

МАГНИТОГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ В СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ КАК ПРЕДВЕСТНИКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

О.М. Бархатова^{1,2}, Н.А. Бархатов², Н.В. Косолапова²

¹ФГБОУ ВПО "Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет"

²ФГБОУ ВПО "Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина"

Аннотация. Обнаружены волны магнитогравитационной природы в периоды подготовки четырех сильных землетрясений ($M > 6.5$), эпицентры которых находились в области средних и низких широт. Поиск магнитогравитационных волн (МГВ) осуществлялся сопоставлением динамических спектров критических частот ионосферных слоев F_2 , E и E_s и X , Y , Z -компонент геомагнитного поля. Обнаружено возрастание числа фактов регистрации МГВ за два дня до рассматриваемых землетрясений. Анализ максимумов интенсивностей динамических спектров компонент геомагнитного поля зарегистрированных на ряде станций в окрестностях эпицентров позволил определить направления распространения МГВ с наименьшим затуханием и типы распространяющихся мод. Определена степень влияния ионосферных ветров на характерные направления распространения низкочастотной моды МГВ.

Введение

Проявления высокоэнергичных геофизических событий различной природы в земной атмосфере могут иметь волновой характер. По механизму возбуждения волн в ионосфере высокоэнергичные источники можно разделить на два типа. К первому относятся источники наземного происхождения – нагрев атмосферы мощным радиоизлучением, выбросом химически активных веществ, наземные взрывы и т.д. Ко второму типу относятся подземные источники – землетрясения, подземные ядерные взрывы, цунами [Rudenko and Uralov, 1995]. Одним из широко обсуждаемых вопросов в современных работах является изучение отклика атмосферы и ионосферы на сильные землетрясения. При этом по результатам измерений в большинстве работ отмечено появление акустико-гравитационных волн (АГВ), регистрируемых не только во время развития землетрясений, но и в периоды их подготовки [Xu et al., 2010]. Недостатком большинства работ является отсутствие наблюдений за магнитным полем, что исключает возможность регистрации в эти периоды волн магнитогравитационной природы. Вместе с тем, в работах [Бархатова и др., 2009; Бархатова и Косолапова, 2014] показана возможность распространения МГВ в диапазоне $10^{-5} \div 10^{-3}$ Гц, генерируемых авроральными электроджетами во времена суббурь в области высоких широт, и сильными землетрясениями ($M > 6.5$) в среднеширотной области.

Обнаружение МГВ генерируемых землетрясениями

Обнаружение МГВ выполнялось на основе спектрального анализа данных возмущений критических частот ионосферных слоев F_2 , E , E_s и X , Y , Z -компонент геомагнитного поля для четырех сильных землетрясений, эпицентры которых расположены в области средних и низких широт. Дискретность используемых данных составляла 15 минут, что позволило изучать МГВ диапазона до 10^{-3} Гц. В данный частотный диапазон попадают изученные ранее [Barkhatov et al., 2014a; Barkhatov et al., 2014b] для среднеширотной ионосферы быстрая высокочастотная (ВЧ) и медленная низкочастотная (НЧ) моды МГВ. Параметры рассматриваемых землетрясений и выбранных ионосферных и магнитных обсерваторий указаны в табл. 1.

Таблица 1

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.)
27.05.2006	7.962° ю.ш., 110.46° в.д.	22:54	6,2	Learmonth (21,9° ю.ш., 114° в.д.)	Learmonth (21,9° ю.ш., 114° в.д.)
08.06.2008	38.03° с.ш., 21.46° в.д.	12:25	6,5	Athens (38° с.ш., 23,5в.д.)	Grocka (44,4с. ш., 20,8 в. д.)

Временной интервал, в течение которого выполнялся поиск МГВ, включал в себя 3 дня до рассматриваемого события, день события, и 3 дня после него. С целью исключения возмущений, не связанных с прохождением МГВ, значения компонент геомагнитного поля были очищены от влияния симметричной и асимметричной частей кольцевого тока, а из значений критических частот слоев $F2$, E и E_s был устранен суточный ход.

