**N E W S**
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
**PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES**
ISSN 1991-346X
Volume 3, Number 307 (2016), 20 – 26

UDC 524.1; 551.521.64

# EFFECTS OF EARTHQUAKES IN VARIATIONS OF THERMAL NEUTRONS INTENSITY AT THE HIGH ALTITUDE STATION OF NORTHERN TIEN-SHAN

**V.P. Antonova[1], S.V. Kryukov[1], V.Yu. Lucenko[1], A.P. Chubenko[2]**

[1]Institute of Ionosphere» JSC «National Center of Space Research and Technology», Almaty;
[2]P.N. Lebedev Physical Institute, Moscow
valanta@rambler.ru

**Key words:** cosmic rays, thermal neutrons, seismic activity

**Abstract.** The results of the study of thermal-energy neutrons variations of the intensity at the high altitude cosmic ray station of Institute of Ionosphere (3340 m above sea level, 43.02 N, 76.56 E), located in mountains of the Northern Tien-Shan near the earth's crust are presented. It is shown that in the absence of seismic activity, variations of thermal neutrons are of the same nature as the high-energy neutrons. Behaviour of the intensity of thermal and fast neutrons during periods of seismic processes activization in the vicinity of Almaty are considered. Increase of thermal neutrons flux per 5ч8 % above the average level are observed during earthquakes more than for 60% events. Increase of thermal neutrons flux before earthquakes are observed for ~ 25-30 % events only. The method of separating of thermal neutrons flux of the lithospheric origin from variations of the atmospheric and interplanetary origin is offered.

УДК 524.1; 551.521.64

# ЭФФЕКТЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ВАРИАЦИЯХ ИНТЕНСИВНОСТИ НЕЙТРОНОВ ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГИЙ НА ВЫСОКОГОРНОЙ СТАНЦИИ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

**В.П. Антонова[1], С.В. Крюков[1], В.Ю. Луценко[1], А.П. Чубенко [2]**

[1]ДТОО «Институт ионосферы» АО «НЦКИТ», .Алматы,
[2]Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва

**Ключевые слова:** космические лучи, тепловые нейтроны, сейсмическая активность.

**Аннотация:** Представлены результаты исследования вариаций интенсивности нейтронов тепловых энергий на высокогорной станции космических лучей Института ионосферы (3340 м над уровнем моря, 43.02 N, 76.56 E), расположенной в горах Северного Тянь-Шаня вблизи разлома земной коры. Показано, что в отсутствие сейсмической активности вариации тепловых нейтронов имеют ту же природу, что и высокоэнергичные нейтроны. Рассмотрено поведение интенсивности тепловых и быстрых нейтронов в периоды активизации сейсмических процессов в окрестности Алматы. Наблюдается увеличение потока тепловых нейтронов на 5-7% от фона во время землетрясений для более 60% событий. Увеличение потока тепловых нейтронов литосферного происхождения накануне землетрясений происходит в 25-30% событий. Предложен способ выделения вариаций тепловых нейтронов литосферного происхождения от вариаций атмосферного и межпланетного происхождения.

**Введение**

Регистрация нейтронной компоненты космических лучей на мировой сети станций осуществляется преимущественно нейтронными мониторами на основе пропорциональных счетчиков, в состав газового наполнения которых входит трехфтористый бор, обогащенный изотопом $^{10}$**B.** Эффективность счета определяется вероятностью захвата нейтрона ядрами бора. Она максимальна для нейтронов тепловых энергий. Нейтронные мониторы предназначались, главным образом, для исследования космического пространства за пределами земной атмосферы. Для отражения тепловых и замедления быстрых нейтронов счетчики окружены полиэтиленом, а для увеличения скорости счета за счет локальной генерации нейтронов, - свинцом [1].

