

**РЕГИСТРАЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА НА КАМЧАТКЕ  
В СВЯЗИ С ПРОГНОЗОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ***Кузьмин Ю.Д.**Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, kuzY@emsd.iks.ru***Введение**

Для мониторинга природных процессов (тектонических, геохимических, метеорологических, экологических, космических и т. д.) и взаимосвязанных в природе явлений используют разнообразные методы, методики и виды наблюдений. К одному из таких видов наблюдений за земными и космическими процессами относится нейтронный мониторинг. Камчатский филиал ГС РАН совместно с НИИЯФ МГУ организовал пункт наблюдения за изменением нейтронного потока в приземном слое атмосферы на Камчатке. Руководителем темы «Исследование источников и природы временных вариаций нейтронного поля Земли» был, к сожалению безвременно ушедший из жизни, Борис Михайлович Кужежский.

Основным источником нейтронов в околоземном космическом пространстве являются галактические и солнечные космические лучи, заряженные частицы радиационных поясов Земли и атмосфера Земли. В приповерхностных слоях Земли под действием космических излучений и излучений за счет радиоактивного распада горных пород, содержащих радиоактивные элементы, в приземном слое атмосферы образуются нейтроны и радиоактивные изотопы в широком диапазоне энергий, от долей эВ до десятков МэВ. Следовательно, изменение величины нейтронного потока может быть вызвано либо вариациями интенсивности космических лучей, либо изменением концентрации радиоактивных элементов, испускающих альфа-частицы, в пространстве, прилегающем к месту расположения детектора нейтронов.

**Существующие представления**

Как отмечалось выше, взаимодействие галактических и солнечных космических лучей с атмосферой Земли создает радиационный фон, которому соответствует нейтронный фон, характерный для данной местности. Но в настоящее время появились литературные данные, указывающие на связь изменений нейтронного потока с деформационными процессами в Земле и, как следствие, сейсмичностью.

Так, в [3, 4] рассматривают два возможных варианта образования нейтронных всплесков, связанных с излучением поверхности Земли. В первом варианте, при деформациях разломов земной коры в горной местности во время полнолуний и новолуний на поверхность Земли поступает дополнительное количество радона, и в результате радиоактивных превращений радона и ядерных взаимодействий с элементами надпочвенного слоя атмосферы, образуется дополнительное количество нейтронов. Во втором случае, нейтроны образуются в результате механоэмиссии во время образования микротрещин в горных породах земной коры при тех же астрономических явлениях. Амплитуда возрастания всплесков порой превышала нейтронный фон в десятки раз. На основании экспериментальных данных было сформулировано предположение, согласно которому всплески нейтронного излучения порождаются альфа-частицами радиоактивных газов изотопов радона, образующими нейтроны путем взаимодействия с ядрами элементов воздуха и земной коры. Сильные выбросы газов изотопов радона должны происходить преимущественно во время новолуний и полнолуний и в близкие к ним дни, когда суммарные приливные силы от Луны и Солнца достигают максимальной величины и подвергают земную кору наибольшим деформациям.

В [10] исследовалась взаимосвязь между солнечными вспышками, сейсмической активностью Земли и показаниями нейтронных мониторов за период с 1975 по 1987 гг. На основании анализа этих данных, выдвинута гипотеза о том, что потоки частиц, регистрируемые нейтронными мониторами, имеют не только галактическое и солнечное, но и земное происхождение, и по их величине можно судить о сейсмической активности Земли.

В [5] отмечается, что существует высотный ход потока нейтронов в атмосфере Земли, который возникает в результате взаимодействия космических лучей с земной атмосферой, и сделано предположение, что существует еще один источник нейтронов в нижней атмосфере с энергией менее 0.5 эВ. Этот поток имеет направление от Земли. Физическую природу этого феномена автор объясняет существованием в земной коре альфа-активных элементов, входящих в радиоактивные семейства элементов, родоначальниками которых являются уран и торий. Среди них в частности

присутствует радон – радиоактивный газ, который испускает альфа-частицы с энергией 5–9 МэВ, что при взаимодействии этих частиц с ядрами элементов атмосферы и земной коры вполне достаточно для генерации нейтронов со средними энергиями примерно равными 1 МэВ. Распространяясь в атмосфере Земли, нейтроны такой первоначальной энергии, теряют ее при столкновениях с ядрами  $N_2$  и  $O_2$  и достигают тепловых энергий. Т. е. изменение потока приземных тепловых нейтронов будет зависеть от концентрации радиоактивных элементов в том или ином районе и условий выхода на поверхность Земли. Следовательно, деформации в земной коре, независимо от их природы, должны приводить к вариациям нейтронного излучения.

