ФИЗИКА ЗЕМЛИ, АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

Тепловые нейтроны от поверхности Земли во время кульминаций Луны и Солнца в дни новолуний и полнолуний

Н. Н. Володичев[a], О. Ю. Нечаев, Е. А. Сигаева[b]

Научно исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ). Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.
E-mail: [a] nnvol@srd.sinp.msu.ru, [b] belka@srd.sinp.msu.ru

Статья поступила 12.12.2012, подписана в печать 18.02.2013.

Сопоставляются времена возрастаний потока тепловых нейтронов от Земли со временем прохождения Луны и Солнца через долготы мест, в которых велись измерения 26 июля 1991 г., 27 июля 1991 г., 12 июля 1995 г., 29 июля 1996 г. и 21 июля 1997 г. (верхняя или нижняя кульминация Луны и Солнца). Полученные результаты подтверждают роль приливных сил в образовании потоков нейтронов от земной поверхности. В работе использовались Астрономические ежегодники Российской академии наук за соответствующие годы.

Ключевые слова: приливные волны, новолуния, полнолуния, тепловые нейтроны, кульминации Луны и Солнца.

УДК: 581.621.6; 550.343; 550.34; 523.3; 521.81. PACS: 91.10.Tq.

Введение

В 1990-е гг. на Памире на высоте 4200 м над уровнем моря проводились измерения потока тепловых нейтронов вторичного космического излучения. Использовались счетчики СНМ-18, наполненные гелием-3 под давлением 4 атм и предназначенные для регистрации нейтронов тепловой энергии. Сечение захвата тепловых нейтронов ядрами гелия-3 составляет ~ 5400 барн. Направленность потока нейтронов определялась с помощью листового кадмия толщиной в 1 мм. Кадмий такой толщины практически полностью поглощает падающий на него поток тепловых нейтронов: сечение поглощения тепловых нейтронов кадмием ~ 2600 барн. Листовой кадмий поочередно помещался сверху счетчиков, снизу и одновременно сверху и снизу.

В 1990–1991 гг. неожиданно было обнаружено резкое возрастание потока тепловых нейтронов, идущего от Земли, в дни новолуния и полнолуния и в дни, близкие к этим дням, когда через данную местность проходила приливная гравитационная волна с максимальной амплитудой. Возрастания потока нейтронов наблюдались днем и ночью во время, близкое ко времени пересечения Луной и Солнцем местного меридиана, т. е. вблизи верхней или нижней кульминации Луны и Солнца. Длительность нейтронных всплесков составляла 2–3 ч. Амплитуда возрастания интенсивности нейтронного излучения порой превышала нейтронный фон в десятки раз. Был предложен возможный путь образования нейтронных всплесков. При прохождении приливной волны и связанном с этим механическом воздействии на породы в разломах земной коры горной местности происходит деформация разломов земной коры. В этом случае на поверхность Земли может поступать дополнительное количество запасенного радиоактивного газа (главным образом радона). В результате ядерных взаимодействий, возникших при радиоактивном распаде альфа-частиц с элементами земной коры и воздуха, образуются нейтроны [1-4].

В итоге наших исследований экспериментально установлено, что во время новолуний и полнолуний в горной, сейсмически активной местности появляются всплески интенсивности нейтронов.

Приливные силы вместе с тем могут являться триггерным механизмом, дающим начало сейсмической активности в том или ином районе Земли [5, 6]. Изучение нейтронных всплесков и их корреляции с сейсмической активностью поэтому может привести к появлению нового типа предвестников возрастания сейсмоактивности. Используя Глобальную базу данных (Global Hypocenter Data Base, v. 3.0, подготовлена в Национальном центре информации о землетрясениях Геологической службы США и предоставлена Всемирным центром данных Б по физике твердой Земли) для землетрясений с магнитудой $m > 4$, имевших место в 1964–1992 гг., нам удалось обнаружить двухнедельную лунную периодичность, связанную с фазами новолуния и полнолуния, в районе Тихоокеанского сейсмического кольца севернее 40° с.ш. и южнее 10° ю.ш., что существенно расширило географию областей, сейсмическая активность которых коррелирует с фазами Луны [7, 8]. Датский ученый Flemming Bo Pedersen использовал эти работы в своем обзоре об истории тектонических плит и земных приливов [9].