Измерения нейтронов тепловых энергий до недавнего времени носили эпизодический характер. Интерес к ним возрос после обнаружения всплесков нейтронов тепловых энергий на Памире во время экстремального гравитационного воздействия на земную кору со стороны Луны и Солнца (новолуние, полнолуние, солнечные затмения, землетрясения) [2-4]. Полагается, что земная кора, испытывая механическое воздействие, вытесняет накопившееся запасы радиоактивных газов изотопов радона. В процессе радиоактивного распада образуются альфа-частицы, которые активно взаимодействуют с ядрами элементов земной коры и воздуха с возникновением нейтронов. В сейсмически активных районах, к которым относится Тянь-Шань, обнаруженное явление можно использовать для разработки методов прогноза землетрясений. Однако сведения о величине вариаций тепловых и медленных нейтронов и источниках, вызывающих их, далеко неоднозначны.

Нами на высокогорной станции космических лучей (3340 м над уровнем моря, 43,2N; 76,6E) вблизи разлома земной коры была создана стационарная установка по регистрации тепловых нейтронов, которая была запущена в эксплуатацию в ноябре 2006 г. В настоящей работе представлены некоторые результаты исследования природы вариаций интенсивности тепловых нейтронов, регистрируемых созданной установкой в различных гелиогеофизических условиях, включая периоды активизации сейсмических процессов на Северном Тянь-Шане.

**Экспериментальная установка**

Детектор тепловых нейтронов, DTN, состоит из двух модулей. Каждый модуль содержит 6 пропорциональных счетчиков He2, наполненных смесью газов гелия-3 и аргона под давлением 2 атм. Собственный фон счетчиков составляет не более 0,2 имп/с. Длина счетчиков ~ 1 м, диаметр трубки – 3 см. Рабочее напряжение 1600 В подается на счетчики через высоковольтные фильтры. Счетчики заземлены через корпус модуля, выполненного из листового алюминия толщиной 1мм. Эффективность регистрации тепловых нейтронов ~ 60%. Как показала практика эксплуатации счетчиков, они стабильны в работе. Один модуль, DTN-1, установлен в одном помещении с нейтронным супермонитором 18NM64. Второй модуль, DTN-2, установлен в 10 м от здания в легком фанерном контейнере на высоте ~ 30 см от грунта. Модули разделены по питанию и являются независимыми. Банк данных формировался на жестком диске компьютера с одноминутным временным разрешением отдельно по каждому каналу (счетчику), что позволяло эффективно отслеживать аппаратурные погрешности. Скорость счета модуля, установленного внутри здания, ~ $6{,}8\cdot10^4$ имп/час, а внешнего ~ $4{,}9\cdot10^4$ имп/час.

Принципиальное отличие установки по регистрации тепловых нейтронов от нейтронного монитора заключается в отсутствии поглотителя (полиэтилена) и свинца. Размещение установок на одной площадке дает возможность сравнивать изменения потока тепловых нейтронов с хорошо изученными вариациями высокоэнергичных нейтронов, регистрируемых стандартным нейтронным монитором 18NM64. Данные монитора имеют высокую статистическую точность, скорость счета ~ $5\cdot10^6$ имп/час. Вариации интенсивности высокоэнергичных нейтронов отражают главным образом возмущения межпланетного происхождения и изменения атмосферного давления. Рассмотрим последовательно отклик гео- и космофизических событий в вариациях потока тепловых нейтронов и сравним с вариациями данных стандартного нейтронного монитора.

**Вариации атмосферного давления**

Барометрический коэффициент, применяемый при коррекции данных нейтронного монитора на изменение атмосферного давления, составляет 0,72 %/мб. Такой же коэффициент должен быть и у тепловых нейтронов атмосферного происхождения. На рис. 1 (сверху вниз) представлены часовые значения за период с16 марта по 13 апреля 2015г атмосферного давления, данных нейтронного монитора 18NM64, интенсивности тепловых нейтронов от детекторов DTN2 и DTN1. На левой панели интенсивность нейтронов не исправлена на изменения давления, а на правой панели исправлена. Интенсивность нейтронов приведена в процентах к среднему значению.

