

РАДИОФИЗИКА

УДК 537.86

ОБНАРУЖЕНИЕ МАГНИТОГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ИНТЕРВАЛЫ СИЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2014 г.

О.М. Бархатова,¹ Н.В. Косолатова²¹Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет²Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина

o.barkhatova@inbox.ru

Поступила в редакцию 26.09.2013

Обнаружены синхронные возмущения концентрации ионосферных слоев F2, E, Es и возмущения компонент геомагнитного поля в интервалы сильных подземных землетрясений 8 января 2006 г. и 17 июля 2006 г. (более 6.5 балла по шкале Рихтера) на западном побережье Индонезии. Предполагается, что подобные возмущения могут быть связаны с образованием магнитогравиационных волн (МГВ) в интервалы развития высокоэнергичных геофизических событий. Усиление магнитогравиационной активности происходит в течение двух дней до землетрясения и двух дней после него. В день землетрясения МГВ не регистрируются, однако замечено прохождение акустико-гравиационных волн. Аналитически подтверждено существование МГВ на основе анализа полученных для них дисперсионных соотношений в условиях, отвечающих горизонтальному направлению геомагнитного поля (приэкваториальная область) и ионосферной среде с конечной проводимостью.

Ключевые слова: ионосфера, волна возмущения, акустогравитационная волна, магнитогравиационная волна, землетрясение.

Введение

Возмущения концентрации слоев ионосферной ионизации часто связаны с волновыми явлениями, сопровождающими высокоэнергичные геофизические события (землетрясения, цунами, нестабильность авроральных электроджетов и др.). Современные работы, касающиеся вопросов генерации и переноса волновых возмущений в ионосфере, в основном ограничиваются рассмотрением акустико-гравиационных волн (АГВ) разных пространственных масштабов [1, 2]. Однако существование ионизованного компонента в атмосфере создает условия для распространения в этой среде магнитогиродинамических (МГД) волн, вызывающих возмущения геомагнитного поля. Обычно АГВ и МГД-возмущения рассматриваются независимо друг от друга, однако вследствие стратифицированности ионосферы по плотности и степени ионизации на отдельных этапах распространения возмущения в движение среды может вовлекаться как ионизованный, так и нейтральный компонент. Учет совместного влияния магнитного поля и силы тяжести приводит к тому, что в ионосфере могут распространяться так назы-

ваемые магнитогравиационные волны (МГВ), скорость которых выше скорости АГВ, но ниже скорости МГД-волн [3–6].

Усиление магнитной, а затем и магнитогравиационной активности может быть также связано с излучением из очага будущего землетрясения потока холонов [7] (черенковских электронов). Поток холонов создает магнитные возмущения на пути из очага до ионосферы. В этом случае продолжительность магнитных возмущений и их интенсивность определяют магнитуду будущего землетрясения [8, 9]. Детальные исследования, проведенные на орбитальных станциях искусственных спутников Земли, показали, что на низких и средних широтах наблюдаются значительные изменения потоков холонов высокой энергии. Эти изменения особенно заметны под нижней границей радиационного пояса Земли, что говорит об отсутствии связи рассматриваемых магнитных возмущений с солнечной активностью [10]. Поскольку ионосферная плазма на высотах слоя F2 обладает высокой проводимостью, подобные возмущения магнитного поля, связанные с подготовкой землетрясения, могут вызывать колебания ионосферной плазмы.

Таблица

Дата землетрясения	Координаты эпицентра	Время начала UT	Магнитуда	Ионосферная станция	Магнитная станция
17.07.2006	9.33° ю.ш., 107.26° в.д.	08:19	7.7	Learmonth (21.9° ю.ш., 114° в.д.)	Learmonth (21.9° ю.ш., 114° в.д.)
08.01.2006	36.30° с.ш., 23.36° в.д.	01:35	6.8	San Vito (40.6° с.ш., 17.8° в.д.)	Laquila (42.38° с.ш., 13.32° в.д.)

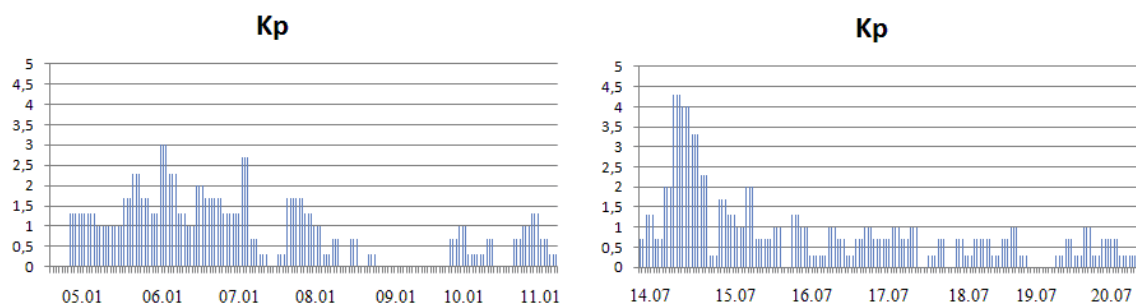


Рис. 1. Значения Kp индекса за исследуемый интервал времени (три дня до землетрясения, сам день и три дня после него) для землетрясений 8 января 2006 г. и 17 июля 2006 г.

