

## Появляются ли нейтроны земного происхождения при прохождении через данную местность сейсмической волны

Н. Н. Володичев<sup>1,a</sup>, Б. В. Левин<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ). Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

<sup>2</sup> Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН. Россия, 693022, Сахалинская обл., г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1Б.

E-mail: <sup>a</sup> nnvol@srd.sinp.msu.ru, <sup>b</sup> lbw@imgg.ru

Статья поступила 20.07.2011, подписана в печать 31.10.2011

Проведено исследование результатов экспериментального измерения потока тепловых нейтронов на Памире, в одном из самых сейсмоактивных районов на Земле, в 1986–1997 гг. За это время были обнаружены заметные возрастания потока тепловых нейтронов около поверхности Земли, чаще всего вблизи верхней и нижней кульминаций Луны в дни новолуния и полнолуния, когда приливная гравитационная волна достигает наибольшей величины. В эти же годы, за время работы нейтронных счетчиков, на Памире произошло около 500 землетрясений с магнитудой  $m > 4$ . Время прохождения сейсмической волны через данную местность порой было известно с точностью менее 1 минуты. Тем не менее ни разу не наблюдалось возрастание нейтронного потока при прохождении сейсмической волны через данную местность. В чем же причина? Казалось бы, что при механическом воздействии на земную кору, чем бы оно ни было вызвано, последующий эффект должен быть одинаковым. Но в эксперименте этого не наблюдалось. В работе исследуются причины отсутствия и возможные условия возрастания потока тепловых нейтронов земного происхождения при прохождении через данную местность сейсмической волны.

*Ключевые слова:* приливные волны, сейсмические волны, новолуния, полнолуния, тепловые нейтроны.

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

### Введение

Существуют представления о приливном характере происхождения глобальной сейсмичности [1]. С другой стороны, имеется корреляция между появлением крупных серий землетрясений и фазами новолуний и полнолуний [2] и корреляция между фазами новолуний и полнолуний и появлением потока нейтронов в горной местности от земной поверхности [3, 4]. Создается впечатление, что между тремя этими явлениями природы имеется внутренняя связь.

В 1990–1991 гг. на Памире на высоте 4200 м над уровнем моря было обнаружено возрастание интенсивности нейтронного излучения в дни новолуния и полнолуния и в дни, близкие к этим дням. Возрастания потока нейтронов наблюдались, как правило, в полдень и в полночь по местному времени, т. е. во время верхней и нижней кульминаций Луны. Длительность нейтронных всплесков составляла 2–3 ч. Амплитуда возрастания интенсивности нейтронного излучения порой превышала нейтронный фон в десятки раз [3, 4]. Используя Глобальную базу данных (The Global Hypocenter Data Base, v. 3.0), подготовленную в Национальном центре информации о землетрясениях Геологической службы США и предоставленную Всемирным центром данных Б по физике твердой Земли, подсчитано, что на Памире с 1986 по 1997 г. за время работы нейтронных счетчиков произошло около 500 землетрясений с магнитудой  $m > 4$ . Тем не менее, ни разу не наблюдалось возрастание нейтронного потока при прохождении сейсмической волны через данную местность, хотя корреляция между появлением

крупных серий землетрясений и фазами новолуний и полнолуний существует [2]. В случае обнаружения нейтронов, связанных с землетрясениями, появился бы нейтронный метод для изучения сейсмических явлений.

### Экспериментальные результаты

Появляются ли нейтроны вблизи поверхности Земли при прохождении сейсмических волн через данную местность? Измерения потока тепловых нейтронов в течение 1986–1997 гг. на Памире, который является одним из самых сейсмоактивных регионов Земли, показали, что заметные увеличения потока тепловых нейтронов вблизи поверхности Земли в течение этого времени наблюдались только в дни, близкие к дням новолуния и полнолуния. Можно предложить два возможных пути образования нейтронных всплесков. В первом случае при прохождении приливной волны и связанном с этим механическом воздействии на породы горной местности происходит деформация разломов земной коры и на поверхность Земли поступает 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. Во втором — нейтроны могут появиться в результате процесса механоэмиссии, возникающего при больших напряжениях и образовании микротрещин в горных породах разломов земной коры во время тех же астрономических явлений, с последующим протеканием, например, ядерной реакции дейтон плюс дейтон. При сильных механических воздействиях на материалы происходит нарушение связей между моле-

