 2006. P. 253.

Поступила в редакцию 3 февраля 2010 г.; принята в печать 29 апреля 2010 г.

**PARAMETRIC EXCITATION OF ULTRALOW-FREQUENCY RADIO PULSE
BY AN EXTRAGALACTIC GAMMA-RAY BURST ON DECEMBER 27, 2004***A. P. Nickolaenko*

We simulate an electromagnetic pulse excited by a sharp descent of the charged upper wall of the Earth–ionosphere cavity. The ionosphere descent by 20 km was detected over the day-side Earth's hemisphere during a giant gamma-ray burst in Cygnus (SGR 1806–20). We show that the sharp change in the ionosphere altitude can cause a discrete pulse of ultralow-frequency radiation with the spectrum having some specific features and the amplitude significantly exceeding the natural regular noise background. The time of arrival of the radio pulse to an observer coincides with the gamma-burst time.