

С. Н. МУКАШЕВА, Қ. Е. НҰРҒАЛИЕВА, Я. Ф. АШКАЛИЕВ, С. НУРАКЫНОВ

(ДТОО «Институт ионосферы» АО «НЦКИТ», Алматы, Республика Казахстан)

**АНАЛИЗ ДАННЫХ НАВИГАЦИОННОЙ
СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ GPS
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ИОНОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ
В ПЕРИОДЫ АКТИВИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ
В МАРТЕ 2011 ГОДА**

Аннотация. В работе исследуются особенности поведения возмущений полного электронного содержания (ПЭС) во время сейсмических событий в марте 2011 года в Алматинском сейсмоактивном районе.

Ключевые слова: полное электронное содержание, сейсмо-ионосферные эффекты.

Тірек сөздер: толық электрондық құрылым, сейсмо-ионосфералық әсерлер.

Keywords: total electron content, seismo-ionospheric effects.

Новые технологии, основанные на использовании GPS-измерений, активно используются для решения различных задач геофизики. Многие экспериментальные факты указывают на возникновение аномальных возмущений параметров верхних слоев атмосферы за часы, дни и недели до начала землетрясения [1-4], но, несмотря на многочисленные результаты наблюдения ионосферы спутниковыми и наземными инструментами и теоретические разработки, на сегодняшний день мы не имеем общепринятой методики, позволяющей осуществлять надежный прогноз. Ионосферные эффекты сейсмического происхождения носят локальный характер и заметны на ~300 км от эпицентра землетрясения до местоположения ионосферной станции вертикального зондирования [5]. В данной работе продолжается детальное рассмотрение экспериментального материала по выявлению ионосферных откликов на сейсмические процессы на примере землетрясений 18 марта 2011 года, эпицентр [43.05°N; 74.90°E] находился в 135 км на запад от г. Алматы, глубина 2 км, магнитуда Mb = 4.8, энергетический класс 11.1, и 1 мая 2011 года, эпицентр [43.63° N; 77.76°E] находился в 76 км на северо-востоке от г. Алматы, глубина 23 км, магнитуда mb=5.4 [6]. На рисунке 1 показано расположение эпицентра землетрясения и приемных станций GPS-сигналов. В таблице 1 приведены географические координаты приемных станций GPS-сигналов, расположенных в Алматинском сейсмоопасном регионе.

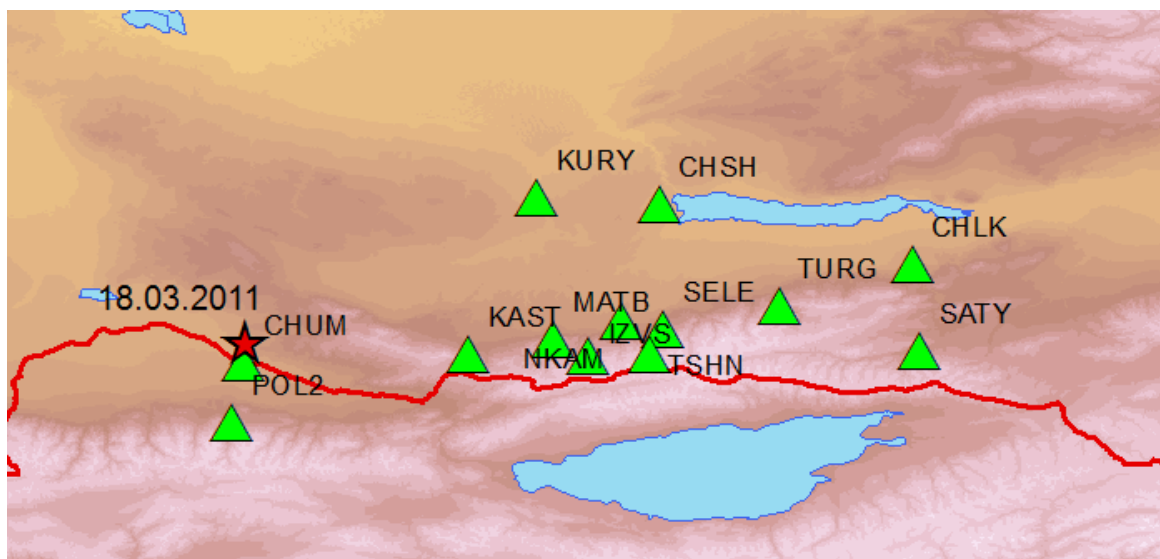


Рисунок 1 – Расположение приемных пунктов и очага землетрясения, произошедшего 18.03.2011 г.

