

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

КОМПЛЕКСНОЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОБНАРУЖЕНИЮ ПРЕДВЕСТНИКОВ КАПЧАГАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В 2011 ГОДУ

Аннотация. Выполнено исследование по идентификации возможных предвестников Капчагайского землетрясения 2011 г. (mb 5,4) на основе комплексной системы, включающей в себя детекторы нейтронных потоков высоких (от сотен МэВ и выше) и низких (тепловых) энергий, сцинтилляционный гамма-детектор, регистратор атмосферного электричества, микробарограф, метеостанцию. Выявлены отличительные особенности изменений интенсивности потока тепловых нейтронов и гамма-излучения и тесные корреляции этих процессов между собой, а также аномальные явления во всплесках приземного атмосферного электричества и спектрах микропульсаций атмосферного давления накануне и во время землетрясения. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности экспериментального обнаружения предвестников землетрясения за 2-3 дня до начала активной тектонической деятельности.

Ключевые слова: землетрясение, тепловые нейтроны, атмосферное электричество, микропульсации атмосферного давления, гамма-излучение.

Тірек сөздер: жер сілкінісі, жылулық нейтрондар, атмосфералық электр, ауа қысымының микропульсациясы, гамма-сәулелену.

Keywords: earthquake, low-energy neutrons, gamma-radiation, microvariation of atmospheric pressure, local electric field.

Введение. В последние годы достигнут определенный прогресс в изучении краткосрочных предвестников катастрофических землетрясений [1, 2], но, тем не менее, эта тема остается предметом многочисленных исследований и дискуссий [3-5]. Практика показывает, что поведение вероятностных предвестников землетрясения и их прогностическая ценность варьируют в каждом отдельном случае, зависят от очага землетрясения, выбранных для мониторинга параметров и других условий. Для проверки гипотез и достижения обнадеживающих результатов в плане краткосрочного прогнозирования землетрясений желательно одновременно и непрерывно регистрировать широкий спектр геофизических, атмосферных и астрофизических параметров как накануне, так и во время землетрясения.

Согласно данным Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра 1 мая в 02 часа 31 мин. 29 сек. (UT) на территории Республики Казахстан произошло землетрясение класса 13,3 с магнитудой 5,4 и географическими координатами 43.63° СШ, 77.76° ВД. По локализации на южном побережье водохранилища г. Капчагай землетрясение названо «Капчагайским». Землетрясение с интенсивностью 4-5 баллов по шкале MSK-64 (К) ощущалось на расстоянии 80 км в крупном мегаполисе г. Алматы и, по

свидетельству очевидцев, сопровождалось гулом в различных районах города. За первые сутки после основного толчка сейсмической сетью станций НЯЦ РК было зарегистрировано 48 афтершоков. Результаты непрерывного мониторинга различных характеристик геофизической обстановки накануне, во время и после этого землетрясения проанализированы в настоящей работе.

Экспериментальные установки ДТОО «Институт ионосферы» расположены на двух площадках: на территории «Космостанции», на высоте 3340 м над уровнем моря, в 94,56 км от эпицентра землетрясения, и на радиополигоне «Орбита», на высоте 2750 м над ур. м., в 91.66 км от эпицентра и в 2,9 км от «Космостанции». Комплекс установок для регистрации физических параметров на «Космостанции» включает в себя детекторы нейтронных потоков высокой и низкой энергии (стандартный нейтронный супермонитор типа 18NM64, эффективно регистрирующий нейтроны и адроны космических лучей, и располагающийся рядом с ним низкороговый детектор нейтронов на основе пропорциональных счетчиков ПД631 с газовым наполнением ^3He ; гамма-детектор на основе сцинтилляционного кристалла NaI с разрешающей способностью от 20 до 1200 кэВ, установленный в одном помещении с нейтронными детекторами; метеостанцию стандартного типа. На территории радиополигона «Орбита» установлены прецизионный микробарограф «ISGM03» для регистрации микропульсаций атмосферного давления (МПАД) в диапазоне от долей Па до 100 Па и более и электрометр, способный регистрировать наведенное электричество от зарядов приземной атмосферы и электромагнитную составляющую, вызванную перемещением зарядов [6]. Для комплексного анализа полученной информации был разработан алгоритм, а также был создан специальный программный комплекс для последовательной фильтрации цифровых рядов и визуализации данных. Фильтрация проводилась цифровыми фильтрами с выделением низкочастотной (ФНЧ) и высокочастотной (ФВЧ) составляющих сигнала. В работе использовалась база данных ДТОО «Институт ионосферы» (www.ionos.kz) и Филиала Физического института им. П.Н.Лебедева Российской академии наук в Республике Казахстан (www.tien-shan.org).

