

УДК 550.385

**ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ В ПЕРИОД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ  
МАГНИТУДОЙ  $M=6,4$ , ПРОИЗОШЕДШЕГО 25 НОЯБРЯ 2016 ГОДА**

Мукашева С.Н., Соколова О.И., Малимбаев А.М.

*Институт ионосферы, Национальный центр космических исследований и технологий, Алматы, Казахстан*

Приведены результаты детального анализа вариаций геомагнитных параметров накануне и в период сильного землетрясения 25 ноября 2016 г. ( $M=6,4$ ), произошедшего в приграничном районе Таджикистана, Китая и Кыргызстана. Используются данные геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» (международный код ААА; географические координаты  $[43,25^{\circ}\text{N}; 76,95^{\circ}\text{E}]$ ; геомагнитные координаты  $[34,3^{\circ}\text{N}, 152,7^{\circ}\text{E}]$ ). Установлено, что перед землетрясением в вариациях секундных значений X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля появляются синусоидальные колебания с периодами порядка 52–55 мин.

**ВВЕДЕНИЕ**

В ряде работ [1–7] отмечается, что на стадии подготовки землетрясения происходят крупные реологические изменения в некотором объеме геологической среды, формируются аномальные объемные зоны, ответственные за генерацию геофизических полей разной природы, наблюдается раскрытие трещин в зонах повышенных значений сдвиговых и растягивающих напряжений, активизируется флюидная активность. Развитие процесса разрушения в зоне подготовки землетрясения может напрямую влиять на изменение регистрируемых геофизических аномалий и, в первую очередь, на аномальные вариации магнитного поля Земли в ультранизкочастотном диапазоне за несколько часов до сильного сейсмического события [6]. В [8] отмечается, что заслуживает внимания некоторый подъем активности геоэлектромагнитных волн  $Pc1$  в диапазоне периодов 50 - 60 мин. Период 54 мин совпадает с фундаментальным периодом собственных сфероидальных колебаний Земли. Немало и тех, кто считает, что связывать геомагнитные пульсации с землетрясениями нет оснований [9].

В статье приведены результаты детального анализа вариаций геомагнитных параметров накануне и в период землетрясения 25 ноября 2016 г. ( $M=6,4$ ). Согласно оперативным данным Центра данных РГП ИГИ [10] (<http://www.kndc.kz>) 25 ноября 2016 г. в 20 часов 19 минут по времени Астаны (14 часов 19 минут по Гринвичу) в приграничном районе Таджикистана, Китая и Кыргызстана  $[39,17^{\circ}\text{N}; 74,04^{\circ}\text{E}]$  произошло сильное землетрясение магнитудой  $m_b=5,6$  ( $m_{ww}=5,2$  по данным NEIC, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>), энергетический класс  $K=12,5$ . Через 5 минут в этом же районе произошло еще одно, более сильное землетрясение, с магнитудой  $m_b=6,4$  ( $m_{ww}=6,6$  по данным NEIC), с координатами эпицентра  $[39,40^{\circ}\text{N}; 74,05^{\circ}\text{E}]$ , глубиной  $h=10$  км. Землетрясение ощущалось на территории Кыргызстана, Таджикистана, Узбекистана, Казахстана. Афтершоки этого сильного землетрясения ощущались до 13 декабря 2016 г., из них 34 афтершока имели магнитуду  $\geq 4,0$ .

В таблице по данным Глобального сейсмологического каталога Национального центра информации о землетрясениях (NEIC) Национальной службы США (<http://earthquake.usgs.gov>) [11] приведена информация о сейсмическом событии 25 ноября 2016 г. и его афтершоках.

**ДАННЫЕ ГЕОМАГНИТНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ  
«АЛМА-АТА» В СЕКУНДНОМ РЕЖИМЕ**

Для оценки геомагнитной обстановки использовались данные обсерватории «Алма-Ата» (geomag.ionos.kz), входящей в INTERMAGNET, географические координаты  $[43,25^{\circ}\text{N}; 76,92^{\circ}\text{E}]$ , геомагнитные координаты  $[34,3^{\circ}\text{N}; 152,7^{\circ}\text{E}]$ .

В геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» ведутся постоянные измерения в секундном режиме вариаций трех компонент геомагнитного поля X, Y, Z (X-компонента – направлена на геомагнитный север, Y – на восток, перпендикулярно оси X, Z – вертикальная компонента). Регистрация в реальном времени секундных вариаций X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля проводится с использованием феррозондовых магнитометров Lemi-008 и Lemi-018M. Наблюдения состояния геомагнитного поля ведутся регулярно с формированием базы геомагнитных параметров. Современная база данных геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» включает: среднечасовые значения H-, D-, Z- компонент (с 1963 по 2009 гг.); секундные файлы X-, Y-, Z- компонент геомагнитного поля и полного вектора F (с ноября 2003 г. по настоящее время); одноминутные данные X, Y, Z, F вариаций геомагнитного поля (с ноября 2003 г. по настоящее время); локальный k-индекс геомагнитной активности (с 1996 г. по настоящее время). В связи с землетрясением рассмотрено поведение 1-секундных X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля, зарегистрированных за пять суток до, во время и пять суток после землетрясения 25 ноября 2016 г. с магнитудой  $M=6,4$ . Обработка секундных данных X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля проведена с использованием программы MatLab. Получены значения вариаций полного вектора геомагнитного поля F (X, Y, Z), вычисленного по вариациям Lemi-008 и принятым базисным значениям на данные сутки.

**ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ В ПЕРИОД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ  
МАГНИТУДОЙ M=6,4, ПРОИЗОШЕДШЕГО 25 НОЯБРЯ 2016 ГОДА**

*Таблица. Землетрясение 25 ноября 2016 г. (M=6,4), произошедшее в приграничном районе Таджикистана, Китая и Кыргызстана, и его афтершоки*

Время уууу-мм-ддТтHh:mm:cc.ccc	Широта	Долгота	Глубина км	Магни- туда	Тип магнитуды	К	День
2016-11-25T14:18:59.750Z	39,1868	73,9162	10	5,2	mww	5	2
<b>2016-11-25T14:24:30.710Z</b>	<b>39,2732</b>	<b>73,9776</b>	<b>17</b>	<b>6,4</b>	mww	<b>5</b>	<b>2</b>
2016-11-25T14:40:03.540Z	39,3566	73,9707	10	5,1	mb	5	2
2016-11-25T14:47:12.170Z	39,0945	74,4195	10	4,5	mb	5	2
2016-11-25T15:16:25.700Z	39,193	74,0517	10	4,5	mb	5	2
2016-11-25T15:26:45.960Z	39,1904	73,9606	10	4,8	mb	5	2
2016-11-25T16:12:07.150Z	39,4121	74,2329	10	4,3	mb	5	2
2016-11-25T18:37:35.630Z	39,1788	73,8549	10	4,4	mb	5	2
2016-11-25T19:46:19.530Z	39,2383	74,3045	10	4,3	mwr	5	2
2016-11-25T20:37:30.990Z	39,2655	73,9901	10	4,2	mb	5	2
2016-11-25T20:58:21.300Z	39,1881	74,2447	10	4,9	mb	5	2
2016-11-25T23:12:44.520Z	39,2614	74,0438	10	4,4	mwr	5	2
2016-11-26T04:38:20.650Z	39,1579	74,3785	10	4,3	mb	3	3
2016-11-26T07:42:55.950Z	39,2688	73,826	10	4,2	mb	3	3
2016-11-26T08:46:15.730Z	39,292	73,9149	10	4,4	mb	3	3
2016-11-26T09:23:26.200Z	39,2848	74,2581	10	5,1	mb	3	3
2016-11-26T10:08:01.630Z	39,2451	74,2226	10	4,6	mb	3	3
2016-11-26T10:23:47.130Z	39,2872	74,3297	10	4,3	mb	3	3
2016-11-26T19:46:43.520Z	39,098	74,4524	10	4,4	mb	3	3
2016-11-27T00:29:31.150Z	39,2589	74,129	10	4,2	mb	3	4
2016-11-27T05:06:43.430Z	39,3889	74,0507	10	4,5	mb	3	4
2016-11-27T16:43:37.540Z	39,2353	74,5186	10	4,6	mb	3	4
2016-11-28T05:46:04.320Z	39,2964	74,1808	10	4,6	mb	4	4
2016-11-29T22:15:50.600Z	39,3115	74,064	10	4,4	mb	3	5
2016-12-03T07:42:44.960Z	39,3341	73,9946	54,93	4,4	mb	2	10
2016-12-04T03:27:26.530Z	39,2371	74,2008	59,28	4,1	mb	1	
2016-12-04T03:56:25.930Z	39,3235	74,2514	51,55	4,3	mb	1	
2016-12-05T01:15:14.930Z	39,2952	74,164	10	4,4	mb	2	
2016-12-05T07:02:26.470Z	39,1066	74,4577	58,42	4,4	mb	2	
2016-12-06T15:08:54.250Z	39,2112	74,2385	59,44	4,3	mb	2	
2016-12-11T03:36:26.560Z	39,2339	74,5611	10	4,6	mb	5	
2016-12-11T14:21:05.660Z	39,1491	74,708	10	4,6	mb	5	
2016-12-12T05:32:10.430Z	39,2679	74,3328	10	4,4	mb	2	
2016-12-12T14:24:05.010Z	39,4878	72,8915	52,51	4,4	mb	2	
2016-12-13T08:11:52.500Z	39,2603	74,0601	10	4,8	mb	2	
2016-12-13T22:46:37.720Z	39,374	72,7749	10	4,5	mb	2	