В выполненных нами ранее исследованиях были получены дисперсионные соотношения и проанализированы дисперсионные кривые для МГВ в ионосфере при учете совместного влияния вертикального магнитного поля и силы тяжести в уравнениях гидродинамики в условиях конечной проводимости. По результатам спектрального анализа синхронных возмущений критических частот ионосферного слоя F2 и горизонтальной компоненты геомагнитного поля обнаружено распространение МГВ от восточного электроджета к средним широтам [5, 6].

В данной работе выполнен поиск волн магнитогравитационного типа по одновременным наблюдениям за вариациями концентрации ионосферных слоев F2, E и Es и магнитным наблюдениям в периоды двух сильных землетрясений на западном побережье Индонезии магнитудой не менее 6.5 балла по шкале Рихтера. Экспериментальные данные продемонстрировали распространение МГВ от высокоэнергичного источника (землетрясений) в среднеширотной и низкоширотной областях ионосферы. Аналитическая оценка подтвердила возможность распространения МГВ на высоте слоя F2 ионосферы в приэкваториальной области, где сила тяжести и геомагнитное поле почти перпендикулярны друг другу. На основе полученных дисперсионных соотношений для распространяющихся мод МГВ определены их характерные частоты и длины волн.

Отбор и обработка экспериментальных данных

Проанализированы данные критических частот ионосферных слоев E, Es и F2, а также дан-

ные вариаций X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля в период двух подземных землетрясений 17 июля 2006 г. и 8 января 2006 г. Дискретность используемых данных составляла 15 минут. Координаты эпицентра, время землетрясения и параметры станций, выбранных для анализа, указаны в таблице.

Поиск МГВ был выполнен в пределах временного интервала, включающего 3 дня до события, день события и 3 дня после него. Уровень глобальной геомагнитной возмущенности в исследуемые периоды оценивался по значениям планетарного индекса Kp, значения которого приведены на рис. 1. Согласно представленным данным, геомагнитная обстановка в целом была спокойной за исключением слабых возмущений 14.07.2006 г. и 06–07.01.2006 г. Для исключения возмущений в вариациях компонент геомагнитного поля, не связанных с прохождением МГВ, значения X-, Y-, Z-компонент на рассматриваемых станциях были очищены от влияния токовых систем симметричной и асимметричной частей кольцевого тока. Это было достигнуто вычитанием значений индексов SYM-H и ASY-H из значений указанных компонент в случае одновременного выполнения двух условий: во-первых, наличие их синхронной возмущенности; во-вторых, вклад возмущений, создаваемых токовыми системами кольцевого тока, в возмущенность рассматриваемых компонент должен быть не менее 50%. Для оценки уровня ионосферной возмущенности, не связанной с периодическими вариациями, значения критических частот слоев F2, E и Es были очищены от суточного хода.

Обнаружение синхронных плазменных и магнитных возмущений, обусловленных про-

хождением МГВ, для каждых суток в пределах рассматриваемых временных интервалов выполнялось на основе сопоставления спектральных характеристик очищенных данных критических частот и компонент геомагнитного поля в диапазоне $10^{-5} \div 10^{-3}$ Гц. При этом осуществлялось сопоставление максимумов интенсивности соответствующих спектров.

Обнаружение МГВ по экспериментальным данным

Обнаружение МГВ было выполнено в периоды, связанные с развитием двух сильных подземных землетрясений (8 января и 17 июля 2006 г.). Для этого были сопоставлены максимумы динамических спектров, отвечающих плазменным (очищенные критические частоты слоев Es, E и F2) и магнитным (очищенные компоненты X, Y, Z геомагнитного поля) возмущениям на станциях (см. таблицу), находящихся на расстоянии не более 1500 км от эпицентра землетрясения. На рис. 2 представлены динамические спектры указанных ионосферных и магнитных параметров за три дня до рассматриваемых землетрясений. При сопоставлении максимумов интенсивности плазменных и магнитных возмущений наблюдается практически полное отсутствие их синхронности – количество совпадений не превышает 1 случая. Это может свидетельствовать о низком уровне магнитогравиационной активности в данный период. Аналогичная ситуация наблюдается спустя три дня после рассматриваемых землетрясений.

