

УДК 524.1550.385

Ж.Ш. Жантаев<sup>1</sup>, В.М. Сомсиков<sup>2</sup>, А.Б. Андреев<sup>2</sup>, Б.Т. Жумабаев<sup>2</sup>, В.И. Капытин<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>АО «НЦКИТ»

<sup>2</sup>ДТОО «Институт ионосферы» АО «НЦКИТ», г. Алматы

## АКУСТИКО-ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ В МЕЗОСФЕРЕ В ПЕРИОДЫ СЕЙСМОАКТИВНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПТИЧЕСКИХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

**Аннотация.** Выполнены исследования поведения акустико-гравитационных волн (АГВ) на высотах мезосферы в периоды сейсмоактивности. Наблюдения АГВ проводились в течение 5 лет с 2010 до 2015 при помощи спектрометра SATI (Spectral Airglow Temperature Imager). Выявлены особенности спектра АГВ в периоды сейсмоактивности. В периоды сейсмоактивности обнаружено усиление АГВ с характерными периодами около 25 минут. Все они соответствуют скоростям распространения, равным примерно 1000 м/с. Причем наблюдается увеличение этих АГВ с ростом сейсмоактивности. Результаты оптических наземных наблюдений сопоставлены с данными спутниковых оптических наблюдений MLS (Microwave Limb Sounder).

**Ключевые слова:** акустико-гравитационные волны, мезосфера, инфракрасное свечение неба.

### Введение

Сегодня поиск эффектов в атмосфере, обусловленных сейсмоактивностью, становится чрезвычайно актуальными [1-5]. Для выявления таких эффектов используются современные теоретические методы исследований на основе экспериментальных наблюдений геофизических параметров. Для экспериментальных наблюдений применяется комплекс аппаратуры, установленной как на поверхности Земли, так и на искусственных спутниках Земли. Только при наличии такого комплекса, обеспечивающего синхронные совместные исследования процессов на Земле и в Космосе, можно раскрыть механизмы их взаимосвязи и обеспечить поиск прогностических параметров катастрофических землетрясений.

К настоящему времени установлена связь между процессами подготовки землетрясений и возмущениями электростатических полей на высотах полета спутника (700 км) [1, 2]. Также наблюдаются аномальные флуктуации инфразвука и электрических полей во время землетрясений [3-6]. Экспериментальное открытие этих аномалий подтверждает перспективность и необходимость продолжения данных исследований, а также

является важным шагом к поиску кратковременных предвестников землетрясений.

Для выделения атмосферных эффектов, обусловленных различными проявлениями сейсмоактивности и других катастрофических событий, необходимо знание характера прохождения генерируемых на Земле атмосферных возмущений до высот ионосферы по всей толще атмосферы. На высотах мезосферы эта задача решается путем оптических наблюдений ночного свечения кислорода и гидроксильной группы [10-13]. Путем сопоставления этих данных с спутниковыми наблюдениями удастся идентифицировать атмосферные эффекты, связанные с сейсмоактивностью и пространственно-временным характером распределения этих эффектов.

Ниже представлены результаты статистического анализа данных регистрации вариаций температуры мезосферы в ночные часы в периоды сейсмоактивности. Наблюдения выполнялись при помощи спектрометра SATI (Spectral Airglow Temperature Imager) в г. Алматы. Основная цель данной работы состоит в изучение особенностей пространственно-временных характеристик спектра волновых возмущений в периоды

сейсмоактивности. Результаты оптических наземных наблюдений сопоставлялись с данными спутниковых оптических наблюдений MLS (Microwave Limb Sounder).

### Методы измерений и обработки информации

Спектрометр SATI (Spectral Airglow Temperature Imager) расположен на высокогорном комплексе Института ионосферы - радиополигоне «Орбита» на высоте 2730 метров над уровнем моря (43°03'30" с. ш., 76°58'24" в. д.). В инструменте SATI применяется спектральный метод регистрации собственного теплового излучения гидроксидов в слое максимума излучения, расположенного на высоте примерно 87 км в ночное время [10-13]. Определение температуры в данном слое мезосферы осуществлялось путём сравнения измеренного спектра излучения полос гидроксидов OH(6-2) на длине волны 836 нм с модельными спектрами, рассчитанными для различной колебательно-вращательной температуры молекул гидроксидов. Регистрация собственного излучения атмосферного гидроксидов производилась с пространственно разнесённых участков ночного неба — на горизонтальном кольце диаметром около 100 км и шириной 14-16 км. (Рисунок 1).