Во время новолуний и полнолуний гравитационное воздействие на Землю со стороны Луны и Солнца максимально. Поэтому был сделан вывод, что всплески нейтронов при новолунии и полнолунии связаны с гравитационным воздействием на Землю Луны и Солнца.

Появление нейтронных всплесков может быть использовано для предсказания землетрясений в сейсмически активных районах Земли. По данным геофизических исследований, аналогичные сильные напряжения в земной коре имеют место и в периоды времени перед землетрясениями с одновременным возрастанием уровня подземного радона.

Спустя несколько лет после опубликования наши результаты были подтверждены работами сотрудни-

ков Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН, Института ядерных исследований РАН, Московского инженерно-физического института [10, 11]. В их исследованиях применялись иные методика и способ измерений. Авторы проводили долговременные измерения потока тепловых нейтронов вблизи земной поверхности разработанным ими неэкранированным сцинтилляционным детектором, содержащим ядра лития-6. Ядра лития-6 также обладают очень большим сечением поглощения тепловых нейтронов ~ 1000 барн. Целью их работ было проверить, насколько адекватно можно оценивать и прогнозировать геофизические явления с помощью измерений потоков тепловых нейтронов.

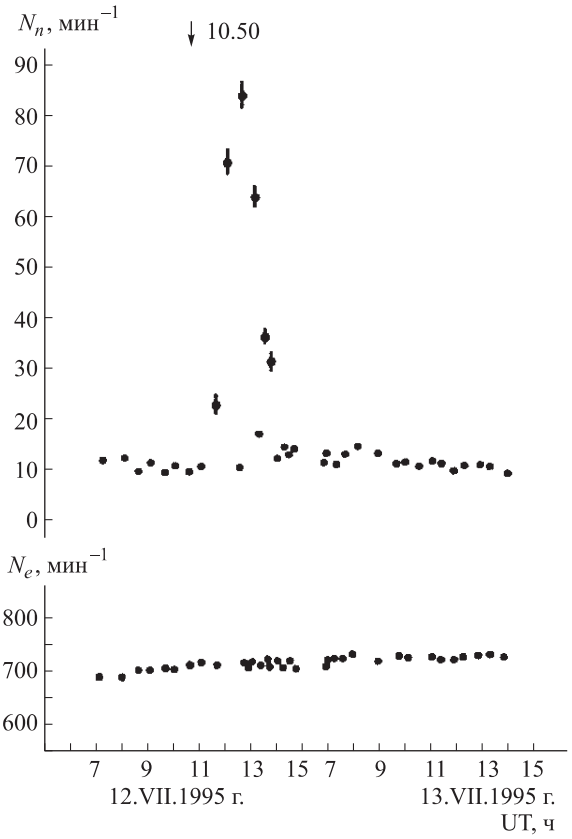
В своих публикациях авторы утверждают, что имеется качественное согласие между результатами их собственных наблюдений и результатами работ сотрудников НИИЯФ МГУ имени М. В. Ломоносова, указывающими на существование в земной коре вариаций потока тепловых нейтронов, связанных с лунными периодами и имеющих гравитационное происхождение. Сотрудниками МГУ, пишут авторы работ [10, 11], впервые отмечена корреляция между кратковременными всплесками потока нейтронов с фазами Луны и сейсмической активностью.

Работами ИЯИ РАН и МИФИ подтверждено также радоновое происхождение потока нейтронов из грунта Земли. Приливные волны в земной коре провоцируют повышенный выход радона в верхние слои грунта и нейтронов в атмосферу. Обнаружен случай аномального поведения потока тепловых нейтронов, совпавший с высокой локальной сейсмической активностью [10, 11].