Однако за два дня до землетрясений и спустя два дня после этих высокоэнергичных событий количество наблюдаемых синхронных возмущений ионосферной плазмы и компонент геомагнитного поля заметно возрастает – наблюдается до 5 совпадений в течение суток. На рис. 3 представлены динамические спектры ионосферных и магнитных параметров для 6 января и 15 июля, т.е. за два дня до землетрясений. Стрелками отмечены максимумы синхронных возмущений критических частот и компонент геомагнитного поля.

В день рассматриваемых землетрясений наблюдается ослабление магнитогравиационной активности – 17 июля 2006 г. синхронных плазменных и магнитных возмущений не обнаружено, 8 января 2006 г. зарегистрировано одно подобное возмущение непосредственно перед землетрясением. Однако имеют место другие характерные признаки, связанные с подготовкой и развитием землетрясений. Отмечено увеличение интенсивности колебаний критической частоты спорадического слоя Es в течение пяти

часов перед землетрясением 8 января и в течение восьми часов перед землетрясением 17 июля. Данная особенность хорошо видна на динамическом спектре критической частоты слоя Es, представленном на рис. 4 (третья панель сверху). Вертикальной линией на рисунке отмечено время начала землетрясения. Другой особенностью является возникновение в день землетрясений синхронных плазменных возмущений, связанных с прохождением волн акустико-гравиационного типа (8 января синхронные возмущения критических частот слоев E и Es, 17 июля – слоев F2 и Es). На рис. 4 указанные возмущения отмечены стрелками.

Суммарные данные о количестве синхронных плазменных и магнитных возмущений для каждого исследуемого дня представлены на рис. 5. Таким образом, анализ динамических спектров за исследуемый период показал, что магнитогравиационная активность заметно возрастает в течение двух дней до и двух дней после рассматриваемых землетрясений. В остальные дни рассматриваемых временных интервалов уровень магнитогравиационной активности остается низким.

Дисперсионные соотношения МГВ

Аналитическое подтверждение возможности распространения МГВ в ионосферной среде с конечной проводимостью было сделано на основе анализа решений линеаризованной системы гидродинамических уравнений, отвечающих горизонтальному направлению геомагнитного поля (приэкваториальная область) и ионосферной среде с конечной проводимостью

$$\begin{aligned} \rho_0 \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} &= -\nabla p + \rho \mathbf{g} + \frac{1}{c} (\mathbf{j} \times \mathbf{H}_0), \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho_0 \operatorname{div} \mathbf{v} + (\mathbf{v} \nabla) \rho_0 &= 0, \\ \frac{\partial p}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) p_0 &= V_s^2 \left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) \rho_0 \right], \quad (1) \\ \operatorname{rot} \mathbf{h} &= \frac{4\pi}{c} \mathbf{j}, \quad \operatorname{div} \mathbf{h} = 0, \quad \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial t}, \\ \mathbf{j} &= \sigma \{ \mathbf{E} + (\mathbf{v} \times \mathbf{H}_0) / c \}. \end{aligned}$$

Здесь возмущения плотности среды – ρ , давления – p , скорости – \mathbf{v} , магнитного поля – \mathbf{h} ; V_s^2 – квадрат адиабатической скорости звука, γ – постоянная адиабаты, \mathbf{g} – ускорение свободного падения, c – скорость света. Величины с индексом «0» являются невозмущенными параметрами среды и магнитного поля \mathbf{H}_0 .

