

АСТРОНОМИЯ, АСТРОФИЗИКА И КОСМОЛОГИЯ

Нейтроны от поверхности Земли, обусловленные лунными и солнечными приливами, и сейсмоактивность ЗемлиН.Н. Володичев^a, 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 nivol@srd.sinp.msu.ru, ^b belka@srd.sinp.msu.ru*

Статья поступила 01.12.2016, подписана в печать 17.04.2017.

22 июля 1990 г. на Памире во время солнечного затмения было обнаружено резкое возрастание потока тепловых нейтронов вторичного космического излучения, идущего от Земли. В последующие годы такие явления наблюдались во время каждого новолуния и каждого полнолуния. Во время новолуний и полнолуний лунный и солнечный приливы складываются и тогда суммарный прилив бывает особенно высоким. Приливные силы вместе с тем могут являться спусковым механизмом для высвобождения глубинной сейсмической энергии в том или ином районе Земли. В связи с этим наше внимание было привлечено к поиску корреляции времени появления землетрясений и фаз новолуний и полнолуний, что может привести к возникновению нового типа предвестников возрастания сейсмоактивности. Такая корреляция была найдена в Тихоокеанском сейсмическом кольце и в прилежащих к нему районах на широтах более 40° N и более 10° S. В настоящей работе изложены результаты измерения потока тепловых нейтронов от поверхности Земли в горах Западного Памира на поляне Москвина на высоте 4200 м над уровнем моря с 1 по 14 августа 1994 г. Измерения проводились в дневное время. Эти дни были спокойными с точки зрения гелиофизической, геофизической и погодной обстановок, следовательно, интенсивность нейтронов вторичного космического излучения должна была быть практически постоянной. Тем не менее с 1 по 14 августа 1994 г. мы наблюдаем изменения скорости счета нейтронов в течение дня в два и более раз. Перечисленные обстоятельства исключают возможность объяснения этих всплесков известными внеземными факторами. В настоящей работе показано, что наблюдаемые возрастания интенсивности нейтронов вызваны лунными и солнечными приливами. Полученные результаты подтверждают роль приливных сил в образовании потоков нейтронов от земной поверхности. В работе использовался Астрономический ежегодник Российской академии наук за 1994 год.

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 г. и в последующие годы на Западном Памире на высоте 4200 м над уровнем моря нами, сотрудниками НИИ ядерной физики им. Д. В. Скобельцына МГУ имени М. В. Ломоносова, во время работы Научного высокогорного отряда МГУ имени М. В. Ломоносова неожиданно впервые было обнаружено резкое возрастание потока тепловых нейтронов вторичного космического излучения, идущего от Земли. Возрастания наблюдались в дни новолуния и полнолуния и в дни, близкие к этим дням, когда через данную местность проходила приливная гравитационная волна с максимальной амплитудой. Рост потока нейтронов наблюдался в полдень и в полночь по местному солнечному времени во время, близкое ко времени пересечения Луной и Солнцем местного меридиана, т. е. вблизи верхней или нижней кульминаций Луны и Солнца. Длительность нейтронных всплесков составляла 2–3 ч. Амплитуда возрастания интенсивности нейтронного излучения порой превы-

шала нейтронный фон в десятки раз [1–11]. 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. Вместе с измерением потока тепловых нейтронов для контроля за потоком заряженных частиц измерялась скорость счета электронов вторичного космического излучения с энергией более 150 кэВ с помощью газоразрядных счетчиков СТС-6 [6].

Было предложено возможное объяснение образования нейтронных всплесков. При прохождении приливной волны и связанном с этим механиче-

ским воздействием на породы в разломах земной коры горной местности происходит квазиупругая деформация разломов земной коры. В этом случае на поверхность Земли может поступить дополнительное количество радиоактивного газа (главным образом радона), накопленного в недрах Земли. Вырвавшись наружу, радон тут же падает на поверхность Земли, так как его плотность в 7.5 раза превышает плотность воздуха. В результате ядерных взаимодействий альфа-частиц, возникших при радиоактивном распаде радона, с элементами земной коры и воздуха, образуются нейтроны [6]. Период полураспада радона составляет 3.8 сут, поэтому в течение нескольких суток после выхода радона наружу в данной местности может наблюдаться повышенный фон вторичных нейтронов.