Обнаружение МГВ выполнялось путем сопоставления максимумов динамических спектров критических частот и компонент магнитного поля. На рис. 1 представлен пример динамических спектров ионосферных и магнитных параметров за два дня до землетрясений 27 мая и 8 января 2006 г. Стрелками отмечены синхронные возмущения критических частот ионосферных слоев и компонент геомагнитного поля, отвечающие прохождению МГВ. Подобный анализ был выполнен для каждого дня рассматриваемого семидневного интервала для четырех событий землетрясений.

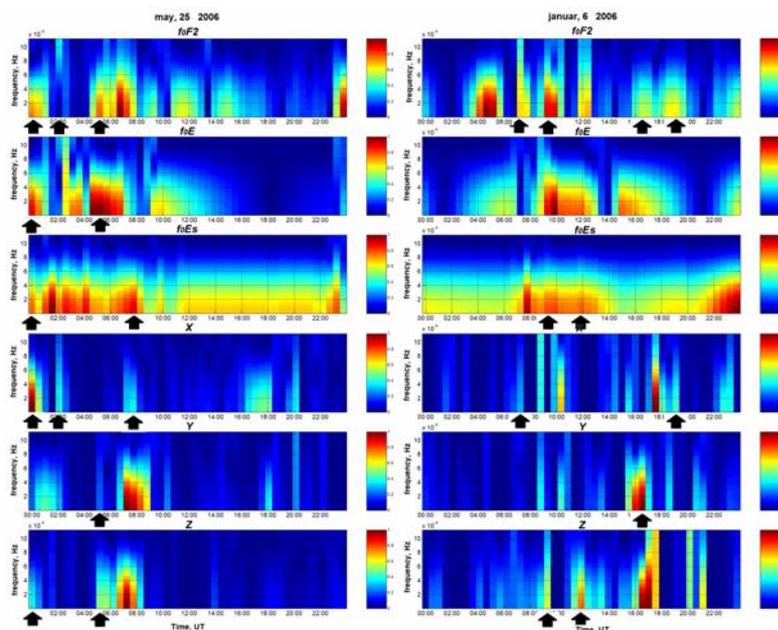


Рисунок 1. Динамические спектры очищенных критических частот слоев $F2$, E и E_s (три верхние панели сверху вниз) и компонент X , Y , Z геомагнитного поля (три нижние панели сверху вниз) за два дня до рассматриваемых землетрясений. По оси абсцисс отложено время (UT), по оси ординат – характерные значения частот ионосферных и магнитных возмущений

Суммарные результаты подсчета числа МГВ для каждого исследуемого дня представлены на рис. 2. Согласно полученным зависимостям отмечается усиление магнитогравитационной активности в течение двух дней до землетрясений, а также двух-трех дней после событий. В те дни, когда непосредственно регистрировались данные землетрясения, число регистраций МГВ, распространяющихся из области эпицентра, является наименьшим. Полученный результат свидетельствует о том, что в данных случаях ионосферные МГВ выступают как предвестники сильных землетрясений.

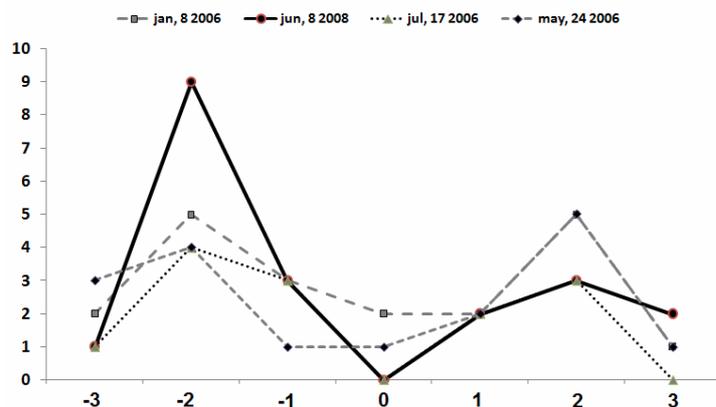


Рисунок 2. Суммарное число фактов синхронизации ионосферных и магнитных возмущений для четырех сильных ($M > 6.5$) землетрясений в зависимости от номера рассматриваемых дней, где день «0» соответствует дню регистрации события

МГВ в периоды подготовки землетрясений

Исследование МГВ, предшествующих землетрясениям, является важным с точки зрения прогнозирования таких высокоэнергичных событий. Поскольку магнитогравитационная активность возрастает за два дня до рассматриваемых событий, дальнейший анализ проводился именно в эти дни на основе минутных данных X , Y , Z компонент геомагнитного поля пяти магнитных станций, расположенных в окрестностях эпицентров.