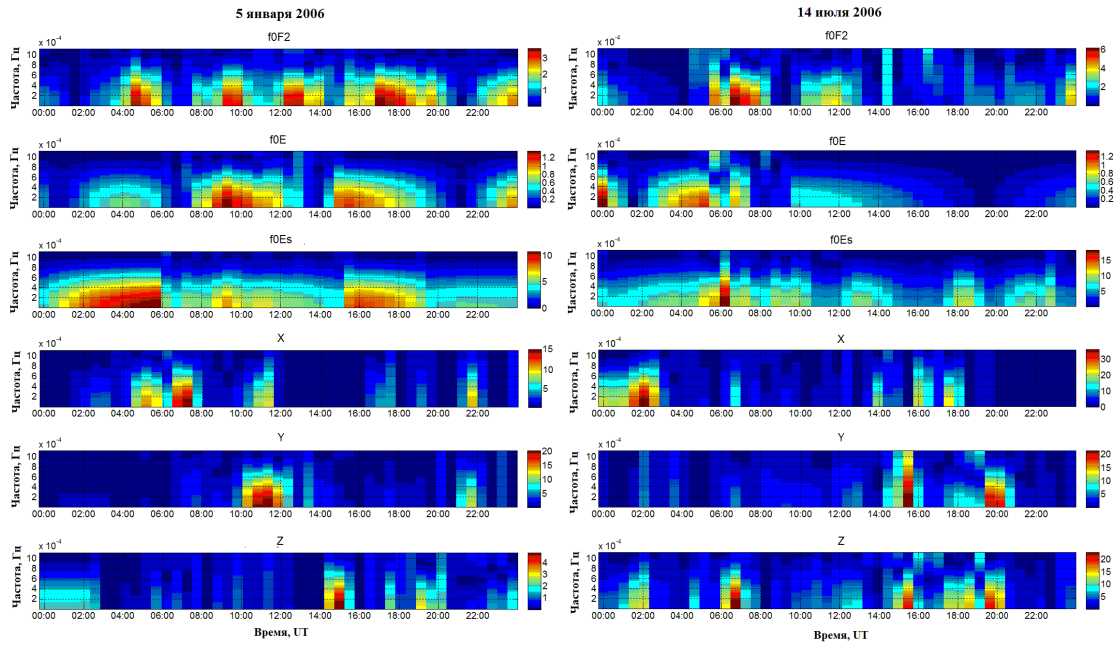


Рис. 2. Динамические спектры очищенных критических частот слоев F2, E и Es (сверху вниз три верхние панели) и компонент X, Y, Z геомагнитного поля (сверху вниз три нижние панели) за три дня до рассматриваемых землетрясений. По оси абсцисс отложено время (UT), по оси ординат – характерные значения частот плазменных и магнитных возмущений

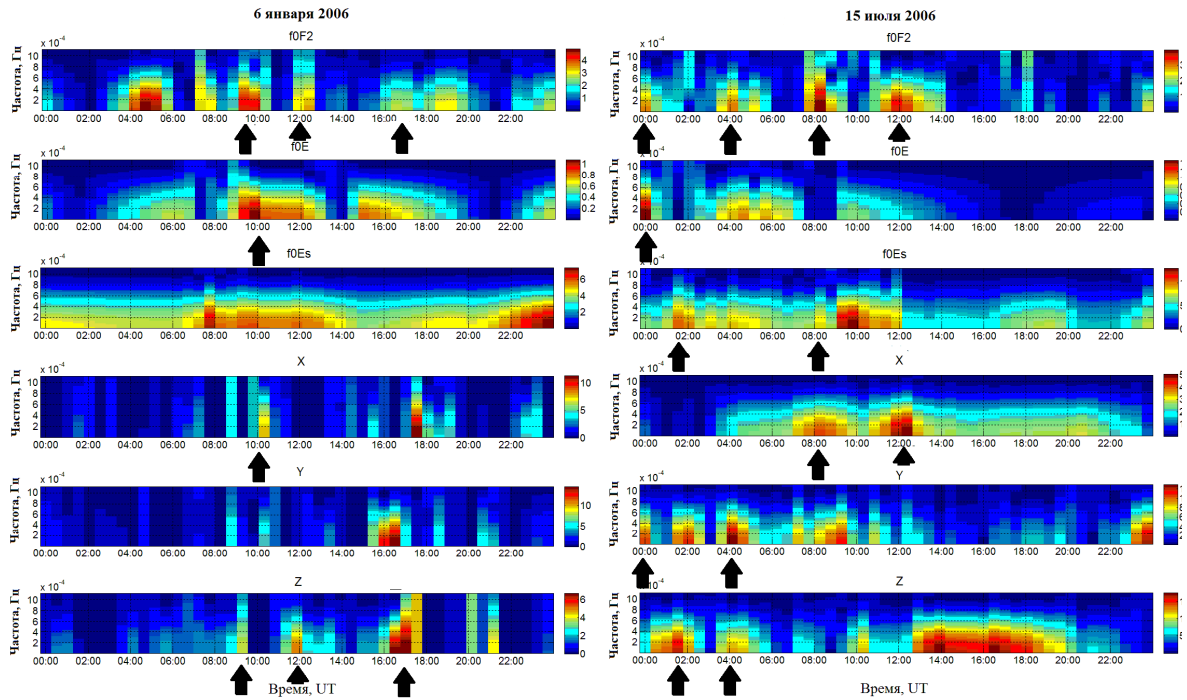


Рис. 3. Динамические спектры очищенных критических частот слоев F2, E и Es (сверху вниз три верхние панели) и компонент X, Y, Z геомагнитного поля (сверху вниз три нижние панели) за два дня до рассматриваемых землетрясений. По оси абсцисс отложено время (UT), по оси ординат – характерные значения частот плазменных и магнитных возмущений. Стрелки указывают на синхронные плазменные и магнитные возмущения