кулами вещества, образование микротрещин размером  $10^{-4} - 10^{-5}$  см и возникновение сильного электрического поля в зоне между поверхностями стенок микротрещин с одновременной эмиссией различных излучений (электронов, положительных ионов, электромагнитного и др.). Можно предположить, что при разрушении дейтерийсодержащих твердых тел (палладий, титан и др.) в зоне между поверхностями стенок микротрещин происходит ускорение дейтонов с последующими ядерными реакциями дейтон плюс дейтон, с появлением гелия-три и нейтрона в одном случае и трития и протона — в другом. Энергия, необходимая для преодоления кулоновского барьера, сообщается дейтонам в процессе ускорения электрическими полями, генерируемыми при механоэмиссионных явлениях в микротрещинах. Особенно эффективно ядерные реакции дейтон плюс дейтон должны проходить в микротрещинах материалов типа палладий, титан и др., способных создавать внутри себя аномально большие концентрации изотопов водорода, в  $10^3 - 10^5$  раз превышающие обычные значения и достигающие величины  $10^{10} - 10^{11}$  см $^{-3}$  [5–7]. Но самородный титан и самородный палладий, если и встречаются в природе, то очень редко. Поэтому второй путь образования нейтронных всплесков маловероятен.

Как говорилось выше, измерение нейтронного потока на Памире продолжалось в течение 12 лет, с 1986 по 1997 г., и за время работы нейтронных счетчиков в этот период на Памире произошло около 500 землетрясений с магнитудой  $m > 4$ . В 1997 г. измерение нейтронного потока в течение 10 дней велось на Памире на сейсмостанции Джерино, расположенной на расстоянии 30 км на север от Душанбе на высоте 1100 м над уровнем моря. За эти дни от землетрясений с магнитудой  $m > 4$  на сейсмостанции с хорошей временной точностью были отмечены прохождения сейсмических волн около 20 раз, которые опять-таки не сопровождались возрастанием нейтронного потока, в то время как в дни, близкие ко дню полнолуния, возрастание потока нейтронные счетчики отмечали ежедневно.

Активную роль приливных сил, воздействующих на земную кору, в образовании нейтронных всплесков можно продемонстрировать с помощью измерений, выполненных на сейсмостанции Джерино [4]. На рис. 1 представлены данные дневных измерений с 16 по 26 июля 1997 г. — скорости счета нейтронов и электронов. Канал регистрации электронов был необходим для контроля за потоком заряженных частиц. С 16 по 24 июля аппроксимирующая пунктирная кривая проходит в течение каждого дня примерно через максимальные значения скорости счета нейтронов, которые наблюдаются вблизи полудня по местному времени. Наибольшее значение эта величина достигала 20 июля в 05.37 UT. В этот день в 03.20 UT Луна прошла фазу полнолуния. Возрастание скорости счета нейтронов в максимумах с 16 по 20 июля и последующий спад до 24 июля могут быть обусловлены согласным действием приливных сил от Луны и Солнца, сумма которых достигает наибольшей величины в день полнолуния и уменьшается в последующие дни, что, возможно, демонстрирует чувствительность нейтронного излучения к небольшим изменениям величины приливных сил.

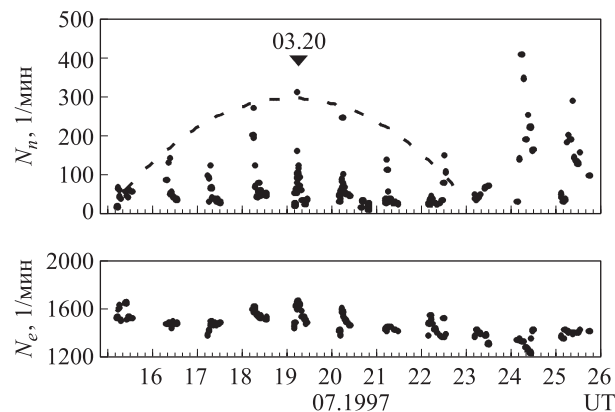


Рис. 1. Скорости счета тепловых нейтронов  $N_n$  и электронов  $N_e$ , измеренные на Памире на высоте 1100 м над уровнем моря. 03.20 — время фазы полнолуния. Пунктирная кривая аппроксимирует значения максимумов 16–24.07 в дневное время

