

МОДЕЛЬ ВОЗМУЩЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ВО ВРЕМЯ ВСПЛЕСКА ВНЕГАЛАКТИЧЕСКОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ 27 ДЕКАБРЯ 2004 г.

А. П. Николаенко, М. Хайакава¹

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: sasha@ire.kharkov.ua*

¹*Научно-исследовательский центр современных средств связи,
Станция исследований сейсмо-электромагнетизма, Университет электросвязи,
Чофу, Токио, 182-8585, Япония
E-mail: hayakawa@whistler.ee.ucc.ac.jp*

Моделируется и обсуждается возможное проявление в записях шумановского резонанса гигантской внегалактической вспышки гамма-излучения, произошедшей в созвездии Лебедя (*SGR 1806-20*). Показано, что модификация нижней ионосферы на дневной стороне Земли способна вызвать резкое изменение спектров мощности глобального электромагнитного резонанса. Модификации спектра постепенно уменьшаются, так что привычная картина восстанавливается через некоторое время после вспышки и возмущения исчезают. Предлагается способ измерений, подтверждающий эффект гамма-вспышки. Ил. 8. Библиогр.: 23 назв.

Ключевые слова: шумановский резонанс, гамма-вспышка, возмущения ионосферы.

Мониторинг глобального электромагнитного (шумановского) резонанса позволяет изучать как свойства полости Земля-ионосфера, так и естественные источники излучения – грозовые разряды. Далее рассматривается изменение нижней ионосферы под влиянием космической погоды. Мы моделируем воздействие мощной вспышки гамма-излучения на параметры шумановского резонанса 27 декабря 2004 г.

Последнее исследование связи шумановского резонанса со свойствами регулярной ионосферы на высотах 40...90 км было опубликовано в 2006 г. [1]. На сверхнизких частотах (СНЧ) исследуются крупномасштабные возмущения нижней ионосферы, которые можно обнаружить в параметрах колебаний и связать их с уровнем корпускулярного и ионизирующего излучения Солнца [2, 3]. Исследовались также изменения глобального резонанса, вызванные солнечными протонными событиями (СПС) [4–9]. Возможные возмущения нижней ионосферы, вызванные сейсмической активностью, анализировались в работе [10].

В последнее десятилетие были зарегистрированы две мощные вспышки гамма-излучения от источников вне солнечной системы. Предпринималась попытка обнаружить изменения СНЧ-радиосигнала, связанные с модификациями нижней ионосферы вспышкой космического гамма-излучения в 1998 г. [11]. Записи сигналов удаленных СДВ-радиостанций указали на снижение ионосферы, вызванное этой вспышкой [12], тогда как на частотах глобального резонанса эффект отсутствовал [11].

В настоящей работе моделируются изменения спектра шумановского резонанса, вызванные мощной гамма-вспышкой от внегалактическо-

го источника в созвездии Лебедя (*SGR 1806-20*), произошедшей 27 декабря 2004 г. Это событие было подробно описано в литературе [13, 14], поэтому мы приведем только самые необходимые сведения. Вспышка зарегистрирована в 24 ч 30 мин и 26,5 с мирового времени (МВ), когда на дневное полушарие Земли обрушились жесткое рентгеновское и гамма-излучение. Центр «освещенной» полусферы располагался в середине Тихого океана в точке с координатами 146,2° з.д. и 20,4° ю.ш. Эта точка удалена от центра дневной полусферы на расстояние ≈ 450 км. Интенсивность потока гамма-излучения на два порядка превышала поток от вспышки в *SGR 1900 + 14* (Магелланово Облако), произошедшей в 1998 г.

Транстихоокеанский мониторинг сигналов СДВ-радиостанций, произведенный на станции «Палмер» в Антарктике, позволил следующим образом интерпретировать наблюдения, описанные в работе [13]. Под влиянием вспышки граница нижней ионосферы на дневной стороне Земли опустилась на 20 км, а само возмущение продолжалось не менее часа. Резкое начальное снижение было очень кратковременным, оно длилось менее 1 с. Мы приводим на рис. 1 ионосферные данные, полученные в работе [13]. Вдоль абсциссы в логарифмическом масштабе показано время от начала события. Снижение высоты отложено вдоль ординаты (км). Кривая с точками показывает данные работы [13], изменения длительностью более 1 000 с. Гладкая кривая на рис. 1 соответствует аппроксимирующей зависимости, найденной с помощью регрессии

$$dH = \frac{-19}{(9,6441t)^{0,1501}} \quad (1)$$

Ломаная линия на этом рисунке с шагом 10 с показывает временные изменения эффективной высоты ионосферы, использованные нами далее в вычислениях.