Это возможно благодаря природе МГВ – возмущения концентрации ионосферных слоев всегда сопровождаются колебаниями геомагнитного поля.

Выполненное ранее сопоставление ионосферных и магнитных возмущений за два дня до землетрясений позволило определить как факт существования МГВ, так и время их регистрации на одной из рассматриваемых магнитных станций. Сопоставление с возмущениями компонент магнитного поля на других станциях в эти времена и оценка временных задержек позволяет определить тип распространяющейся моды МГВ. В случае одновременного увеличения интенсивности спектров на всех пяти станциях можно судить о распространении быстрой ВЧ моды. Если же на удаленных от эпицентра станциях увеличение интенсивности спектра регистрируется с задержкой порядка часа, имеет место распространение НЧ моды.

Анализ поляризаций регистрируемых МГВ показал, что ВЧ мода представлена возмущениями горизонтальных X и Y компонент геомагнитного поля. Вертикальная Z-компонента возмущается в основном при прохождении более медленной НЧ моды (см. рис. 3).

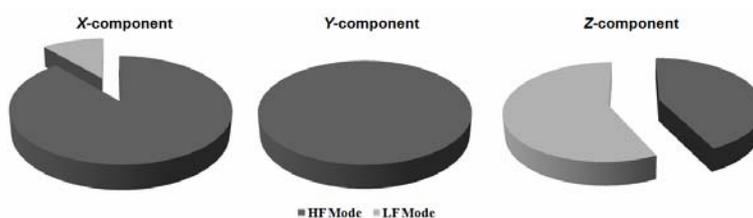


Рисунок 3. Суммарный результат регистрации возмущений компонент магнитного поля ВЧ и НЧ мод МГВ для четырех рассматриваемых землетрясений

Оценка характерных направлений распространения МГВ от эпицентральных областей с учетом ионосферных ветров

ВЧ и НЧ моды МГВ регистрируются на всех рассматриваемых станциях, однако их интенсивность может заметно отличаться от станции к станции. Это можно использовать для оценки направлений распространения МГВ с наименьшим затуханием. Исследование выполнено в полярной системе координат, начало которой совпадает с эпицентром каждого из рассматриваемых землетрясений, а расположение пяти магнитных станций характеризуется соответствующим угловым значением. Для каждого зарегистрированного случая МГВ интенсивность возмущений компонент геомагнитного поля оценивалась по цветовой шкале динамического спектра. На рис. 4 представлены круговые диаграммы в полярных координатах для каждой из компонент геомагнитного поля, на которых отмечены суммарные (по четырем событиям) интенсивности распространяющихся МГВ.

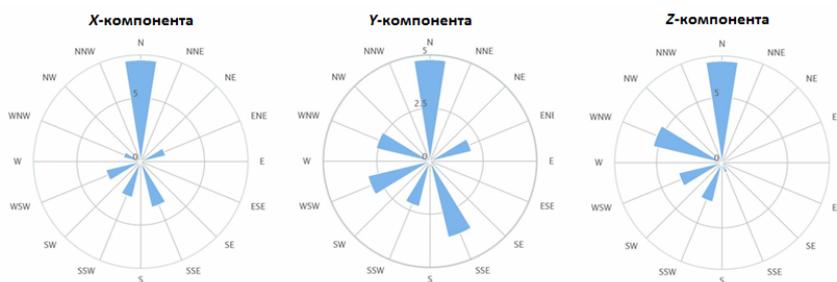


Рисунок 4. Суммарные интенсивности распространяющихся МГВ за два дня до развития землетрясений

Полученные результаты демонстрируют распространение МГВ с наименьшим затуханием в северном направлении, что отчетливо прослеживается на круговой диаграмме для X-компоненты. Возможно, это обусловлено преимущественно северным направлением (вдоль оси OX) геомагнитного поля в области средних и низких широт, а значит с наименьшим затуханием МГВ распространяются вдоль геомагнитного поля. Данный результат согласуется с аналитическими оценками [Barkhatov et al., 2014a,b].