Результаты исследования. Результаты измерения интенсивности потока тепловых нейтронов и гамма-квантов за 30 дней до начала и 26 дней после землетрясения представлены на рисунке 1. Наблюдения показали, что начиная с 29 апреля, интенсивность нейтронного потока заметно снижалась и 30 апреля достигла минимальных значений за апрель и май месяцы. Непосредственно перед первым сейсмическим толчком (магнитудой 5,34) произошла инверсия показателей с резким ростом интенсивности (рис. 1а) нейтронов низкой энергии. Аналогичное снижение интенсивности потока гамма-излучения началось на 1,5 суток раньше и достигло наименьших значений к началу землетрясения. После сейсмического толчка в 02:31:29 (UT) произошло резкое нарастание потока гамма-квантов. Наиболее наглядно снижение и инверсия показателей проявились в диапазоне энергий $E_\gamma > 400$ кэВ. Корреляционным анализом была выявлена высокая степень взаимного соответствия ($r = 0,938$) между изменениями потока тепловых нейтронов и интенсивности гамма-излучения высокой энергии ($E_\gamma > 400$ кэВ) в интервале с 29 апреля по 4 мая, причем во временной зависимости интенсивности гамма-излучения наблюдался опережающий сдвиг на 2 часа 42 мин. по отношению к потоку нейтронов. Аналогичные, хотя менее заметные изменения, отмечены в интенсивности общего потока гамма-квантов. Следует заметить, что в вариациях интенсивности нейтронов высокой энергии и адронов космических лучей, которые одновременно регистрировались на нейтронном супермониторе 18NM64 подобных эффектов не наблюдалось. Интенсивность

общего потока гамма-квантов и тепловых нейтронов оставалась несколько повышенной после основного сейсмического толчка, что, по-видимому, обусловлено серией повторяющихся на протяжении 1-4 мая афтершоков.

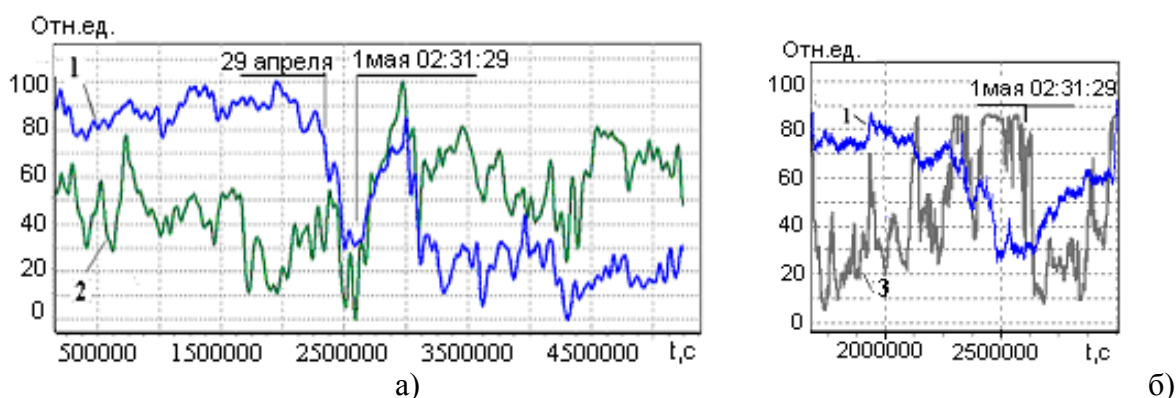


Рисунок 1 – Изменения интенсивности потоков гамма-квантов (1) и тепловых нейтронов (2),

относительная влажность воздуха (3) накануне и во время Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г.