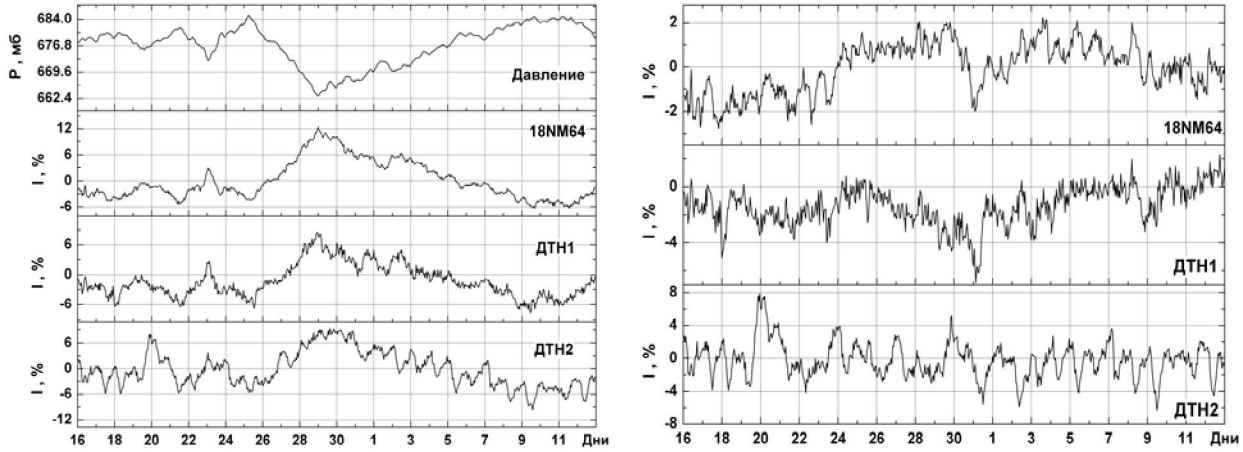


Рисунок 1 – Часовые значения атмосферного давления, нейтронного монитора 18NM64, внутреннего детектора тепловых нейтронов DTN1, наружного детектора тепловых нейтронов DTN2 за период с16 марта по 13 апреля 2015г.

Явно видно, что вариации интенсивности нейтронов подобны на всех графиках, независимо от регистрируемой энергии. Одинаковым образом все детекторы реагируют на изменение атмосферного давления; рост давления приводит к уменьшению скорости счета как высокоэнергичных нейтронов, так и тепловых нейтронов внутри и снаружи здания. Уменьшение давления приводит к обратному эффекту в интенсивности нейтронов. Нами были рассчитаны коэффициенты корреляции между рядами данных детекторов тепловых нейтронов и нейтронного супермонитора. Для детекторов внутри здания коэффициент корреляции К = 0,97 и К = 0,84 для наружного модуля DTN2 и нейтронного монитора.

Высокие коэффициенты корреляции и подобие отклика на изменение атмосферного давления дают основания сделать заключение об атмосферном происхождении регистрируемых нейтронов и использовать известную формулу коррекции данных нейтронного монитора на давление также и для данных детекторов тепловых нейтронов.

**Вариации межпланетного происхождения**

Известно, что выброс солнечной плазмы с вмороженным магнитным полем образует ударную волну в межпланетном пространстве, которая действует как гигантский поршень «выметая» галактические космические лучи. Наземные нейтронные мониторы регистрируют в это время понижение интенсивности космических лучей, форбуш-эффект. На рисунке 2 представлены значения скорости солнечного ветра, межпланетного магнитного поля, нейтронного монитора 18NM64, детектора тепловых нейтронов DTN2, детектора тепловых нейтронов DTN1 в декабре 2006 г (левая панель) и феврале 2011г (правая панель). Значения интенсивности высокоэнергичных нейтронов (18NM64) и тепловых (DTN1, DTN2) откорректированы на изменения атмосферного давления.