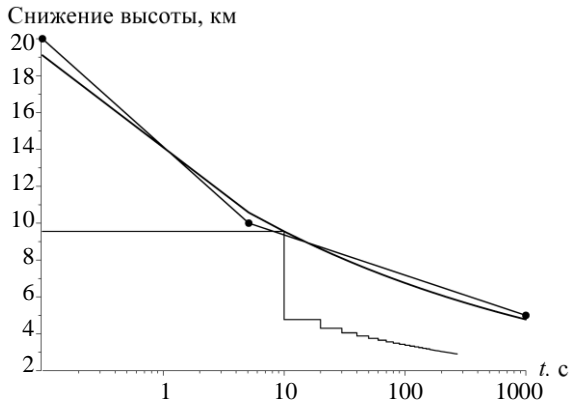


Рис. 1. Изменения высоты ионосферы, вызванные всплеском космического гамма-излучения: кривая с точками — данные измерений; сплошная кривая — аппроксимирующая кривая (1); ломаная линия — изменения высоты, используемые в расчете

1. Проводимость нижней ионосферы.

В вычислениях используется ионосферная «модель колена», предложенная в работе [1] для исследования связи резонансных характеристик с параметрами регулярной ионосферы. Изменения ионосферы за счет гамма-всплеска касаются только ее нижней части, мы рассмотрим модификацию единственного параметра модели — высоты «колена». Изменяется только «электрическая» высота полости Земля-ионосфера, тогда как ее «магнитная» высота остается неизменной. Важно и то, что модификация, найденная по данным СДВ-измерений [13], практически не зависела от углового расстояния ψ от центра возмущенной области, по крайней мере, для $\psi \leq 60^\circ$. Поэтому можно принять, что ионизация гамма-лучами охватывает все дневное полушарие и что ионосфера всего полушария изменяется одинаковым образом.

На рис. 2 схематически показано снижение дневной ионосферы, вызванное гамма-всплеском. По оси абсцисс отложено расстояние вдоль дуги большого круга в Мм ($1 \text{ Мм} = 10^6 \text{ м}$). Центр ночной полусферы находится в начале системы координат, а граница день-ночь (линия терминатора) удалена от него на 10 Мм. Антиподная полуденная точка расположена на расстоянии 20 Мм. Ордината показывает «высоту колена» h_{KNEE} на вертикальном профиле проводимости ионосферы. Широкая линия 1 на рис. 2 показывает изменение высоты в регулярном резонаторе: ночная ионосфера расположена выше дневной. Горизонтальная прямая 2 показывает среднюю электрическую высоту резонатора в регулярном резонаторе.

Космическое ионизирующее излучение снижает ионосферную границу дневного полушария, как это показывает кривая 3 на рис. 2. В результате средняя электрическая высота резонатора (горизонтальная прямая 4) снижается на Δh . Это изменение составляет примерно половину снижения высоты на дневной полусфере. Мы будем использовать именно эту среднюю величину при оценке реального эффекта. Это основано на следующих аргументах.

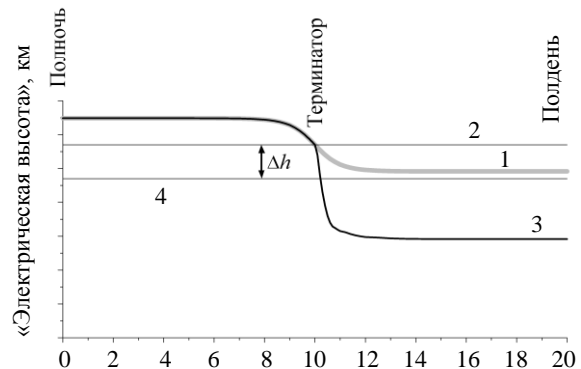


Рис. 2. Сечение полости Земля-ионосфера с неоднородностью день-ночь: 1 — регулярное изменение высоты; 2 — средняя высота регулярного резонатора; 3 — максимальное изменение высоты во время гамма-всплеска; 4 — средняя высота возмущенного резонатора

Из-за большой длины волны, сравнимой с окружностью Земли, параметры глобального резонанса нечувствительны к асимметрии ионосферы день-ночь [15–21]. Поэтому при исследовании практически мгновенного изменения спектра резонансных колебаний, вызванного гамма-вспышкой, разумно использовать среднюю по планете модификацию высоты ионосферы. За десятки минут, пока наблюдается эффект, положение мировых гроз не успеет измениться. Эти соображения позволяют использовать простейшую регулярную модель резонатора с ионосферой средней высоты при неизменной геометрии наблюдатель-источник.

Снижение средней по планете высоты колена на Δh приводит к изменению собственных чисел и постоянной распространения $\nu(f)$ полости Земля-ионосфера, что проявляется в спектре мощности резонансных колебаний. Оценка этих изменений и является конечной целью настоящей работы. Надо отметить, что такой подход к проблеме не нов, он был предложен и использован в классической работе [22], в которой анализировались изменения шумановского резонанса, вызванные высотным термоядерным взрывом «Морская звезда».