По оси X – время от начала суток 1 апреля 2011 г. по времени UT в сек.

а) данные за апрель-май 2011 г. обработаны фильтром ФНЧ с постоянной времени 500 минут

Известно, что дождевые осадки, и особенно обильные, сопровождаются повышением локально-го уровня гамма-излучения [7]. Для того чтобы исключить влияние эффекта от осадков на измерения интенсивности гамма-излучения во временной окрестности землетрясения, было проведено сравнение полученных данных о гамма-излучении с измерениями влажности воздуха в промежутке между 29 апреля и 4 мая (рисунок 1б). При этом оказалось, что на протяжении периода высокой влажности после дождя, который прошел накануне землетрясения (27-30 апреля), интенсивность потока гамма-квантов снижалась, а во время ясной погоды (во время землетрясения и последующих афтершоков 1-4 мая), напротив, возрастала, то есть ее изменение в этот период было противоположным обычному. Для сравниваемых цифровых рядов коэффициент корреляции $r = -0,75$. Выявленная высокоамплитудная инверсия потока гамма-квантов накануне землетрясения была обнаружена лишь единожды за весь период наблюдений с января по июль 2011 г. Не исключено, что инверсия интенсивности гамма-излучения связана с особенностями эксгаляции радона, который рассматривается как индикатор напряженного состояния массива горных пород [8].

Интересно отметить, что с 30 апреля по 2 мая, то есть накануне и во время землетрясения, наиболее четко проявились суточные вариации интенсивности потока тепловых нейтронов (рисунок 2).

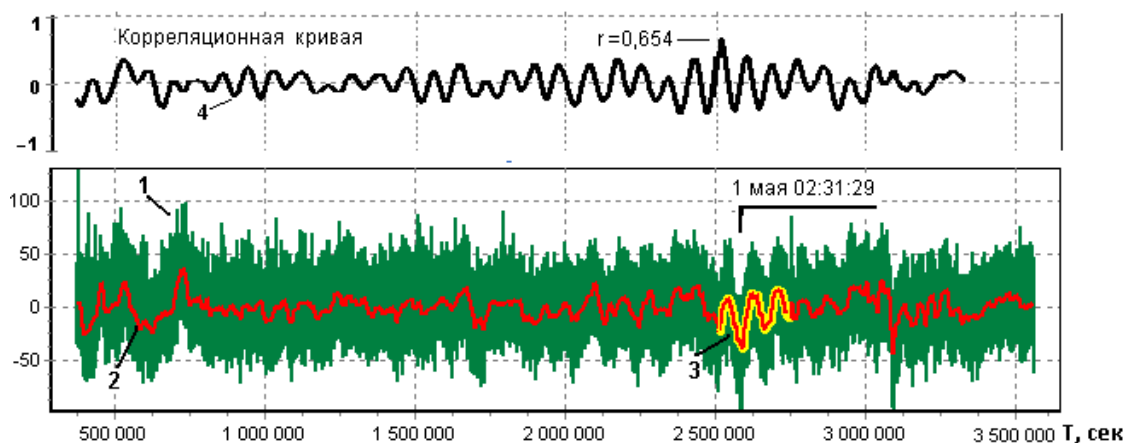


Рисунок 2 – Регистрация потока тепловых нейтронов на «Космостанции» в апреле-мае 2011 г.

По оси X – время от начала суток 1 апреля 2011 г. по времени UT в секундах.

Обозначения: вариации потока тепловых нейтронов после устранения низкочастотного дрейфа (1) с последующим осреднением графика (2); фрагмент графика с выраженной суточной ритмикой (3); корреляционная кривая (4)

Для корреляционного анализа выделен фрагмент суточных вариаций нейтронного потока за период с 30 апреля по 2 мая включительно. В указанный период времени выявлена наиболее высокая степень корреляции ($r = 0,654$) между выделенным фрагментом и общим потоком тепловых нейтронов, что хорошо видно на графике автокорреляционной функции. Коэффициенты корреляции вне этого периода значительно меньше.