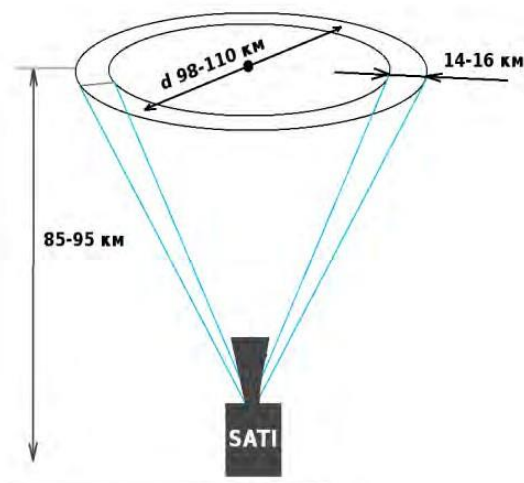


Рисунок 1 – Схема работы SATI.

Прибор работал в регулярном автоматическом режиме. Время экспозиции спектрометра, а значит, и периодичность измерений составляет 1 минуту, измерения проводились непрерывно в течение ночи.

Характеристики SATI позволяют производить мониторинг среднего значения температуры в данном слое мезосферы, а также осуществлять регистрацию волновых возмущений в мезосфере, таких как приливные, планетарные и акустико-гравитационные волны (АГВ), определяя направление распространения волны, её скорость, период колебания и амплитуду.

Были обработаны данные непрерывных рядов наблюдений за период более 5 лет с 2010 до 2015 гг. Это позволило выявлять статистически значимые закономерности в поведении АГВ в периоды повышенной сейсмоактивности на высотах мезопазузы.

Для проведения анализа данных оптических измерений SATI (значений температуры и эмиссии гидроксидов) и с целью определения поведения перемещающихся волновых возмущений в мезосфере, было создано необходимое программное обеспечение, позволяющее обрабатывать данные SATI с помощью модифицированного алгоритма преобразования Фурье [14]. Это программное обеспечение позволяет оперативно выявлять перемещающиеся волновые возмущения на высотах мезосферы, определять направление распространения возмущений, период волны, скорость распространения и длины волн. С помощью данных программ были обработаны результаты измерений SATI за период с 2010 по 2015 год в периоды повышенной сейсмоактивности.

### Особенности поведения АГВ в мезосфере в периоды сейсмоактивности

Изучение фоновых возмущений мезосферы в сейсмически спокойные дни – необходимый шаг в направлении выделения эффектов в атмосфере, связанных с локальными событиями, например, с сейсмоактивностью. Так, установление сезонно-суточных закономерностей поведения АГВ в мезосфере позволило выявить особенности в ней эффектов, которые наблюдаются в периоды сейсмоактивности.

С целью выявления изменения параметров мезосферы в периоды активизации сейсмических процессов, по данным Казахстан-

ского национального центра данных (КНЦД) был подготовлен каталог сейсмических событий за период с мая 2010 г. по май 2015г.

Первым методом, который применялся для выявления сейсмозффектов на фоне регулярных возмущений, был метод наложения эпох к данным температуры в мезосфере со сдвигом на момент землетрясения и коррекцией на расстояние до эпицентра. При этом к рядам значений температуры в мезосфере по данным SATI использовались различные частотные фильтры. Затем ряды значений растягивались и смещались по оси «X» - оси времени так, чтобы время землетрясения находилось в точке 0, а время необходимое для прохождения расстояния от

эпицентра до точки измерения SATI со скоростью звука находилось в точке 1.

На рис. 2 приведён пример результата применения метода наложения эпох для 600 сейсмических событий с магнитудой  $m_b > 4$  и расстоянием до эпицентра менее 1000 км. Как видно, величина возмущений температуры после землетрясения не превышает возмущений до землетрясений, а значит, находится на уровне шума. Этот метод не обнаружил сейсмозффекты в мезосфере. Причина достаточно простая. Дело в том, что метод наложения эпох плохо применим при условиях хаотичности фаз возмущений от заданного источника.