Таблица 1 – Географические координаты приемных станций GPS-сигналов, расположенных в Алматинском сейсмоопасном регионе

Название станций	Четырехсимвольный код приемной станции	Географическая широта	Географическая долгота
Chushkaly	CHSH	43.057	78.408
Izvestkovyi	IZVS	43.529	78.373
Maytube	MATB	43.309	77.633
N-Kamenka	NKAM	43.179	77.017
Tan-Shan	TSHN	43.854	76.998
Turgen	TURG	43.042	76.944
Chilik	CHLK	43.229	76.796
Kastek	KAST	43.038	76.610
Saty	SATY	43.130	76.427
Kurty	KURY	43.893	76.338
Selezaschita	SELE	43.045	75.967

Chumysh	CHUM	42.998	74.751
Pol2	POL2	42.680	74.694
<p><i>Примечание:</i> Данные по станции SELE, CHUM, POL2 можно получить из архива UNAVKO GPS Archive.</p>			

Для анализа были выбраны и обработаны GPS данные за 10 дней с 10 марта по 20 марта 2011 года. В выбранный период времени геомагнитная обстановка в г. Алматы была слабо возмущенной кроме следующих дней:

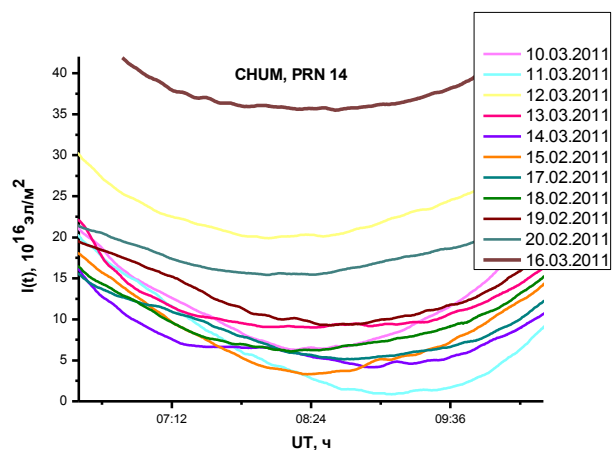
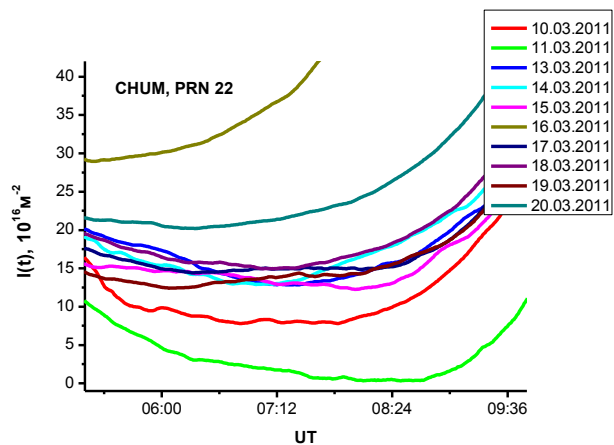
Анализировались данные с ближайших станций CHUM, POL2, KAST, KURY и SELE. В интересующий нас сейсмоопасный период времени в зоне видимости приемников были ИСЗ с PRN (pseudorandom code) 11, 14, 22, 24, 31. Из них сигналы со спутников с PRN14 и 22 для определения значения полного электронного содержания ПЭС $I(t)$ соответствуют высоким значениям углов места луча на ИСЗ, и соответственно эффекты сферичности становятся достаточно малыми. Поскольку результаты расчетов соответствуют углам места больше 30° , то можно считать данные ПЭС, соответствующим вертикальному значению. На рисунке 2а,б приведены относительные значения ПЭС без использования процедуры удаления линейного тренда.