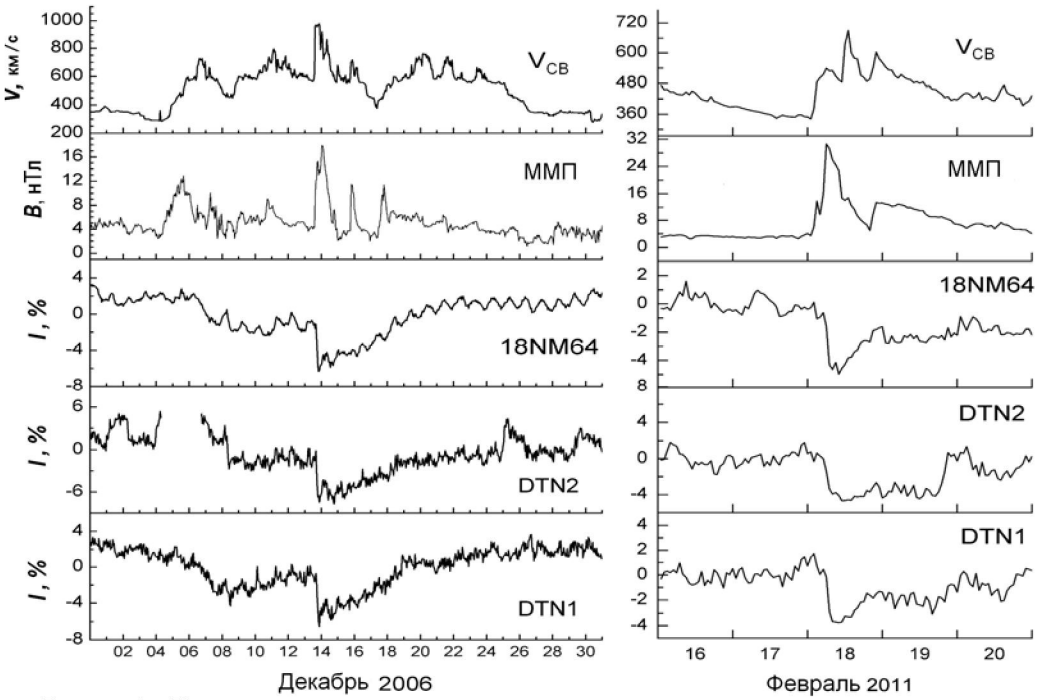


Рисунок 2 – Часовые значения скорости солнечного ветра, межпланетного магнитного поля, нейтронного монитора 18NM64, детекторов тепловых нейтронов DTN2 и DTN1

Вспышка 5 декабря 2006 г. класса X9.0/2N произошла на восточном лимбе в 10:35 UT. Она сопровождалась выбросом корональных масс (ВКМ) и возмущением межпланетного магнитного поля. Понижение интенсивности нейтронной компоненты космических лучей на высокогорной Тянь-Шаньской станции начинается 7-го декабря и наблюдается во всех детекторах, регистрирующих нейтроны разных энергий. Максимальная величина понижения ~ 3%. Вспышка 13 декабря в 02:40 UT с координатами S06W24 класса X3.4/4b произошла на западной части солнечного диска и также сопровождалась выбросом корональных масс типа «полного гало». Ударная волна достигла окрестности Земли 14 декабря. Космическими аппаратами зарегистрированы в это время высокие значения скорости солнечного ветра, ~ 1000 км/с, рис. 2 (верхний на левой панели), а также значительное увеличение (скачком) значений межпланетного магнитного поля. На рисунке наблюдается одинаковый отклик и на это возмущение в межпланетном пространстве во всех представленных детекторах резким падением интенсивности ~ 6%. Медленное восстановление интенсивности происходит также синхронно во всех детекторах. Характер отклика интенсивности нейтронов на возмущение в межпланетном пространстве в феврале 2011, правая панель рис.2, идентичен рассмотренным.