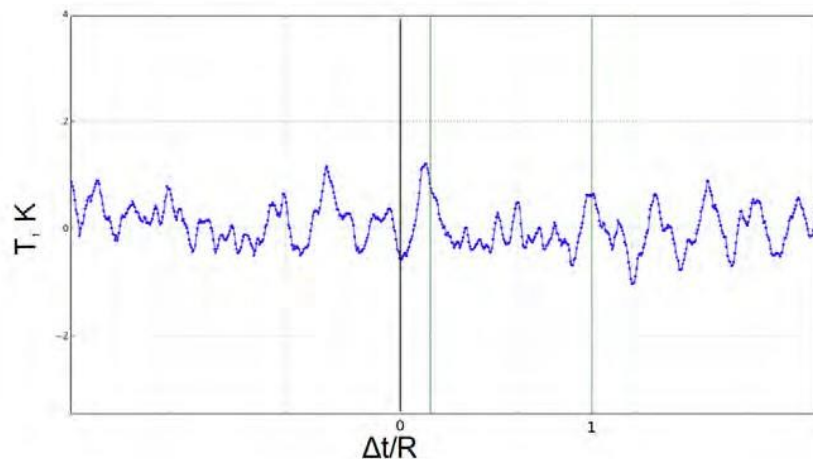


Рисунок 2 – Результат применения метода наложения эпох к данным температуры в мезосфере, со сдвигом на момент землетрясения и коррекцией на расстояние до эпицентра.

Следующим этапом в статистической обработке результатов наблюдений был выбран метод спектральной обработки данных за длительный период времени до и после событий сейсмоактивности и наложения самих спектральных кривых с соответствующим сдвигом времени относительно момента землетрясения с учетом его расстояния до точки наблюдения. Кроме того, рассматривались суммарные спектры в ночные периоды отдельно для сейсмоспокойных и сейсмоактивных периодов. Этот подход оказался более эффективным, чем метод наложения эпох.

В результате проведенного спектрального анализа данных по эмиссии гидроксила на высоте мезосферы в периоды высокой и низкой сейсмической активности в регионе установлено существенное отличие суммарного спектра волновых возмущений за дни

наблюдений на SATI в спокойные периоды и суммарного спектра за дни, в которые наблюдались землетрясения с магнитудой  $m_b > 4$ .

Обнаружено, что основные отличия спектров в сейсмоактивные и спокойные дни наблюдаются в диапазоне периодов не более 27 минут. В частности, в спектрах за сейсмоактивные периоды наблюдаются острые максимумы на периоды в интервале 14-25 минут (рис. 3).

Затем были построены периодограммы для всех данных SATI. В результате было обнаружено, что в данных SATI наблюдается большое количество иррегулярных возмущений, которые можно было бы связать с сейсмической активностью. На рис. 4 приведён пример такой периодограммы, на котором наблюдается значительное возмущение в районе 22 часов и имеющее

период порядка 25 минут.

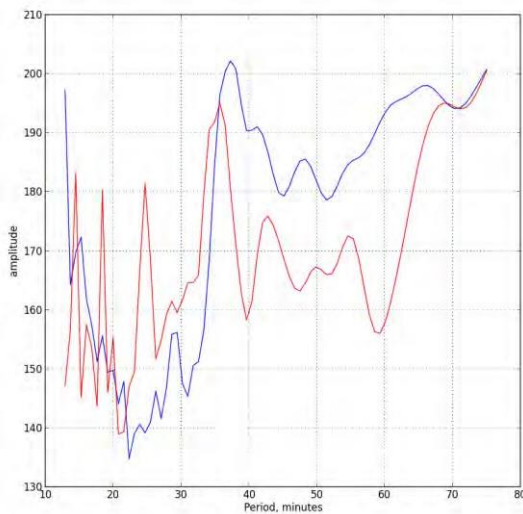


Рисунок 3 – Спектры вариаций температуры в мезосфере. Синий – суммарный за 5 лет измерений, красный – суммарный для ночей, в которые наблюдались землетрясения с  $m_b > 4$  в радиусе 1000 км от Алматы.

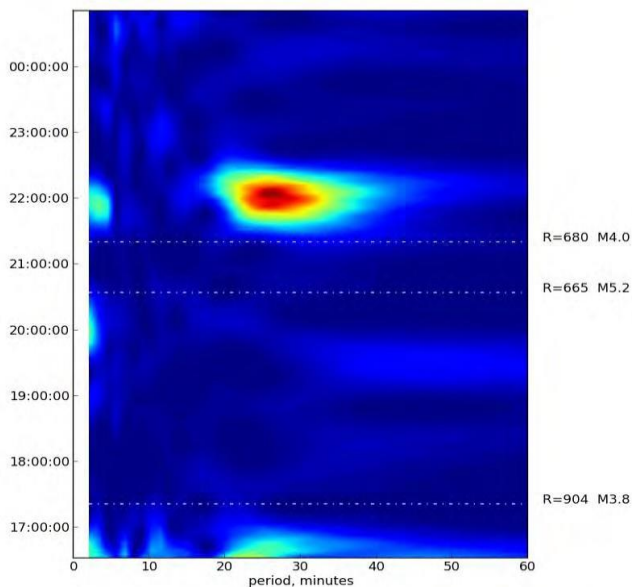


Рисунок 4 – Периодограмма значений температуры по данным SATI за 15.01.2013, с указанием моментов, расстояний и магнитуд произошедших за период наблюдений землетрясений.

