

**В.М. Сомсиков, С.Н. Мукашева, А.Б. Андреев, В.И. Капытин, А.Б. Кайранбаева**

*Национальный центр космических исследований и технологий*

*Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан*

*E-mail: snmukasheva@gmail.com*

## **GPS-МОНИТОРИНГ СЕЙСМО-ИОНОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В АЗИАТСКОМ РЕГИОНЕ**

**Аннотация.** В работе приводятся результаты исследования сейсмо-ионосферных эффектов по данным полного электронного содержания (ПЭС), одного из ключевых параметров ионосферы. Выявлены сейсмо-ионосферные эффекты для землетрясений, имевших Алматинском сейсмоопасном регионе. В вариациях ПЭС наблюдаются мелкомасштабные возмущения с периодами ~10-12 мин, амплитуды которых порядка  $\sim(0,1-0,2) \times 10^{16}$  эл/м<sup>2</sup>. Обнаружен отклик в данных ПЭС ионосферы, зарегистрированного над г. Алматы [43.51°N; 78.07°E] на землетрясение магнитудой 7.8 баллов, произошедшее 25 апреля 2015 г. в Непале.

**Ключевые слова:** полное электронное содержание, акустико-гравитационная волна, землетрясение.

### **Введение.**

Наряду с традиционными сейсмическими и геохимическими методами прогноза землетрясений в последние десятилетия активно развиваются геофизические методы. Значительный акцент в этой области делается в последние годы на использование глобальных и региональных сетей приема сигналов глобальной навигационной системы Global Positioning System (GPS), насчитывающей в настоящее время несколько тысяч двухчастотных приемников, и в частности, ионосферный метод.

Природа литосферно-атмосферно-ионосферных связей, как правило, трактуется на основе двух физических механизмов – воздействие на ионосферу акустико-гравитационных волн (АГВ), генерируемых как в периоды активизации сейсмоопасности в очаговых зонах, так и во время землетрясения, и проникновение в ионосферу в периоды активизации сейсмоопасности в очаговых зонах аномального вертикального электрического поля.

Исследования на основе спутниковых данных ионосферных предвестников землетрясений выявили аномальные возмущения параметров полей и плазмы, возникающие в атмосфере и ионосфере, за часы, дни и недели до начала землетрясения в сейсмоактивных зонах. Было показано, что вследствие активизации различных литосферных процессов перед сильным

землетрясениями в эпицентральных областях усиливается генерация АГВ волн [1, 2], которые приводят к образованию ионосферных неоднородностей различных масштабов. Основная трудность изучения связи сейсмоактивных явлений ионосферными характеристиками заключается в отделении указанных возмущений от возмущений, обусловленных солнечной активностью, атмосферными фронтами и другими источниками неизвестного происхождения, как правило, вносящих более существенный вклад [3]. Поэтому возникает задача создания специфических средств выделения ионосферных возмущений именно сейсмического происхождения. Недостаточная чувствительность, низкое пространственно-временное разрешение, малое количество соответствующих радиотрасс, используемых для мониторинга параметров радиосигнала, отсутствие глобальности и непрерывности измерений, характерное для классических средств радиозондирования, не позволяют решить эту задачу. Развитие глобальной навигационной системы GPS предоставляет новые возможности для исследования возмущенного состояния верхних слоев земной атмосферы и выявления основных характеристик источников природных и техногенных катаклизмов [4-8].

*Цель настоящей работы* состоит в том, чтобы на примере исследования ионо-

сферного отклика на отдельные землетрясения определить возможности спутникового мониторинга сейсмо-ионосферных процессов над Азиатским регионом.

### Исходные данные.

В работе для выявления сейсмо-ионосферных эффектов используются измерения на несущих частотах  $f_1=1.575$  ГГц и  $f_2=1.228$  ГГц навигационных искусственных спутников Земли (НИСЗ) Глобальной навигационной системы (Global Positioning System, GPS) из данных архива UNAVKOGPSArchive по станции Sele [43,1785°N; 77,0167°E], а также данные измерений на станциях SATY[43,130°N; 76,427°E], CHLK[43,229°N; 76,796°E].