2. Резонансные параметры. Параметры модели невозмущенной полости Земля-ионосфера взяты из работы [1]. Используется вертикальный

профиль проводимости воздуха с «коленом», а постоянная распространения СНЧ-радиоволн $\nu(f)$ находится из уравнения:

$$\nu(f) = -\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \left(ka \frac{H_m}{H_e}\right)^2}. \quad (2)$$

Здесь $k = 2\pi f/c$ обозначает волновое число в вакууме; a – радиус Земли; комплексная «электрическая высота» H_e (высота, где токи проводимости становятся равными току смещения на данной частоте) выражается через параметры профиля проводимости следующим образом:

$$\begin{aligned} H_e = & H_{KNEE} + \zeta_a \ln\left(\frac{f}{F_{KNEE}}\right) + \\ & + \frac{1}{2}(\zeta_a - \zeta_b) \ln\left[1 + \left(\frac{f}{F_{KNEE}}\right)^2\right] + \\ & + i\left[\zeta_a \frac{\pi}{2} - (\zeta_a - \zeta_b) \arctg\left(\frac{F_{KNEE}}{f}\right)\right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Регулярная ионосфера имеет такие параметры [1]: высота колена $H_{KNEE} = 55$ км, частота колена $F_{KNEE} = 10$ Гц, высотные масштабы $\zeta_a = 2,9$ км (выше колена) и $\zeta_b = 8,3$ км (ниже колена). Физический смысл «электрических» параметров состоит в том, что токи проводимости на высоте 55 км равны токам смещения на частоте 10 Гц: $\sigma_{KNEE} = 2\pi\epsilon_0 F_{KNEE}$. Вертикальный профиль проводимости изгибается, поскольку он имеет разные масштабы ζ_a и ζ_b выше и ниже высоты колена (этим и объясняется сам термин «колени»).

Комплексная «магнитная высота» H_m (высота диффузии магнитного поля в плазму) равна

$$H_m = H_{mp} - \zeta_m \ln\left(\frac{f}{F_{mp}}\right) - i\frac{\pi}{2}\zeta_m. \quad (4)$$

Параметры ионосферы на магнитной высоте равны: $H_{mp} = 96,5$ км, $F_{mp} = 8$ Гц. Поскольку глубина проникновения магнитного поля в ионосферу изменяется с частотой, верхний, «магнитный», высотный масштаб проводимости также зависит от частоты:

$$\zeta_m = \zeta_{mp} + B_m^* \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{F_{mp}}\right), \quad (5)$$

где $\zeta_{mp} = 4$ км и $B_m^* = 20$ км.

Эти параметры использовались в вычислениях. Регулярная зависимость постоянной распространения $\nu(f)$ показана на рис. 3 сплошными линиями. Регулярная модель дает следующие пиковые частоты полости Земля-ионосфера: 7,85; 14,1; 20,25 и 26,4 Гц, которые находим из условия

$\text{Re}[\nu(f_{PEAK})] = n$. Эти значения близки к экспериментально наблюдаемым величинам [1, 17].

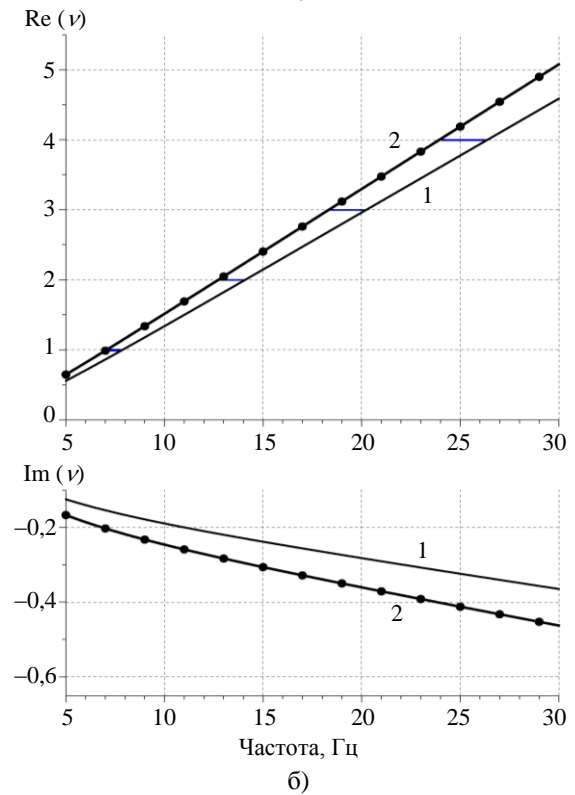
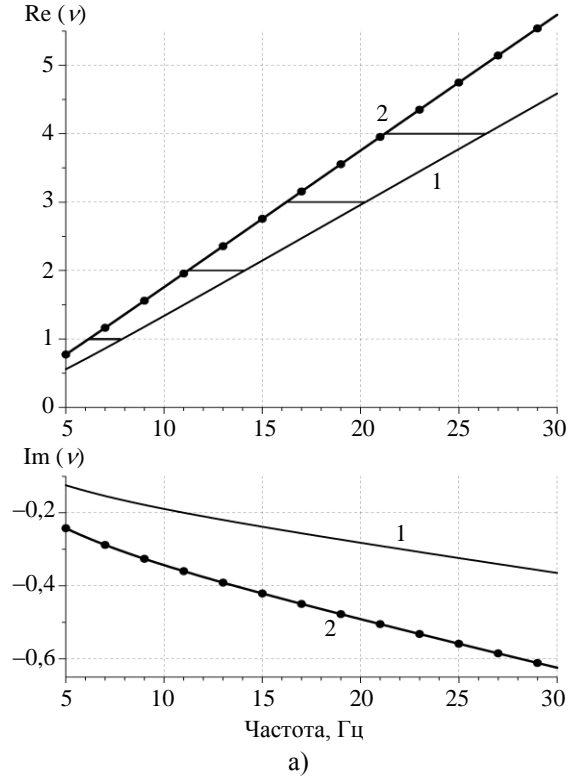