В представляемой работе определяются отклонения времени возрастаний потока тепловых нейтронов от моментов пересечения Луной и Солнцем меридианов тех мест, в которых проходили измерения 26, 27 июля 1991 г., 12 июля 1995 г., 29 июля 1996 г. и 21 июля 1997 г. (верхняя или нижняя кульминация Луны и Солнца в дни полнолуний). Среднее отклонение времени появления нейтронов от времени кульминаций Луны и Солнца в эти дни составило 2.2 ± 0.9 ч. Величина отклонения может зависеть от условий для выхода радиоактивного газа, от количества накопленного газа и т. д. Результаты подтверждают роль Луны и Солнца в образовании потоков нейтронов от земной поверхности.

Экспериментальные данные

На рисунке в качестве примера представлены результаты измерения интенсивности нейтронов и электронов, проведенные 12 и 13 июля 1995 г. на Памире в г. Душанбе на высоте 1000 м над уровнем моря. Интенсивность электронов измерялась для контроля за потоком заряженных частиц. 12 июля 1995 г. в 10.50 UT Луна прошла фазу полнолуния. В 12.58 UT был отмечен максимум всплеска интенсивности нейтронов, который превысил в 8.5 раза фоновое значение [4].



Результаты измерения интенсивности тепловых нейтронов (вверху) и электронов с энергией более 150 кэВ (внизу) 12 и 13.07.1995. 10.50 UT — время фазы полнолуния

Для определения отклонений времени возрастаний потока тепловых нейтронов от моментов прохождения Луной и Солнцем местного меридиана использовались Астрономические ежегодники РАН за соответствующие годы [12]. Результаты расчета приведены в таблице. Так случилось, что измерения потоков тепловых нейтронов в дни, представленные в таблице, проводились во время

Отклонения времени появлений возрастаний нейтронного потока от моментов прохождения Луны и Солнца через местный меридиан

Дата	Место	Долгота, град	Кульминация Солнца и Луны	Начало возрастания нейтронного потока	Разница во времени
26 июля 1991 г.	Поляна Москвина	72.1 E	19.18 UT	18.09 UT	1 час 9 мин
27 июля 1991 г.	Поляна Москвина	72.1 E	19.18 UT	19.30 UT	12 мин
12 июля 1995 г.	Душанбе	68.8 E	7.30 UT	11.07 UT	3 час 37 мин
29 июля 1996 г.	Поляна Москвина	72.1 E	7.18 UT	12.12 UT	4 час 54 мин
21 июля 1997 г.	Пос. Джерино	68.8 E	19.30 UT	18.37 UT	53 мин

фаз полнолуния. Известно, что верхняя кульминация Луны происходит при новолунии в полдень, а при полнолунии в полночь по местному солнечному времени. Верхняя кульминация Солнца всегда имеет место в полдень по солнечному времени. Нижние кульминации Луны и Солнца смещены относительно их верхних кульминаций на 12 ч. Солнце, как и Луна, также вызывает в земной коре приливы. Но они существенно меньше по своей величине лунных приливов. Величина прилива на Земле определяется разностью ускорений в центре Земли и на ее поверхности, обусловленных данным небесным телом. Разность ускорений, сообщаемых Луной, значительно больше разности ускорений, обусловленных Солнцем, так как Луна находится от Земли гораздо ближе, чем Солнце [5]. По оценке, сделанной в работе [6], эффект солнечных приливов составляет примерно 1/5 от лунных приливов. В новолуние и в полнолуние приливы от Луны и Солнца складываются, и тогда суммарный прилив бывает наиболее высоким.

Обсуждение результатов

Приливные волны существуют в результате гравитационного взаимодействия Луны, Солнца и Земли и вращения Земли вокруг своей оси. Это упругие волны и в районе своего присутствия всегда создают напряжение в земной коре, величину которого можно оценить по энергии приливных волн. В работе [13] для мощности приливных сил получена величина $0.6 \cdot 10^{12}$ Вт. Суммарная энергия приливных волн за год для всей Земли составит $1.6 \cdot 10^{19}$ Дж, а энергия на единицу площади земной поверхности в среднем будет равна $3 \cdot 10^4$ Дж$\cdot$м$^{-2}$. Эта энергия расходуется на вертикальное смещение земной поверхности силами прилива, которое не превышает 1 м [5, 6]. Для величины напряжения в земной коре, создаваемого приливной волной, получаем, таким образом, примерно $3 \cdot 10^4$ Па. Такого напряжения оказывается достаточно, чтобы на поверхности Земли появились радиоактивные газы.