Однако, дальнейший анализ периодограмм показал, что подобные возмущения могут наблюдаться как после, так и до землетрясений.

Для того, чтобы достоверно установить наблюдаются ли в мезосфере возмущения обусловленные сейсмичностью, был проведен следующий анализ. Полученные периодограммы разбивались по узким диапазонам периодов 2-5, 5-10, 10-15, 15-20 и т.д., после чего рассчитывался суммарный спектр для диапазона в зависимости от времени.

Далее, эти временные ряды для определенного диапазона периодов строились на плоскости «время от момента землетрясения» - «расстояние до эпицентра», как показано на рис. 5. Как видно, построение в таких координатах позволяет наглядно установить причинно следственную связь между событиями (в данном случае между землетрясением и возникновением волнового возмущения в мезосфере), в случае достаточно большого количества событий. Для всех диапазонов периодов кроме диапазона 2-5 минут наблюдалось равномерное распределение возмущений, как до землетрясения, так и после. Однако, для диапазона периодов 2-5 минут, почти все возмущения лежат после момента землетрясений. Из этого можно сделать вывод, что рассмотренные землетрясения с магнитудой более 4 баллов создают в мезосфере волновые возмущения с периодами порядка 2-5 минут. На рис. 5 наклонная линия соответствует скорости звука.

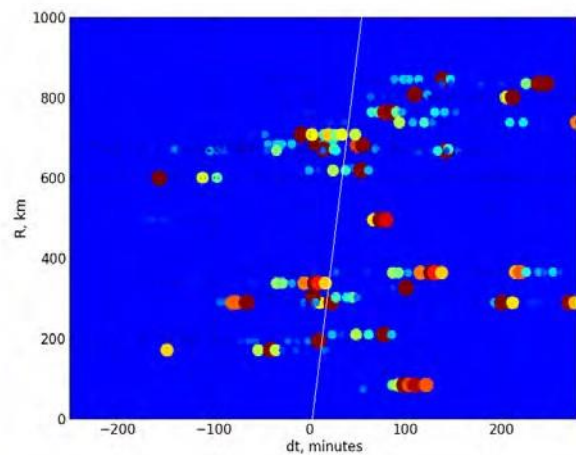


Рисунок 5 – Возмущения со скоростью движения  $> 1000$  км/ч,  $m_b > 4.5$  с периодами 2-5 мин.

Полученные результаты наблюдений свечения мезосферы опираются на достаточно большой статистический материал. Поэтому они могут служить убедительным под-

тверждением существования эффектов в мезосфере, обусловленных землетрясениями

### **Измерения полного электронного содержания ионосферы (ПЭС) на основе сигналов GNSS**

С целью расширения комплекса регистрируемых геофизических параметров, нами на базе Института ионосферы был создан стационарный приемный пункт сигналов GNSS, позволяющий принимать двухчастотные сигналы спутников систем GPS и ГЛОНАСС. Приемник NovAtel OEM6 установлен в точке с координатами 42.9838 С.Ш. 76.9532 В.Д. На основе принимаемых сигналов GNSS производится расчёт полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы вдоль траекторий радиосигналов от каждого из находящихся над горизонтом спутников, до приёмника. Регистрация сигналов GNSS производится постоянно с временным разрешением 5 секунд, так же, при необходимости, возможна регистрация сигналов с временным разрешением 0.02 секунды (с частотой 50Гц.).

Осуществлялась запись 6 основных параметров сигналов систем GPS и ГЛОНАСС: фазы прихода сигнала для первой и второй частоты, псевдодальности для первой и второй частоты и доплеровского сдвига первой и второй частоты сигнала.