Рис. 3. Изменения частотной зависимости постоянной распространения, вызванные гамма-всплеском: а) – максимально возможное глобальное снижение ионосферы на 20 км; б) – снижение на 10 км

3. Результаты вычислений. Мы вычислили постоянные распространения $\nu(f)$, отвечающие разным высотам колена. Данные для невозмущенной $H_{KNEE} = 55$ км выступают в роли эталонной кривой (кривые 1). Кривая 2 на рис. 3, а отвечает глобальному снижению на 20 км ($H_{KNEE} = 35$ км), все остальные параметры модели остаются неизменными, прежде всего характеристики профиля в окрестности «магнитной» высоты. Реальная часть первых четырех собственных чисел полости Земля-ионосфера уменьшилась до 6,2; 11,2; 16,2 и 21,2 Гц. Отклонения 1,65; 1,9; 4 и 5,2 Гц показаны горизонтальными отрезками на графике рис. 3, а.

Столь большие изменения резонансных частот возникли из-за модели, которая преувеличивает возможный эффект. Очевидно, что гамма-вспышка изменила ионосферу дневного полушария, и глобальное снижение ионосферы окажется близким к 10 км: $H_{KNEE} = 45$ км. Более реалистичная оценка постоянной распространения показана на рис. 3, б. Невозмущенные значения остались прежними, тогда как возмущенные значения уменьшились до 7,1; 12,7; 18,3 и 23,9 Гц. Сдвиги в реальной части $\nu(f)$ уменьшились до 0,75; 1,4; 1,95 и 2,5 Гц, т. е. вдвое. Изменения мнимой части постоянной распространения показано на нижних графиках рис. 3. Из этих графиков следует, что в модели максимально возможного возмущения потери резонатора возрастают втрое. Более реалистичная модель дает возрастание затухания в 1,2–1,3 раза.

Изменения постоянной распространения отражают вариации собственных частот f_n . Последние находятся из условия $\nu(f)|_{f=f_n} = n$.

Расположение четырех собственных частот на комплексной плоскости, соответствующее регулярному резонатору и возмущенной ионосфере, показано на рис. 4. Здесь по горизонтальной оси отложена реальная часть комплексной частоты, а вдоль ординаты – ее мнимая часть. Линии на рисунке соединяют собственные числа различных типов колебаний (модов), отвечающие одной и той же модели ионосферы. Точки – это резонансные частоты невозмущенного резонатора, они соединены линией 1. Звездочки (линия 2) и полые квадраты (линия 3) показывают собственные числа резонатора при снижении высоты колена на 10 и 20 км соответственно. Корни, отвечающие одному типу колебаний, охвачены эллипсами.

Как видно, снижение эффективной высоты ионосферы вызывает в собственных частотах реакцию, подобную изменениям постоянной распространения: оно уменьшает реальную часть резонансных частот и увеличивает их мнимую часть, ответственную за затухание.

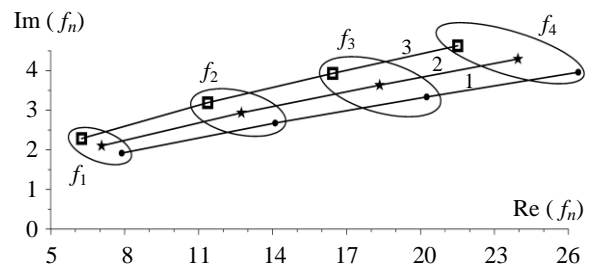


Рис. 4. Изменение расположения собственных частот в регулярном 1 и возмущенном 2 и 3 резонаторе

Сравним спектры мощности вынужденных колебаний шумановского резонанса в отсутствие и при наличии возмущения ионосферы. Такие спектры были рассчитаны для вертикальной электрической компоненты поля, возбуждаемой в резонаторе Земля-ионосфера равномерно распределенными источниками (см. рис. 5). Использовалось следующее соотношение [17]:

$$S_E(f) = S_N(f) \left| \frac{\nu(\nu+1)}{2\pi f} \right|^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2n+1}{|n(n+1) - \nu(\nu+1)|^2}. \quad (6)$$

Здесь $S_N(f) = \frac{S_0(f)}{(2\pi H_e a^2 \epsilon_0)^2}$ – нормированная

мощность, связанная с мощностью, излученной мировыми грозами $S_0(f)$; a – радиус Земли; ϵ_0 – диэлектрическая постоянная вакуума; H_e – «электрическая» высота ионосферы, определяемая формулой (3); $\nu(f)$ – постоянная распространения (2); n – номер резонансного мода.