Перед землетрясением были отмечены также аномальные эффекты в измерениях атмосферного электричества по данным электрометра на радиополигоне «Орбита» (рисунок 3). Ниже представлены два варианта обработки полученных данных. В первом варианте, для того чтобы просмотреть фон, который имеет малые значения, из исходного графика были убраны импульсные выбросы, возникшие перед землетрясением и, после устранения низкочастотного дрейфа, была проведена фильтрация по алгоритму скользящего среднего (рисунок 3а). На рисунке отчетливо видно, что возмущения в электрическом поле наблюдались за 1ч. 31мин. при первом землетрясении и за 1 ч 02 мин. при втором. Во втором варианте анализировалась импульсная активность электрического поля. Было выявлено, что импульсная активность электрического поля заметно повышается накануне и во время землетрясения (рисунок 3б). За несколько дней до землетрясения, начиная с 27 апреля, в атмосферном электричестве было зарегистрировано появление одиночных однополярных положительных импульсных выбросов длительностью 3-5 секунд с практически одинаковой амплитудой. 1 мая за 1,5 часа до землетрясения частота выбросов заметно увеличилась. Появление импульсных выбросов в атмосферном электричестве совпало с характерными изменениями интенсивности потока гамма-квантов и тепловых нейтронов.

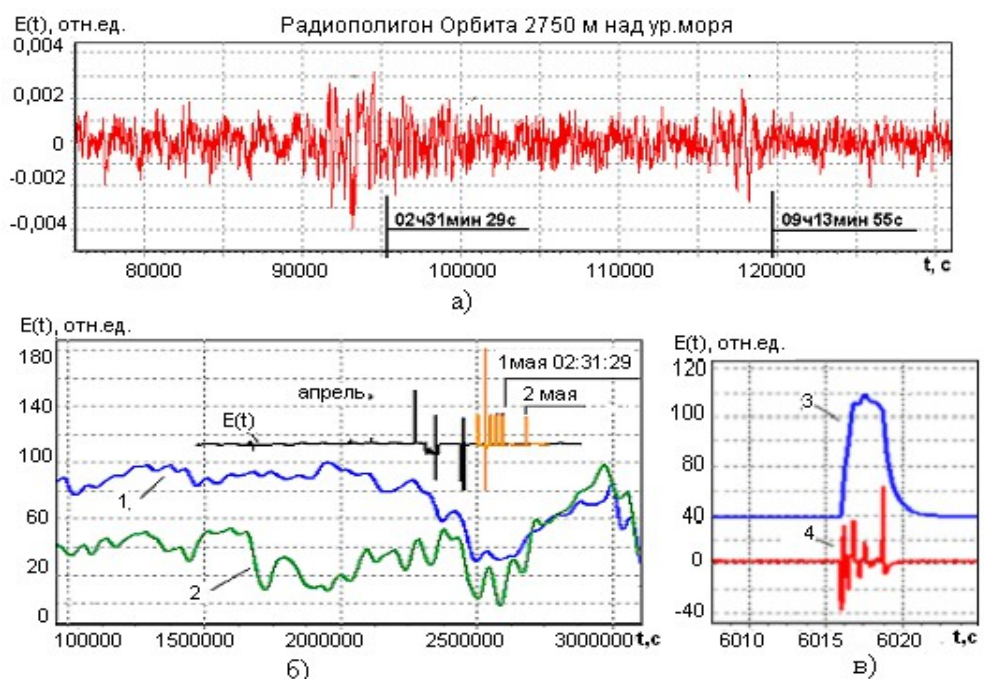


Рисунок 3 – Вариации атмосферного электричества на радиополигоне «Орбита» во время Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. в 02:31:29 и его афтершока 1 мая в 09:13:55.

По оси X – время от начала суток 30.04.2011 г. по времени UT в секундах.