Влияние ионосферных ветров на распространение МГВ следует учитывать только для медленной НЧ моды, поскольку скорости ВЧ моды заметно выше адиабатической скорости звука на высоте ионосферного слоя F2. Установление влияния ветров на распространение НЧ моды выполнено сопоставлением характерных направлений ее распространения с направлениями меридионального и зонального ветров (рис. 5).



Рисунок 5. Суммарные интенсивности (черный цвет) распространяющейся низкочастотной моды МГВ за два дня до развития землетрясений и соответствующие направления меридионального (светло-серый цвет) и зонального (темно-серый цвет) ветров

Согласно полученным результатам, в области средних и низких широт НЧ МГВ распространяются против зонального ветра. Эта тенденция имеет место и для низких широт при меридиональном ветре. Суммарная интенсивность распространяющихся в южном направлении МГВ выше, чем в северном. В области средних широт для X-компоненты геомагнитного поля наблюдается совпадение направлений меридионального ветра и НЧ МГВ. Полученные результаты согласуются с выводами работы [Sun et al., 2007] о тенденции распространения АГВ против ионосферного ветра. Таким образом, влияние ионосферного ветра на распространение МГВ в интервалы подготовки землетрясений имеет место.

Выводы

В работе выполнена оценка пространственного распределения МГВ в периоды подготовки четырех сильных ($M > 6.5$) землетрясений с эпицентрами в области средних и низких широт и получены следующие результаты:

1. Обнаружено усиление магнитогравитационной активности за два дня до начала землетрясений. Таким образом, возникновение МГВ можно рассматривать как предвестник землетрясений.
2. Зарегистрировано наличие двух распространяющихся мод МГВ – быстрой ВЧ моды и более НЧ моды. Анализ поляризаций регистрируемых МГВ показал, что при прохождении ВЧ моды возмущаются горизонтальные компоненты геомагнитного поля, а вертикальная компонента возмущается при прохождении НЧ моды.
3. Оценка направлений распространения МГВ с наименьшим затуханием от эпицентральных областей показала, что дня до развития землетрясений МГВ распространяются в основном в северном направлении.
4. Сопоставление направлений распространения МГВ и характерных направлений меридионального и зонального ветров показало влияние ионосферных ветров на распространение НЧ МГВ. Согласно полученным результатам, в области средних и низких широт низкочастотные МГВ имеют тенденцию распространяться против зонального ветра.

Работа выполнена в рамках проекта госзадания Министерства образования и науки «Фундаментальные закономерности влияния солнечной активности на магнитосферно-ионосферные электромагнитные и плазменные процессы».

Литература

1. 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*. Т.52. №10. С.761-778. 2009.
2. Бархатова О. и Косолапова Н. Обнаружение магнитогравитационных волн в интервалы сильных подземных землетрясений // *Вестник ННГУ. Радиофизика*. №3. С. 11-17. 2014.
3. Barkhatov N.A., Barkhatova O.M., Grigor'ev G.I. Spectral Characteristics of Magnetogravity Waves Generated by High-Energy Mass Source in the Equatorial Region of the Atmosphere, Part I // *Geomagnetism and Aeronomy*. V.54. N.6. P.819–831. 2014a.
4. Barkhatov N.A., Barkhatova O.M., Grigor'ev G.I. Spectral Characteristics of Magnetogravity Waves Generated by High-Energy Mass Source in the Equatorial Region of the Atmosphere, Part II // *Geomagnetism and Aeronomy*. V.54. N.6. P.832–840. 2014b.
5. Rudenko G.V., Uralov A.M. Calculation of ionospheric effects due to acoustic radiation from an underground nuclear explosion // *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* V. 57. No. 3. P. 225 – 236. 1995.
6. Sun L., Wan W., Ding F., Mao T. Gravity wave propagation in the realistic atmosphere based on a three-dimensional transfer function model // *Ann. Geophysicae*. V. 25. N. 8. P.1979–1986. 2007.
7. Xu T., Hu Y., Wu J., Wu Z., Suo Y., Feng J. Giant disturbance in the ionospheric F2 region prior to the M8.0 Wenchuan earthquake on 12 May 2008 // *Ann. Geophys.* V. 28. N 8. P.1533–1538. 2010.