### **Методика расчёта полного электронного содержания**

Динамические процессы в ионосферной плазме являются основным источником ошибок при определении местоположения при помощи спутниковых навигационных систем. Применение в системах GPS и ГЛОНАСС сигналов с двумя несущими частотами позволяет приёмникам навигационных сигналов учитывать вклад ионосферы в измерения расстояния от спутников до приёмника, на основании того, что время прохождения радиосигнала через ионизованную среду (ионосферную плазму) зависит от двух параметров – частоты радиосигнала, и величины ионизованности плазмы. В случае применения двухчастотных систем, измеряя время между приходом сигналов на первой и второй частоте, можно вычислить вариацию фазы, доплеровский сдвиг частоты, а по ним определить величину ПЭС ионосферы и ее

временные вариации вдоль радиолуча. Помимо того, что это позволяет значительно повысить точность измерения местоположения системами GNSS, это предоставляет исследователям возможность исследования динамики ионосферы, поскольку одним двухчастотным приёмником можно непрерывно и с высоким временным разрешением производить измерения ПЭС в нескольких пространственно разнесённых точках ионосферы – вдоль траекторий на каждый видимый спутник. Поскольку величина измеряемого ПЭС увеличивается с отклонением радиолуча от вертикали, то производится преобразование наклонного ПЭС в вертикальное ПЭС.

Параметры принимаемых сигналов приёмник выдаёт в виде потоковых данных, в так называемом raw-формате. Далее, эти данные преобразуются в файлы формата RINEX. RINEX (Receiver Independent Exchange Format) — это стандартный формат обмена данными для файлов исходных данных спутниковых навигационных приёмников. Используется версия, в которой содержатся данные о псевдодальности, фазе несущей и Доплеровском сдвиге частот для GPS или ГЛОНАСС. Формат RINEX выбран потому, что он является международным стандартом хранения и передачи данных GNSS в том числе и для целей исследования ионосферы Земли. Формат разработан и используется в IGS (International GNSS Service), добровольном международном объединении организаций по обмену и анализу данных GNSS.

Хотя файлы RINEX являются текстовыми, работа с ними невозможна без специализированного программного обеспечения. В этом формате используется очень низкий уровень абстракции, так, вместо координат спутников используются параметры орбит. Поэтому для работы с файлами RINEX было создано необходимое программное обеспечение – модуль и класс для языка программирования Python, позволяющие работать с файлами на более высоком уровне абстракции. В классе 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 ПЭС вдоль радиолуча для каждого спутника;
- определение вертикального ПЭС и координат точки, для которой рассчитано ПЭС.

На рис. 6 приведён пример значений полного электронного содержания за 13-21 июля 2015 года, в единицах ПЭС (одна единица ПЭС =  $10^{16}$  электрон/м<sup>2</sup>). На графике хорошо видна суточная зависимость полного электронного содержания. Также видны мелкомасштабные флуктуации и их усиление в переходные часы суток, обусловленные их генерацией солнечным терминатором [19].

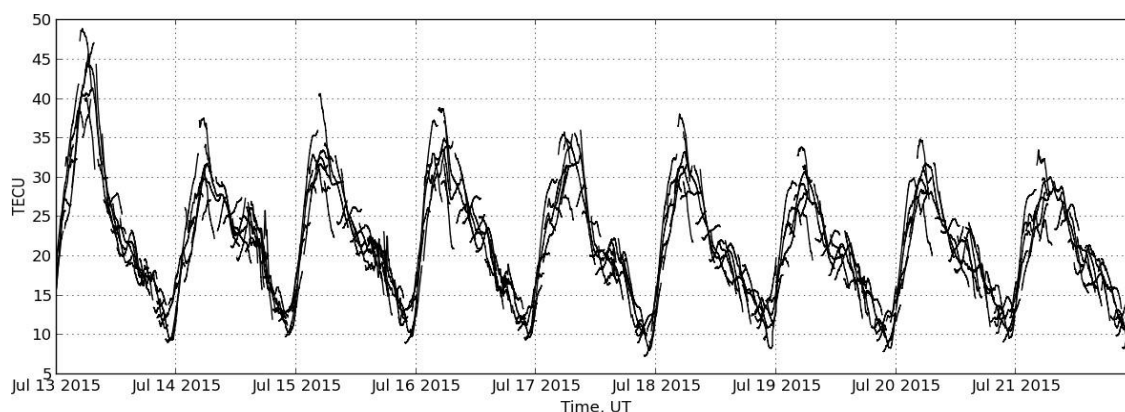


Рисунок 6 – Пример вариации полного электронного содержания по результатам обработки записи фазы сигнала GPS за 9 дней наблюдений.