Грозы, равномерно распределенные по планете $w(\theta) = 1/\pi$, где θ – угловое расстояние источник-наблюдатель, являются сильной идеализацией. Реальная мировая грозовая активность концентрируется над континентами в тропическом поясе и движется вокруг планеты в течение суток. Однако равномерное распределение обладает бесспорным преимуществом: оно позволяет получить спектры, зависящие исключительно от свойств резонатора [1]. Поэтому такая модель применима при оценке влияния гамма-всплеска на естественный СНЧ-радиосигнал.

На рис. 5 приведены три резонансных спектра, вычисленные для равномерного распределения источников. Вдоль абсциссы отложена частота сигнала в герцах, а вдоль ординаты показана спектральная плотность мощности в относительных единицах. Спектр невозмущенного резонатора показан кривой 1. Видна последовательность пиков на частотах около 8, 14, 20, 26 Гц и т. д. Кривая 2 показывает спектр резонатора с максимальным возмущением ионосферы, когда H_{KNEE} снижается на 20 км. Кривая 3 отвечает реалистичной модели возмущения со снижением на 10 км. Видно, что гамма-всплеск приводит к

одновременному уменьшению всех резонансных параметров на всех модах: пиковых частот, интенсивностей и добротности. Такого рода изменения хорошо согласуются с классическими результатами работы [22], где моделировалось изменение ионосферы под воздействием высотного термоядерного взрыва. Очевидно также, что эффект от 10-км модификации высоты оказывается меньше, чем от снижения нижней ионосферы на 20 км.

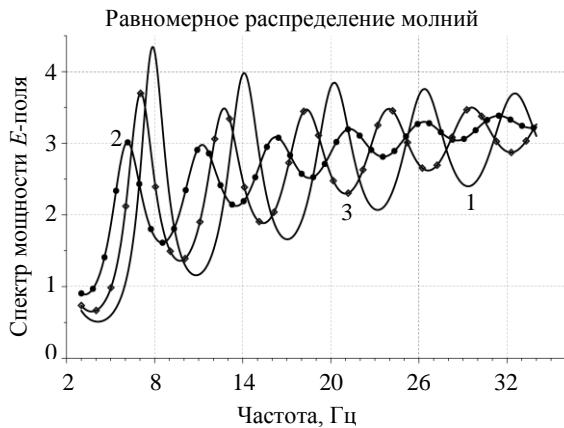


Рис. 5. Изменения резонансных кривых, вызванные глобальной модификацией нижней ионосферы внегалактическим гамма-всплеском

Графики рис. 5 свидетельствуют о возможности наблюдения вполне заметных изменений параметров глобального резонанса, поэтому при дальнейшем моделировании желательно использовать более реалистичное распределение источников поля в пространстве. Мы применили данные о грозовой активности, полученные из космоса оптическим импульсным детектором (ОИД) [21, 23]. По ним была сконструирована карта гроз для 21 ч 30 мин МВ с пространственным разрешением $10 \times 10^\circ$. Мы проинтегрировали стандартные ОИД карты для 21 и 22 ч, имеющие разрешение $2,5 \times 2,5^\circ$. Размер ячейки в 10° подходит для моделирования шумановского резонанса. К тому же интегрирование данных повышает их надежность. На рис. 6, а показано распределение гроз в момент гамма-всплеска, а на рис. 6, б — обычное среднее за сутки распределение мировых гроз в декабре. Видно, что грозы тяготеют к континентам.

Энергетические спектры рассчитывались для обсерватории Мошири, Япония ($44,365^\circ$ с.ш. и $142,24^\circ$ в.д.). Способ вычислений подробно описан в работах [17, 21, 23]: спектр мощности P_E представляется в виде суммы спектров, каждый из которых отвечает грозам, сосредоточенным в отдельной ячейке карты.

$$P_E(f) = \left| \frac{G}{\sin \pi \nu} \right|^2 \sum_{N=1}^{648} I_N |P_\nu [\cos(\pi - \theta_N)]|^2. \quad (7)$$

Здесь коэффициент $G = \frac{\nu(\nu+1)}{16\pi f H_e a^2 \epsilon_0}$

описывает спектральную плотность мощности от одного разряда; N обозначает номер ячейки (имеется 18 рядов, отвечающих разным широтам, а в каждом ряду содержится по 36 ячеек, отвечающих разным долготам); I_N — число разрядов в отдельной ячейке; θ_N — угловое расстояние от наблюдателя до N -й ячейки; H_e обозначает «электрическую высоту» (3); $\nu(f)$ — комплексная постоянная распространения.