Рассчитаны коэффициенты корреляции между рядами данных детекторов тепловых нейтронов и нейтронного супермонитора за периоды, включающие события ВКМ. Коэффициент корреляции **К = 0,98** для детекторов внутри здания и **К = 0,89** для наружного модуля DTN2**.** Столь высокие значения коэффициента корреляции говорят о том, что источники модуляции интенсивности тепловых нейтронов и интенсивности, регистрируемой нейтронным супермонитором, в этот период одни. Полученный результат подтверждает наше заключение, что тепловые нейтроны, регистрируемые детекторами DTN1 и DTN2, генерированы главным образом в атмосфере галактическими космическими лучами, а не в земной коре. Однако обратим внимание на всплеск интенсивности 25 декабря во внешнем детекторе на рисунке 2 (левая панель), который мы рассмотрим подробнее в следующем разделе.

**Анализ результатов измерений во время сейсмической активности**

Двадцать пятого декабря 2006 г в 20:01 по Гринвичу (UT) произошло землетрясение в 146 км на юго-запад от Алматы. По данным Казахстанского Национального Центра сейсмических данных (KNDC), магнитуда землетрясения 5.95, энергетический класс К=14.2. В Алматы землетрясение

ощущалось с интенсивностью 4-5 баллов. На рис. 3 пунктирной линией на графиках отмечено время землетрясения.

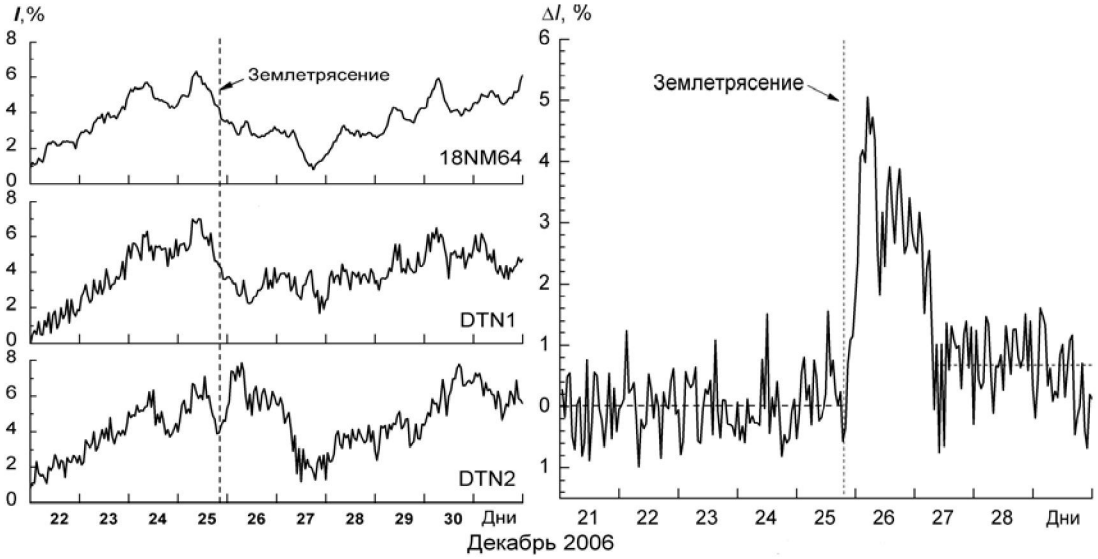


Рисунок 3 – Интенсивность высокоэнергичных (18NM64) и тепловых нейтронов без коррекции на атмосферное давление до и после землетрясения в декабре 2006г (слева), выделенный поток тепловых нейтронов литосферного происхождения (справа)