Таблица 1 – Геомагнитные возмущения, зарегистрированные в обсерватории «Алма-Ата»

Начало бури (время местное)	Окончание бури (время местное)	Характер бури	Длительность	К-индекс магнитной активности
10.03 с 12 ч	11.03 до 09 ч	ММБ	21 ч	4
11.03 с 21 ч	12.03 до 09 ч	УМБ	12 ч	6
13.03 с 00 ч	13.03 до 06 ч	ММБ	6 ч	4
13.03 с 23 ч	14.03 до 03 ч	ММБ	4 ч	4

Согласно данным спутника с PRN 22 и PRN 14, полученных на станции CHUM, значение относительного ПЭС колеблется на уровне 15-20 TECU. В целом в магнитоспокойные периоды значение ПЭС колеблется в пределах 10-12%. 10 и 11 марта 2011 года во время магнитной бури наблюдается аномальное понижение ПЭС до 80 % и 12 марта 2011 года аномальное повышение ПЭС до 75%. Аномальное повышение ПЭС 12 марта, вероятно, связано с окончанием магнитной бури. Помимо этих магнитовозмущенных дат, также наблюдается аномальное повышение ПЭС 16 и 20 марта 2011 года. Магнитная обстановка в эти периоды была спокойной. Аномалия 16.03.2011 г., вероятно, связана с землетрясением 18.03.2011 г.

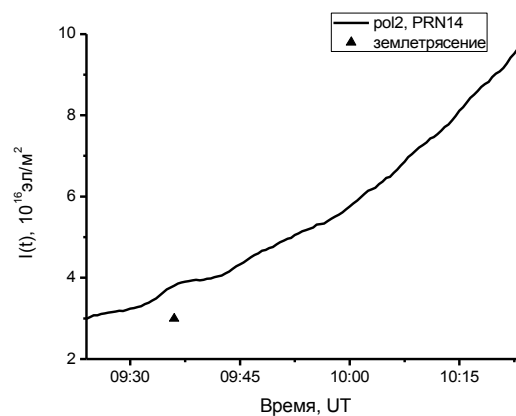
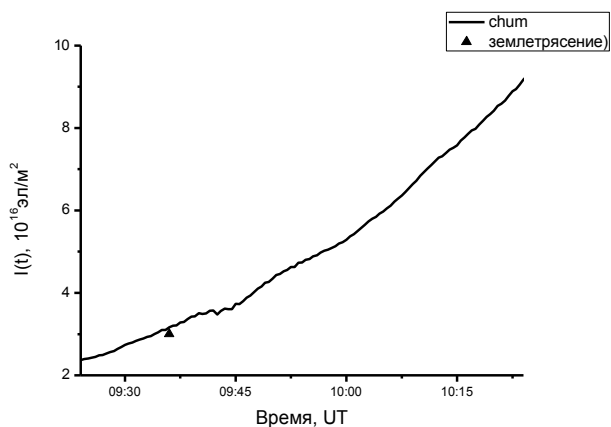
Касательно аномального повышения ПЭС 20 марта на более чем 30%, возможно, можно искать ее связь с землетрясениями в этом регионе, которые имели место через 4-5 суток. 24 марта 2011 г. в 02 часа 19 минут по времени Астаны (23 марта 20 часов 19 минут по времени Гринвича) станциями НЯЦ РК зарегистрировано землетрясение с эпицентром вблизи границы Казахстана и Кыргызстана. Его эпицентр находился в 135 км на запад от Алматы, в 34 км. от Бишкека. Координаты эпицентра 43.03 северной широты, 74.91 восточной долготы. Глубина 2 км. Магнитуда $m_b = 4.0$. Очаг этого землетрясения совпадает с очагом ранее произошедшего землетрясения (18 марта 2011 г.). Согласно оперативным данным ЦСОССИ ИГИ НЯЦ РК 25 марта в 16 часов 21 минуты по времени Астаны (в 10 часов 21 минуты по Гринвичу) на территории Кыргызстана вблизи города Ош произошло землетрясение. Координаты эпицентра: 40.28 градуса северной широты, 73.24 градуса восточной долготы. Магнитуда $m_b=4.5$. Энергетический класс 10.5. Расстояние до Алматы 443 км на юго-запад.



