

УДК 621.317.361.029.42

## ПРОЯВЛЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В ПАРАМЕТРАХ ШУМАНОВСКОГО РЕЗОНАТОРА

А.А. Деревянных, А.Г. Колесник, С.А. Колесник

## MANIFESTATION OF SOLAR FLARES IN SCHUMANN RESONATOR PARAMETERS

A.A. Derevyannykh, A.G. Kolesnik, S.A. Kolesnik

Проводится анализ реакции параметров шумановских резонансов (частоты и амплитуды первых трех мод), наблюдаемых в Томске в период 1997–2005 гг. в режиме непрерывного мониторинга, на рентгеновские солнечные вспышки.

За анализируемый период рассмотрено более 2000 событий, для которых во время солнечных вспышек имелись экспериментальные данные мониторинговых измерений параметров резонансов. Оказалось, что частоты основных мод шумановских резонансов являются очень чувствительным индикатором проявления солнечных вспышек в нижней ионосфере Земли. Вероятность отклика солнечных вспышек на какой-либо из параметров шумановского резонатора достигает 80 %.

The analysis of reaction of parameters of Shumann resonances (frequency and amplitude of first three modes), observed in Tomsk for 1997–2005 on X-ray solar flares is carried out in a regime of continuous monitoring.

For the period analyzed, more than 2000 events have been considered for which during solar flares there were experimental data of monitoring measurements of resonance parameters. Appeared, that frequencies of basic modes of Shumann resonances are very sensitive indicator of manifestation of solar flares in the low ionosphere. The probability of the solar flares' response to any Shumann resonator parameters reaches 80 %.

В солнечно-земной физике важным вопросом является вопрос влияния солнечной активности на живые организмы, в частности, на человека. Одной из основных гипотез является то, что это влияние происходит посредством изменения характеристик двух глобальных резонаторов (шумановского и альфвеновского). Собственные частоты этих резонаторов совпадают с биоритмами головного мозга (шумановский резонатор) и сердечно-сосудистой системы (альфвеновский резонатор), поэтому изменения характеристик этих резонаторов могут приводить к изменению физиологического состояния человека.

В 1949 г. профессор Мюнхенского технического университета Шуман поставил перед своими студентами задачу вычисления параметров симметричного резонатора, образованного двумя помещенными друг в друга сферами. Для расчетов были взяты размеры Земли и ионосферы. При вычислениях также должны были приниматься во внимание возмущения воздушной среды, грозовая активность и процессы, происходящие на Солнце.

В результате проведенных расчетов было подтверждено, что Земля и окружающий ее воздушный слой (ионосфера) образуют гигантский сферический резонатор. С точки зрения радиотехники это две сферы, помещенные одна в другую, полость между которыми ограничена проводящими поверхностями.

В таком резонаторе распространяются с малым коэффициентом затухания волны определенной длины. В данном случае это волны с резонансами на частотах около 8, 14, 20, 26 Гц.

Исследуя электромагнитные поля в сферическом слое, ограниченном поверхностью Земли и нижней ионосферой, Шуман в 1952 г. теоретически предсказал существование естественных резонансов в полости Земля–ионосфера.

На сегодняшний день существует большое количество исследований, связанных с шумановским резонатором (ШР), но малоизученным остается

влияние солнечной активности на параметры данного резонатора. Это связано с тем, что для детального изучения влияния Солнца на параметры ШР необходимы большие ряды мониторинговых наблюдений этих параметров, так как солнечные вспышки происходят довольно редко.

С марта 1997 г. в Сибирском физико-техническом институте проводится непрерывный мониторинг электромагнитного фона в диапазоне частот шумановского резонатора [1]. Накопленная почти за 11-летний период база данных позволила определить