Наличие такого программного обеспечения обеспечивает быструю и эффективную работу с данными как нашей станции, так и с данными других станций международной сети International GNSS Service (IGS). В них сегодня входит 470 пунктов регистрации сигналов GNSS по всему миру. Данные этих пунктов доступны в сети интернет. Это позволяет выявлять геофизические эффекты на ионосферных высотах непосредственно над Алматы, и в других точках мира. В результате открываются возможности непрерывного мониторинга ионосферных возмущений различного класса во время всевозможных геофизических событий и сопоставление их для всех точек земного шара.

#### **Возмущения в вариациях ПЭС над Алматы, вызванное Непальским землетрясением 25 апреля 2015 года (магнитуда Mw=7.8)**

Наиболее сильное землетрясение, произошедшее с момента начала функционирования приемного пункта

сигналов GNSS в Институте ионосферы, это землетрясение, произошедшее в Непале 25 апреля 2015 года. Первый и наиболее сильный толчок произошёл в 6:11UT, и имел магнитуду 7.8 балла. Расстояние от эпицентра до точки расположения приёмника GNSS сигналов составляет 1800 километров. В работах [15-18] было показано, что возмущения ПЭС ионосферы вызванные сейсмическими событиями создаются распространением акустического возмущения сгенерированного вертикальным движением земной поверхности. В работах также отмечается, что возмущения ПЭС в ионосфере вызванные сейсмическими событиями имеют характерные периоды колебаний 8-10 минут. С целью сопоставления этих результатов наблюдений с нашими результатами, нами был проведен анализ вариации ПЭС по данным нашей станции регистрации. Спектрограммный анализ показал наличие волновых возмущений ПЭС с периодами 10-15 минут, наблюдавшихся

после землетрясения в течение более 2 часов. На рис. 7 видны возмущения, вызванные Непальским землетрясением.

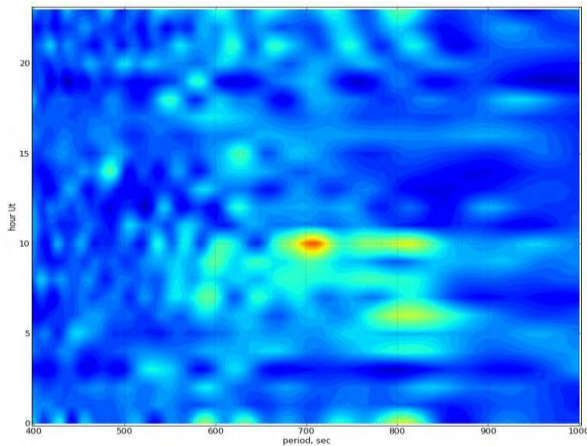


Рисунок 7 – Спектрограмма вариаций ПЭС за 25 апреля 2015.

Эффективным и наглядным способом визуализации распространения возмущений является построение годохран – графиков, показывающих зависимость от времени пройденного от эпицентра возмущения до точки наблюдения [18]. На рис. 8 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 1.03 км/сек, и пересекает ось x в точке 6 часов 23 минуты, то-есть отстаёт относительно землетрясения примерно на 12 минут. Скорость порядка 1 км/сек соответствует скорости поперечных сейсмических волн. Время запаздывания в 12 минут 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.

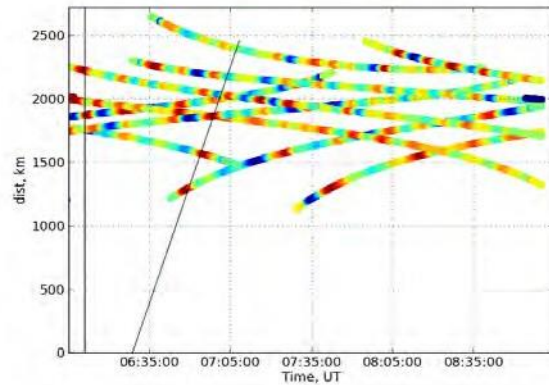


Рисунок 8 – Годохрона вариаций ПЭС с расстояниями от эпицентра Непальского землетрясения, до ионосферной точки, для которой рассчитывалось ПЭС. Вертикальная линия соответствует моменту землетрясения, наклонная линии соответствует скорости 1.03 км/сек и задержке относительно момента землетрясения в 12 секунд.