а) – вариации атмосферного электричества после устранения дрейфа; б) – $E(t)$ - низкочастотная составляющая исходного электрического импульса, оранжевым цветом фрагмент $E(t)$ с 30 апреля по 2 мая включительно;

1- поток γ -квантов ($E > 400$ кэВ) и 2 – поток тепловых нейтронов после фильтрации ФНЧ с постоянной времени 500 мин.;

в) 3 – импульсный выброс; 4 - высокочастотная составляющая отдельного электрического импульса

За 40 минут до первого подземного толчка 1 мая серии однополярных положительных импульсов прекратились и повторились только накануне повторного землетрясения 2 мая. На рисунке 3б представлен отдельный такой выброс и его высокочастотная составляющая.

Для исследования акустического канала литосферно-атмосферных связей была выполнена ре-гистрация микропульсаций атмосферного давления. Важно отметить, что приведенные на графике измерения МПАД проходили в условиях хорошей погоды без осадков. Анализ колебаний динамического спектра МПАД показал существенное увеличение мощности в интервале частот от 0,0040 до 0,150 Гц (диапазон периодов 25 с - 6,6 с) и ее огибающей с началом сейсмической активности (рисунок 4).

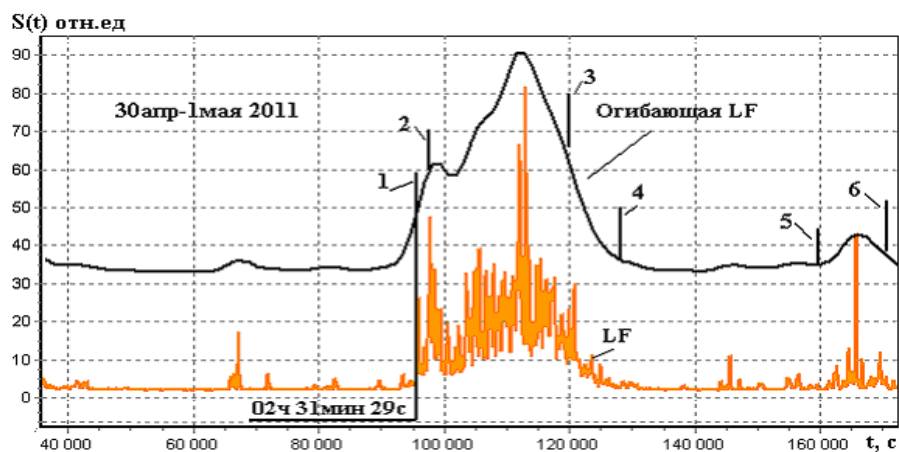


Рисунок 4 – Динамический спектр микропульсаций атмосферного давления приземной атмосферы

и его огибающая в диапазоне низких частот (LF 0,04-0,15 Гц) на радиополигоне «Орбита» накануне и

во время Капчагайского землетрясения. По оси X - время от начала суток 30 апреля 2011 г. по времени UT в сек.

1 – первый сейсмический толчок M=5,4. Последовательность афтершоков 1 мая:

2 - 03:05:50 M=3,6; 3 – 09:13:55 M=4,6; 4 – 11:37:08 M=4,4; 5 – 20:29:03 M=4,3; 6 - 23:27:26 M=3,8

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что спектральная мощность динамического спектра в указанном интервале частот начала возрастать за 1 час 18 минут до первого основного сейсмического толчка, что указывает на возможную связь инфразвука с подготовкой землетрясения. Следующие за основным толчком афтершоки землетрясения также внесли вклад в огибающую спектра МПАД. Акустический отклик может быть следствием газовых выделений из трещин литосферы при возрастании сейсмической активности, колебаний литосферных плит [9, 10] и рассматривается, как процесс подготовки крупных землетрясений.

Заключение. Выполнено исследование по идентификации возможных предвестников Капчагайского землетрясения 2011 г. (mb 5,4) с помощью комплекса детекторов, расположенных в 91- 96 км от эпицентра землетрясения. Выявлены аномальные изменения и корреляция динамики интенсивности потока нейтронов низкой энергии, гамма-излучения, приземного атмосферного электричества и микропульсаций атмосферного давления накануне и во время землетрясения. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности экспериментального обнаружения предшественников землетрясения за 2-3 дня до начала активной тектонической деятельности.