В [7] показано, что в сейсмической зоне близ Алма-Аты (Казахстан) с 1996 г. ведутся наблюдения за вариациями естественного нейтронного потока под землей на глубине порядка 40 м водного эквивалента. На протяжении часового интервала скорость счета нейтронов резко увеличивается по сравнению с фоном за счет спонтанного деления ядер урана и взаимодействия альфа-частиц естественных радионуклидов с ядрами легких элементов, входящих в состав вещества земной коры и атмосферы. Это происходит накануне активизации сейсмических процессов. Вростание интенсивности нейтронного потока чаще всего опережают их на время от 1 часа до 10 суток. 70% таких событий укладывается во временной интервал до 4 суток. Между скоростью счета нейтронов и энергетическим классом последующих землетрясений, эпицентры которых находились не удалении до 400 км, прослеживается линейная зависимость. Отмечаемые изменения нейтронного потока авторы относят к вариациям мю-мезонной компоненты космических лучей, связанных с состоянием межпланетного пространства (солнечный ветер), во время вспышек на Солнце. Энергия солнечного ветра, передаваясь Земле, приводит в действие спусковой механизм процесса возникновения землетрясений в тех местах, где для них уже подготовлены условия.

В Японии проводилось изучение временных вариаций потоков тепловых нейтронов в сейсмоактивной зоне. В этой работе показано, что перед землетрясениями и извержениями вулканов происходит возрастание потоков нейтронов в несколько раз по сравнению с контрольными измерениями, проводимыми в относительно спокойные дни [17].

В [15] отмечается, что имеется ряд экспериментальных наблюдений, свидетельствующих, что сейсмическая активность Земли, может быть источником нейтронов. В показаниях сети наземных нейтронных мониторов существенный вклад вносят нейтроны земного происхождения. Наблюдающиеся нейтроны могут выделяться из сейсмически активных областей и свидетельствовать о внутренних тектонических процессах. Обнаруженная корреляция между сейсмической энергией Земли и потоком нейтронов авторами положена в основу разработки нового комплексного подхода к прогнозированию землетрясений.

Для проверки предположений о связи сейсмичности с изменениями потока нейтронов в приземном слое в наиболее сейсмически активном регионе России – Камчатке, были организованы наблюдения за приземным нейтронным потоком.

#### **Описание места наблюдений**

С целью получения информации о процессах, связанных с сейсмическими событиями на Камчатке, на пункте комплексных наблюдений (ПКН) «Карымшина» КФ ГС РАН совместно с НИИЯФ МГУ был организован пункт наблюдений за нейтронным потоком в приземном слое. Пункт расположен в межгорной долине реки Карымшина в 50 км от г. Петропавловска-Камчатского на Верхне-Паратунской гидротермальной системе, которая находится на пересечении глубинных разломов земной коры. На ПКН «Карымшина» проводятся наблюдения за изменениями электротеллурического, магнитного, геохимического полей, сейсмичности и метеорологических параметров. Геохимические наблюдения ведутся за солевым и газовым составом термальной воды из скважин с частотой 1 раз в 6 дней [6]. Проводится ежеминутный мониторинг изменения концентрации почвенного радона и водорода из скважины глубиной 4 м, а также растворенного радона и водорода в потоке термальной воды из самоизливающейся скважины К-88. Данные мониторинга ежеминутно по радиоканалу передаются в г. Петропавловск-Камчатский. Метеообстановка на ПКН «Карымшина» контролируется цифровой метеостанцией ежечасно.

Для выполнения мониторинга интенсивности потока тепловых нейтронов в приземном слое воздуха, НИИЯФ МГУ был предоставлен нейтронный детектор «ДОН-2», состоящий из шести стандартных нейтронных счетчиков СИ-19Н, наполненных газом  $He^3$  под давлением 4 атм. Он регистрирует нейтроны тепловых энергий 0.025 эВ с эффективностью 0.8. Светосила прибора 300  $См^2$ . В сторону больших энергий эффективность спадает обратно пропорционально энергии. Регистрирующая часть нейтронного детектора и радиотелеметрический канал передачи данных

изготовлены сотрудниками КФ ГС РАН. Передача данных в г. Петропавловск-Камчатский осуществляется ежеминутно. Далее информация передается в Москву по электронной почте.

На ПКН «Карымшина» нейтронный детектор установлен в деревянной будке на высоте 1 м от уровня земли. В этой же будке находится скважина глубиной 4 м, предназначенная для мониторинга подпочвенного радона и водорода. Будка расположена на высоте 100 м над уровнем моря.

Наблюдения за изменением нейтронного потока в приземном слое атмосферы на ПКН «Карымшина» проводятся более 3 лет, и за это время накоплен материал, достаточный для получения предварительных выводов.

### Фактический материал

На рис. 1–6 показаны синхронные измерения потоков нейтронов, метеоданных ПКН «Карымшина», сейсмической активности Камчатки, лунных фаз и изменения концентрации радона. В 2003 и в 2004 гг. ограничение интенсивности нейтронного потока на уровне 7500 имп/мин определялось техническими возможностями регистрирующей аппаратуры. В 2005 г. данный недостаток был устранен, и стали наблюдать более подробную картину изменения потока тепловых нейтронов в приземном слое атмосферы.