### Заключение

Результаты статистического анализа результатов регистрации вариаций температуры мезосферы в ночные часы при помощи спектрометра SATI в периоды сейсмоактивности, их сопоставление с данными регистрации ПЭС, полученными по спутниковым данным, позволили выявить и изучить некоторые особенности пространственно-временных характеристик спектра волновых возмущений мезосфере и ионосфере в периоды сейсмоактивности. В частности, были получены следующие результаты:

- выявлены эффекты в мезосфере, связанные с сейсмичностью. Так, в периоды высокой сейсмической активности наблюдается усиление спектра АГВ с характерными периодами около 25 минут.
  - во время сейсмоактивности наблюдается усиление АГВ с периодами 2- 3 мин;
  - обнаружен отклик в данных полного электронного содержания ионосферы, зарегистрированного над г. Алматы, на землетрясение магнитудой 7.8 баллов, произошедшее 25 апреля 2015 года в Непале.
- Работа выполнена в рамках проекта РБП-076: «Изучить механизмы взаимосвязи вариаций геофизических параметров на земной поверхности и в верхних слоях»

атмосферы, обусловленных источниками земного и космического происхождения», Регистрационный номер (РН) 0115PK01274.

### Список литературы

1 НАО, Y. Q., Xiao Z., and Zhang D. H. Multi-instrument observation on co-seismic ionospheric effects after great Tohoku earthquake. *J. Geophys. Res.* 2012. – № 117. P.2305. doi:10.1029/2011JA017036.

2 Золотов А.Н., Петров А.Е., Синютин А.С. Разработка каталога электромагнитных предвестников землетрясений. Труды VI Всероссийской конференции по атмосферному электричеству. – Нижний Новгород, 2007. – С. 281-282.

3 Hegai, V.V., Legenka A.D., Kim V. P., and Georgieva K. Wavelike perturbations in the ionospheric F2-layer observed after the M8.1 Samoa earthquake of September 29, 2009. *Adv. Space Res.* – 2011. – № 47. –pp. 1979–1982. doi:10.1016/j.asr.2011.01.011.

4 Liu, J.-Y., Chen C.-H., Lin C.-H., Tsai H.-F., Chen C.-H. and Kamogawa M. Ionospheric disturbances triggered by the 11 March 2011 M9.0 Tohoku earthquake. *J. Geophys. Res.* – 2011. – № 116, – P. 6319. doi:10.1029/2011JA016761.

5 Otsuka, Y., et al. GPS detection of total electron content variations over Indonesia and Thailand following the 26 December 2004 earthquake. *Earth Planets Space.* –2006. № 58, –pp.159–165.

6 Pulnits, S.A, K.A. Boyarchuk. Ionospheric Precursors of Earthquakes. Berlin - New York, «Springer», 2004, 316 p.

7 Somsikov V.M. Solar Terminator and Dynamic Phenomena in the Atmosphere: a review. *Geomagnetizm and Aeronomiya.* – 2011. –Vol. 51.– P. 707–71.

8 Afraimovich, E.L., First GPS TEC Evidence for the Wave Structure Excited by the Solar Terminator, *Lett. Earth Planet. Space*, 2008, pp. 895–900.

9 Krasnov V.M., Drobzheva Ya.V. and Laštovička J. Recent advances and difficulties of infrasonic wave investigation in the ionosphere. *Surveys in Geophysics* – 2006 – 27: 169-209. DOI 10.1007/s10712-005-6203-4.

10 S.I. Sargoytchev, S.Brown, B. H. Solheim, Y.-M. Cho, G. G. Shepherd, and M. J. López-González. Spectral airglow temperature

imager SATI: A ground-based instrument for the monitoring of mesosphere temperature. *Applied optics*, 43, 30, 2004.

11 Aushev V.M., Fedulina I.N., Gordienko G.I., López-González M.J., Pogoreltsev A.I., Ryazapova S.Sh. and Shepherd M.G. Effects in the mesosphere and ionosphere observed at northern midlatitudes. *Journal of Planetary and Space Science*, 2006, V. 54.-pp. 559-571.

12 Семенов А.И., Баканас В.В., Перминов В.И., Железнов Ю.А., Хомич В.Ю. Спектр излучения ночной верхней атмосферы Земли в ближней инфракрасной области. *Геомагнетизм и аэронавигация*. 2002. Т. 42. № 3. С. 407-414.

13 G. Shepherd. *Spectral Imaging of the Atmosphere*, Vol. 82 of the International Geophysics Series Academic, San Diego, Calif., 2002.

14 Hernan A. Montes, Eric S. Posmentier. Co-Phase Analysis of Atmospheric Wave Data. *Geophys. J. R. astr. Soc.* (1971) 26, pp.271-278.

15 Liu J.Y., Chen C.H., Lin C.H., Tsai H.F., Chen C.H., Kamogawa M. Ionospheric disturbances triggered by the 11 March 2011 M9.0 Tohoku earthquake // *J. Geophys. Res.* doi:10.1029/2011JA016761. – 2011, № 116. – P. 6319.