Приливные силы вместе с тем могут являться спусковым механизмом, дающим начало сейсмической активности в том или ином районе Земли [12, 13]. В связи с этим наше внимание было привлечено к вопросу корреляции времени появления землетрясений и фаз новолуний и полнолуний, что может привести к появлению нового типа предвестников возрастания сейсмоактивности. С этой целью мы предприняли попытку обнаружить двухнедельную лунную периодичность землетрясений на основе данных по землетрясениям за 1964–1992 гг. Была использована Глобальная база данных (The Global Hypocenter Data Base, Version 3.0 CD-ROM), подготовленная в Национальном центре информации о землетрясениях Геологической службы США и предоставленная Мировым центром данных Б по физике твердой Земли для землетрясений с магнитудой $m > 4$, имевших место в 1964–1992 гг. В итоге нам удалось обнаружить двухнедельную лунную периодичность, связанную с фазами новолуния и полнолуния, для крупных серий землетрясений с количеством землетрясений в день более 30 и магнитудами $m > 4$ с эпицентрами в районе Тихоокеанского сейсмического кольца севернее 40° с.ш. и южнее 10° ю.ш. В 1964–1992 гг. в этом районе крупные серии землетрясений начинались в дни, отстоящие от времени фаз новолуний и полнолуний не более чем на 3 дня. Это существенно расширило географию областей, сейсмическая активность которых коррелирует с фазами Луны [14, 15]. Деформация земной коры, вызванная максимальными приливными силами во время новолуний и полнолуний, как отмечалось выше [13], может служить спусковым механизмом для высвобождения накопленной за длительное время энергии землетрясений. Именно в эти дни синодических месяцев в сейсмоактивных районах Памира наблюдаются всплески нейтронного излучения, в десятки раз превышающие фоновые потоки нейтронов.

Недавнее землетрясение в Чили (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20003k7a#executive>) также можно отнести к землетрясениям

с двухнедельной лунной периодичностью. Землетрясение произошло 13 сентября 2015 г. на третий день после новолуния в том же широтном диапазоне (32° ю.ш.). Магнитуда землетрясения составила 8.3. Эпицентр землетрясения был расположен к востоку от южно-американского побережья.

Датский ученый Ф.Б. Педерсен (F. B. Pedersen) использовал наши работы в своем обзоре об истории тектонических плит и земных приливов [16]. По его мнению, лунные и солнечные приливы на Земле складываются с долгопериодическими земными приливами, связанными с перемещениями тектонических плит, что повышает вероятность землетрясений. Можно оценить величину напряжения, создаваемого лунно-солнечной приливной гравитационной волной в земной коре.

Приливные волны возникают 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 которого можно оценить по энергии приливных волн. В работе [17] для мощности приливных сил получена величина $0.6 \cdot 10^{12}$ Вт. Суммарная энергия приливных волн за год для всей Земли составляет $1.6 \cdot 10^{19}$ 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 [13]. Для величины напряжения в земной коре, создаваемого приливной волной, получаем, таким образом, примерно $3 \cdot 10^4$ Па. Такого напряжения, по мнению Ф.Б. Педерсена, оказывается достаточно, чтобы повысить вероятность землетрясений на Земле.