Работа выполнялась по РБП 002 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности в рамках темы «Исследовать особенности структуры,

ионосферы и вариаций космических лучей с целью диагностики околоземного космического пространства».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Hartmann J., Levy J.K. Hydrogeological and gasgeochemical earthquake precursors - A review for application // *Natural Hazards*. – 2005. – 34. – P. 279-304. doi:[10.1007/s11069-004-2072-2](https://doi.org/10.1007/s11069-004-2072-2).
- 2 Cicerone, R.D., Ebel J.E., Britton J. A systematic compilation of earthquake precursors // *Tectonophysics*. – 2009. – 476. – P. 371-396. DOI:10.1016/j.tecto.2009.06.008.019.
- 3 Uyeda, S., Nagao T., Kamogawa M. Short-term earthquake prediction: Current status of seismo-electromagnetics // *Tectonophysics*. 2009. 470. P. 205–213. DOI: 0.1016/j.tecto.2008.07.
- 4 Кузьмин Ю.Д. Регистрация интенсивности нейтронного потока на Камчатке в связи с прогнозом землетрясений // *Геофизический мониторинг Камчатки. Материалы науч.-техн. конф. 17-18 января, 2006 г.* – Петропавловск–Камчатский: ГС РАН, 2006. – С.149-156.
- 5 Ostapenko V.F., Krasnoperov V.A. Analysis of natural neutron flux in a seismically active zone // *Natural Hazards and Earth System Science*. – 2003. – 3(6). – P. 777-780.
- 6 Салихов Н.М., Дробжева Я.В., Краснов В.М., Жумабаев В.Т., Сомсиков В.М. Проявление сейсмической волны Капчагайского землетрясения в записях инфразвука и электрического поля // *Известия НАН РК*. – 2011. – № 4. – С. 129-135.
- 7 Salikhov N.M., Kryakunova O.N. Pak G.D., Chubenko A.P., and Shepetov A.L. An increase of the soft gamma-radiation background by precipitations // *Proceedings of the 32nd International Cosmic Ray Conference, China, Beijing, July*. – 2011. – Vol. 11. – P. 369-372.
- 8 Уткин В.И., Юрков А.К. Динамика выделения радона из массива горных пород как краткосрочный предвестник землетрясения // *Докл. РАН*. – 1998. – Т. 358, № 5. – С. 675-680.
- 9 Виноградов Ю.А. Инфразвуковой метод мониторинга природной среды. 2-ая регион. научно-техническая конференция // *Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Тез. докл. 2009*.
- 10 Сорока С.А., Калита Б.И., Мезенцев В.П., Каратаева Л.М. Инфразвук в атмосфере и его связь с космическими и геосферными процессами. // [Косм. дослідж. в Україні](#). – 2002-2004. – С. 26-33 (рус.).

REFERENCES

1 Hartmann J. and Levy J.K. Hydrogeological and gasgeochemical earthquake precursors - A review for application // Natural Hazards. 2005. 34. P. 279–304. doi:[10.1007/s11069-004-2072-2](https://doi.org/10.1007/s11069-004-2072-2)

2 Cicerone, R.D., J.E. Ebel, and J. Britton. A systematic compilation of earthquake precursors // Tectonophysics. 2009. 476. P.371–396. DOI:10.1016/j.tecto.2009.06.008.019.

3 Uyeda, S., T. Nagao, and M. Kamogawa Short-term earthquake prediction: Current status of seismo-electromagnetics // Tectonophysics. 2009. 470. P. 205–213. DOI: 0.1016/j.tecto.2008.07.

4 Kuzmin Y.D. Recording of the intensity of the neutron flux in Kamchatka due to earthquake prediction // Geophysical monitoring of Kamchatka. Proceeding of scientific and engineering conf. January 17-18, 2006 Petropavlovsk-Kamchatsky: GS RAS, 2006. P. 149-156.

5 Ostapenko V. F. and Krasnoperov V. A. Analysis of natural neutron flux in a seismically active zone // Natural Hazards and Earth System Science. 2003. 3(6). P. 777-780.