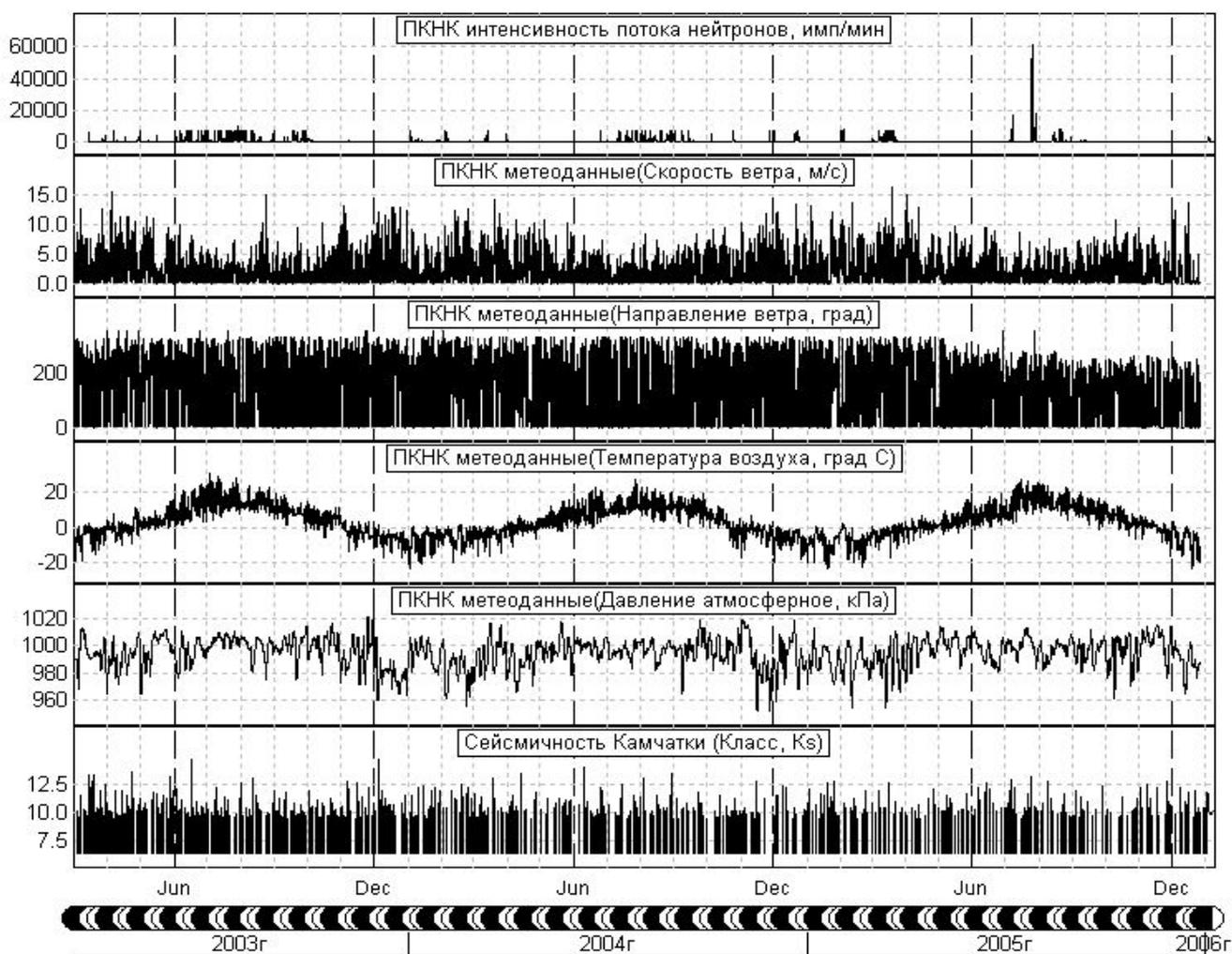


Рис. 1 Годовые ряды наблюдений с 2003 г. по декабрь 2005 г.