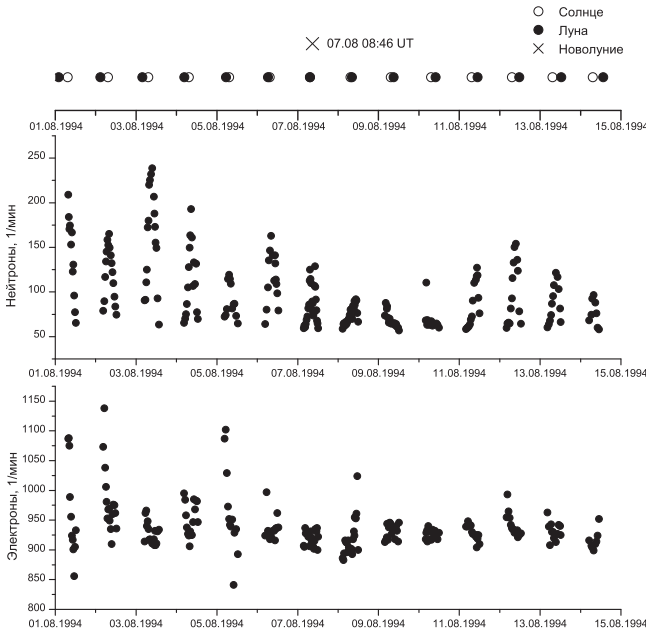
1. Экспериментальные данные

В августе 1994 г. на поляне Москвина (Памир) в течение двух недель проводились измерения тепловых нейтронов и электронов вторичного космического излучения с энергией > 150 кэВ. Для регистрации нейтронов использовались стандартные нейтронные счетчики СНМ-18, заполненные гелием-3 под давлением 4 атм. Эффективность регистрации такими счетчиками тепловых нейтронов (с энергией около 0.025 эВ) близка к 100%. Электроны регистрировались при помощи газоразрядных счетчиков СТС-6.

Минутные скорость счета нейтронов и электронов, полученные в результате эксперимента и усредненные за получасовые промежутки времени, представлены на двух нижних панелях рисунка. Отметим, что в то время как разброс скорости счета электронов (нижняя панель) составляет порядка $\pm 10\%$, скорость счета нейтронов (средняя панель) колеблется в значительно более широких пределах, достигая величин, в два раза превышающих среднее за этот период.

**Верхняя кульминация Луны на поляне Москвина в августе 1994 г. Меридиан 72.1° в.д.
Верхняя кульминация Солнца для всех дней составляет 07.18 UT**

Дата	01.08	02.08	03.08	04.08	05.08	06.08	07.08	08.08	09.08	10.08	11.08	12.08	13.08	14.08
Верхняя кульминация Луны, UT	01.59	02.51	03.44	04.37	05.29	06.22	07.15	08.08	09.00	09.53	10.46	11.38	12.31	13.24



Время кульминаций Солнца и Луны и усредненные за 30 мин результаты измерения скорости счета тепловых нейтронов и электронов с энергией более 150 кэВ с 1 по 14 августа 1994 г. См. также таблицу

2. Обсуждение результатов

Практически все нейтроны в атмосфере Земли возникают в результате взаимодействия нуклонов и ядер первичного космического излучения с энергией выше 1 ГэВ с ядрами атомов воздуха при расщеплении ядер атомов атмосферы. Ядерный состав первичных космических лучей при таких энергиях более чем на 90% представлен протонами. Поэтому можно считать, что нейтроны в атмосфере Земли в основном образуются в результате взаимодействия протонов первичного космического излучения с энергией более 1 ГэВ с ядрами атомов воздуха. Изменения интенсивности нейтронов в атмосфере связано, таким образом, с вариациями потока протонов первичного космического излучения такой энергии. Жесткость геомагнитного обрезания для района поляны Москвина составляет 9.2 ГВ, поэтому энергия первичных протонов, достигающих этого района, должна быть не менее 8.3 ГэВ. Дни, в которые проводились измерения, были спокойными с точки зрения гелиофизической, геофизической и погодной обстановки. Не наблюдалось существенных вариаций космических лучей в межпланетном пространстве и нейтронов на наземных мониторах, геомагнитная обстановка оставалась спокойной,

хромосферных вспышек на Солнце зафиксировано не было. Величина K_p -индекса оставалась низкой. С 1 по 9 августа величина K_p -индекса не превышала двух, 8 августа почти целые сутки она была равна нулю. В конце 9 августа величина P_p -индекса стала расти, к концу 10 августа достигла 4 и на этом уровне находилась до 14 августа, после чего стала снова падать [18].