Также в работе для анализа ситуации в сейсмоактивные периоды используются измерения на стационарном приемном пункте сигналов GNSS (Global Navigation Satellite Systems), позволяющем принимать двухчастотные сигналы спутников систем GPS, установленном в Институте ионосферы в точке с координатами [42.9838°N; 76.9532°E], приёмник NovAtel. На основе принимаемых сигналов GNSS проводился расчёт ПЭС ионосферы вдоль траекторий радиосигналов от каждого, из находящихся над горизонтом спутников, до приёмника. Регистрация сигналов GNSS производится с временным разрешением 5 секунд, также возможна регистрация сигналов с временным разрешением 0.02 секунды. В частности, на частоте 50 Гц осуществлялась запись шести основных параметров сигналов систем GPS для первой и второй частоты: фазы прихода сигнала, псевдодальности и доплеровского сдвига частоты [9]. Параметры принимаемых сигналов приёмник выдаёт в виде потоковых данных, в так называемом raw-формате. Затем эти данные преобразуются в файлы формата RINEX (Receiver Independent Exchange Format). Формат RINEX – это стандартный формат обмена данными для файлов исходных данных спутниковых навигационных приёмников. Использовалась версия 2.11, в которой содержатся данные о псевдодальности, фазе несущей и доплеровском сдвиге частот для GPS. Формат RINEX является международным

стандартом хранения и передачи данных GNSS, в том числе, и для целей исследования ионосферы Земли.

Для работы с файлами RINEX использовалось созданное нами программное обеспечение, модуль и класс для языка программирования Python, позволяющие работать с файлами на более высоком уровне абстракции. В классе Python реализованы следующие функции:

- автоматическое чтение файлов в зависимости от указанного временного промежутка и названия станции;
- расчет координат спутников в геодезической и геоцентрической системе координат из параметров орбиты спутника;
- расчет дифференциальных кодовых задержек (ДКЗ) сигнала для каждого отдельного спутника – специфической для каждого комплекта приёмной аппаратуры величины, необходимой для определения ПЭС;
- расчет полного электронного содержания (ПЭС) вдоль радиолуча для каждого спутника; определение вертикального ПЭС и координат точки, для которой рассчитано ПЭС.

При работе с архивными данными UNAVCO, представленными в формате RINEX файлов, использовалась программа TEQC (разработчик UNAVCO (NASA), которая в зависимости от установленных параметров формирует выходные файлы, содержащие значения азимутов и углов места НИСЗ в градусах, значения ПЭС и его производной, погрешности псевдодальности на несущих частотах.

ПЭС $I(t)$  рассчитывается из измерений приращений фазового и группового пути трансйоносферного радиосигнала по формуле:

$$I = \frac{1}{40.308} \cdot \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} [L_1 \lambda_1 - L_2 \lambda_2 + const + nL] \quad (1)$$

где  $L_1 \lambda_1$  и  $L_2 \lambda_2$  – приращения фазового пути радиосигнала, вызванные задержкой сигнала в ионосфере (м);  $L_1$ ,  $L_2$  – число полных оборотов фазы, а  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – длины волн (м) для частот  $f_1$  и  $f_2$ ;  $const$  – некоторый неизвестный начальный фазовый путь (м);  $nL$  – ошибка в определении фазового пути (м). Метод определения значений

ПЭС из измерений приращений фазового и группового пути трансионосферного радиосигнала подробно описан и обоснован в целой серии публикаций [1].

В работе используется общепринятая единица полного электронного содержания TECU (totalelectroncontent unit), равную  $10^{16}$  эл/м<sup>2</sup>.

### **Анализ данных по полному электронному содержанию в сейсмоопасные периоды в Алматинском регионе.**

Проведен анализ ряда землетрясений, произошедших в Алматинском сейсмоопасном регионе при магнитоспокойных условиях. Ниже приведены характеристики указанных землетрясений согласно данным ЦСОССИ ИГИ НЯЦ РК (<http://www.kndc.kz>) [10].

*Землетрясение 24 сентября 2009 г* магнитудой  $M_b=5.2$  (энергетический класс  $K=12.5$ ) произошел 13 ч 57 мин времени Астаны (в 07 ч 57 мин UT), координаты эпицентра [42.17°N; 77.57°E]. Очаг землетрясения находился на территории Кыргызстана в 146 км от г. Алматы на юго-восток, землетрясение ощущалось жителями г. Алматы с интенсивностью 3-4 балла.