а

б

Рисунок 2 – Вариации локальных значений относительного полного электронного содержания, рассчитанных по данным спутника с PRN 22 и PRN 14, полученных на станции CHUM:
а – данные спутника PRN 22, б – данные спутника PRN 14



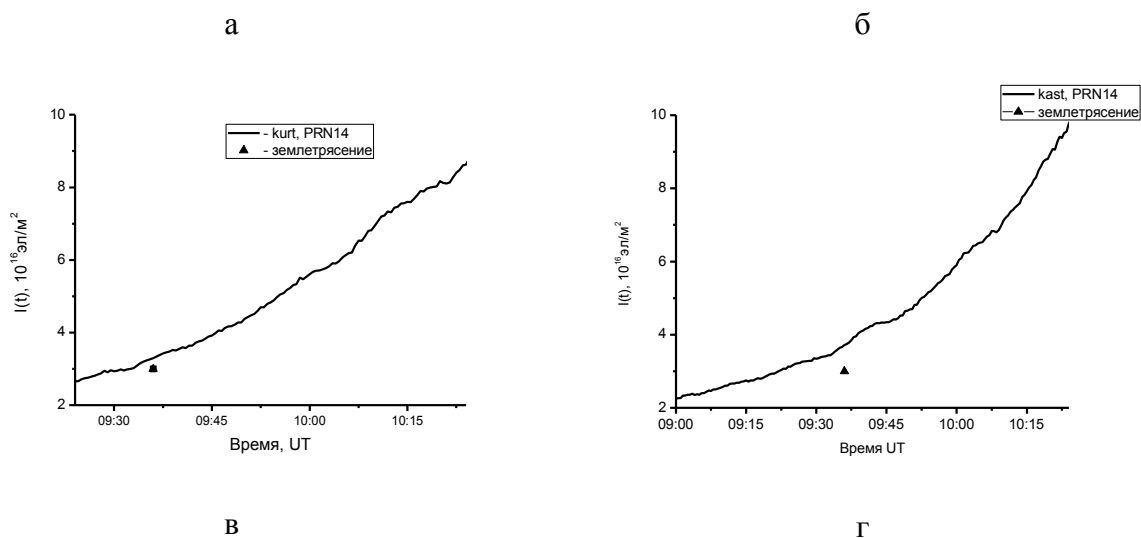


Рисунок 3 – Вариации полного электронного содержания для лучевой траектории для лучевых траекторий спутник с индивидуальным номером (pseudorandom noise) PRN № 14 –

приемная станция в период землетрясения 18 марта 2011 г. магнитудой 4: а – CHUM; б – POL2, в – KURY, г – KAST

На рисунке 3 приведены вариации полного электронного содержания для лучевых траекторий спутник с индивидуальным номером (pseudorandom noise) PRN № 14 – приемная станция CHUM (рисунок 3а), приемная станция POL2 (рисунок 3б), приемная станция KURY (рисунок 3в), приемная станция KAST (рисунок 3г). Видно, что возмущение через 6 минут после землетрясения отмечено в данных станции CHUM и через 24 минуты на станции KURY. Далее проведена первичная статистическая обработка данных с помощью программы SOS-OMIR, разработанной в ДТОО «ИКТТ», с помощью полинома первой степени был снят тренд, что показало наличие возмущений, рисунок 4 по данным станции CHUM (рисунок 4а), POL2 (рисунок 4б), станция KURY (рисунок 4в), KAST (рисунок 4г).