При спокойной геомагнитной обстановке, погодных условиях и отсутствии хромосферных вспышек на Солнце интенсивность нейтронов вторичного космического излучения на поляне Москвина в это время должна была быть практически постоянной [19, 20]. Наличие пространственной анизотропии интенсивности космических лучей приводит в результате вращения Земли к суточным вариациям космических лучей. Но эти вариации малы. При энергиях в несколько ГэВ и более суточные вариации составляют доли процента [19, 20]. Тем не менее с 1 по 14 августа 1994 г. мы наблюдаем изменения скорости счета нейтронов в течение дня в два и более раз (см. рисунок, средняя панель). Поток нейтронов возрастал при приближении времени измерений ко времени прохождения Луной или Солнцем местного меридиана (верхние кульминации Луны и Солнца, см. рисунок, верхняя панель), после чего уменьшался до прежнего уровня. Отмеченные ранее обстоятельства исключают возможность объяснения этих всплесков нейтронов известными внеземными факторами. Поэтому мы полагаем, что возрастания интенсивности нейтронов в данном случае вызваны лунными и солнечными приливами. Такой вывод подтверждается также наблюдениями, отмеченными ранее, что рост потока нейтронов наблюдается в полдень и в полночь по местному солнечному времени во время, близкое ко времени пересечения Луной и Солнцем местного меридиана, т. е. вблизи верхней или нижней кульминаций Луны и Солнца, когда лунный и солнечный приливы достигают наибольшей величины на местном меридиане.

Всплески нейтронного излучения, как отмечалось, образуются в результате воздействия лунных и солнечных приливов на земную кору. Измерения с 1 по 14 августа 1994 г. проходили ежедневно примерно с 4.00 UT до 12.00 UT. 1, 2 и 3 августа Луна пересекала меридиан поляны Москвина до начала измерений (см. таблицу). Поэтому нейтронные всплески в эти дни обусловлены солнечными приливами. Поскольку Луна за счет собственного движения за сутки смещается на восток на 13°,

то с 4 по 12 августа нейтронные всплески связаны с совместным воздействием на земную кору солнечных и лунных приливов, которые следовали друг за другом. 4, 5, 6 и 7 августа Луна опережала Солнце при пересечении местного меридиана примерно на 2.7 ч, 1.8 ч, 0.9 ч и 3 мин соответственно. Начиная с 8 августа первым местный меридиан пересекало уже Солнце, а Луна отставала от Солнца с каждым днем все больше и больше. 8 августа Луна отставала от Солнца на 50 мин. 9, 10, 11 и 12 августа отставание составляло примерно 1.7 ч, 2.6 ч, 3.5 ч и 4.3 ч соответственно. 13 и 14 августа Луна за счет своего отставания появлялась над поляной Москвина уже после завершения измерений. В эти два дня нейтронные всплески снова были обусловлены только приливами Солнца.

При такой гелиофизической, геофизической и погодной обстановках, о чем говорилось выше, поток вторичных электронов также должен быть неизменным, так как здесь он обусловлен только взаимодействием первичных протонов с энергией более 8.3 ГэВ с окружающей средой. Небольшие (на уровне 10%) изменения в скорости счета электронов 1, 2 и 5 августа могут быть связаны с колебаниями потока электронов от бета-распада нейтронов в зависимости от количества накопленного радиоактивного газа внутри Земли и условий его выхода на поверхность. Верхняя граница бета-спектра в этом случае составляет 820 кэВ.

Земной шар не является идеально упругим телом. Поэтому деформация Земли при образовании приливного выступа сопровождается трением и земной приливный выступ достигает максимума не в тот момент, когда Луна или Солнце проходят меридиан данной местности, а несколько позже [21]. Поскольку в наших измерениях максимумы скорости счета нейтронов также отстают от времени прохождения Луной или Солнцем местного меридиана в среднем на 45 ± 15 мин, можно предположить, что это отставание связано с отставанием образования приливного выступа из-за трения при деформации Земли.