*Землетрясение 4 ноября 2009 г.* магнитудой  $M_b=4.3$  (энергетический класс  $K=10$ ) произошло в 15 ч 28 мин времени Астаны (9 ч 28 мин UT), координаты эпицентра [43.23°N; 78.08°E] глубина  $h=2,2$  км. Очаг землетрясения находился в 94 км от г. Алматы, Землетрясение ощущалось на территории Казахстана в поселке Саты с интенсивностью 3 балла.

*Землетрясение 10 февраля 2010 г.* магнитуда  $M_b=3.3$  (энергетический класс  $K=6.9$ ) произошло в 06 ч 43 мин времени Астаны (00 ч 43 мин UT) на территории Казахстана, в 95 км на северо-восток от г. Алматы, координаты эпицентра [43.51°N; 78.07°E].

Для анализа использовались данные GPS измерений по конкретным лучевым траекториям, отбирались данные для углов места луча на ИСЗ,  $\theta_s(t)$ , больше 45° для получения наиболее достоверных результатов при выявлении эффектов возмущений, поскольку при этих углах эффекты сферичности пренебрежимо малы, более

того, это позволяет не пересчитывать «наклонное» значение ПЭС  $I(t)$  в «вертикальное» значение [1]. Индивидуальный номер спутника НИСЗ GPS, вдоль лучевой траектории, которого рассчитывалось ПЭС, обозначен как PRN (pseudorandom-noise).

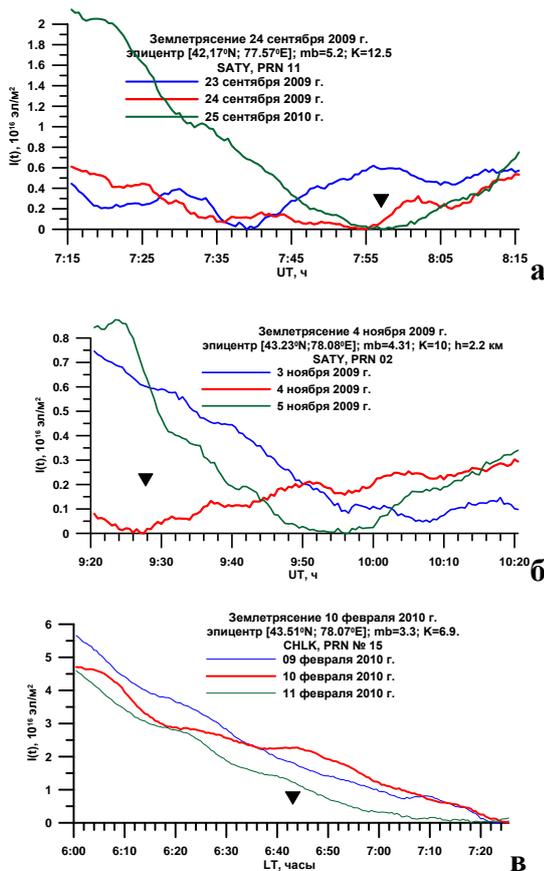
Рассматривались временные интервалы, включающие в себя время землетрясения, длиной не менее одного часа. На рисунке 1 приведены временные зависимости «наклонного» ПЭС  $I(t)$  в период землетрясений, для сравнения приведены данные за рассматриваемый временной интервал за сутки до и сутки после сейсмического события.

Считается, что изменчивость ото дня ко дню при спокойных геомагнитных условиях на конкретном выбранном временном интервале незначительна, и за наблюдаемые существенные флуктуации ПЭС отвечают различные источники возмущений. Анализ данных GPS в день до, во время и после землетрясения установил, что в день землетрясения в часовом временном интервале, включающем момент землетрясения, в вариациях ПЭС наблюдаются мелкомасштабные возмущения с периодами ~10-12 мин, амплитуды которых порядка  $\sim (0,1-0,2) \times 10^{16}$  эл/м<sup>2</sup>.

*Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 г.* магнитудой  $M_b=5.4$  произошло в 8 ч 31 мин времени Астаны (в 2 ч 31 мин UT) на территории Казахстана в 76 км на северо-востоке от города Алматы, координаты эпицентра [43.63°N; 77.76°E], глубина 23 км. Землетрясение ощущалось в г. Алматы с интенсивностью 4 балла.

Спустя 34 минуты в 9 ч 05 мин произошло повторное землетрясение с магнитудой  $M_b=4.0$ , в 15 ч 13 мин произошло еще одно землетрясение с магнитудой  $M_b=4.8$ . В течение суток 1-2 мая 2011 г. произошло 10 афтершоков с магнитудами от 3.2 до 5.4 баллов. Предварительный обзор произошедшего землетрясения приведен на сайте ЦСОССИ ИГИ НЯЦ РК <http://www.kndc.kz> [11]. Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 г. произошло на активной фазе умеренной магнитной бури продолжительностью 53 часа (начало –

29.04.2011 г. 16 ч LT; окончание 02.05.2011 г. 03 ч LT).



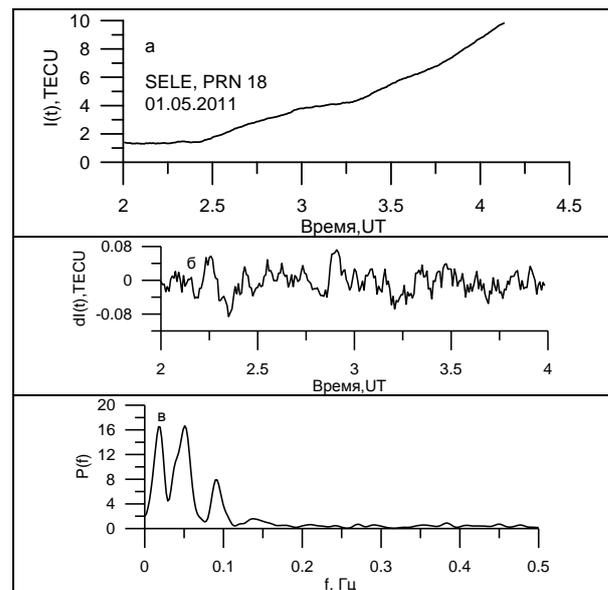
Черный треугольник указывает момент землетрясения. Тонкая синяя линия – вариации  $I(t)$  в день до землетрясения, жирная красная кривая – в день землетрясения, тонкая зеленая – вариации в день после землетрясения.

Рисунок 1 – Временные зависимости «наклонного» ПЭС  $I(t)$  в период землетрясений

На рисунке 2,а изображен «наклонный» ряд полного электронного содержания  $I(t)$  радиосигнала от спутника PRN (pseudorandom noise) № 18 за 1 мая 2011 г. во временном интервале 02.00 - 04.10 UT. На рисунке 2,б приведен ряд  $dI(t)$  с удаленным трендом, который подвергался цифровой фильтрации для выделения ионосферных возмущений в вариациях ПЭС в RINEX-файлах. Видно, что в ПЭС явно присутствуют периодические колебания.

Спектры возмущений ПЭС, полученные по данным GPS представляют особый интерес при поиске ионосферного отклика на землетрясения. Ряд  $dI(t)$  подвергается

стандартной процедуре БПФ («Быстрое преобразование Фурье»), позволяющей получить оценку амплитудного и фазового спектра вариаций ПЭС. Спектры возмущенности вариации  $I(t)$  во временном интервале 02.00-04.10 UT показывают три пика на частотах 0.0176, 0.0508 и 0.0918 Гц (рисунок 2,в). Периоды колебаний ПЭС варьируются в диапазоне от 5 до 25 минут, присутствуют мелкомасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения с амплитудами 0,0045-0,007 TECU.



а – вариации  $I(t)$ ; б – вариации  $I(t)$  с удаленным трендом; в – спектр возмущенности вариации  $I(t)$  во временном интервале 02.00 – 04.10 UT.

Рисунок 2 – Временные вариации «наклонного» ряда  $I(t)$  1 мая 2011 г., ряд  $dI(t)$  с удаленным трендом, спектр возмущенности ПЭС.

