

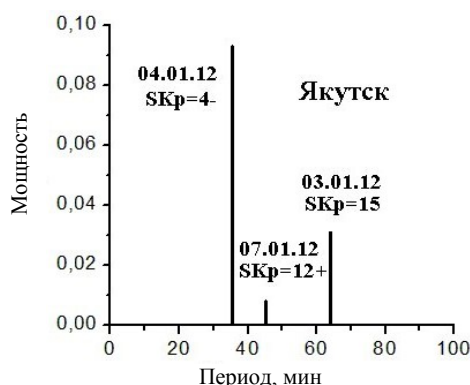


Рис. 5. Спектры ПИВ при разных уровнях геомагнитной возмущенности

У-следов. SKp означает сумму Kp-индексов за интервал. Из рисунка видно, что с увеличением геомагнитных возмущений увеличивается и период колебаний в ионосфере.

Выводы

Исследование ионосферных признаков перемещающихся ионосферных возмущений по данным станций в северо-восточной части России показало, что:

- перемещающиеся ионосферные возмущения на высоких широтах в дневное время в большинстве случаев контролируются физическими явлениями, происходящими в области авроральный овал / полярная шапка;
- У-следы в основном регистрируются во время спокойных интервалов геомагнитной активности – около 85% приходятся на уровни Kp ≤ 3; местное время регистрации признаков ПИВ приходится в большинстве случаев на интервал времени с 9 до 15 часов MLT – около 67%;
- средние фазовые скорости ПИВ около 200 м/с, периоды от 50 до 100 мин, а горизонтальные размеры 300–400 км;

- доплеровский сдвиг ионизации в F-слое может использоваться как дополнительный признак регистрации ПИВ над станцией наблюдения;

- с увеличением Kp спектр дневных перемещающихся ионосферных возмущений по критической частоте смещается в сторону больших периодов.

Работа поддержана грантом РФФИ №12-05-98518-р_восток_a.

Литература

1. Hines C.O. Internal atmospheric gravity waves at atmospheric heights // *Canad. J. Phys.* – 1960. – V.38. – P.1441–1481.
2. Lobb R.J., Titheridge J.E. The effects of travelling ionospheric disturbances on ionograms // *J. Atmos. and Terr. Phys.* – 1977. – V.39. – P.129–138.
3. Hunsucker R.D. Atmospheric gravity waves generated in the high latitude ionosphere: A review // *Rev. Geophys.* – 1982. – V.20. – P.293–315.
4. Hocke K., Schlegel K. A review of atmospheric gravity waves and traveling ionospheric disturbances: 1982–1995 // *Ann. Geophys.* – 1996. – V.14. – P.917–940.
5. Afraimovich E.L., Kosogorov E.A., Leonovich L.A. et al. Observation of large-scale traveling ionospheric disturbances of auroral origin by global GPS networks // *Earth Planets Space.* – 2000. – V.52. – P.669–674.
6. Fukushima D., Shiokawa K., Otsuka Y., Ogawa T. Observation of equatorial nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances in 630-nm airglow images over 7 years // *J. Geophys. Res.* – 2012. – V.117. – A10324, doi:10.1029/2012JA017758.
7. Reinisch B.W., Haines D.M., Bibl K. et al. Ionospheric sounding support of OTH radar // *Radio Sci.* – 1997. – V.32. – P.1681–1694.
8. Stepanov A.E., Filippov L.D., Sofronov S.K. Traveling ionospheric disturbances: data of meridional chain of ionosondes and model calculations // *Proc. of the 9th Intern. Conf. «Problems of Geocosmos»*. SPb. – 2012. – P.405–409.

Поступила в редакцию 23.01.2014

УДК 550.380

Проявление эффекта землетрясений в магнитометрических наблюдениях

Е.Д. Бондарь, С.Е. Кобякова, Л.П. Шадрина

Обычно землетрясения регистрируются на сейсмографах, измеряющих амплитуду сейсмических волн. Представлены результаты сопоставления моментов регистрации землетрясений на сейсмограммах и данных магнитных измерений системы MAGDAS-9. Обнаружено, что возникновение силь-

БОНДАРЬ Елена Дмитриевна – к.ф.-м.н., м.н.с. ИКФИА СО РАН, р.т. (7914)272-68-50; КОБЯКОВА Саргылана Егоровна – м.н.с. ИКФИА СО РАН; ШАДРИНА Людмила Панкратьевна – к.ф.-м.н., в.н.с. АН РС (Я), Luschadr@mail.ru.