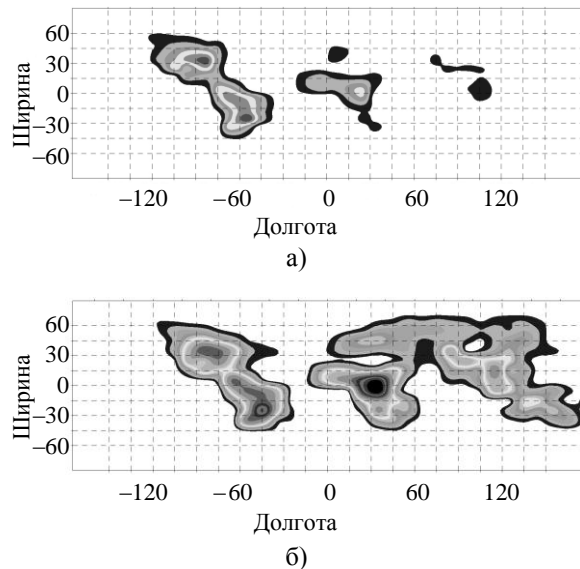


Рис. 6. Мировое распределение гроз, использованное в вычислениях: а) — активные грозовые источники в момент гамма-всплески, б) — среднесуточное распределение гроз в декабре

Все характеристики зависят от времени, как от параметра. Время изменялось с шагом в 10 с, а высота колена H_{KNEE} изменялась, как показывает ступенчатая линия на рис. 1. Функции Лежандра, входящие в (7), вычислялись с помощью рядов зональных гармоник с ускоренной сходимостью [17].

На первом шаге вычислений вклады от отдельных ячеек карты суммировались для регулярной модели резонатора, т. е. до гамма-всплеска. Затем предполагалось, что в течение 10 с сохраняется максимальное возмущение на уровне начала всплеска. Последующие спектры рассчитывались с шагом 10 с при соответствующих параметрах H_e и $\nu(f)$. Регулярный и возмущенный спектры приведены на рис. 7. Регулярный спектр показан на рис. 7 кривой 1. Кривая 2 показывает спектр в момент максимального возмущения, а кривая 3 показывает спектр шумановского резонанса, отвечающий реализации длиной 10 с, через 10 мин после гамма-всплеска. Заметно резкое изменение спектра в момент всплеска, очевидна тенденция к

восстановлению невозмущенного спектра, хотя модификация все еще не исчезла и через 10 мин после события.

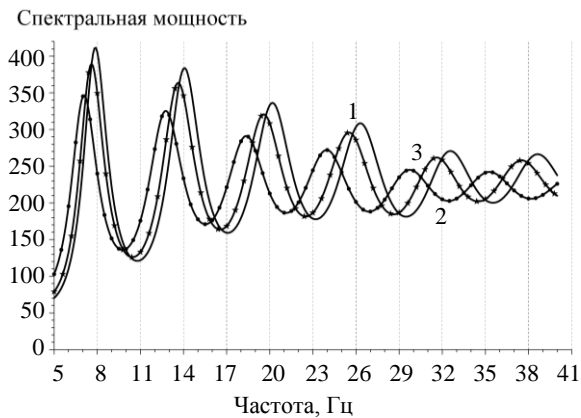


Рис. 7. Изменения спектра мощности, произведенные гамма-всплеском: 1 – невозмущенный спектр до начала гамма-всплеска; 2 – максимальное изменение в момент события; 3 – спектр мощности через 10 мин после всплеска

Модель, использующая ОИД данные о положении гроз, подтверждает, что ионосферное возмущение снижает все резонансные параметры, однако величина изменений не совпадает с данными для модели равномерного распределения источников поля.

Конечно, максимальное изменение, показанное на рис. 7, является верхней оценкой эффекта, измерить которое не удастся, потому что при вычислении спектров используют стандартные 10-с фрагменты записи, а за это время высота ионосферы успевает измениться. Поэтому начальное экспериментально измеренное возмущение окажется меньше предсказанного. Полное восстановление дневной ионосферы, как показали СДВ-измерения [1], занимает значительное время. Наша модель также содержит «долгоживущие» отклонения от обычного спектра. Но связать эти отличия с возмущением нижней ионосферы будет затруднительно, поскольку похожие отклонения могут возникнуть, например, из-за перемещения мировых гроз в пространстве во время наблюдений. Решающую роль будет играть фактор резкого смещения всего спектра шумановского резонанса. Подобный скачок может быть обусловлен только внезапным изменением ионосферы.

Существует дополнительное препятствие, с которым всегда встречаются в измерениях естественных СНЧ-радиосигналов даже при отсутствии помех. Оно связано с природой сигнала, состоящего из суммы импульсов от отдельных молний. Поэтому спектры элементарных 10-с фрагментов записи оказываются сильно изрезанными и могут сильно отличаться от спектров соседних фрагментов. Изрезанность и случайные девиации

будет маскировать общее изменение, вызванное гамма-всплеском, а окончательный успех обнаружения будет зависеть от удачи экспериментатора.

В этих условиях следует воспользоваться динамическим спектром или сонограммой. Такую сонограмму для обсерватории Мошири мы построили на рис. 8. По оси абсцисс отложено время (с) относительно момента регистрации гамма-всплеска: нуль на оси отвечает моменту прихода всплеска. По оси ординат отложена частота в диапазоне шумановского резонанса, измеряемая в герцах. Спектральная мощность показана с помощью заливки. Мировые грозы распределены в соответствии с данными ОИД для 21 ч 30 мин МВ. Временной интервал динамического спектра охватывает 100 с до начала события до 600 с после всплеска. На сонограмме отчетливо видны горизонтальные полосы резонансных пиков. Сам гамма-всплеск наблюдается как резкий сдвиг всей резонансной структуры в сторону низких частот. Затем возникает медленный тренд к невозмущенному спектру.