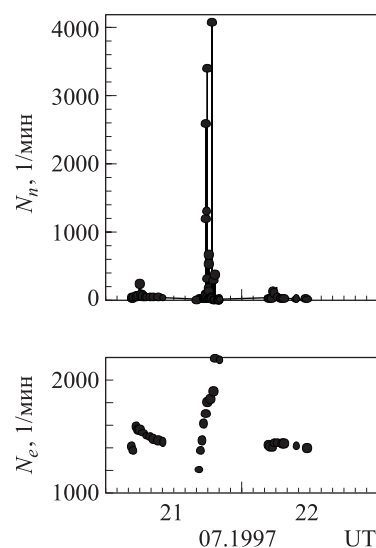


Рис. 2. Сильнейший всплеск интенсивности тепловых нейтронов в полночь 21.07 на Памире на высоте 1100 м над уровнем моря

В полночь (по местному времени) с 21 на 22 июля также были проведены измерения нейтронов и электронов. Результаты показаны на рис. 2. С 17.22 по 19.09 UT 21 июля, спустя примерно 12 ч после дневного всплеска 21 июля, был зарегистрирован многоимпульсный всплеск нейтронного излучения, превысивший в своем максимуме фоновое значение в 100 раз. Максимальное значение нейтронного всплеска в дневное время 22 июля было достигнуто примерно через 12 ч после ночного всплеска. Крупный всплеск нейтронов в ночное время представляется, в известной степени, событием случайным, поскольку количество вышедшего радиоактивного газа зависит от благоприятных условий для выхода газа, количества накопленного газа и т. д. Рост скорости счета нейтронов 24 и 25 июля в полдень по местному времени также можно объяснить увеличением запаса радиоактивных газов в земной коре в это время. Возрастание потока нейтронов ночью 21 июля 1997 г. обусловило возрастание потока электронов в 1.5 раза по сравнению с фоновым значе-

нием (рис. 2). Можно указать следующие источники дополнительных электронов. Во-первых, бета-распад нейтронов [8]. Во-вторых, ионизация воздуха протонами с энергией 580 кэВ и гамма-квантами с энергией более 5 МэВ, возникшими в результате поглощения нейтронов ядрами атмосферного азота.

### Обсуждение результатов

Чтобы ответить на вопрос, появляются ли нейтроны вблизи поверхности Земли при прохождении сейсмических волн через данную местность, нужно сравнить физические свойства приливной гравитационной волны и сейсмической волны. 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 они всегда создают напряжения в земной коре. Величину напряжения, создаваемого приливной волной в земной коре, можно оценить по энергии приливных волн. В работе [9] для мощности приливных сил получена величина  $0.6 \cdot 10^{12}$  Вт. В этом случае суммарная энергия приливных волн за год для всей Земли составит  $1.6 \cdot 10^{19}$  Дж, а энергия на единицу площади земной поверхности при этом в среднем будет равна  $3 \cdot 10^4$  Дж/м<sup>2</sup>. Эта энергия расходуется на вертикальное смещение земной поверхности силами прилива и это смещение не превышает 1 м [10]. Для величины напряжения в земной коре, создаваемого приливной волной, получаем, таким образом, примерно  $3 \cdot 10^4$  Па.

Сейсмические волны, возникшие при мгновенной деформации Земли в очагах землетрясений, на значительных расстояниях от эпицентров становятся упругими волнами. Это объемные (продольные *P*-волны и поперечные *S*-волны) и поверхностные волны. В твердой среде Земли сейсмические волны распространяются от очагов землетрясений со скоростью от 3 до 13 км/с в зависимости от типа сейсмической волны. В колебаниях от удаленных землетрясений по амплитуде доминируют поверхностные волны и в них заключается большая часть волновой энергии. Амплитуды колебаний могут быть значительными вблизи очагов землетрясений, а на расстояниях около 1000 км и более они очень малы — менее нескольких микрон для продольных и поперечных волн и менее 1 см для поверхностных волн [11].

Используя логику рассуждений при оценке величины напряжения, создаваемого приливной волной в земной коре, можно оценить величину напряжения, создаваемого сейсмической волной в земной коре, имея в виду амплитуду ее колебаний менее 1 см. Она будет примерно в 100 раз меньше величины напряжения от приливной волны, т.е.  $3 \cdot 10^2$  Па. В этом, возможно, и состоит одна из причин отсутствия нейтронного потока от Земли при прохождении через данную местность сейсмической волны.