**GPS-мониторинг сейсмоионосферных эффектов во время катастрофического землетрясения в Непале 25 апреля 2015 г.**

Изучены вариации ПЭС, значения, которого получены по данным международной сети стационарных GNSS (GlobalNavigationSatelliteSystems) станций, для случая серии сильных землетрясений в Непале, произошедших 25 апреля 2015 г. Главный сейсмический толчок произошел в 6:11UT в точке с координатами [28.147°N; 84.708°E], и стал самым мощным в Непале с 1934 г. (магнитуда землетря-

сения составила 7,8 Mw, 8.1 Ms и IX по Шкале Меркалли), после основных толчков произошли ряд афтершоков.

Для анализа сейсмического события использовались данные 13 стационарных GNSS станций, расположенных в Непале и Индии (рисунок 3), и станция Института ионосферы, расположенная в г. Алматы [42.9838°N; 76.9532°E]. Для всех станций были рассчитаны значения вертикального ПЭС для каждого спутника с углом возвышения над горизонтом более 45 градусов.

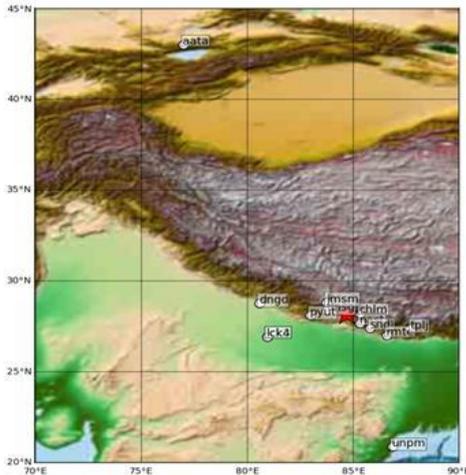


Рисунок 3 – Расположение использованных GNSS станций и место землетрясения

Обнаружено, что после землетрясения в данных ПЭС всех отмеченных станций появляются аномальные волновые возмущения с периодом около 10 минут, и с определённой задержкой во времени. На рисунке 4 представлены данные ПЭС после удаления низкочастотных составляющих, при этом положение графиков на левой оси соответствует расстоянию от GNSS станции до эпицентра. Видно, что максимальная амплитуда возмущений составляет примерно 1.2 TECU, период возмущений 7-8 мин, длительность возмущения составляет 2-3 периода, а также, что некоторые станции, расположенные на одинаковом расстоянии эпицентра, имеют различную амплитуду возмущений (рисунок 4).

Линейная экстраполяция момента появления первого возмущения до нулевого расстояния до эпицентра даёт время задержки 330 с (рисунки 5, 6).

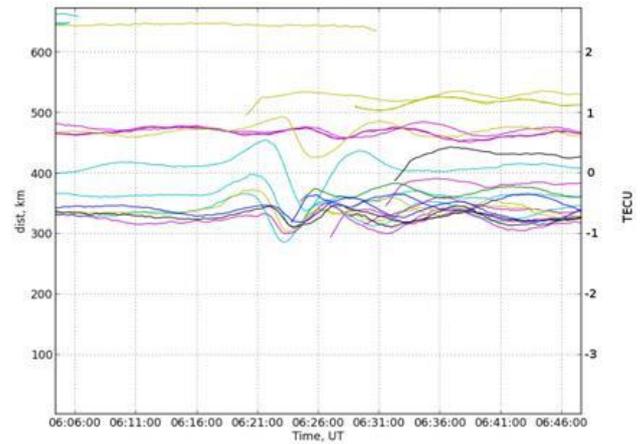


Рисунок 4 – Графики вариаций ПЭС в период землетрясения в Непале 25 апреля 2015 г.

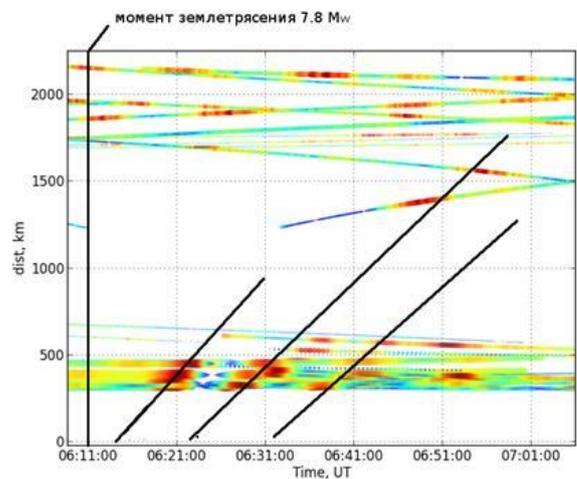


Рисунок 5 – Вариации ПЭС в зависимости от времени измерений и расстояния до эпицентра землетрясения