ных землетрясений отражается на показаниях регистратора изменения горизонтального уровня (тилтметра), входящего в состав установки наряду с магнитометром. Прибор чувствителен к распространению сейсмических волн большой амплитуды, прохождение которых достаточно четко (с точностью до секунды) проявляется на его записях. Расчеты скорости распространения сейсмических волн от очага землетрясения до месторасположения магнитометра находятся в хорошем согласии с общепринятыми представлениями.

Ключевые слова: магнитометр MAGDAS, регистрация землетрясений.

Usually earthquakes are registered on earthquake seismometers that measure amplitude of seismic waves. In present study the comparison of the earthquake registration moments on seismograms and magnetic measurements of MAGDAS-9 system are presented. It is revealed that strong earthquake emergences are marked at horizontal level meter (tiltmeter) data, being a part of the instrument along with the magnetometer. The device is sensitive to seismic waves of big amplitude distribution, which passing rather sharply accurate (to a second) becomes apparent on its records. The calculations of seismic waves speed distribution value from seismic focus to a magnetometer location are in a good agreement with the current conceptions.

Key words: MAGDAS magnetometer, registration of earthquakes.

Введение

Землетрясения входят в число самых страшных природных катаклизмов, вызывающих сильнейшие опустошения и уносящих тысячи человеческих жизней, поэтому учёные разных стран проявляют пристальный интерес к познанию природы этого явления [1–5].

При землетрясении происходит мгновенное высвобождение энергии за счет разрыва горных пород, возникающего в очаге землетрясения. Порождаемые землетрясениями сейсмические волны распространяются во все стороны от очага подобно звуковым волнам. По мере удаления от источника их интенсивность уменьшается. Скорость распространения сейсмических волн зависит от плотности и упругости среды и имеет тенденцию к росту по мере углубления. В земной коре она составляет 2–8 км/с, а при углублении до мантии – до 13 км/с [2].

Очаг землетрясения характеризуется интенсивностью сейсмического эффекта, выражаемого в баллах. В России используется 12-балльная шкала интенсивности Медведева–Шпонхойера–Карника (MSK–64) [6]. Эту шкалу, которая основана на внешних проявлениях подземного толчка (воздействие на людей, предметы, строения, природные объекты), часто путают с магнитудой землетрясения, которая определяется по сейсмограммам. Магнитуда землетрясения M – это величина, характеризующая энергию, выделившуюся при землетрясении в виде сейсмических волн. По шкале Рихтера она измеряется в условных единицах (от 1 до 9,5) и определяется как десятичный логарифм отношения максимальных амплитуд сейсмических волн данного землетрясения к амплитуде таких же волн некоторого стандартного землетрясения [3]. Магнитуды вычисляются по колебаниям, регистрируемым

сейсмографом, и определяются сразу после землетрясения, в отличие от интенсивности, которая выясняется только спустя некоторое время после получения информации о последствиях.

Ежегодно на всей Земле происходит около миллиона землетрясений, но большинство из них ввиду незначительности остаются незамеченными. Действительно сильные землетрясения, способные вызвать обширные разрушения, случаются на планете намного реже. К одному из таких событий относится землетрясение, произошедшее 24 мая 2013 г. в Охотском море. Его отголоски регистрировались по всей России, в ряде стран Азии и Северной Америки, жители Якутии также смогли ощутить подземные толчки.

В 2005 г. Центром космических исследований (Университет Кюсю, Япония) под руководством проф. К.Юмото был организован международный проект MAGDAS (MAGnetic Data Acquisition System) [7, 8]. В рамках проекта решаются задачи мониторинга вариаций магнитного поля Земли в режиме реального времени, построения глобальной трехмерной токовой системы и исследования магнитосферно-ионосферных процессов от высоких широт до экватора по проекту «Передача энергии при взаимодействии солнечного ветра с магнитосферой», входящего в Программу сотрудничества между Россией и Японией. В 2011 г. магнитометры были установлены в пяти пунктах на территории Якутии. Установка системы MAGDAS сопровождается установкой тилтметров – приборов, регистрирующих изменения горизонтального уровня.

Экспериментальные данные и результаты

В работе были использованы данные землетрясений с сайта [http:// www.ceme.gsras.ru/](http://www.ceme.gsras.ru/) и показания тилтметров системы MAGDAS–9 на

ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ

пунктах Тикси (71°36' с.ш., 128°47' в.д.), Зырянка (65°48' с.ш., 150°48' в.д.), Якутск (61°57' с.ш., 129°39' в.д.).

24 мая 2013 г. в 05:44:47.04 UT в Охотском море, к западу от полуострова Камчатка на глубине 600 км, что соответствует предельному диапазону глубин для сейсмических событий, произошло землетрясение магнитудой $M = 7,7$, эпицентр которого находился на $\varphi = 54^{\circ}53'$ с.ш., $\lambda = 153^{\circ}20'$ в.д. Это сильнейшее землетрясение, зарегистрированное в районе Камчатки за годы детальных сейсмологических наблюдений, и самое сильное в мире землетрясение среди событий сопоставимой глубины [9].