6 Salihov N.M., Drobzheva Ya.V., Krasnov, V.M., Zhumabaev B.T., Somsikov V.M. The manifestation of the seismic wave from Kapchagai earthquake in infrasound recordings of the electric field. // Proceedings of the National Academy of Sciences of Kazakhstan, 2011. N. 4. P. 129-135.

7 Salikhov N.M., Kryakunova O.N. Pak G.D., Chubenko A.P., and Shepetov A.L. An increase of the soft gamma-radiation background by precipitations // Proceedings of the 32nd International Cosmic Ray Conference, China, Beijing, July. 2011. V.11. P. 369-372.

8 Utkin V.I., Jurkov A.K. Dynamics of radon emission from solid rock as a short-term precursor of earthquakes // Reports of RAS. 1998. V. 358, N 5. P. 675-680.

9 Vinogradov Yu.A. Infrasound monitoring method of the natural environment. Second region Science and Technology Conference // Problems of complex geophysical monitoring of the Far East of Russia. Book of abstracts. 2009.

10 Soroka S.A., Kalita B.I., Mezentcev V.P., Karataeva L.M. Infrasound in the atmosphere and its relation to space and the geosphere processes. // Space Research in Ukraine. 2002-2004. P. 26-33.

Резюме

Н. М. Салихов, Г. Д. Пак, О. Н. Крякунова

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

2011 ЖЫЛҒЫ ҚАПШАҒАЙ СІЛКІНІСІНІҢ АЛҒАШҚЫ ЖАРШЫЛАРЫН ТАБУ
БОЙЫНША

КЕШЕНДІ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ

Биік (МэВ жүздіктерінен жоғары) және төмен (жылулық) энергиялар нейтрон ағындарының детектор-лары, сцинтилляциялық гамма-детектор, атмосфералық электрдің тіркеушісі, микробарограф, метеостан-цияда тұратын кешенді жүйе негізінде 2011 жылғы Қапшағай жер сілкінісі мүмкін жаршы (mb 5,4) идентификациясы бойынша зерттеу атқарылған. Жылулық нейтрондар және гамма-сәулелену ағынының қарқындылығы өзгерістерінің айырмашылығы ерекшеліктері және бұл процестердің өзара байланыстары, сонымен бірге жер сілкінісі қарсаңында және уақытында жерге жақын атмосфералық электр шашырауын-дағы және ауа қысымының микропульсациясы спектрлерінде аномальдық құбылыстар анықталған. Алынған нәтижелер белсенді тектоникалық іс-әрекеттің басталуына 2-3 күн бұрын жер сілкінісінің алғашқы жаршы-ларын табудың эксперименталдық болашағы туралы куәландырады.

Тірек сөздер: жер сілкінісі, жылулық нейтрондар, атмосфералық электр, ауа қысымының микропульсациясы, гамма-сәулелену.

Summary

N. M. Salikhov, G. D. Pak, O. N. Kryakunova

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

THE COMPLEX GEOPHYSICAL STUDY OF THE KAPCHAGAYSKY 2011 EARTHQUAKE PRECURSORS

A search for the possible precursors of Kapchagaysky earthquake and its effect on the data series of diverse geophysical parameters has been made in the mountains of Northern Tien Shan. The complex installation included the 18NM64 type neutron supermonitor, detectors of the environmental low-energy neutrons, the scintillation gamma-detector, the sensor of the local electric field, the microbarograph, a seismograph, and a weather-station. The specialized data filtration methodic was elaborated with an enhanced sensitivity to transient signals of seismic origin. On the eve of, and after a 5.4 magnitude earthquake the fine features in temporal behavior of the intensity of low-energy neutron and gamma-radiation background, so as irregularities of the local electric field and peculiarities in the spectrum of the microvariation of atmospheric pressure were detected which seem to be in a close correlation with each other. These results may be an evidence of the possibility of experimental identification of earthquake's precursors in the time up to 2-3 days before the beginning of a period of intensive tectonic activity.

Keywords: earthquake, low-energy neutrons, gamma-radiation, microvariation of atmospheric pressure, local electric field.

Поступила 2.09.2013г.