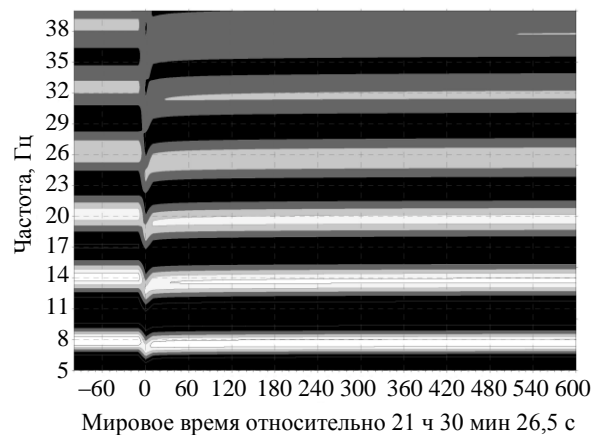


Рис. 8. Расчетный динамический спектр шумановского резонанса во время внегалактического гамма-всплеска 27 декабря 2004 г.

Спектры рис. 7 фактически отвечают отдельным вертикальным сечениям карты рис. 8. Комбинация спектров в сонограмме рис. 8 выпячивает мгновенные изменения. «Синфазный» сдвиг всех резонансных пиков сонограммы увидеть в эксперименте будет легче, чем обнаружить девиации, используя отдельные спектры. Это объясняется тем, что маскирующая тонкая структура элементарных спектров, входящих в сонограмму, взаимно независима, поэтому эти шумы не смогут скрыть полностью скачок динамического спектра как целого.

Рис. 8 охватывает примерно 10 мин наблюдений. Из него видно, что через 10 мин и далее общая структура спектра мало отличается от невозмущенной, хотя сохраняется заметное смещение в область низких частот. Очевидно, что

резкое изменение значительно ослабится в обычно используемых спектрах, которые усредняются за 5 или 10 мин наблюдений: сдвиг пиковых частот уменьшится и составит доли герц, и его будет трудно интерпретировать.

Так как временной момент гамма-всплеска точно известен, обработку экспериментальных записей и динамические спектры необходимо привязать к началу события.

Выводы. Вычисления показали, что гигантская вспышка внегалактического гамма-излучения 27 декабря 2004 г. была способна вызвать заметные изменения в спектрах глобального электромагнитного резонанса:

– в момент резкого опускания нижней ионосферы дневного полушария возникает мгновенное снижение всех резонансных параметров (пиковых частот, амплитуд и добротности). Изменение совпадает по времени с началом гамма-всплеска, а затем начинается плавное восстановление обычной резонансной структуры;

– кратковременность события затрудняет его обнаружение в обычных интегральных спектрах шумановского резонанса;

– моделирование показывает, что эффект следует искать в сонограммах естественных сигналов, приуроченных к гамма-всплеску. При построении сонограмм следует предпочитать короткие сегменты записи.

1. Williams E. R. Distinguishing ionospheric models using Schumann resonance spectra / E. R. Williams, V. Mushtak, A. P. Nickolaenko // J. Geophys. Res. – 2006. – 111, N 16. – D 16107.
2. Ogawa T. Q-factors of the Schumann resonance and solar activity / T. Ogawa, Y. Tanaka // Contr. Geophys. Inst. Kyoto Univ. J. Geophys. Res. – 1970. – 10, N 1. – P. 21–28.
3. Sao K. Experimental investigations of Schumann resonance frequencies / K. Sao, M. Yamashita, S. Tanahashi // J. Atmos. Terr. Phys. – 1973. – 35, N 9. – P. 2047–2053.
4. Changes of Schumann resonance parameters during the solar proton event of 14 July 2000 / V. C. Roldugin, Y. P. Maltsev, A. N. Vasiljev et al. // J. Geophys. Res. – 2003. – 108, N A3. – P. 1103.
5. Changes of the first Schumann resonance frequency during relativistic solar proton precipitation in the 6 November 1997 event / V. C. Roldugin, Y. P. Maltsev, A. N. Vasiljev, E. V. Vashenyuk // Ann. Geophys. – 1999. – 17, N 4. – P. 1293–1297.
6. Decrease of the first Schumann resonance frequency during solar proton events / V. C. Roldugin, Y. P. Maltsev, G. A. Petrova, A. N. Vasiljev // J. Geophys. Res. – 2001. – 106, N 26. – P. 18,555–18,562.
7. Füllekrug M. Dispersion relation for spherical electromagnetic resonances in the atmosphere / M. Füllekrug // Physics Letters A. – 2000. – 275, N 1. – P. 80–89.
8. Влияние мощных солнечных протонных событий (СПС) на сигнал шумановского резонанса resonance signal / А. В. Шве́ц, А. П. Николаенко, Г. Г. Беляев, А. Ю. Щекотов // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – Х., 2005. – 10, № 1. – P. 85–97.
9. Рабинович Л. М. Полярная неоднородность ионосферы, вызванная солнечными протонными событиями / Л. М. Рабинович, А. П. Николаенко, А. В. Шве́ц // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – Х., 2007. – 12, № 3. – P. 552–557.