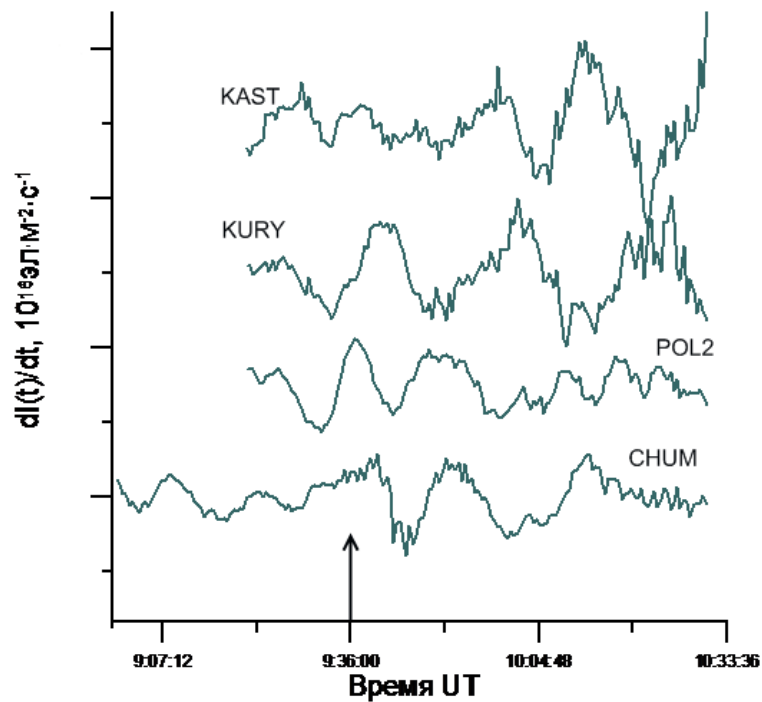


Рисунок 4 – Осцилляции полного электронного содержания, зарегистрированные на станциях GPS

на различных расстояниях от эпицентра землетрясения 18 марта 2011 г.: а – CHUM; б – POL2, в – KURY, г – KAST

Параметры зафиксированного ионосферного отклика на землетрясение 18 марта 2011 г. лежат в следующих пределах: амплитуда A меняется от 0,25 до 0,35 TECU, период возмущения ΔT – от 360 до 600 с, направление распространения возмущения уточняется. Эти результаты хорошо согласуются с данными других авторов [7], что говорит об устойчивости сигнальных признаков ионосферного возмущения, вызванного землетрясением.

Работа выполнялась по проекту: «Разработать методы оценки геомеханического состояния земной коры кризисных территорий с использованием математического моделирования и спутниковых техно-логий».

ЛИТЕРАТУРА

1 Ким В.П., Хегай В.В., Иллич-Свитыч П.В. О возможности образования слоя ионов металлов в Е-области ночной среднеширотной ионосферы перед сильными землетрясениями // Геомагнетизм и аэрномия. – 1993. – Т. 33, № 5. – С. 114-119.

2 Легенька А.Д., Хегай В.В., В.П. Ким Сравнение вариаций критической частоты F2-области перед сильными итальянскими землетрясениями и в период магнитной бури по данным станций наземного вертикального зондирования ионосферы // Геомагнетизм и аэрономия. – 2007. – Т. 47, № 4. – С. 563-570.

3 Иванов В.П., Карвецкий В.Л., Коренькова Н.А., Лещенко В.С. Ионосферные и геомагнитные эффекты во время землетрясения 21.09.2004 в Калининградской области. Предварительные результаты // Западное отделение ИЗМИРАН. Калининград, 2007. –С. 444-447.

4 Афраймович Э.Л., Астафьева Э.Н., Гаврилюк Н.С., Живетьев И.В. Проверка гипотезы о локальности нарушения суточного хода полного электронного содержания перед землетрясениями // БШФФ-2007 Секция А. Физика около-земного космического пространства. – 2007. – С. 77-80.

5 Афраймович Э.Л., Астафьева Э.Н., Кирюшкин В.В. Ионосферное возмущение в ближней зоне эпицентра землетрясения на острове Хоккайдо 25 сентября 2003 года // Известия вузов. Радиофизика. – 2005. – Т. 48, № 4. – С. 1-8.