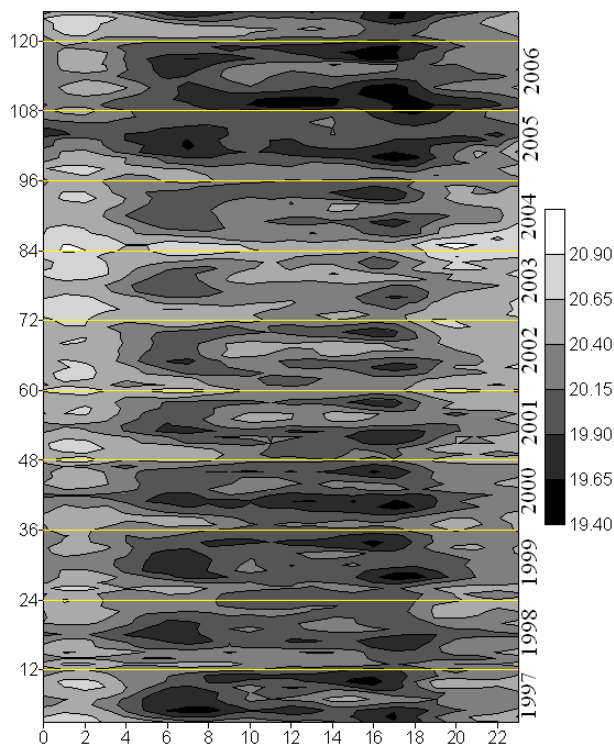


Рис. 1. Сезонно-суточное распределение частоты третьей моды шумановского резонатора за период с марта 1997 по май 2007 г.

зависимость параметров ШР от солнечной активности. В качестве примера на рис. 1 приведено сезонно-суточное распределение частоты третьей моды ШР с марта 1997 по май 2007 г. Видно, что частота сильно зависит от солнечной активности (чем выше солнечная активность, тем больше частота). Аналогичная зависимость наблюдается также и для других мод.

Наряду с периодическими изменениями (11-летний солнечный цикл) солнечная активность также претерпевает и спорадические изменения (рентгеновские и протонные солнечные вспышки, выбросы корональных масс и др.).

Данная работа посвящена изучению влияния солнечных рентгеновских вспышек на параметры ШР. Для этого было проанализировано более 2000 событий, происшедших за период с 1997 по 2005 г. Если во время вспышки наблюдалось значительное изменение одного из параметров ШР, то это считалось откликом. На рис. 2 приведена реакция частот первых трех мод ШР на вспышку средней мощности (класс M), произошедшую 26.10.2002 г. Солнечная вспышка уменьшает частоту резонатора примерно на 10 %.

Механизм воздействия солнечных вспышек на параметры шумановского резонатора заключается в следующем: в момент солнечной вспышки увеличиваются потоки рентгеновского и ультрафиолетового излучения. За счет этого в нижней ионосфере резко возрастает концентрация заряженных частиц, и, таким образом, изменяется комплексная диэлектрическая проницаемость:

$$\varepsilon(f) = \frac{f_e^2}{f(f - iv_e)} \quad (1)$$

Здесь  $f$  – частота радиоволны,  $v_e$  – эффективная частота электронных соударений,  $f_e$  – плазменная частота. Зависимость собственных частот резонатора

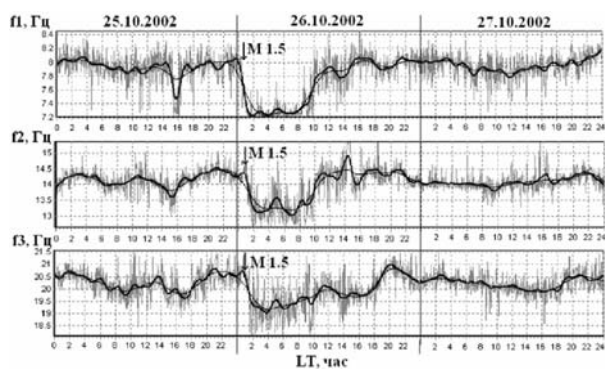


Рис. 2. Реакция амплитуд первых трех мод шумановского резонатора на солнечную вспышку 26.10.2002 г.

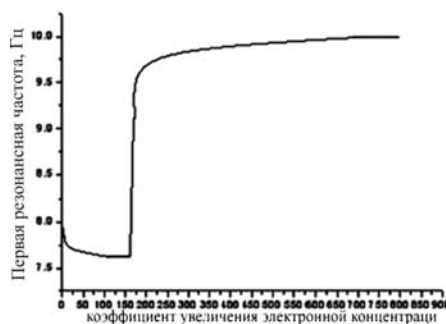
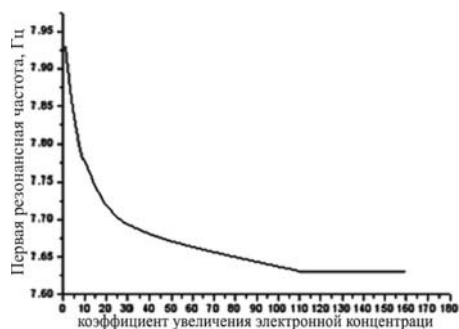


Рис. 3. Зависимость первой резонансной частоты от электронной концентрации.