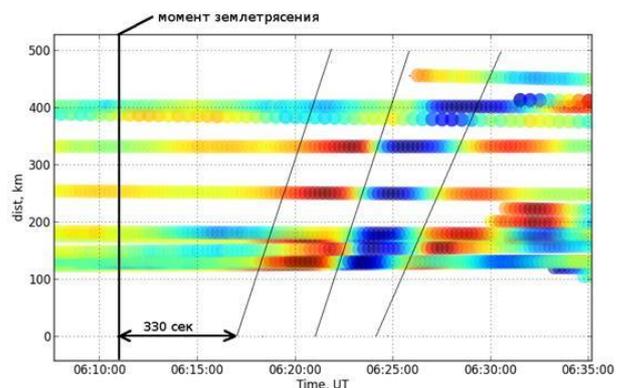


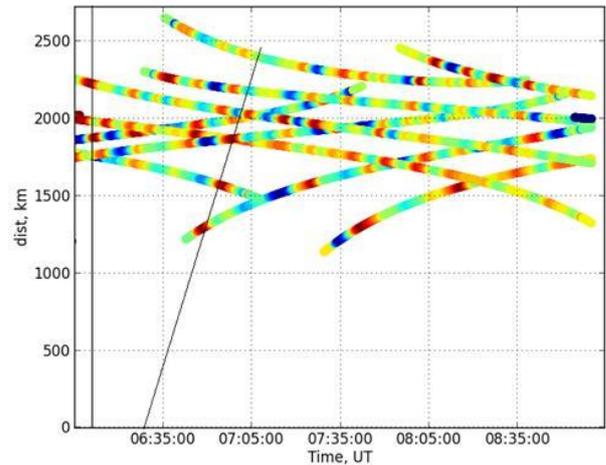
Рисунок 6 – Вариации ПЭС в ближней зоне землетрясения в зависимости от времени измерений и расстояния до эпицентра землетрясения

Наклон линий проложенных вдоль одинаковых фаз волнового возмущения

ПЭС соответствует горизонтальной скорости распространения возмущения около 1.6 км/с. Такая скорость распространения говорит о том, что ионосферное возмущение вызывается акустическим воздействием от подионосферной поверхности Земли, через которую проходят поперечные сейсмические S-волны.

Эффективным и наглядным способом визуализации распространения возмущений является построение годохран – графиков, показывающих зависимость пройденного расстояния от времени. На рисунке 7 приведена годохрона вариаций ПЭС по данным нашего приёмного пункта с расстояниями от эпицентра Непальского землетрясения, до ионосферной точки, для которой рассчитывалось ПЭС. Как видно, в более близко расположенных к эпицентру точках наблюдается приход возмущений, вызванных землетрясением (возмущения, лежащие на наклонной линии). Проведенная линия имеет наклон соответствующий скорости 1030 м/с, и пересекает ось X в точке 6 ч 23 мин, то есть отстаёт относительно землетрясения примерно на 12 минут. Скорость порядка 1000 м/сек соответствует скорости поперечных сейсмических волн. Время запаздывания в 12 мин соответствует времени, которое необходимо акустическому возмущению, чтобы подняться от поверхности земли до высоты порядка 300 км. Это означает, что акустическое возмущение, оказывающее влияние на ионосферу, распространяется вертикально вверх от поверхности земли до ионосферы.

Таким образом, выявлено, что после землетрясения 25.04. 2015 года в Непале в радиусе 1500 км в данных ПЭС появляются аномальные волновые возмущения с периодом около 10 минут. Максимальная амплитуда возмущений составляет примерно 1.2 TECU, длительность возмущения составляет 2-3 периода. Показано что волновые возмущения распространялись от места землетрясения на расстояния более 1500 км с постоянной скоростью.



Вертикальная линия соответствует моменту землетрясения, наклонная линия соответствует скорости 1030 км/сек и задержке относительно момента землетрясения в 12 секунд.