6 <http://www.kndc.kz>.

7 Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. – Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН. – 2006. – 480 с.

REFERENCES

1 Kim V.P., Hegaj V.V., Illich-Svitych P.V. O vozmozhnosti obrazovaniya sloja ionov metallov v E-oblasti nochnoj sredneshirotnoj ionosfery pered sil'nymi zemletrjasenijami Geomagnetizm i ajeronomija. 1993. Vol. 33, N 5. P. 114-119. (In Russ).

2 Legen'ka A.D., Hegaj V.V., V.P. Kim Sravnenie variacij kriticheskoj chastoty F2-oblasti pered sil'nymi ital'janskimi zemletrjasenijami i v period magnitnoj buri po dannym stancij nazemnogo vertikal'nogo zondirovaniya ionosfery. Geomagnetizm i ajeronomija. 2007. Vol. 47, N 4. P. 563-570. (In Russ).

3 Ivanov V.P., Karveckij V.L., Koren'kova N.A., Leshhenko V.S. Ionosfernye i geomagnitnye jeffekty vo vremja zemletrjasenija 21.09.2004 v Kaliningradskoj oblasti. Predvaritel'nye rezul'taty. Zapadnoe otdelenie IZMIRAN, Kaliningrad. 2007. P. 444-447. (In Russ).

4 Afrajmovich Je.L., Astaf#eva Je.N., Gavriljuk N.S., Zhivet'ev I.V. Proverka gipotezy o lokal'nosti narushenija sutochnogo hoda polnogo jelektronnogo sodержanija pered zemletrjasenijami BShFF-2007 Sekcija A. Fizika okolozemnogo kosmicheskogo prostranstva.- 2007. P. 77-80. (In Russ).

5 Afrajmovich Je.L., Astaf#eva Je.N., Kirjushkin V.V. Ionosfernoe vozmushhenie v blizhnej zone jepicentra zemletrjasenija na ostrove Hokkajdo 25 sentjabrja 2003 goda. Izvestija VUZov, Radiofizika.2005. Vol. 48, N 4.-P.1-8.

6 <http://www.kndc.kz>.

7 Afrajmovich Je.L., Perevalova N.P. GPS-monitoring verhnej atmosfery Zemli. Irkutsk: GU NC RVH VSNC SO RAMN. – 2006. – 480 p.

Резюме

С. Н. Мұқашева, Қ. Е. Нұрғалиева, Я. Ф. Ашқалиев, С. Нұрақынов

(«ҰҒЗТО» АҚ «Ионосфера институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан Республикасы)

2011 ЖЫЛДЫҢ НАУРЫЗ АЙЫНДАҒЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРДЫҢ БЕЛСЕНУ КЕЗІНДЕГІ ИОНОСФЕРАЛЫҚ ӘСЕРЛЕРДІ ЗЕРТТЕУ КЕЗІНДЕ GPS СПУТНИКТИК ЖҮЙЕСІНІҢ МӘЛІМЕТТЕРІН САРАЛАУ

2011 жылдың наурыз айындағы Алматы аймағында болған сейсмикалық жағдай кезіндегі толық электрондық құрылымның өзгеру ерекшеліктері қарастырылып отыр.

Тірек сөздер: толық электрондық құрылым, сейсмо-ионосфералық әсерлер.

Summary

S. N. Mukasheva, K. E. Nurgaliyeva, Ya. F. Ashkaliyev, S. Nurakynov

(Institute of Ionosphere, National Center for Space Research and Technology, Almaty, Republic of Kazakhstan)

ANALYSIS OF GPS DATA FOR INVESTIGATION OF IONOSPHERIC EFFECTS AT SEISMIC PHENOMENON ACTIVATING PERIODS

AT MARCH 2011

The peculiarities of total electron content (TEC) disturbances during seismic phenomena at 2011 March in Almaty seismoactive region was investigated on this work.

Keywords: total electron content, seismo-ionospheric effects.

Поступила 2.09.2013г.