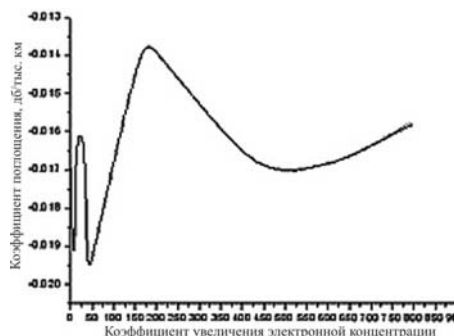
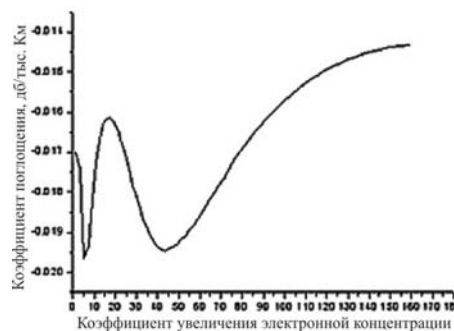


Рис. 4. Зависимость коэффициента поглощения первой моды шумановского резонатора от электронной концентрации.

Земля–ионосфера от диэлектрической проницаемости определяется характеристическим уравнением [2]:

$$\frac{\sqrt{1 + 4(f_n / f_0)^2} - 1}{2n} = \text{Re} \left( \frac{1}{\sqrt{\varepsilon(f_n)}} \right), \quad (2)$$

где  $f_n$  – резонансная частота,  $f_0 = c/2\pi a$ ,  $c$  – скорость света,  $a$  – радиус Земли,  $n$  – номер моды резонанса. Таким образом, собственные частоты шумановского резонатора зависят от плазменной частоты, которая определяется концентрацией электронов. Уравнение (2) не решается аналитически, так как его правая часть зависит от резонансной частоты и представляет собой эффективное значение диэлектрической проницаемости, выражаемое через ее среднее значение вдоль всего пути распространения радиоволны от источника к приемнику.

Наглядное представление реакции изменения первой резонансной частоты от изменения электронной концентрации в ионосфере показано на рис. 3. Здесь представлены результаты численных расчетов изменения первой резонансной частоты в зависимости от коэффициента увеличения концентрации электронов в нижней ионосфере по отношению к среднему значе-

нию. Результаты решения уравнения (2) получены для периода равноденствия при среднем уровне солнечной активности  $F_{10.7}=100$ . Средние значения электронной концентрации и эффективной частоты электронных соударений были получены из глобальных моделей ионосферы IRI-90 и термосферы MSISE-90.

Видно, что при увеличении концентрации электронов первая резонансная частота шумановского резонатора уменьшается, но при сильных вспышках, когда коэффициент увеличения электронной концентрации может превысить значение 170, частота будет увеличиваться. Полученные численные оценки подтверждаются экспериментальными данными, т. е. в большинстве случаев значения резонансных частот во время вспышек уменьшаются.

В связи с тем, что меняются диэлектрические свойства резонатора, должны меняться его не только частотные, но и амплитудные характеристики. Зависимость коэффициента поглощения от изменения электронной концентрации представлена на рис. 4. Здесь при увеличении концентрации электронов коэффициент поглощения,  $a$ , следовательно, и амплитуда может как уменьшаться, так и увеличиваться. Но так как коэффициент увеличения электронной концентрации за счет солнечных вспышек в основном лежит в пределах от 50 до 200, то в большинстве случаев амплитуда будет увеличиваться.

Проведенные исследования показали, что вероятность отклика на солнечные вспышки каждого параметра резонатора составляет в среднем около 50 %, а

вероятность отклика на солнечную вспышку хотя бы одного из параметров (частота  $f$  или амплитуда  $a$ ) достигает 80 % (таблица).

**Вероятность отклика параметров ШР на солнечные вспышки**

Параметры	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$a$	$f$
Вероятность, %	46	38	36	60	62	62	57	80

Таким образом, появляется возможность регистрации солнечных вспышек новым методом, основанным на исследовании характеристик электромагнитного фона КНЧ-диапазона. Преимуществами такого метода является малая стоимость оборудования, возможность автоматизации процесса обнаружения, а также возможность регистрации на поверхности Земли солнечных вспышек в любое время суток не только днем, но даже ночью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Региональный мониторинг атмосферы. Ч. III. Уникальные измерительные комплексы / Под ред. Кабанова М.В. Новосибирск: СО РАН, 1998. 238 с.
2. Колесник С.А. Математическое моделирование амплитудно-фазовых характеристик шумановских резонансов // Изв. ВУЗов. Физика. 2006. № 3. С. 234–235.

*Сибирский физико-технический институт, Томск*