*Примечание:* mb - магнитуда по продольным волнам; mwb - магнитуда по моменту тензора инверсии долгопериодных (~10÷100 сек) волн (P- и SH); mws - момент, определяемый от центра тензора момента инверсии средних и долгопериодных объемных и поверхностных волн; mwg - момент, определяемый от тензора момента инверсии полных волновых форм на региональных расстояниях (менее ~13 град.); mww - момент, определяемый от центра тензора момента инверсии W-фазы; локальный K-индекс по данным геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» (geomag.ionos.kz).

В последнем столбце таблицы указано, на какой день от большой или очень большой геомагнитной бури произошло землетрясение (1 – землетрясение произошло в 1-ый день; 2 – во 2-ой день и т. д.)

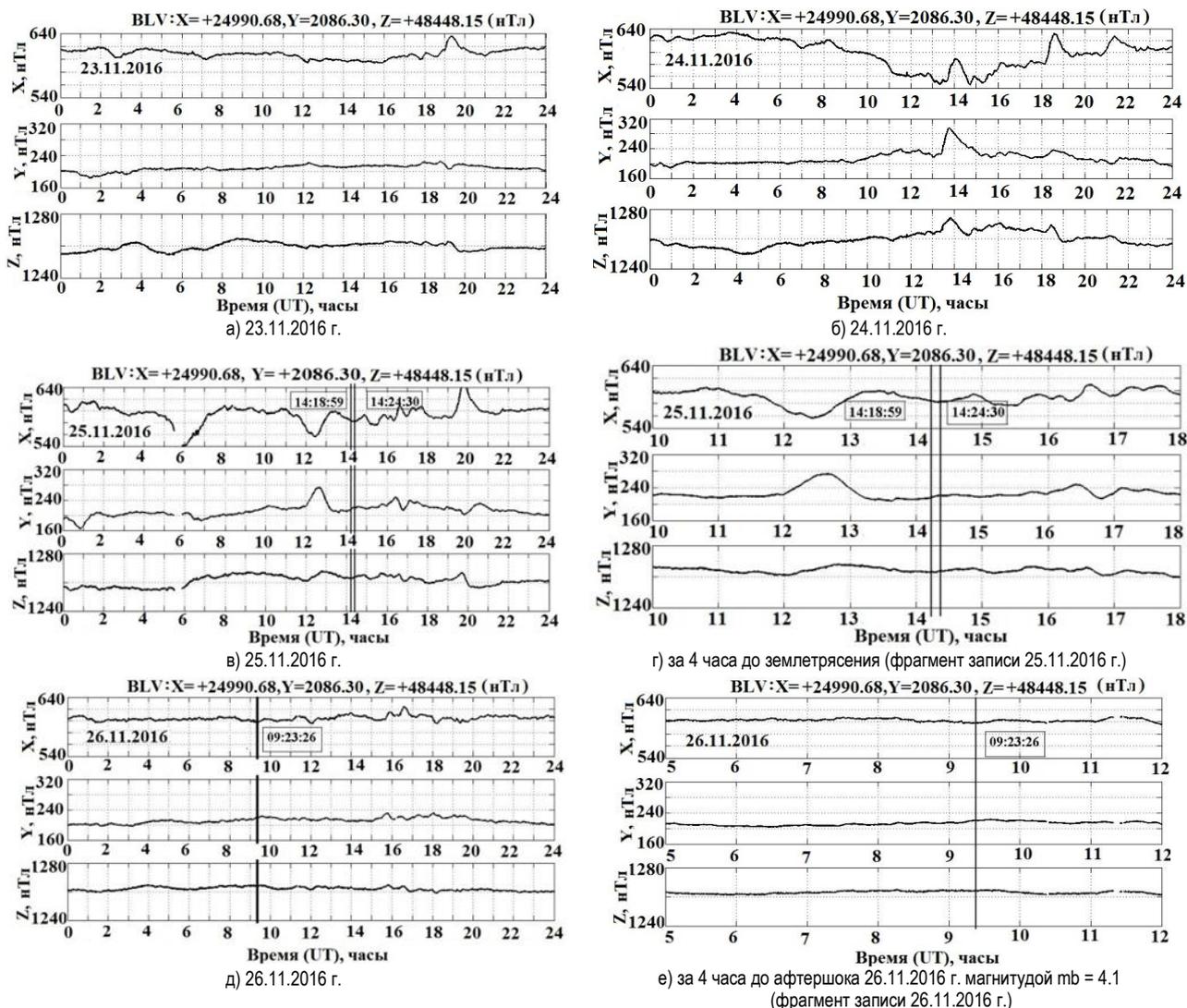
**ГЕОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА В ПЕРИОД  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 24 НОЯБРЯ 2016 Г.**