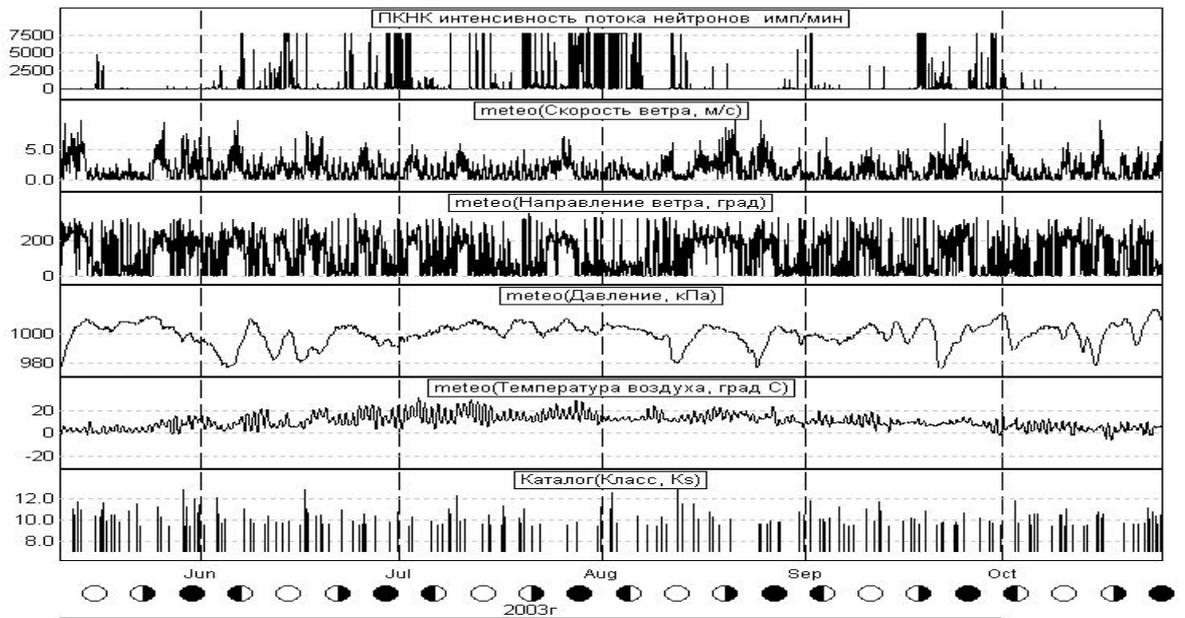


Рис. 2. Показан интервал синхронной регистрации (май-октябрь 2003г) нейтронного потока, метеоданных, сейсмичности Камчатки и лунных фаз.

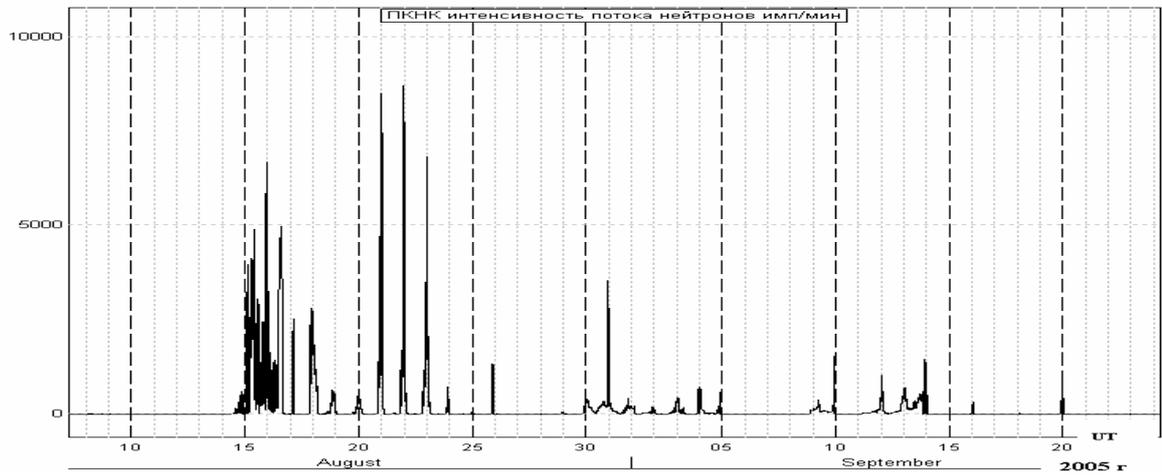


Рис. 3. Суточные всплески нейтронного потока в 2005 г.

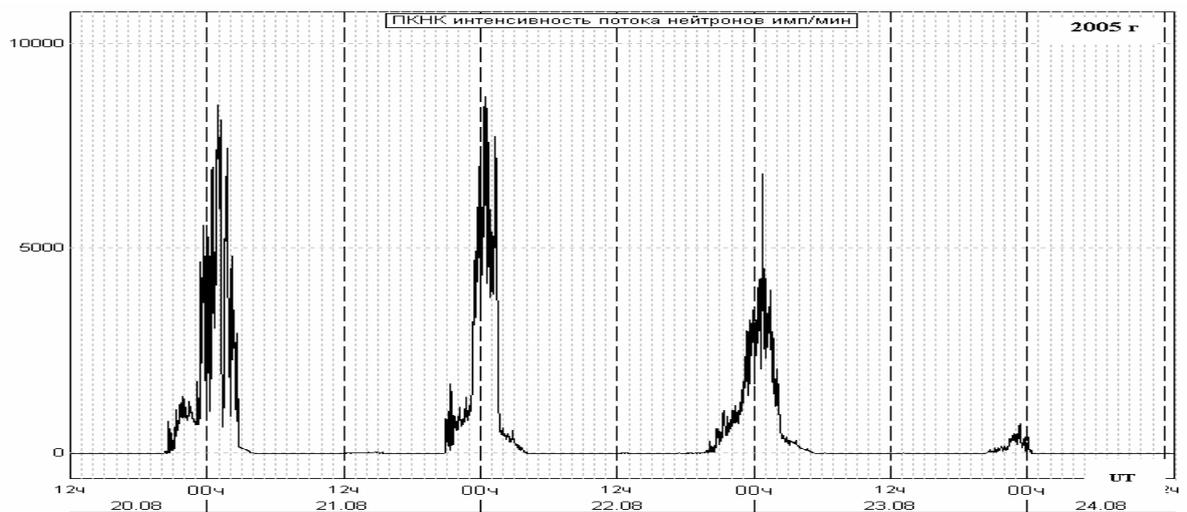


Рис. 4. Детализированные суточные всплески тепловых нейтронов в приземном слое атмосферы.