16 Reddy C. D., Gopi K. Seemala. Two-mode ionospheric response and Rayleigh wave group velocity distribution reckoned from GPS measurement following Mw 7.8 Nepal earthquake on 25 April 2015 // *Journal of Geophysical Research: Space Physics.* – 2015. – Vol. 120. –P. 7049-7059.

17 Otsuka, Y., et al. GPS detection of total electron content variations over Indonesia and Thailand following the 26 December 2004 earthquake // *Earth Planets Space.* – 2006, № 58. –P. 159–165.

18 Reddy C.D., Sunil A.S., González G., Mahesh N. Shrivastava, Marcos Moreno. Near-field CO-seismic ionospheric response due to the northern Chile Mw 8.1 Pisagua earthquake on April 1, 2014 from GPS observations // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* – 2015.–№134. –P. 1-8.

19. Somsikov V.M. Solar Terminator and Dynamic Phenomena in the Atmosphere: a review // *Geomagnetizm and Aeronomiya.* – 2011. – Vol. 51. – P. 707-71.

**Принято в печать 10.11. 2015**



**Zh. Sh. Zhantaev<sup>1</sup>, V.M. Somsikov<sup>2</sup>, A.B. Andreev<sup>2</sup>, B.T. Zhumabyev<sup>2</sup>, V.I. Kaputin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*JSC "National Center of Space Research and Technologies" (JSC NCSRT)*

<sup>2</sup>*"Institute of Ionosphere", JSC "National Center of Space Research and Technology" National Space Agency of the Republic of Kazakhstan, Almaty*

## **OPTICAL AND SATELLITE OBSERVATION OF ACOUSTIC-GRAVITY WAVES IN THE MESOSPHERE DURING SEISMO ACTIVITY**

**Abstract:** Fullfilled researches of the behavior of acoustic-gravity waves (AGW) on the heights of the mesosphere during periods of seismic activity. The observations of acoustic-gravity waves (AGW) were conducted for 5 years from 2010 to 2015 using a SATI (Spectral Airglow Temperature Imager) spectrometer. The features of the AGW spectrum in times of seismic activity have detected. In times of seismic activity we have detected amplification of AGW with typical periods of about 25 minutes. All of them correspond propagation velocity equal to about 1000 m / c. Moreover, there is an increase of the AGW with increasing seismic activity. Results of optical ground-based observations were compared with data of satellite optical observations MLS (Microwave Limb Sounder).

**Keywords:** acoustic-gravity waves, mesosphere, infrared glow of the sky.

**Ж.Ш. Жантаев<sup>1</sup>, В.М. Сомсиков<sup>2</sup>, А.Б. Андреев<sup>2</sup>, Б.Т. Жумабаев<sup>2</sup>, В.И.Капютин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*АО «НЦКИТ»*

<sup>2</sup>*ДТОО "Ионосфера Институты", АО «НЦКИТ», Алматы.*

## **ОПТИКАЛЫҚ ЖЕРСЕРІКТІ БАҚЫЛАУ НӘТИЖЕЛЕРІ БОЙЫНША СЕЙСМИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІК КЕЗІНДЕ МЕЗОСФЕРАДАҒЫ АКУСТИКА-ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ТОЛҚЫНДАР**

**Тңйін.** Сейсмикалық белсенділік кезеңдерінде мезосфера биіктігінде акустика-гравитациялық толқындар (АГТ) зерттелінді. АГТ-ды бақылау 2010 жылдан 2015 жылға дейін 5 жыл бойы SATI (Spectral Airglow Temperature Imager) спектрометрін көмегімен жүзеге асырылды. Сейсмикалық белсенділік кезеңдерінде АГТ-дың ерекшеліктері айқындалды. АГТ-дың сейсмикалық белсенділік кезеңдерінде шамамен 25 минут периодқа тән кезеңдермен күшейтілуі байқалады. Олардың барлығы 1000-ға жуық м/с-ке тең таралу жылдамдығымен сәйкес келеді. Сонымен қатар, сейсмикалық белсенділіктің артуына байланысты АГТ-дың өсуі байқалады. Оптикалық жерүсті бақылау нәтижелері MLS (Microwave Limb Sounder) спутниктік оптикалық бақылаулар деректерімен салыстырылды.

**Кілт сөздер:** акустикалық-гравитациялық толқындар, мезосфера, аспанның инфрақызылды жарқырауы.