Само землетрясение произошло на фоне большой магнитной бури продолжительностью 39 часов, которая имело место с 06 ч UT 24 ноября 2016 г. до 21 ч UT 25 ноября 2016 г.

**АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ СЕКУНДНЫХ ЗНАЧЕНИЙ  
ПАРАМЕТРОВ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

На рисунке приведены секундные вариации X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля по данным геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» за период 23–27.11.2016 г.

**ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ В ПЕРИОД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ  
МАГНИТУДОЙ  $M=6,4$ , ПРОИЗОШЕДШЕГО 25 НОЯБРЯ 2016 ГОДА**



Сплошная вертикальная линия – время начала землетрясений

*Рисунок 1. Секундные вариации X, Y, Z-компонент геомагнитного поля по данным геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» за период 23–27.11.2016 г.*

Детальный анализ секундных вариаций геомагнитного поля показал, что 23 ноября, 24 ноября и 25 ноября 2016 г. в вариациях X-, Y-, Z-компонент появляются синусоидальные колебания с периодами порядка 52–55 мин:

- за двое суток до землетрясения, 23.11.2016 г. с 19 ч до 20 ч UT, произошло увеличение амплитуды X-компоненты с периодом порядка 52–55 мин и амплитудой порядка 20 нТл (рисунок 1-а);

- за сутки до землетрясения, 24.11.2016 г. с 13:30 ч UT, произошла серия отклонений от суточного хода по X-, Y-, Z-компонентам с периодами порядка 30–55 мин и значениями амплитуды порядка 5–20 нТл (рисунок 1-б);

- за час до начала землетрясения, 25.11.2016 г. с 12 ч до 13 ч UT, по X-компоненте произошло уменьшение на 20 нТл, по Y-компоненте произошло увеличение на 20 нТл, период этих изменений порядка 52–55 мин (рисунок 1-в и фрагмент записи – рисунок 1-г).

Вариации X-, Y-, Z-компонент 26.11.2016 г. и 27.11.2016 г. явных отклонений от суточного хода не выявили (рисунок 1-д, фрагмент записи за четыре часа до землетрясения – рисунок 1-е).

Зарегистрированные пики в геомагнитных данных, соответствующие периоду 52–55 мин, близки периоду фундаментальной моды собственных сфероидальных колебаний Земли – порядка 53 мин. Это подтверждает гипотезу [8], что колебания Земли как целого приводят к модуляции активности землетрясений. Эффект модуляции проявляется, прежде всего, в тех местах, где напряженно-деформированное состояние земной коры близко к порогу, за которым происходит магистральный разрыв горных пород и возникает землетрясение. Появление афтершоков большой магнитуды говорит о том, что главный удар землетрясения 25.11.2016 г. не снял полностью накопленного напряжения горных пород.

Работа выполнена при поддержке программно-целевого финансирования Аэрокосмическим комитетом Министерства оборонной и аэрокосмической про-