Рисунок 7 – Годохрона вариаций ПЭС с расстояниями от эпицентра Непальского землетрясения, до ионосферной точки, для которой рассчитывалось ПЭС

### Заключение

Выявлены сейсмо-ионосферные эффекты для землетрясений, имевших место в магнито-спокойный период в Алматинском сейсмоопасном регионе. Анализ данных GPS по ПЭС в день до, во время и после землетрясения показал, что в день землетрясения в часовом временном интервале, включающем момент землетрясения, в вариациях ПЭС наблюдаются мелкомасштабные возмущения с периодами ~ 10-12 мин, амплитуды которых порядка  $\sim (0,1-0,2) \times 10^{16}$  эл/м<sup>2</sup>.

По данным GPS-измерений исследована возмущенность среднеширотной ионосферы во время Капчагайского землетрясения (M=5.4) 1 мая 2011 года. Спектральные характеристики возмущений ПЭС показали три пика на частотах 0.0176, 0.0508 и 0.0918 Гц – периоды колебаний ПЭС варьируются в диапазоне от 5 до 25 минут, присутствуют мелкомасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения с амплитудами 0,0045-0,007 TECU после основного толчка.

Обнаружен отклик в ПЭС ионосферы, зарегистрированного над г. Алматы на землетрясение магнитудой 7.8 баллов, произошедшее 25 апреля 2015 года в

Непале. Выявлено, что после землетрясения в радиусе 1500 км в данных ПЭС появляются аномальные АГВ с периодом около 10 минут. Максимальная амплитуда возмущений составляет примерно 1.2 TECU, длительность возмущения составляет 2-3 периода. Показано что АГВ распространялись от места землетрясения на расстояния более 1500 км с постоянной скоростью.

Результаты исследований рекомендуется использовать для развития космических методов прогнозирования катастрофических явлений, связанных с аномальными геофизическими событиями на Земле. Ионосфера является средой чувствительной к процессам, происходящим в литосфере.

Работа выполнена по проекту РН 0115РК01274 в рамках научно-технической программы НТП-О.0674.

#### **Список литературы**

- 1 Afraimovich E.L., Perevalova N.P. GPS-monitoring of the Earth's upper atmosphere/– Irkutsk: SC RRS SB RAMS.–2006.–480 p.(in Russian).
- 2 Бучаченко А.Л., Ораевский В.Н., Похотелов О.А. Ионосферные предвестники землетрясений//Успехи физ.наук.–1996.–Т.166, № 9.–С.1023-1029.
- 3 Каримов К.А., Дробжев В.И., Солоницына Н.Ф., Гайнутдинова Р.Д. О некоторых ионосферно-магнитосферных и атмосферных эффектах, связанных с сейсмотектоническими процессами в Казахстане и Киргизии.//Препринт. АН Киргизской ССР. – 1990.–30 С.
- 5 Afraimovich E.L., Perevalova N.P., Plotnikov A.V., Uralov A.M. The shock-acoustic waves generated by the earthquakes // Ann. Geophys. –2001.–V.19.–P. 395-409.
- 6 Liu, J. Y., Chuo, Y.J., Shan, S.J., Tsai, Y.B., Chen, Y.I., Pulnits S.A., Yu S.B., Preearthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurement//Ann. Geophys. –2004. –V. 22.–P. 1585-1593.
- 7 Thomas J.N., Love J.J., Komjathy A., Verkhoglyadova O.P., Butala M., Rivera N. On the reported ionospheric precursor of the 1999 Hector Mine, California earthquake // Geophys. Res. Letters.–2012.–V. 39, L06302, doi:10.1029/2012GL051022.
- 8 Ясюкевич Ю.В., Захаров В.И., Куницын В.Е., Воейков С.В. Отклик ионосферы на землетрясение в Японии 11 марта 2011 г. по данным различных GPS-методик // Геомагнетизм и Аэрномия.– 2015.–Т. 55, № 1.–С. 113-122.
- 9 Shepherd G. Spectral Imaging of the Atmosphere // International Geophysics Series Academic. – San Diego, Calif., 2002. – Vol. 82. – P. 54-62.
- 10 Казахстанский Национальный Центр данных: <http://www.kndc.kz/index.php/ru/sejsmicheskie-byulleteni>
- 11 Михайлова Н.Н. Предварительный обзор Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г.//Сайт ЦСОСНИ ИГИ НЯЦ РК <http://www.kndc.kz>.