Заключение

Спустя 15 лет после обнаружения нами во время новолуний и полнолуний резкого возрастания потока тепловых нейтронов вторичного космического излучения, идущего от Земли, и опубликования этих результатов наши работы были подтверждены исследованиями сотрудников Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН, Института ядерных исследований РАН, Московского инженерно-физического института [22, 23]. В их исследованиях применялись иные методика и способ измерений, чем у нас. 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 этих исследований было проверить, насколько адекватно можно оценивать и прогнозировать геофизические явления с помощью измерения потоков тепловых нейтронов. В своих публикациях исследователи утверждают, что имеется качественное согласие между результатами их собственных наблюдений и результатами работ сотрудников НИИЯФ МГУ имени М. В. Ломоносова. И те и другие указывают на существование в земной коре вариаций потока тепловых нейтронов, связанных с лунными периодами и имеющих гравитационное происхождение. Сотрудниками МГУ, пишут они, 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. По мнению авторов, приливные волны в земной коре провоцируют повышенный выход радона в верхние слои грунта и нейтронов в атмосферу. Ими обнаружен также случай аномального поведения потока тепловых нейтронов, совпавший с высокой локальной сейсмической активностью [22, 23].

11 августа 1999 г. во время солнечного затмения на Алма-Атинской высокогорной станции сотрудниками ДГП Института ионосферы (Алма-Ата, Казахстан), НИИ ядерной физики имени Д. В. Скобельцына МГУ имени М. В. Ломоносова и Физического института имени П. Н. Лебедева РАН было измерено увеличение потока тепловых нейтронов на 12%. Поток высокоэнергичных нейтронов в это время оставался неизменным [9].

В 2013 и 2015 гг. в журналах *Journal of Geophysical Research-Space Physics* и *Astrophysics and Space Science* вышли публикации индийских ученых со ссылками на наши работы. В этих работах были представлены результаты измерений потока космического излучения во время лунного затмения 10 декабря 2011 г. [24] и во время новолуния 12 ноября 2012 г. и полнолуния 26 апреля 2013 г. [25]. В первом случае было обнаружено возрастание потока электронов с энергией более 200 кэВ, которые могли образоваться при бета-распаде появившихся тепловых нейтронов. Во втором случае были обнаружены нейтроны. В своих объяснениях индийские ученые использовали наши интерпретации.

О ссылках на наши работы датского ученого Ф. Б. Педерсена и о его интерпретации наших результатов говорилось во введении [16].

Проведенный анализ вариаций интенсивности нейтронов, измеренной на поляне Москвина с 1 по 14 августа 1994 г., показал, что наблюдавшиеся в этот период возрастания вызваны лунными и солнечными приливами, что подтверждает роль приливных сил в образовании потоков нейтронов от земной поверхности.