Авторы работ [12, 13] считают, что результат приливного воздействия на земную кору зависит как от интенсивности приливной гармоник, так и от продолжительности ее воздействия. Долгопериодные приливные гармоник на порядок слабее короткопериодных приливных гармоник, но их воздействие на земную кору продолжительнее. Основной вывод этих работ

состоит в том, что долгопериодные волны тем не менее оказывают большее влияние на сейсмичность, чем короткопериодные волны. Воздействие прилива на тектонические напряжения и, следовательно, на сейсмичность отчетливо прослеживается только для гармоник 27.55-суточных и 13.66-суточных. Для более сильных суточных и полусуточных гармоник такое воздействие отсутствует или существенно слабее. Такой подход основан на концепции крипового (подкрадывающегося) механизма, который развивается при длительном воздействии приливных сил на земную кору, и в частности на последней стадии подготовки землетрясения. Сказанное подчеркивает ключевую роль неупругих деформаций, развивающихся в земных породах при более продолжительном на них воздействии. Общую тенденцию можно сформулировать следующим образом: триггерный эффект приливной волны на землетрясение возрастает с увеличением периода волны.

Длины сейсмических поверхностных волн составляют от десятков до многих сотен километров, скорость их распространения 3.2–4.4 км/с [11]. Период поверхностных сейсмических волн, таким образом, не более нескольких минут, т.е. почти в  $10^4$  раз меньше периода долгопериодных приливных гармоник. Очень короткое время воздействия сейсмической волны на земную кору, по сравнению со временем воздействия приливной волны при прохождении через ту же местность, может быть другой причиной отсутствия нейтронного потока от Земли при прохождении через данную местность сейсмической волны.

### Заключение

Выше отмечалось, что между тремя явлениями природы — земными приливами, глобальной сейсмичностью Земли и появлением потока нейтронов от земной поверхности во время новолуний и полнолуний — возможна внутренняя взаимосвязь. Естественно предположить поэтому, что физические причины возникновения землетрясений и появления потока нейтронов одни и те же. Это и большие напряжения в земной коре, создаваемые приливными волнами, и длительное воздействие приливных сил на земную кору, и другие. Поэтому наблюдать поток нейтронов от Земли во время землетрясений (на определенном расстоянии от эпицентра землетрясения) задача вполне реальная.

### Список литературы

1. Левин Б.В., Сасорова Е.В. // Докл. РАН. 2009. **424**, № 4. С. 1.
2. Володичев Н.Н., Подорольский А.Н., Левин Б.В., Подорольский В.А. // Вулканология и сейсмология. 2001. № 1. С. 60.
3. Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю. и др. // Космич. иссл. 1997. **35**, № 2. С. 144.
4. Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю. и др. // Астрон. вестн. 2000. **34**, № 2. С. 188.
5. Голубничий П.И., Куракин В.А., Филоненко А.Д. и др. // Препринт 113. М., 1989.
6. Fleischman M., Pons S. // J. Electroanal. Chem. 1989. **261**. P. 301.
7. Jones S.E., Palmer E.P., Czirr J.B. et al. // Nature. 1989. **338**. P. 737.

8. *Volodichev N.N., Nechaev O.Yu., Panasyuk M.I., Shavrin P.I.* // Proc. 20<sup>th</sup> Intern. Cosmic Ray Conf. Moscow, 1987. Vol. 4. P. 266.
9. *Левин Б.В., Павлов В.П.* // Физика Земли. 2003. № 7. С. 71.
10. *Мельхиор П.* Земные приливы. М., 1968.
11. *Общая геофизика / Под ред. В. А. Магницкого.* М., 1995.
12. *Моргунов В.А., Боярский Э.А., Степанов М.В.* // Физика Земли. 2005. № 1. С. 74.
13. *Моргунов В.А., Боярский Э.А., Степанов М.В.* // Докл. РАН. 2006. **406**, № 3. С. 380.

### Whether there are neutrons of a terrestrial origin at passage through the given district of a seismic wave

**N. N. Volodichev<sup>1,a</sup>, B. W. Levin<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup>*D. V. Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia.*

<sup>2</sup>*Institute of Marine Geology and Geophysics, Far-Eastern Division of Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia.*

*E-mail: <sup>a</sup>nnvol@srd.sinp.msu.ru, <sup>b</sup>lbw@imgg.ru.*

In work the reasons of absence a flow of thermal neutrons of a terrestrial origin and the possible conditions for their occurrence are investigated at passage a seismic wave through the given district.

*Keywords:* tide waves, seismic waves, new moons, full moons, thermal neutrons.

PACS: 91.10.Tq.

*Received 20 July 2011.*

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 1(2012).

#### Сведения об авторах

1. Володичев Николай Николаевич — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-16-93, e-mail: nnvol@srd.sinp.msu.ru.
2. Левин Борис Вульфович — член-корр. РАН, докт. физ.-мат. наук, профессор; тел.: (4242) 79-15-17, e-mail: lbw@imgg.ru.