Решения системы уравнений (1) были найдены в безразмерных переменных. При этом из общего решения выделилась альвеновская мода и собственно магнитогравитационные волны. Дисперсионное уравнение МГВ в безразмерных переменных имеет вид

$$W^5 + AW^4 + BW^3 + CW^2 + DW + E = 0. \quad (2)$$

Здесь W и K – безразмерные частоты и волновые числа [11]:

$$W = \omega \frac{V_s^2 (4\pi\rho_0)^{1/2}}{H_0 g}, \quad K = k \frac{V_s^3 (4\pi\rho_0)^{1/2}}{H_0 g}.$$

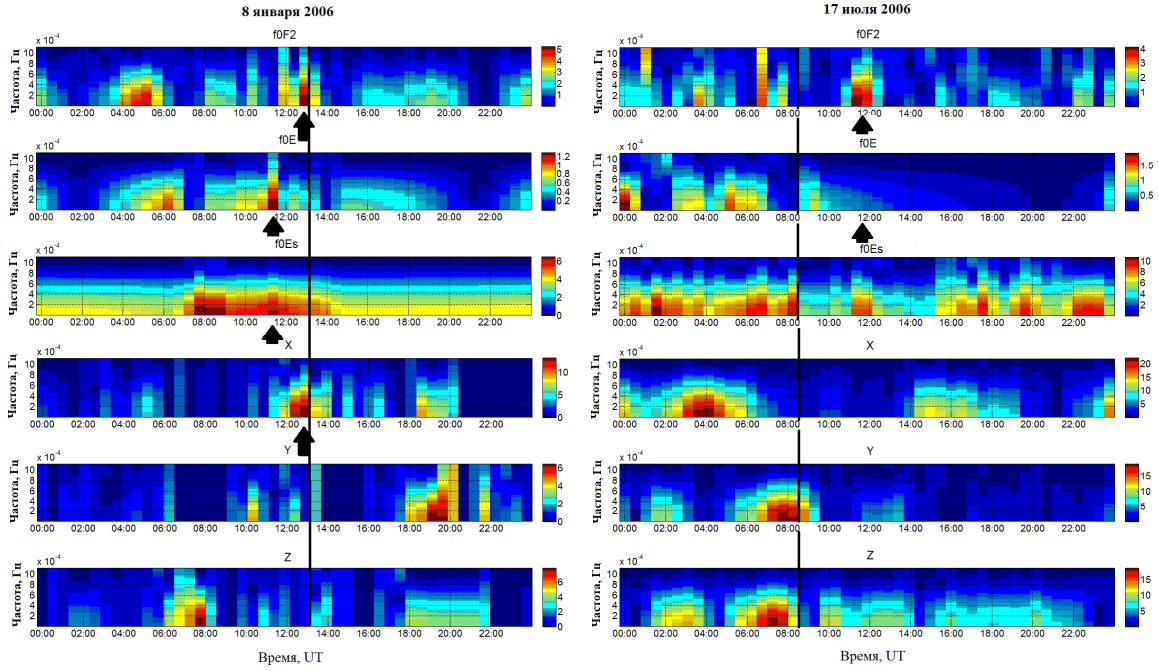


Рис. 4. Динамические спектры очищенных критических частот слоев F2, E и Es (сверху вниз три верхние панели) и компонент X, Y, Z геомагнитного поля (сверху вниз три нижние панели) в день землетрясений. По оси абсцисс отложено время (UT), по оси ординат – характерные значения частот плазменных и магнитных возмущений. Черные стрелки указывают на синхронные плазменные возмущения. Вертикальная линия отмечает время начала землетрясения

Тогда безразмерные коэффициенты можно записать в виде:

$$A = \frac{\sqrt{2}}{\text{Re}_m \beta^{1/2} \gamma^{1/2}} K \cos \theta + i \left(\frac{2}{\text{Re}_m \beta \gamma^2} K^2 - \frac{\gamma}{4 \text{Re}_m} \right),$$

$$B = \frac{\gamma^2}{4} - \left(1 + \frac{2}{\beta \gamma} \right) K^2 - \frac{\beta \gamma^3}{8} + i \frac{\sqrt{2} \gamma}{\beta^{1/2}} K \cos \theta,$$

$$C = -\frac{\beta^{1/2} \gamma^{1/2}}{\text{Re}_m} K \cos \theta -$$

$$-\frac{\sqrt{2}}{\text{Re}_m \beta^{1/2} \gamma^{1/2}} K^3 \cos \theta + i \left(\frac{\beta \gamma^4}{32 \text{Re}_m} - \frac{2}{\text{Re}_m \beta \gamma^2} K^4 \right),$$

$$D = \frac{\gamma^2}{2} K^2 \cos^2 \varphi \sin^2 \theta - \frac{\beta \gamma (1 - \gamma)}{2} K^2 \sin^2 \theta +$$