Заключение

При движении по небосклону Луна за один час отстает от Солнца на 2 мин, или на 0.5°. Определенная разница во времени от возрастания нейтронного потока до момента кульминации Луны и Солнца (или наоборот) в 2.2 ± 0.9 часа означает, что за 1–3 ч Луна отстанет от Солнца на $0.5–1.5^\circ$, что мало изменит величину суммарного прилива от Луны и Солнца, т. е. величину приливной силы, воздействующую на земную кору. Разница во времени может зависеть от условий для выхода радиоактивного газа, от количества накопленного газа и т. д.

Список литературы

1. *Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю.* и др. // Астрономический циркуляр АН СССР. 1991. № 1547. С. 25.
2. *Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю., Панасюк М.И.* // Космич. исследования. 1992. **30**, № 3. С. 422.
3. *Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю.* и др. // Космич. исследования. 1993. **31**, № 4. С. 120.
4. *Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю.* и др. // Космич. исследования. 1997. **35**, № 2. С. 144.
5. Общая геофизика / Под ред. В. А. Магницкого. М., 1995.
6. *Мельхиор П.* Земные приливы. М., 1968.
7. *Володичев Н.Н., Подорольский А.Н., Левин Б.В., Подорольский Вл.А.* // Вулканология и сейсмология. 2001. № 1. С. 60.
8. *Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю.* и др. // Астрон. вестн. 2000. **34**. № 2. С. 188.
9. *Flemming Bo Pedersen.* On the History of the Continents (A story of plate tectonics and Earth tides). LICengineering A/S. Monograph N 2. Ehlersvej 24. Hellerup (Denmark), 2011.
10. *Алексеенко В.В., Джаппуев Д.Д., Козяривский В.А.* и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2007. **71**, № 7. С. 1075.
11. *Алексеенко В.В., Гаврилюк Ю.М., Громушкин Д.М.* и др. // Физика Земли. 2009. № 8. С. 91.
12. Астрономические ежегодники: на 1991 г. Л., 1989; на 1995 г. Ч. 1. СПб., 1994; на 1996 г. Ч. 1. СПб., 1995; на 1997 г. Ч. 1. СПб., 1996.
13. *Левин Б.В., Павлов В.П.* // Физика Земли. 2003. № 7. С. 71.

Thermal neutrons from the Earth's surface during the upper and lower transits of the Moon and the Sun on New and Full Moon days

N. N. Volodichev[a], O. Yu. Nechaev, E. A. Sigaeva[b]

D. V. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia.
E-mail: [a] nnvol@srd.sinp.msu.ru, [b] belka@srd.sinp.msu.ru.

The paper is based on the comparison of the moments of increases of thermal neutron flux from the Earth's surface and the moments of the Moon and the Sun passing across the longitude of the areas where thermal neutron flux observations were conducted on July 26, 1991; July 27, 1991; July 12, 1995; July 29, 1996; and July 21, 1997 (upper and lower transits of the Moon and the Sun). Obtained results confirm the role of the tidal forces in the processes of thermal neutrons generation near the Earth's surface. Astronomical annuals for the appropriate years were used for the analysis.

Keywords: tidal waves, New Moon, Full Moon, thermal neutrons, upper and lower transits of the Moon and the Sun.
PACS: 91.10.Tq.
Received 12 December 2012.

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 3(2013).

Сведения об авторах

1. Володичев Николай Николаевич — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-42-90, e-mail: nnvol@srd.sinp.msu.ru.
2. Нечаев Олег Юрьевич — гл. специалист, тел.: (495) 939 -50-50.
3. Сигаева Екатерина Александровна — канд. физ.- мат. наук, науч. сотрудник; тел.: (495) 939-58-68, e-mail: belka@srd.sinp.msu.ru.