На рис. 1 представлена схема расположения станций сети MAGDAS, использованных в данной работе (чёрные точки) и эпицентр землетрясения в Охотском море 24.05.2013 г. (чёрный квадрат).

На рис. 2. приведены данные регистратора изменения горизонтального уровня системы MAGDAS (тилтметра) для станций Якутск (а) и Тикси (б) 24 мая 2013 г. В этот день произошло большое землетрясение – приборы зафиксировали толчки в 05:44:48 UT с эпицентром в Охотском море. На рисунке видно, что развитие землетрясения четко отражается на показаниях прибора: изменения показаний тилтметра на ст. Якутск зарегистрированы в 05:47:42 UT (рис. 2,а). Расстояние от Якутска до эпицентра ~ 1600 км. Значит можно оценить скорость распространения сейсмической волны ~ 9,7 км/с.

В Тикси начальный перепад амплитуды данных тилтметра зафиксирован в

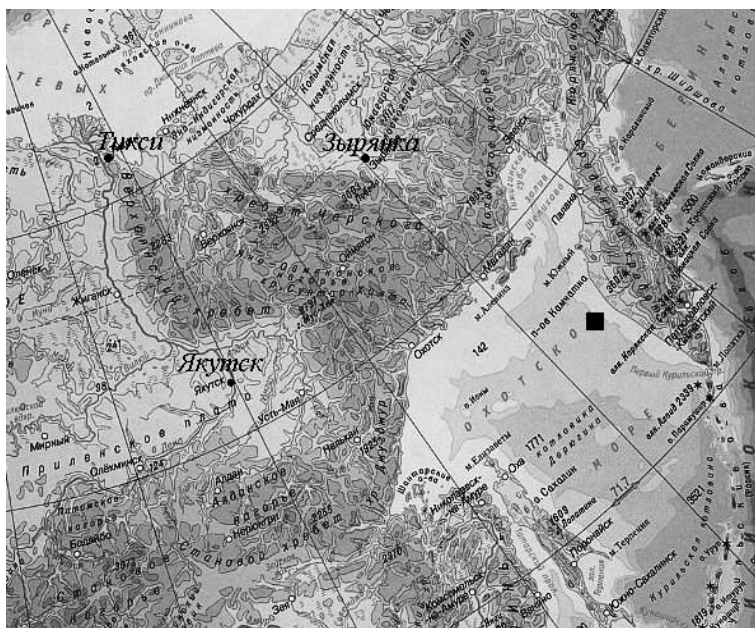


Рис. 1. Схема расположения трёх магнитных станций сети MAGDAS (Якутск, Зырянка, Тикси)

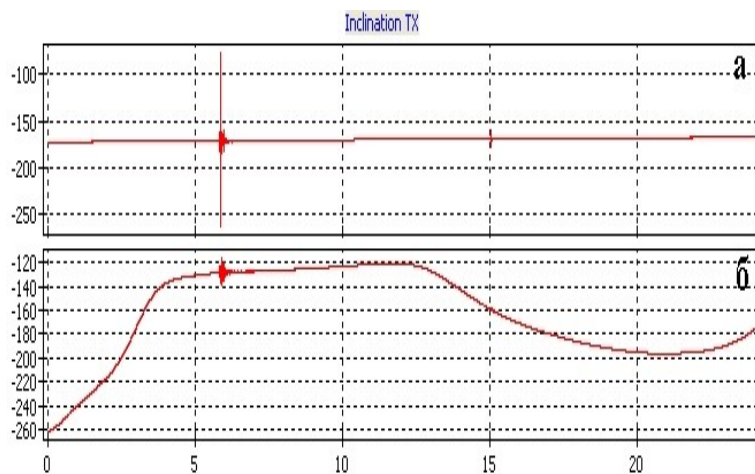


Рис. 2. Данные тилтметра 24 мая 2013 г.: отклонение в горизонтальной плоскости в направлении с севера на юг для станций Якутск (а) и Тикси (б)

Список землетрясений и их параметров, зарегистрированных на сети магнитометрических станций MAGDAS-9