$$+ \frac{2}{\beta \gamma} K^4 \cos^2 \varphi \sin^2 \theta -$$

$$- i \left(\frac{\sqrt{2} \gamma^{1/2}}{\beta^{1/2}} K^3 \cos^2 \varphi \sin^2 \theta \cos \theta \right),$$

$$E = \frac{\beta^{1/2} \gamma^{1/2}}{2\sqrt{2} \text{Re}_m} K^3 \left(\sin^2 \frac{\theta}{2} - \sin^2 \frac{3\theta}{2} \right) +$$

$$+ i \left(\frac{\gamma - 1}{8 \text{Re}_m \beta} K^2 \sin^2 \theta + \frac{\gamma - 1}{\text{Re}_m \gamma} K^4 \sin^2 \theta \right).$$

Здесь $\beta = \frac{P_0}{H_0^2 / 8\pi}$ – отношение газокинетиче-

ского давления к магнитному, $\text{Re}_m = \frac{4\pi V_A H \sigma}{c^2}$ –

магнитное число Рейнольдса, V_A – альвеновская скорость, H – высота однородной атмосферы, θ – угол между \mathbf{k} и осью Oz , φ – азимутальный угол, т.е. угол между \mathbf{k}_\perp и \mathbf{H}_0 .

Дисперсионные кривые распространяющихся двух быстрых и одной медленной мод МГВ представлены на рис. 6. Они построены для значения азимутального угла $\varphi = 45^\circ$ при следующих параметрах ионосферы: $T = 10^3$ К, $\gamma = 1.4$ – показатель адиабаты, $\beta = 0.02$, $H = 3 \cdot 10^6$ см, $H_0 = 0.5$ Гс, проводимость $\sigma = 10^{10}$ с⁻¹ и магнитное число Рейнольдса $\text{Re}_m = 3 \cdot 10^2$ [5].

Наличие трех распространяющихся мод подтверждает возможность существования МГВ в приэкваториальной области в условиях, близких к параметрам слоя F2 ионосферы. Для первой (быстрой) моды возможно распространение волны в плоскости XY ($\theta=90^\circ$) и распространение под углом $\theta = 45^\circ$ к этой плоскости. Характерный частотный диапазон в первом случае составляет $\omega \leq 0.4$ Гц и во втором случае – $\omega \leq 2.4$ Гц. Для третьей (быстрой) моды возможно только вертикальное распространение ($\theta = 0^\circ$) в частотном диапазоне $\omega \leq 3.2$ Гц. Вторая (мед-

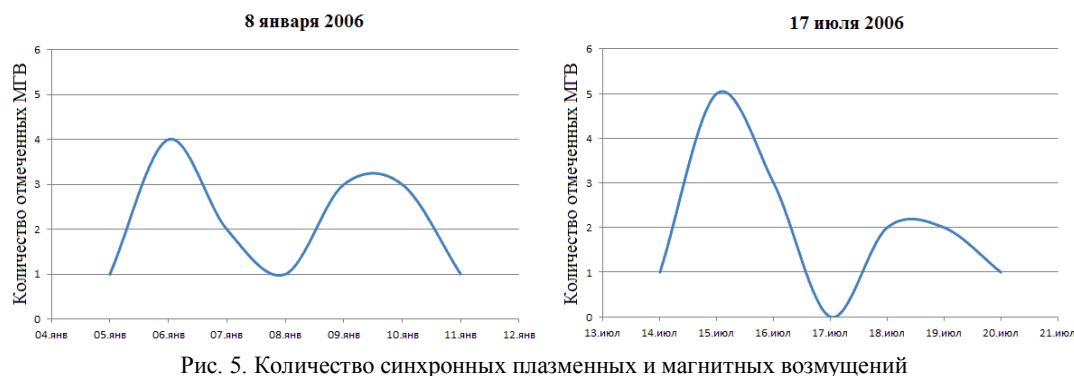
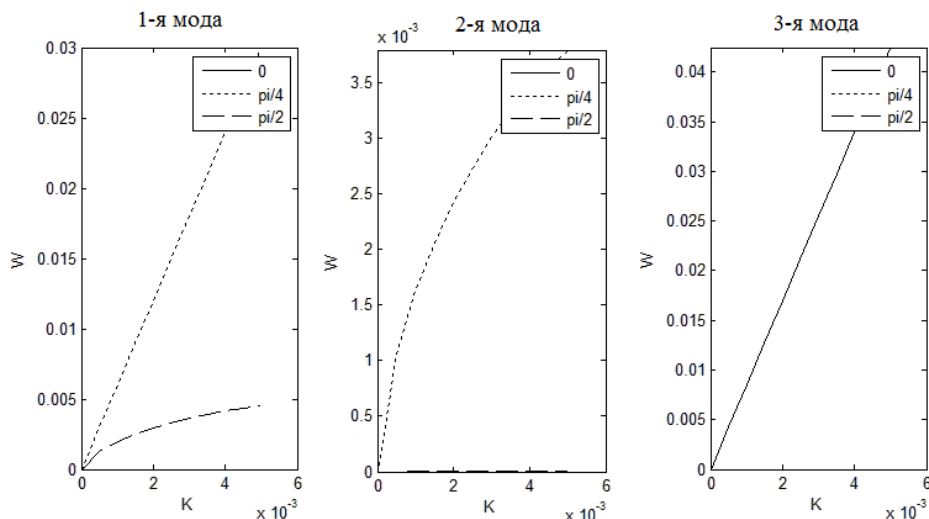