10. Anomalous effect in Schumann resonance phenomena observed in Japan associated with the Chi-Chi earthquake in Taiwan / M. Hayakawa, K. Ohta, A. P. Nickolaenko, Y. Ando // Annales Geophysicae. – 2005. – 23, N 6. – P. 1335–1346.
11. Price C. The impact of the August 27, 1998, γ -ray burst on the Schumann resonances / C. Price, V. Mushtak // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. – 2001. – 63, N 5. – P. 1043–1047.
12. Ionization of the lower ionosphere by g-rays from a magnetar: Detection of a low energy (3–10 keV) component / U. S. Inan, N. G. Lehtinen, S. J. Lev-Tov et al. // Geophys. Res. Lett. – 1999. – 26, N 8. – P. 3357–3366.
13. Massive disturbance of the daytime lower ionosphere by the giant g-ray flare from magnetar SGR 1806-20 / U. S. Inan, N. G. Lehtinen, R. C. Moore et al. // Geophys. Res. Lett. – 2007. – 34, N 8. – L08103.
14. Hurlley K. An exceptionally bright flare from SGR 1806-20 and the origins of short-duration γ -ray bursts / K. Hurlley // Nature. – 2005. – 434, N 5. – P. 1098–1103.
15. Рабинович Л. М. О влиянии неоднородности день – ночь на СНЧ поля / Л. М. Рабинович // Изв. вузов. Радиофизика. – 1986. – 29, № 4. – С. 635–644.
16. Николаенко А. П. Рассеяние СНЧ-радиоволн на глобальных неоднородностях полости Земля-ионосфера / А. П. Николаенко // Изв. вузов. Радиофизика. – 1986. – 29, № 1. – С. 33–40.
17. Nickolaenko A. P. Resonances in the Earth-ionosphere Cavity / A. P. Nickolaenko, M. Hayakawa. – Dordrecht-Boston-London, Kluwer Academic Publishers, 2002.
18. Otsuyama T. FDTD analysis of ELF wave propagation and Schumann resonances for a subionospheric waveguide model / T. Otsuyama, D. Sakuma, M. Hayakawa // Radio Sci. – 2003. – 38, N 6. – P. 1103.
19. Pechony O. Relative importance of the day-night asymmetry in Schumann resonance amplitude records / O. Pechony, C. Price, A. P. Nickolaenko // Radio Sci. – 2007. – 42, N 6. – RS2S06.
20. Yang H. Three-dimensional finite difference time domain modeling of the diurnal and seasonal variations in Schumann resonance parameters / H. Yang, V. P. Pasko // Radio Sci. – 2006. – 41, N 2. – RS2S14.
21. Nickolaenko A. P. Model variations of Schumann resonance based on OTD maps of the global lightning activity / A. P. Nickolaenko, O. Pechony, C. Price // J. Geophys. Res. – 2006. – 111, N 23. – D23102.
22. Madden T. Low-frequency electromagnetic oscillations of the Earth-ionosphere cavity / T. Madden, W. Thompson // Rev. Geophys. – 1965. – 3, N 20. – P. 211–265.
23. Hayakawa M. Diurnal variations of electric activity of global thunderstorms deduced from OTD data / M. Hayakawa, M. Sekiguchi, A. P. Nickolaenko // J. Atmos. Electricity. – 2005. – 25, N 2. – P. 55–68.

MODEL OF GLOBAL ELECTROMAGNETIC RESONANCE DISTURBANCE BY EXTRA-GALACTIC GAMMA-BURST ON DEC. 27, 2004

A. P. Nickolaenko, M. Hayakawa

We model and discuss possible impact on the Schumann resonance records of a giant extra-galactic gamma-burst that occurred in Sagittarius constellation (SGR 1806-20). The lower ionosphere modification is shown to be capable of causing an abrupt change in the power spectra of global electromagnetic resonance. Spectral modification gradually diminishes, so that the habitual picture restores in some time after the burst, and the disturbances disappear. A technique is proposed for measurements, which underlines the gamma-burst effect.

Key words: Schumann resonance, gamma-burst, the lower ionosphere.

МОДЕЛЬ ЗБУРЕНЬ ГЛОБАЛЬНОГО
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО РЕЗОНАНСУ
ПІД ЧАС СПЛЕСКУ ПОЗАГАЛАКТИЧНОГО
ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ
27 ГРУДНЯ 2004 р.

О. П. Ніколаєнко, М. Хайакава

Моделюється та дискутується можливе виявлення в записях шумановського резонансу гігантського позагалактичного спалаху гамма-випромінювання, що відбувся в сузір'ї

Лебедя (SGR 1806-20). Показано, що модифікація нижньої іоносфери на денному боці Землі може викликати різку зміну спектрів потужності глобального електромагнітного резонансу. Модифікації спектру поступово зменшуються, таким чином, звична картина відновлюється через деякий час після сплеску і збурення зникають. Пропонується спосіб вимірювань, що підкреслює ефект гам-сплеску.

Ключові слова: шумановський резонанс, гамма-сплеск, збурення іоносфери.

Рукопись поступила 26 ноября 2009 г.