На всех детекторах до момента землетрясения вариации интенсивности независимо от энергии нейтронов совершенно аналогичны, левая панель рис.3, что подтверждается очень высокими коэффициентами корреляции. Для, DTN1 – 18NM64 он равен **0,98,** а для DTN2 - 18NM64 – **0,97.** В данных нейтронного монитора 25 декабря наблюдается спад интенсивности, который продолжается до 27 декабря. На нижнем графике, где представлены данные наружного детектора тепловых нейтронов, совершенно иная ситуация; точно в момент землетрясения начинается подъем интенсивности на 5-6%. После землетрясения нарушается корреляция данных внешнего детектора с нейтронным монитором, К = 0,57. Точное совпадение времени землетрясения с увеличением потока тепловых нейтронов на внешнем детекторе, нарушение корреляции с данными нейтронного монитора, увеличение в фазе с атмосферным давлением при отсутствии возмущений межпланетной среды говорят о принципиальном различии источника дополнительного потока нейтронов в детекторе DTN2 во время землетрясения с источниками вариаций, рассмотренных выше. Нами полагается, что источником дополнительного потока тепловых нейтронов в этом событии является земная кора. Землетрясение вызвало значительный выход радона за счет деформаций разломов в земной коре или образование микротрещин. И то и другое приведет к генерации дополнительного потока тепловых нейтронов литосферного происхождения.

*Выделение потока тепловых нейтронов литосферного происхождения от вариаций нейтронов, образованных в атмосфере.* Учитывая, что вероятность регистрации нейтронным монитором тепловых нейтронов крайне мала, меньше 0,01, а вариации атмосферного и межпланетного происхождения аналогичны во всех детекторах, вычтем из данных детектора тепловых нейтронов DTN2 данные нейтронного монитора после их нормирования. Таким образом мы исключаем общие вариации. На рис.3 справа представлен результат этой операции. Видно, что в интенсивности отсутствуют низкочастотные тренды, суточные вариации нейтронов, которые видны на рисунке рядом в этот период. Однако очевидно возрастание более чем на 5% потока тепловых нейтронов в первые часы после землетрясения. Дополнительный поток нейтронов поступал в течение ~1,5 суток. На способ выделения тепловых нейтронов литосферного происхождения получен инновационный патент [5].

Рассмотренное событие не уникально. За период работы детекторов тепловых нейтронов, 2006 – 2015гг, на основе наблюдений Казахстанского Национального Центра сейсмических данных (сайт:www.kndc.kz), были выбраны 24 события с землетрясениями в окрестности Алматы интенсивностью ≥ 3б. Рассмотрены изменения интенсивности потока тепловых и быстрых нейтронов в эти периоды. Отмечается увеличение потока тепловых нейтронов для более 60% событий.

На рис. 4 представлены вариации потока тепловых нейтронов (ДТН1) и высокоэнергичных (18NM64) для периода активизации сейсмической активности 1-2 ноября 2008 г (левая панель) и серии землетрясений 1-2 мая 2011 г (правая панель). В обоих событиях наблюдается увеличение потока тепловых нейтронов по сравнению с высокоэнергичными нейтронами. В мае 2011г вариации тепловых нейтронов отличные от высокоэнергичных начинаются за 2 суток до серии землетрясений, а в ноябре 2008г, - сразу после первого толчка. Событий с увеличением потока тепловых нейтронов накануне землетрясений гораздо меньше, ~ 25-30%.