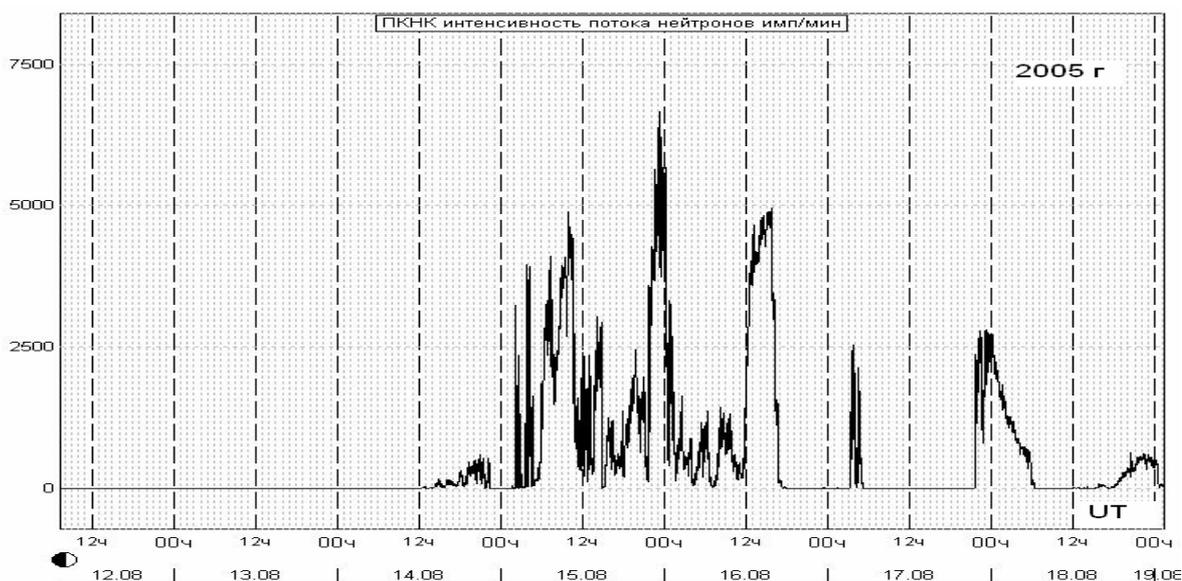


Рис. 5. Всплеск нейтронного потока продолжительностью более суток.

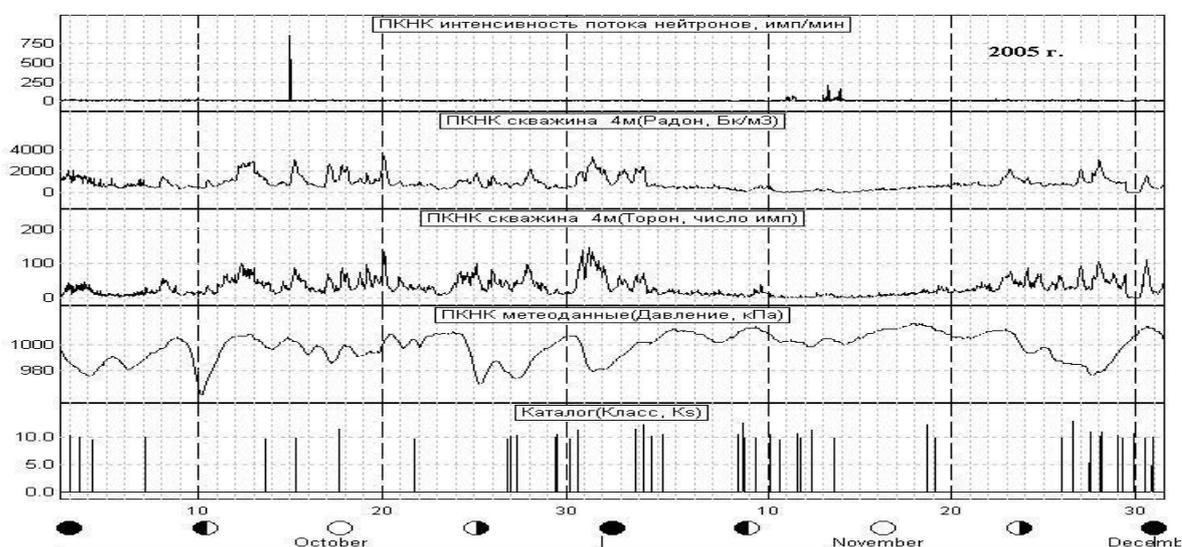


Рис. 6. Ряды синхронных наблюдений за потоком тепловых нейтронов, подпочвенным торонем, и радоном, атмосферным давлением, сейсмичностью и лунными фазами в 2005 г.

### Обсуждение результатов

Для понимания происходящих процессов необходимо сделать небольшой экскурс в нейтронную физику и физику космических лучей.

Из известных ионизаторов воздуха главнейшими для нижних слоев атмосферы являются излучения радиоактивных веществ, содержащихся в земной коре и атмосфере, а также космические лучи, энергия которых составляет от единиц кэВ до десятков тысяч ГэВ и выше. Над океаном основными ионизаторами являются космические лучи [12].