*Принято к печати 12.04.2017*

**В.М. Сомсиков, С.Н. Мукашева, А.Б. Андреев, В.И. Капытин, А.Б. Кайранбаева**

*Национальный центр космических исследований и технологий*

*Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан*

*E-mail: snmukasheva@gmail.com*

#### **GPS-МОНИТОРИНГ СЕЙСМО-ИОНОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В АЗИАТСКОМ РЕГИОНЕ**

**Аннотация.** В работе приводятся результаты исследования сейсмо-ионосферных эффектов по данным полного электронного содержания (ПЭС), одного из ключевых параметров ионосферы. Выявлены сейсмо-ионосферные эффекты для землетрясений, имевших Алматинском сейсмоопасном регионе. В вариациях ПЭС наблюдаются мелкомасштабные возмущения с периодами ~10-12 мин, амплитуды которых порядка  $\sim(0,1-0,2) \times 10^{16}$  эл/м<sup>2</sup>. Обна-

ружен отклик в данных ПЭС ионосферы, зарегистрированного над г. Алматы [43.51°N; 78.07°E] на землетрясение магнитудой 7.8 баллов, произошедшее 25 апреля 2015 г. в Непале.

**Ключевые слова:** полное электронное содержание, акустико-гравитационная волна, землетрясение.

**В.М. Сомсиков, С.Н. Мукашева, А.Б. Андреев, В.И. Капытин, А.Б. Кайранбаева**

Ғарыштық зерттеулер мен технологиялар ұлттық орталығы

Ионосфера институты, Алматы қ., Қазақстан

*E-mail: snmukasheva@gmail.com*

## **АЗИЯ ӨҢІРІНДЕГІ GPS-МОНИТОРИНГ СЕЙСМО-ИОНОСФЕРАЛЫҚ ӘСЕРЛЕР**

**Аннотация.** Электрондардың жалпы мазмұны, ионосфера негізгі параметрлердің бірі бойынша сейсмикалық-ионосфералық әсерлерді зерттеу нәтижелерін ұсынады. Алматы жер сілкінісі бейім аймақты Жер сілкіністерінің анықталған сейсмикалық ионосфера әсерлері. электрондардың жалпы мазмұны вариация тәртібі амплитудасы  $\sim(0,1-0,2)\times 10^{16}$  эл/м<sup>2</sup> электрондық кезеңдер  $\sim 10-12$  мин, шағын көлемді бұзылыстар байқалады. Ол Алматы [43.51°N; 78.07°E] жазылған электрондардың жалпы мазмұны ионосфералық деректер жылы лебізге ие болды Непалда 25 сәуір, 2015 орын балдық жер сілкінісі 7,8 балл.

**Түйін сөздер:** электрондардың жалпы мазмұны, акустикалық-гравитациялық толқындар, жер сілкінісі.

**V.M. Somsikov, S.N. Mukasheva, A.B. Andreyev, V.I. Kaputin, A.B. Kairanbaeva**

*National Center for Space Research and Technology*

*Institute of Ionosphere, Almaty, Kazakhstan*

*E-mail: snmukasheva@gmail.com*

## **GPS-MONITORING OF SEISMO-IONOSPHERIC EFFECTS IN THE ASIAN REGION**

**Abstract:** The paper presents the results of a study of seismic-ionospheric effects from the data of total electronic content, one of the key parameters of the ionosphere. Seismic and ionospheric effects were identified for earthquakes that had an Almaty seismic region. In the variations of the total electron content, small-scale perturbations are observed with periods of  $\sim 10-12$  min, whose amplitudes are of the order of  $\sim(0,1-0,2)\times 10^{16}$  el / m<sup>2</sup>. A response was detected in the data of the IES of the ionosphere recorded over the city of Almaty [43.51°N; 78.07°E] to the 7.8 magnitude earthquake that occurred on April 25, 2015 in Nepal.

**Keywords:** total electronic content, acoustic-gravitational wave, earthquake.