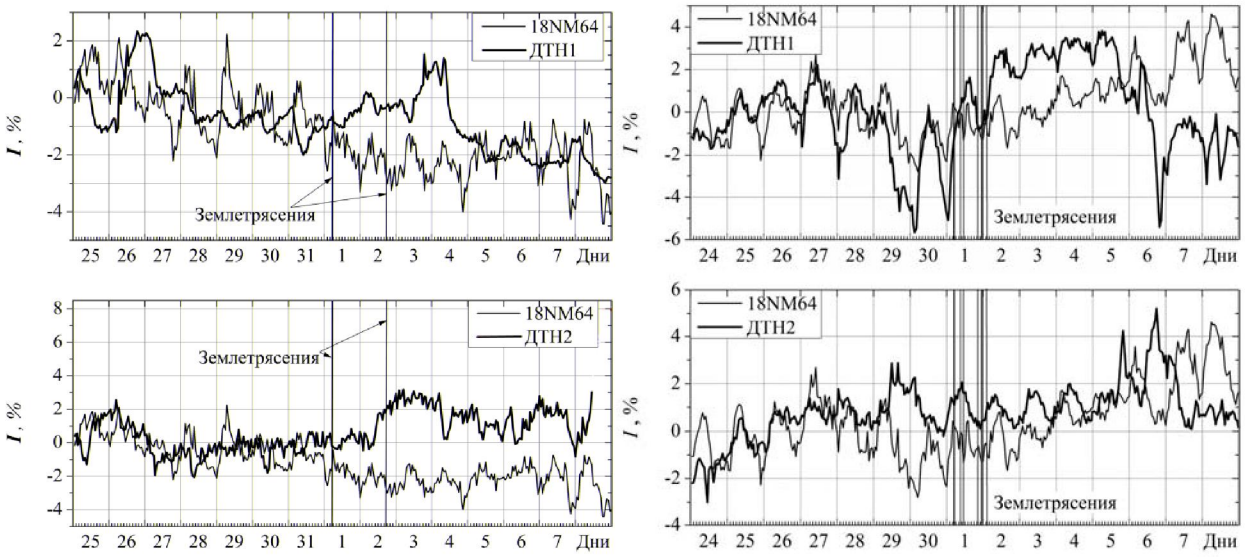


Рисунок 4 – Интенсивность высокоэнергичных (18NM64) и тепловых нейтронов во время сейсмической активности 1-2 ноября 2008 г.(слева), 1-2 мая 2011 г. (справа). Вертикальные линии соответствуют моментам землетрясений

**Заключение**

Таким образом, установлено, что в отсутствие сейсмической активности вариации тепловых нейтронов, регистрируемые на поверхности земли, имеют ту же природу, что и высокоэнергичные нейтроны. Наблюдается увеличение потока тепловых нейтронов во время землетрясений для более 60% событий. Увеличение потока тепловых нейтронов литосферного происхождения накануне землетрясений происходит в 25-30% событий. Величина потока нейтронов литосферного происхождения не превышает 5-7% от фона. Предложен способ их выделения.

*Работа выполнена по РБП-076 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности, транспорта и коммуникаций» в рамках целевой программы «Развитие методов мониторинга и исследований космического пространства на базе современных информационных технологий» (Шифр О.0674), подпрограмма 2. «Развитие методов исследования ближнего космоса с использованием информационных технологий»:*

*- тема «Изучить механизмы взаимосвязи вариаций геофизических параметров на земной поверхности и в верхних слоях атмосферы, обусловленных источниками земного и космического происхождения», Регистрационный номер (РН) 0115РК01274.*

*«Изучить механизмы взаимосвязи вариаций геофизических параметров на земной поверхности и в верхних слоях атмосферы, обусловленных источниками земного и космического происхождения».*

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Дорман Л.И. Вариации галактических космических лучей, М.: Изд-во МГУ, 1975.

[2] Володичев Н.Н, Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю., Панасюк М.И., Шаврин П.И. Явление возникновения всплесков интенсивности нейтронов во время фаз новолуний и полнолуний. Космические исследования, 1977, Т.35, №2, С. 144-154.

[3] Антонова В.П., Володичев Н.Н., Крюков С.В., Чубенко А.П., Щепетов А.Л. Отклик солнечных затмений в вариациях потока нейтронов на Земле, Известия РАН, Сер. Физическая, 2007, № 7, С. 1082-1085.

[4] Volodichev N.N., Zakharov V.A., Kuzhevskij B.M., Nechaev O.Yu., Podorolski A.N., Chubenko A.P., Shepetov A.L. and V.P. Antonova. The flows of neutrons of space radiation and from terrestrial crust, Proc. of 27th ICRC, 2001, Germany, Hamburg, P. 4204-4207.