Нейтрон - электрически нейтральная элементарная частица со спином, равным  $1/2$  и массой, близкой к массе протона. Как составные части ядер нейтрон и протон называются нуклонами. Между свойствами нейтрона и протона существует далеко идущее сходство, которое выражается в равенстве спинов и близости масс, в способности к взаимопревращениям, в одинаковых ядерных силах, действующих между парами нуклонов. В свободном состоянии нейтрон неустойчив и распадается на протон, электрон и антинейтрино. Время жизни нейтрона относительно такого распада составляет 15.3 мин [13]. Все нейтроны делятся на группы в соответствии с их кинетическими энергиями  $E = 1/2mV^2$ . Нейтроны с энергиями более 100 кэВ называются быстрыми, меньше 100 кэВ – медленными. Разделение на быстрые и медленные обусловлено значительными различиями, существующими между этими группами в отношении характера взаимодействий с веществом, методов получения и регистрации, направлений использования. Быстрые нейтроны

характерны для галактических и солнечных космических лучей большой энергии. В свою очередь медленные нейтроны делятся на холодные (интервал энергий от 0 до  $5 \times 10^{-3}$  эВ), тепловые (0–0.5 эВ), резонансные нейтроны (0.5–1 кэВ) и промежуточные нейтроны (1–100 кэВ). Для получения тепловых электронов используют замедление быстрых нейтронов, получаемых в различных ядерных реакциях заряженных частиц и гамма-квантов. В больших массах хороших замедлителей (вода, графит и др.) большая часть нейтронов быстро достигает тепловых скоростей [2]. Таким образом, при уменьшении кинетической энергии нейтрона до величины менее 1 эВ энергия тепловых нейтронов становится сопоставимой с энергией связи атомов в водородсодержащих молекулах, и скорость нейтрона становится сравнимой со скоростью теплового движения атомов и молекул. Происходит термализация нейтрона. В данном процессе существенную роль начинает играть химическая связь, а не ядерные взаимодействия. Поэтому, если не происходит ядерной реакции, тепловые нейтроны могут вызвать лишь возбуждение колебательных движений атомов и молекул, что приводит к разогреву вещества. Энергия соответствующая наиболее вероятной скорости тепловых нейтронов определяется  $W=8.6 \times 10^{-5} \times T$ , где  $T$  – абсолютная температура в град. К. Скорость тепловых нейтронов с энергией 0.025 эВ составляет 2200 м/с [13].

В [1] показано, что возрастание солнечного космического излучения, в виде нерегулярных всплесков, в результате хромосферных вспышек на Солнце, сопровождается образованием интенсивных потоков протонов (солнечные протонные события – СПС), которые регистрируются на Земле в виде солнечных космических лучей (СКЛ). Продолжительность СПС составляет от часов (для протонов высоких энергий  $> 30$  МэВ), до нескольких суток (в среднем 3–10 суток) для протонов низких энергий ( $E < 10$  МэВ). Максимальная продолжительность СПС длительностью 30 суток наблюдалась в 1981 г. Обычно [1] мощная вспышка сопровождается испусканием большого количества ускоренных частиц – СКЛ. Самые энергичные из них, с  $E > 10^8 - 10^9$  эВ, начинают приходить к Земле спустя 10 мин после максимума вспышки в линии Na. Повышенный поток СКЛ с  $E < 10^8$  эВ у Земли может наблюдаться десятки часов. Таким образом, наблюдать солнечные протонные события на Земле, а, следовательно, и нейтроны, можно только при освещении Солнцем пункта наблюдений. Интенсивность протонов и их спектр индивидуален для каждого СПС. В спокойном состоянии Солнце является источником протонов крайне низких энергий (порядка кэВ), образующих вместе с электронами таких же энергий солнечный ветер. Интенсивные потоки высокоэнергетичных протонов продуцируются на Солнце только во время СПС. Как правило, развитие СПС сопровождается также генерацией интенсивных потоков других излучений (оптического, радио, ультрафиолетового, рентгеновского, электронного и др.). Частота появления СКЛ, вызванных СПС, коррелирует с уровнем солнечной активности: в годы максимума солнечной активности регистрируется примерно 10 событий в год, а в годы минимума – одно или не бывает совсем. Верхний предел энергии СКЛ не установлен, однако имеются данные о регистрации СКЛ с энергией несколько десятков ГэВ. Нижний предел составляет порядка нескольких кэВ. Солнечные нейтроны, образованные в результате ядерных реакций на Солнце, наблюдаются лишь при СПС, что может вызвать повышение фона нейтронного потока в низких широтах. Систематические наблюдения солнечного нейтронного излучения во время вспышек проводились на спутнике SMM с 1980 по 1987 гг. Зарегистрировано свыше 150 мощных вспышек, из которых только в 20-ти отмечены слабые потоки нейтронов (превышение над фоном на 3–7 среднеквадратичных отклонения). Подробный анализ результатов измерений SMM приведен в [16]. Заряженные частицы первичных космических лучей галактического и солнечного происхождения, энергия которых составляет от единиц кэВ до сотен ГэВ, прежде чем попасть на поверхность Земли, распространяются через магнитосферу Земли, проходят большой слой атмосферы, взаимодействуя с ядрами которой, генерирует вторичные космические лучи (элементарные частицы различных типов) и различные излучения. Таким образом, в нейтронных потоках должны возникать вариации межпланетного, магнитосферного и атмосферного происхождения. Данные вариации регистрируются сетью нейтронных мониторов, расположенных в разных точках земного шара. Однако, используемые нейтронные мониторы, в силу своей конструкции, не регистрируют нейтроны малых энергий и по этой причине на поверхности Земли они оказались неэффективными для целей регистрации тепловых нейтронов. Следовательно, регистрации нейтронов, вызванных солнечными вспышками и радиоактивными породами Земли, на уровне моря может проводиться только приборами, обладающими высокой вероятностью захвата атмосферных тепловых нейтронов.