мышленности Республики Казахстан, НТП О.0799, проект № 0118PK00799.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Guglielmi, A. V. Ultra-low-frequency electromagnetic waves in the Earth's crust and magnetosphere / A. V. Guglielmi // Physics-Uspekhi: Advances in Physical Sciences. – 2007. – Vol. 177, No.12. – P. 1257–1276. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: DOI: <http://dx.doi.org/10.3367/UFNr.0177.200712a.1257>
2. Hattori, K. Investigation of ULF Seismo-Magnetic Phenomena in Kanto, Japan During 2000 - 2010: Case Studies and Statistical Studies / K. Hattori, P. Han, C. Yoshino, F. Febriani, H. Yamaguchi, C.H. Chen // Surv Geophys. – 2013. – Vol. 34. – P. 293–316. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: DOI: 10.1007/s10712-012-9215-x.
3. Hayakawa, M. Electromagnetic phenomena associated with earthquakes: Review / M. Hayakawa // Trans. Ins. Electr. Engrs. of Japan. – 2001. – Vol. 121A. – P. 893–898.
4. Hayakawa, M. Monitoring of ULF (ultra-low-frequency) Geomagnetic Variations Associated with Earthquakes / M. Hayakawa, K. Hattori, K. Ohta // Sensors. – 2007. – № 7. – P. 1108–1122.
5. Hayakawa, M. On the fluctuation spectra of seismo-electromagnetic phenomena / M. Hayakawa // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2011. – Vol. 301, N 11. – P. 301–308. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: DOI: 10.5194/nhess-11-301-2011.
6. Собисевич, Л. Е. Дилатантные структуры и электромагнитные возмущения УНЧ диапазона на этапах подготовки и развития крупного сейсмического события / Л. Е. Собисевич, А. Л. Собисевич // Вестник ОНЗ РАН. – 2010. – Т.2, NZ6027. – С. 202–213. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: DOI: 10.2205/2010NZ000045.
7. Dovbnya, B.V. On the earthquake effects in the regime of Pc1 / B. V. Dovbnya // J. Atmosph. Terrest. Physics. – 2007. – Vol. 69, Iss. 14. – P. 1765–1769.
8. Guglielmi, A.V. Spectra of hidden periodicities of the geoelectromagnetic and seismic events / A.V. Guglielmi, O. D. Zotov // Solnechno-Zemnaya Fizika. – 2012. – Issue 20. – P. 72–75. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: DOI: 10.12737/5694.
9. Masci, F. Comment on “Ultra low frequency (ULF) electromagnetic anomalies associated with large earthquakes in Java Island, Indonesia by using wavelet transform and detrended fluctuation analysis” by Febriani et al. (2014) / F. Masci, J. N. Thomas // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2015. – Vol. 15. – P. 2697–2701. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: DOI:10.5194/nhess-15-2697-2015.
10. Казахстанский Национальный Центр данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kndc.kz/index.php/ru/sejsmicheskie-byulleteni>.
11. Global seismological catalogue by the National Earthquake Information Center [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://earthquake.usgs.gov>.

### 2016 ЖЫЛҒЫ ҚАРАШАНЫҢ 25-інде БОЛҒАН МАГНИТУДАСЫ $M=6,4$ ЖЕРСІЛІНУ КЕЗЕҢІНДЕГІ ГЕОМАГНИТТІК ПАРАМЕТРЛЕРДІҢ ВАРИАЦИЯЛАРЫ

Мукашева С.Н., Соколова О.И., Малимбаев А.М.

*Ионосфера институты, Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы, Алматы, Қазақстан*

Тәжікстан, Қытай және Қырғызстанның шекаралас аудандарында 2016 жылғы қарашаның 25-інде болған қатты жерсілкіну ( $M=6,4$ ) кезеңіндегі және оның алдындағы геомагниттік параметрлер вариацияларының егжей-тегжейлі талдауының нәтижелері көрсетілген. «Алма-ата» геомагниттік обсерваториясының деректері пайдаланылды (халықаралық коды AAA; географиялық координаттары  $[43,25^{\circ}\text{N}; 76,95^{\circ}\text{E}]$ ; геомагниттік координаттары  $[34,3^{\circ}\text{N}, 152,7^{\circ}\text{E}]$ ). Жерсілкірудің алдында геомагниттік өрістің компоненттің – X-, Y-, Z-секундтық мәндерінің вариацияларында шамамен 52–55 мин кезеңдік синусоидалық тербелістер пайда болатыны белгілі болды.

### VARIATIONS OF THE GEOMAGNETIC PARAMETERS DURING EARTHQUAKE OF MAGNITUDE $M=6.4$ , OCCURRED 25 NOVEMBER 2016

S.N. Mukasheva, O.I. Sokolova, A.M. Malimbayev

*Institute of Ionosphere, National Center for Space Research and Technology, Almaty, Kazakhstan*

This report presents the results of a detailed analysis of the variations in geomagnetic parameters on the eve and during the strong earthquake of November 25, 2016 ( $M=6.4$ ) that occurred in the border area of Tajikistan, China and Kyrgyzstan. To assess the state of the geomagnetic field, the data of the geomagnetic observatory “Alma-Ata”, the international code – AAA; geographical coordinates  $[43.25^{\circ}\text{N}; 76.95^{\circ}\text{E}]$ ; geomagnetic coordinates  $[34.3^{\circ}\text{N}, 152.7^{\circ}\text{E}]$ . A detailed analysis of the variations of the seconds values of the X-, Y-, Z-components of the geomagnetic field showed that sinusoidal oscillations with periods of the order of 52–55 minutes appear before the earthquake in variations of the geomagnetic field.