[5] Антонова В.П., Крюков С.В., Чубенко А.П., Щепетов А.Л. Способ обнаружения и регистрации тепловых нейтронов. Инновационный Патент на изобретение №24139 РК. -2011. (19)KZ, (13)A4, (11)24139.

## REFERENCES

[1] Dorman L.I. Variatsii galakticheskikh kosmicheskikh luchei. M.: Izd-vo MGU, **1975** (in Russ.).

[2] Volodichev N.N, Kuzhevskii B.M., Nechaev O.Iu., Panasiuk M.I., Shavrin P.I. Iavlenie vozniknoveniia vspleskov intensivnosti neitronov vo vremia faz novolunii i polnolunii. *Kosmicheskie issledovaniia,* **1977**, T. 35, №2, S. 144-154 (in Russ.).

[3] Antonova V.P., Volodichev N.N., Kriukov S.V., Chubenko A.P., Shchepetov A.L. Otklik solnechnykh zatmenii v variatsiiakh potoka neitronov na Zemle. *Izvestiia RAN, Ser. Fizicheskaia,* **2007**, № 7, S. 1082-1085 (in Russ.).

[4] Volodichev N.N., Zakharov V.A., Kuzhevskij B.M., Nechaev O.Yu., Podorolski A.N., Chubenko A.P., Shepetov A.L. and V.P. Antonova. The flows of neutrons of space radiation and from terrestrial crust. *Proc. of 27th ICRC*, **2001**, Germany, Hamburg, P. 4204-4207 (in Eng.).

[5] Antonova V.P., Kryukov S.V., Chubenko A.P., Shepetov A.L. Sposob obnaruzheniia i registratsii teplovykh neitronov. Innovatsionnyi Patent na izobretenie №24139 RK. 2011. (19)KZ, (13)A4, (11)24139.

## СОЛТҮСТІК ТЯНЬ-ШАНЬНЫҢ БИІК ТАУЛЫ БЕКЕТТЕРІНДЕГІ ЖЫЛУ ЭНЕРГИЯСЫ НЕЙТРОНДАР ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫНА ЖЕР СІЛКІНІСТЕРІНІҢ ӘСЕРІ

**В.П. Антонова[1], С.В. Крюков[1], В.Ю. Луценко[1], А.П. Чубенко [2]**

[1] ЕЖШС «Ионосфера институты» «Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы» АҚ, Алматы;
[2]Ресей ғылым академиясы Физика Институты, Ресей, Мәскеу

**Түйін сөздер:** ғарыштық сәуле, жылу нейтрондары, сейсмикалық белсенділік.

**Аннотация.** Солтүстік Тянь-Шань тауларындағы (теңіз деңгейінен жоғары 3340 м, 43.02 N, 76.56 E) биік таулы ғарыштық сәулелер бекеттеріндегі жер қыртысы жарықтар аймағындағы **жылу энергиясы нейтрондар қарқындылығын зерттеу нәтижелері ұсынылды.** Сейсмикалық белсенділік болмаған кезде, жылу нейтрондарының вариациясы жоғары энергиялы, мониторлық стандартты нейтрондарды тіркеу табиғатына ие екені көрсетілді. Алматы аймағындағы сейсмикалық үрдістердің жандану кезеңіндегі нейтрондардың жылдамдығы мен жылу ағыны қарқынының өзгерістері қарастырылды. Литосфералық пайда болудағы жылу нейтрондар ағынын тіркеу мүмкіндігі туралы қорытындылар жасалынды. Сейсмикалық белсенділіктің жоғарылау уақытындағы 5ч8% орташа деңгейдегі жылу нейтрондар ағынының артуы бақыланды. Бір уақытта жоғары энергиялық нейтрондарды тіркеуді қолдану арқылы планета аралық пайда болу мен атмосфералық вариациядан литосфералық пайда болудағы жылу нейтрондар ағынын бөлу тәсілі ұсынылды.

*Поступила 17.06.2016 г.*