Рис. 5. Количество синхронных плазменных и магнитных возмущений

Рис. 6. Дисперсионные кривые трех распространяющихся мод МГВ, построенные при значении азимутального угла $\varphi=45^\circ$. Сплошная линия соответствует продольному распространению МГВ ($\theta = 0^\circ$), мелкий пунктир – распространению под углом ($\theta = 45^\circ$), крупный пунктир – поперечному распространению ($\theta = 90^\circ$)

ленная) мода распространяется под углом $\theta = 45^\circ$ в плоскости XU в диапазоне $\omega \leq 0.3$ Гц.

Экспериментальный анализ динамических спектров магнитных и плазменных возмущений в интервалы землетрясений был выполнен в частотном диапазоне $2 \cdot 10^{-4} \div 10^{-3}$ Гц, что обусловлено временным разрешением используемых данных. Согласно аналитической оценке, в этом частотном диапазоне могут существовать все полученные распространяющиеся моды МГВ с длинами волн свыше 1000 км.

Выводы

На основе изучения и анализа экспериментальных данных синхронных возмущений концентрации ионосферных слоев F2, E, Es и возмущений компонент геомагнитного поля обнаружено существование МГВ в периоды сильных подземных землетрясений 8 января 2006 г. и 17 июля 2006 г. (более 6.5 балла по шкале Рихтера). Отмечено значительное усиление магнитогравитационной активности в течение двух дней до и двух дней после землетрясений. В дни землетрясений магнитогравитационные

волны не наблюдаются, однако замечено прохождение акустико-гравитационных волн.

На основе анализа дисперсионных соотношений МГВ подтверждена возможность распространения волн этого типа на высоте слоя F2 ионосферы в приэкваториальной области, где сила тяжести и геомагнитное поле почти перпендикулярны друг другу. Проанализированы три распространяющиеся моды МГВ с установлением характерных направлений распространения и частотных диапазонов для каждой моды.

Таким образом, результаты проведенных экспериментальных и аналитических исследований подтверждают возможность возникновения МГВ в приэкваториальной области ионосферы в интервалы развития высокоэнергичных геофизических событий. Обнаруженная магнитогравитационная активность, вызванная подготовкой сильных подземных землетрясений, может быть использована при разработке методов прогноза подобных крупномасштабных событий.

Авторы выражают благодарность Н.А. Бархатову и Г.И. Григорьеву за участие в работе, выразившееся в полезных рекомендациях и обсуждениях.

Работа поддержана грантами РФФИ 12-02-31043, 12-05-00425 и проектом госзадания Министерства образования и науки «Разработка современных методов прогнозирования магнитосферно-ионосферного состояния в целях обеспечения успешных коммуникаций на основе поиска фундаментальных закономерностей влияния солнечной активности».

Список литературы

1. Hocke K., Schlegel K., and Kirchengast G. Phases and amplitudes of TIDs in the high-latitude F-region observed by EISCAT // *J. Atmos. Terr. Phys.* 1996. 57. P. 245–255.
2. Vlasov A., Kauristie K., van de Kamp M. et al. A study of traveling ionospheric disturbances and atmospheric gravity waves using EISCAT Svalbard radar IPY-data // *Ann. Geophys.* 2011. V. 29. P. 2101–2116.
3. Сорокин В.М., Федорович Г.В. Физика медленных МГД-волн в ионосферной плазме. М.: Энергоиздат, 1982. 136 с.
4. Бархатова О.М., Бархатов Н.А., Григорьев Г.И. Обнаружение магнитогравитационных волн в ионосфере по анализу максимально наблюдаемых частот на трассах наклонного зондирования // *Изв. вузов. Радиофизика.* 2009. Т. 52. № 10. С. 761–778.