На рис. 1-2 видно, что в годовом ходе всплесков нейтронного потока наблюдается приуроченность всплесков к повышенным температурам воздуха в летнее время в точке наблюдения, что наглядно подтверждает процесс термализации нейтронов в приземном слое в энергетическом диапазоне 0.025 эВ. Также видно, что не наблюдается зависимости изменения

интенсивности потока тепловых нейтронов от сейсмичности Камчатки и лунных фаз. Однако, при детальном рассмотрении, отмечается взаимосвязь между изменениями интенсивности нейтронного потока и метеопараметрами пункта наблюдений. Необходимо отметить, что лето 2003 года было очень дождливым, 2004 г. – менее, а 2005 г. – относительно сухим. Это явление прослеживается на рис. 1 в изменении интенсивности и плотности нейтронного потока и, очевидно, можно связать с количеством замедлителя (капелек дождя и влаги) в атмосфере. Летом увеличение температуры приводит к расширению атмосферы, т. е. к увеличению слоя замедлителя нейтронов.

На рис. 3 показаны суточные всплески тепловых нейтронов, которые, как правило, приурочены к утренним часам местного времени. Возникают они эпизодически и могут продолжаться от суток до недели и более. В разные годы они проявляют себя по-разному. Продолжительность, а также амплитуда суточных всплесков, очевидно, зависит от параметров солнечных протонных событий, состояния нижней атмосферы, зенитного угла прихода потока протонов в точку наблюдения и условий атмосферы, в которой происходит термализация нейтронов.

На рис. 4 показаны детализированные суточные всплески нейтронов. Из рис. 4 видно, что время начала всплеска, как правило, соответствует 8-9 часам местного времени, а конец суточной нейтронной вспышки, очевидно, зависит от энергии пришедших солнечных протонов и составляет несколько часов. По форме кривой интенсивности суточного всплеска можно предположить, что наблюдается зависимость изменения параметров нейтронного потока от зенитного угла прихода СПС через атмосферу по местному времени и параметров СПС. Это позволяет сделать вывод о том, что изменения интенсивности нейтронного потока в суточных всплесках указывают на взаимосвязанность параметров СКЛ, вызванных СПС, с условиями и параметрами атмосферы в районе наблюдения. Иногда бывают вспышки, продолжающиеся сутки и более (рис. 5). Пока предположений относительно механизма этих вспышек не имеется.

На рис. 6 видно, что корреляции изменения нейтронного потока с изменением концентрации радона и торона в почвенном воздухе и лунными фазами не наблюдается. Факт отсутствия корреляции интенсивности нейтронного потока от интенсивности радона отмечается и в [7].

За время наблюдений за изменениями интенсивности нейтронного потока на ПКН «Карымшина» отмечена особенность, которая заключается в том, что наблюдаются довольно значительные всплески нейтронов при подходе циклонов к Камчатке с Охотоморского направления, т. е. с запада. При подходе циклонов с Тихого океана, т. е. востока, всплесков отмечено не было.

Возможно, изменение интенсивности потока тепловых нейтронов на ПКН «Карымшина» можно объяснить с помощью выводов сделанных в [8, 9, 11]. В [9] автор, рассматривая вариации межпланетного, магнитосферного и атмосферного происхождения, отмечает, что усиление (ослабление) потока вторгающихся частиц в результате еще не вполне выясненных физико-химических процессов, вызывает уменьшение (увеличение) прозрачности атмосферы и тем самым модулирует поступление солнечной энергии в нижнюю атмосферу. Заметное изменение химического состава и содержания малых составляющих, а также прозрачности атмосферы, он объясняет вариациями потока ионизирующих излучений в атмосфере. В [11] показана зависимость изменения радиоактивности в точке наблюдения от атмосферных процессов и радиоактивной техногенной деятельности человека. С другой стороны в [8] показана взаимосвязь флюидодинамического режима Земли с сейсмичностью и дегазационными процессами, влияющими на состав и состояние атмосферы, которая является хорошим замедлителем для космических лучей.