Дата и географические координаты эпицентра землетрясения	Глубина	Магнитуда M	Время начала землетрясения UT	Время изменения показаний тилтметра на станциях системы MAGDAS-9, UT			Скорость распространения сейсмической волны, км/с		
				Т	Я	З	Т	Я	З
24.05.13 Охотское море (54°54' с.ш., 153°24' в.д.)	600	7,7	05:44:48	5:48:54	5:47:42	—	9,4	9,7	—
24.05.13 Курильские острова (50°52' с.ш., 157°24' в.д.)	50	7,0	14:05:48	14:11:06	14:10:12	—	8,5	8,1	—
14.02.13 Абыйский улус (67°34' с.ш., 142°41' в.д.)	10	6,9	13:13:51	13:15:36	13:15:54	—	6,5	7,1	—
12.11.13 Камчатка (54°36' с.ш., 162°07' в.д.)	80	6,6	07:03:51	7:08:53	7:08:06	7:06:50	8,2	8,0	7,8
04.01.14 Южная Якутия (56°48' с.ш., 129°30' в.д.)	10	5,4	19:34:26	—	19:35:49	19:41:42	—	7,1	3,4

Примечание. Обозначение станций: Т – Тикси, Я – Якутск, З – Зырянка.

5:48:54 UT (рис. 2,б). Расстояние между пунктами ~ 2220 км, следовательно скорость распространения сейсмической волны 9,4 км/с. По данным сейсмологической ст. ТИХ1, землетрясение в Тикси было зафиксировано в 05:48:41 UT, что хорошо согласуется с показаниями тилтметра.

Аналогичные расчеты были проведены еще для 4 землетрясений, данные которых приведены в таблице. Различия величины полученных скоростей мало для разных станций. Только для события 04 января 2014 г. скорость сейсмической волны по данным ст. Зырянка существенно отличается от скорости, полученной по данным ст. Якутск. Это может быть обусловлено тем, что из-за малой магнитуды землетрясения не точно определено время начала эффекта в данных тилтметра, либо тем, что на трассе от очага землетрясения до пункта наблюдения происходит значительное гашение скорости сейсмических волн [10].

Выводы

Обнаружено, что возникновение сильных землетрясений (с магнитудой больше 6) отражается на показаниях тилтметра – регистратора изменения горизонтального уровня системы MAGDAS–9. Следовательно, этот прибор чувствителен к распространению сейсмических волн большой амплитуды. Вычисленная по его показаниям скорость распространения сейсмических волн совпадает для трёх станций и хорошо согласуется с общепринятыми величинами.

Литература

1. Болт Б.А. Землетрясения. – М.: Мир, 1981. – 256 с.

2. Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. – М.: Наука, 2006. – 254 с.

3. Мишин С.В. О физике сейсмического излучения // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 1. – С. 83–87.

4. Уломов В.И., Полякова Т.П., Медведева Н.С. О долгосрочном прогнозе сильных землетрясений в Центральной Азии и Черноморско-Каспийском регионе // Физика Земли. – 2002. – № 4. – С.31–47.

5. Гольдин С.В., Дядьков П.Г., Дашевский Ю.А. Стратегия прогноза землетрясений на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 10. – С. 1484–1496.

6. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK–64. – М.: Междувед. геофиз. комитет при президиуме АН СССР, 1965. – 11 с.

7. Yumoto K. and the MAGDAS Group. MAGDAS project and its application for space weather // Solar Influence on the Heliosphere and Earth's Environment: Recent Progress and Prospects. Edited by N. Gopalswamy and A. Bhattacharya. – 2006. – P.399–405.

8. Баишев Д.Г., Моисеев А.В., Боровой Р.Н. и др. Международный проект MAGDAS: первые результаты геомагнитных наблюдений на территории Якутии // Наука и образование. – 2013. – №1(63). – С.7–10.

9. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А. и др. Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой MW=8.3 – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений // Вестник КРАУНЦ. – 2013. – Вып. 21, № 1. – С.17–24.

10. Ампилов Ю.Д. Поглощение и рассеяние сейсмических волн в неоднородных средах. – М.: Недра, 1992. – 154 с.

Поступила в редакцию 12.12.2013

УДК 622.023.25:539.32

Методы определения упругих свойств горных пород

С.В. Сукнёв, С.П. Фёдоров

В 2004–2010 гг. в США, Германии и России приняты новые редакции стандартов определения упругих свойств горных пород (статический модуль упругости, коэффициент Пуассона) при одноосном сжатии. В работе приведён их сравнительный анализ, отмечены преимущества и недостатки. Из литературных данных известно, что для большинства горных пород верхняя граница упругого участка лежит в области 30–50% от предела прочности при одноосном сжатии образца. После этого в образце начинаются необратимые структурные изменения, связанные с образованием и развитием микротрещин. Для корректного определения упругих свойств горной породы необходимо определение границ упругого участка деформирования образца. Рассмотрены различные методы определения гра-

СУКНЁВ Сергей Викторович – д.т.н., зав. лаб. ИГДС СО РАН, suknyov@igds.ysn.ru; ФЁДОРОВ Сальвадор Петрович – к.т.н., н.с. ИГДС СО РАН, s.fedorov@igds.ysn.ru.