5. Barkhatova O.M., Barkhatov N.A., Grigoriev G.I., Revunov S.E. Analysis of dispersion equations for magnetogravity waves in realistic ionosphere // *Proc. of the XXXIV Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena».* 2011. P. 121–124.
6. Бархатов Н.А., Бархатова О.М., Григорьев Г.И. Магнитогравитационные волны в ионосфере в условиях конечной проводимости // *Изв. вузов. Радиофизика.* 2012. Т. 55. № 6. С. 421–430.
7. CNews_Спиноны и холоны_первые данные. Web Document от 14.07.2006.
8. Ахундов И.Д., Гусейнов М.А., Солодилов Л.Н. Ядерные процессы в Земле и прогноз землетрясений // *Проблемы оценки сейсмической опасности, сейсмического риска и прогноза землетрясений. Матер. междунар. конф. Ташкент, 2004. С. 331–338.*
9. Гусейнов М.А., Солодилов Л.Н., Ахундов И.Д. Механизм образования землетрясения и стратегия прогноза // *Геофизика XXI столетия: 2001 год. Сборник трудов Третьих геофизических чтений им. В.В. Федьнского. М.: Научный мир, 2001. С. 146–148.*
10. Гальпер А.М. Прогноз землетрясений из космоса // *Космические исследования.* 1992. № 4. С. 13–17.
11. McLellan A., Winterberg F. Magneto-gravity waves and heating of the Solar corona // *Solar Physics.* 1968. V. 4. P. 401–408.

DETECTION OF MAGNETOGRAVITY WAVES DURING STRONG EARTHQUAKES

O.M. Barkhatova, N.V. Kosolapova

Synchronous disturbances of ionospheric (layers F2, E, and Es) electron density and the geomagnetic field components during the intervals of strong earthquakes (exceeding 6.5 on the Richter magnitude scale) (8 January 2006 and 17 July 2006 off the west coast of Indonesia) have been detected. These disturbances are supposed to be related to the formation of magnetogravity waves (MGWs) during the development of high energy geophysical events. The enhancement of MGW activity takes place two days before and after the quake. On the day of the event MGWs are not registered except for the passage of acoustic-gravity waves. The existence of MGWs is analytically confirmed by the dispersion analysis under conditions of the horizontal geomagnetic field (near-equatorial regions) and the finite ionospheric conductivity.

Keywords: ionosphere, wave disturbances, acoustic-gravity waves, magnetogravity waves, earthquake.

References

1. Hocke K., Schlegel K., and Kirchengast G. Phases and amplitudes of TIDs in the high-latitude F-region observed by EISCAT // *J. Atmos. Terr. Phys.* 1996. 57. P. 245–255.
2. Vlasov A., Kauristie K., van de Kamp M. et al. A study of traveling ionospheric disturbances and atmospheric gravity waves using EISCAT Svalbard radar IPY-data // *Ann. Geophys.* 2011. V. 29. P. 2101–2116.
3. Sorokin V.M., Fedorovich G.V. Fizika medlennykh MGD-voln v ionosfernoj plazme. M.: Energoizdat, 1982. 136 s.
4. Barhatova O.M., Barhatov N.A., Grigor'ev G.I. Obnaruzhenie magnitogravitacionnykh voln v ionosfere po analizu maksimal'no nablyudaemykh chastot na trassakh naklonnogo zondirovaniya // *Изв. вузов. Радиофизика.* 2009. Т. 52. № 10. С. 761–778.
5. Barkhatova O.M., Barkhatov N.A., Grigoriev G.I., Revunov S.E. Analysis of dispersion equations for magnetogravity waves in realistic ionosphere // *Proc. of the XXXIV Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena».* 2011. R. 121–124.

6. Barhatov N.A., Barhatova O.M., Grigor'ev G.I. Magnitogravitacionnye volny v ionosfere v usloviyah konechnoj provodimosti // *Изв. вузов. Радиофизика.* 2012. Т. 55. № 6. С. 421–430.
7. CNews_Spinony i holony_pervye dannye. Web Document от 14.07.2006.
8. Ahundov I.D., Gusejnov M.A., Solodilov L.N. Yadernye processy v Zemle i prognoz zemletryasenij // *Problemy ocenki sejsmicheskoy opasnosti, sejsmicheskogo riska i prognoza zemletryasenij. Mater. mezh-dunar. konf. Tashkent, 2004. S. 331–338.*
9. Gusejnov M.A., Solodilov L.N., Ahundov I.D. Mekhanizm obrazovaniya zemletryaseniya i strategiya prognoza // *Геофизика XXI столетия: 2001 год. Сборник трудов Трет'их геофизических чтений им. В.В. Федьнского. М.: Научный мир, 2001. С. 146–148.*
10. Gal'per A.M. Prognoz zemletryasenij iz kosmosa // *Космические исследования.* 1992. № 4. С. 13–17.
11. McLellan A., Winterberg F. Magneto-gravity waves and heating of the Solar corona // *Solar Physics.* 1968. V. 4. R. 401–408.