## **Выводы**

1. Исходя из литературных данных и наблюдений за изменением интенсивности потока тепловых нейтронов на ПКН «Карымшина», необходимо признать, что ответа на взаимосвязь сейсмичности с изменениями нейтронного потока мы не получили, т. к. приводимые литературные данные относятся к наблюдениям в других энергетических диапазонах и условиях, которым соответствуют свои процессы. Например, в [3] наблюдения проводились в горах на высоте 3300 м (Памир), а в [7] в штольне на глубине, соответствующей 40 м водного эквивалента. Для получения корректного ответа о взаимосвязи сейсмичности Камчатки с изменением интенсивности нейтронного потока в приземном слое, необходимо расширить энергетический диапазон наблюдений. Это можно сделать с помощью универсального портативного дозиметра-радиометра МКС-РМ 1401К, обеспечивающего обнаружение любых источников ионизирующего излучения (альфа, бета, гамма и нейтронного излучений) и идентификацию радионуклидного состава с помощью специального программного обеспечения по гамма-спектрам. При этом целесообразно организовать еще один пункт мониторинга за интенсивностью нейтронного потока в широком диапазоне энергий в районе города.

2. Годовые изменения интенсивности потока тепловых нейтронов, очевидно, связаны с изменением величины влажности и толщины атмосферы. Летом увеличение температуры приводит к увеличению влажности и расширению атмосферы, т. е. сезонному изменению параметров замедлителя нейтронов. Эти наблюдения отчетливо указывают на связь интенсивности потока тепловых нейтронов с метеорологическими параметрами в районе пункта наблюдения. Неясна роль снега в поглощении нейтронов.

3. Корреляций изменения потока тепловых нейтронов с изменением концентрации радона и лунными фазами на ПКН «Карымшина» не наблюдается.

4. Суточные всплески интенсивности потока нейтронов можно объяснить изменением зенитного угла внеатмосферного источника (Солнца) за счет вращения Земли, а изменение интенсивности потока тепловых нейтронов в суточных всплесках - за счет изменения параметров СПС и атмосферы Земли.

5. Каких-либо предположений, относительно всплесков нейтронов продолжительностью сутки и более, пока нет.

6. Нет объяснений всплескам, связанным с приходом циклонов с Охотоморского направления и отсутствием таковых с приходом циклонов с Тихого океана.

Автор благодарит Воропаева В.Ф., Воропаеву Н.П., Смирнова А.А за помощь в проведении наблюдений, создании базы данных, модернизации регистрирующего модуля и системы радиопередачи данных.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ 02-05-64237а и 05-05-64837а.

### Список литературы

1. Авакян С.В., Вдовин А.И., Пустарников В.Ф. Ионизирующие и проникающие излучения в околоземном космическом пространстве. Справочник. // Санкт-Петербург.: Гидрометеоиздат, 1994. 500 с.
2. Бекурц К., Виртл К. Нейтронная физика. М.: Атомиздат, 1968. 456 с.
3. Володичев Н.Н., Кужевский Б.М., Нечаев О.Ю. и др. Явление возникновения всплесков интенсивности нейтронов во время фаз новолуний и полнолуний // Космические исследования. 1997. Т. 35. № 2. С. 144-154.
4. Володичев Н.Н., Подорольский А.Н., Левин Б.В., Подорольский В.А. Корреляция появления крупных серий землетрясений со временем фаз новолуния и полнолуния // Вулканология и сейсмология. 2001. № 1. С. 60-67.
5. Кужевский Б.М. Нейтронное поле Земли // 2004. СМИ «Интеллигент» (intelligent.ru).
6. Кузьмин Ю.Д., Рябинин Г.В. Мониторинг газового состава и гидрохимических параметров гидротермально-магматических систем // Материалы Международного полевого Курило-Камчатского семинара, 16 июля – 6 августа 2005 г. Гидротермальные и минеральные ресурсы областей современного вулканизма. Петропавловск-Камчатский: ОТТИСК, 2005. С. 317-328.
7. Остапенко В.Ф., Красноперов В.А. Аномальные вариации естественного нейтронного потока в сейсмически активной зоне // <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/495.html>, 2003.
8. Осика Д.Г., Черкашин В.И. Флюидодинамика и сейсмичность. Махачкала: ИГ ДНЦ РАН, 2004. 176 с.
9. Пудовкин М.И. Влияние солнечной активности на состояние нижней атмосферы и погоду // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 10. С. 106-113.
10. Соболев Г.А., Шестопалов И.П., Харин Е.П. Геоэффективные солнечные вспышки и сейсмическая активность Земли // Физика Земли. 1998. № 7. С. 85-90.
11. Стыро Б.И. Вопросы ядерной метеорологии. Вильнюс, 1959. 418 с.
12. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. акад. И.К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976. 1008 с.
13. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.
14. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1986. 783 с.
15. Шестопалов И.П., Е.П.Харин О связи сейсмичности Земли с солнечной и геомагнитной активностью // <http://www.ikir.kamchatka.ru/Russian/Science/2004/1-19.pdf>
16. Chupp E.L. High-energy particle production in Solar flares (SEP, gamma-ray and neutron emission) // Physical scripta. 1987. V. 18. P. 5-19.
17. Yasunaga S. Method and equipment for prediction of volcanic eruption and earthquake. Pat. 5241175. USA. 1993.