Список литературы

1. Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю. и др. // Астрономический циркуляр АН СССР. 1991. № 1547. С. 25.
2. Volodichev N.N., Kuzhevskij B.M., Nechaev O.Yu. et al. // Eclips. Proc. 22nd ICRC (Dublin, Ireland, 11–23 August, 1991). 1991. **3**. P. 689.
3. Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю. и др. // Космич. исслед. 1992. **30**, № 3. С. 422.
4. Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю. и др. // Космич. исслед. 1993. **31**, № 4. С. 120.
5. Volodichev N.N., Kuzhevskij B.M., Nechaev O.Yu. et al. // 24th Intern. Cosmic Ray Conf. Rome. 1995. **4**. P. 1151.
6. Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю. и др. // Космич. исслед. 1997. **35**, № 2. С. 144. (Volodichev N.N., Kuzhevskij B.M., Nechaev O.Yu. et al. // Cosmic Research. 1997. **35**, N 2. P. 135.)
7. Володичев Н.Н., Кужевский Б.М. // Космич. исслед. 2003. **41**, № 2. С. 135.
8. Володичев Н.Н. // Изв. РАН. Сер. физ. 2007. **71**, № 7. С. 1079.
9. Антонова В.П., Володичев Н.Н., Крюков С.В. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2007. **71**, № 7. С. 1082.
10. Володичев Н.Н., Левин Б.В. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2012. № 1. С. 119. (Volodichev N.N., Levin B.W. // Moscow Univ. Phys. Bull. 2012. **67**, N 1. P. 116.)
11. Володичев Н.Н., Нечаев О.Ю., Сигаева Е.А. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2013. № 3. С. 84. (Volodichev N.N., Nechaev O.Yu., Sigaeva E.A. // Moscow Univ. Phys. Bull. 2013. **68**, N 3. P. 263.)
12. Общая геофизика. / Под ред. В. А. Магницкого. М., 1995.
13. Мельхиор П. Земные приливы. М., 1968.
14. Володичев Н.Н., Подорольский А.Н., Левин Б.В., Подорольский В.А. // Вулканология и сейсмология. 2001. № 1. С. 60.
15. Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю. и др. // Астрон. вестник. 2000. **34**, № 2. С. 188. (Volodichev N.N., Kuzhevskij B.M., Nechaev O.Yu. et al. // Solar Syst. Res. 2000. **34**, N 2. P. 173.)
16. Pedersen F.B. On the History of the Continents (A Story of Plate Tectonics and Earth Tides). LIC engineering A/S. Monograph No. 2. Ehlersvej 24. Hellerup, Denmark, 2011.
17. Левин Б.В., Павлов В.П. // Физика Земли. 2003. № 7. С. 71.
18. Solar-Geophysical Data. 1994. No. 602. Pt. 1.
19. Дорман Л.И. Вариации космических лучей и исследование космоса. Изд. АН СССР. М. 1963.
20. Дорман Л.И. Вариации галактических космических лучей. М.: Изд. Московского ун-та, 1975.
21. Приливы и резонансы в солнечной системе: Сб. статей / Под ред. В. Н. Жаркова. М.: Мир, 1975.
22. Алексеенко В.В., Джаппуев Д.Д., Козьярковский В.А. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2007. **71**, № 7. С. 1075.
23. Алексеенко В.В., Гаврилюк Ю.М., Громушкин Д.М. и др. // Физика Земли. 2009. № 8. С. 91.
24. Raghav A. et al. // J. Geophys. Res. 2013. **118**. P. 1.
25. Raghav A. et al. // J. Astrophys Space Sci. 2015. **335**. P. 347.

Terrestrial seismic activity and neutrons from the surface of the Earth associated with lunar and solar tides

N. N. Volodichev^a, E. A. Sigaeva^b

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University. Moscow 119991, Russia.
E-mail: ^annvol@srd.sinp.msu.ru, ^bbelka@srd.sinp.msu.ru.

A drastic increase in the flux of thermal neutrons of secondary cosmic radiation coming from the Earth was observed in the Pamir Mountains during the solar eclipse of July 22, 1990. In the following years, such phenomena were observed on each new moon and each full moon, when lunar and solar tides combine to produce an exceptionally high resultant tide. Tidal forces may serve as a trigger for the release of the deep-earth seismic energy in a certain region. This directed our attention to the search for a temporal correlation between earthquakes and new and full moons, which may help identify a new type of seismic activity precursor. Such a correlation was found in the circum-Pacific belt and the adjacent regions at latitudes above 40° N and 10° S. The results of daytime measurements of the thermal neutron flux from the surface of the Earth in the Western Pamirs (Moskvin Glade, 4200 m above sea level) on August 1–14, 1994, are reported in the present study. Since these days were quiet in terms of weather and heliophysical and geophysical activity, the intensity of neutrons of secondary cosmic radiation was expected to remain almost constant. However, twofold (or even larger) intraday variations of the neutron count rate were observed on August 1–14, 1994. These quiet measurement conditions rule out the possibility that these bursts were associated with certain known extraterrestrial factors. It has been demonstrated that the observed neutron-intensity peaks were produced by lunar and solar tides. These results confirm that tidal forces play a prominent part in the generation of neutron fluxes from the surface of the Earth. The Astronomical Yearbook for 1994 published by the Russian Academy of Sciences was used in the present study.

Keywords: tidal waves, new moons, full moons, thermal neutrons, culminations of the Moon and the Sun.

PACS: 91.10.Tq.

Received 1 December 2016.

English version: *Moscow University Physics Bulletin*. 2017. **72**, No. 6. Pp. 609–613.

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. Сигаева Екатерина Александровна — канд. физ.-мат. наук, науч. сотрудник; тел.: (495) 939-58-68, e-mail: belka@srd.sinp.msu.ru.