

Академик НАН Украины В. В. Гончарук, В. Б. Лапшин,  
Н. В. Плотникова, Е. Ю Фролова, А. В. Сыроешкин

## Нейтронное поле тропосферы и его аномалии у поверхности Атлантического океана

*Проведено широкомасштабний моніторинг густини потоку теплових нейтронів біля поверхні Землі в Європейській частині Росії і в Атлантиці (від Балтійська до Ушуай), на Північному полюсі, а також в тропосфері під час висотних авіаперельотів. У Атлантичному океані виявлені зони посиленої емісії теплових нейтронів до  $300 \text{ н}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ , що в 20–30 разів перевищують фоновий рівень і збігаються за локалізацією з океанськими фронтами, зонами підвищеної концентрації фітопланктону. Обговорюється роль кінетичного захоплення фонових нейтронів у формуванні аномально високого корпускулярного випромінювання від біомаси.*

Фоновые потоки нейтронов обусловлены вторичным излучением от взаимодействия солнечных и галактических лучей с земной атмосферой и потоками от земной коры [1, 2]. Нейтронный поток у поверхности Земли определяется, в основном, тепловыми нейтронами (с энергией 0,02–0,5 эВ) вследствие их термализации в атмосфере. Величина фонового потока тепловых нейтронов (около  $10 \text{ н}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ ) зависит от географической локализации места измерения (возрастает с высотой местности, слабо возрастает с широтой) [3, 4], а также может многократно усиливаться при солнечных вспышках. При проведении зонального мониторинга потока тепловых нейтронов в Атлантическом океане мы обнаружили его значительное увеличение над полями фитопланктона, подобное эффекту лесных биоценозов на европейской части России [5].

**Районы натуральных измерений.** *Атлантический океан.* Измерение плотности потока тепловых нейтронов ( $F_n$ ) в морях Атлантики проводили на борту НИС “Академик Йоффе”, следовавшего по маршруту Балтийск ( $54^\circ \text{ N}$ ) — Ушуая (Огненная Земля) ( $55^\circ \text{ S}$ ), с заходом в Монтевидео (октябрь — ноябрь 2006 г.) и на борту НИС “Сергей Вавилов”, следовавшего по маршруту Монтевидео — Ушуайя (октябрь — ноябрь 2008 г.).

*Измерение  $F_n$  в Европейской части России* проводили непрерывно, установив счетчик на пассажирских железнодорожных составах, следовавших по маршруту Москва — Волхов, Москва — Новороссийск.

*Северный полюс.* Фоновый уровень тепловых нейтронов был измерен на Северном Полюсе на широте  $89^\circ 20' \text{ N}$  (в апреле 2006 и 2009 гг.).

*Измерение высотной зависимости плотности потока тепловых нейтронов.* Высотный мониторинг проводили у поверхности Земли на различных высотах горного массива Западного Кавказа. Измерение плотности потока тепловых нейтронов во время высотных авиаперелетов проводили, помещая детектор тепловых нейтронов на борт самолетов (2006–2009): АН74ТК-100 (Москва — Шпицберген — Северный полюс), ТУ 154 (Москва — Екатеринбург — Новосибирск — Чита — Хабаровск — Петропавловск-Камчатский), АН-12 (Елизово, Камчатка).

### Мобильный детектор для измерения плотности потока тепловых нейтронов.

Мобильная установка для измерения потока тепловых нейтронов (разработка НИИИТ Минатома) состояла из шести газоразрядных датчиков СНМ 18 (наполнение — 97%  $^3\text{He}$ +3% Ar, 405 кПа), работающих в пропорциональном режиме, данные от которых выводились через АЦП на компьютер. Чувствительность детектора к нейтронам тепловых энергий (0,02–0,5 эВ) около 180 имп. · см<sup>2</sup>/н. Установка обеспечивает регистрацию не менее 80% нейтронов тепловых энергий. Счет нейтронов проводили каждые 3 мин. Счет (в течение 10 мин) фоновых нейтронов на двух детекторах, расположенных рядом, различается не более, чем на 10% при доверительной вероятности 0,99 ( $n = 500$ ).

**Контроль астрофизических событий.** Временной ход адронной компоненты наземного уровня вторичного излучения космических лучей с энергиями более 100 МэВ контролировался по данным нейтронного монитора 24NM64 ИЗМИРАН, г. Троицк Московской обл. (<http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm>). Следует подчеркнуть, что представленные результаты измерений проводились во время “спокойной” космической погоды, согласно данным ИЗМИРАН (<http://helios.izmiran.rssi.ru/cosray/events.htm>).

**Модельные эксперименты с водными суспензиями *Dunaliella sp.* и *Chlorella sp.*** проводили с использованием двух горизонтально расположенных счетчиков нейтронов. Поток нейтронов от водных культур измеряли, расположив счетчики нейтронов под культурами клеток зеленых микроводорослей *Chlorella sp.* ( $10^8$  клеток/мл) и *Dunaliella sp.* ( $10^7$  клеток/мл), помещенных в чашки Петри. Контроль фонового потока тепловых нейтронов осуществляли одновременным мониторингом  $F_n$  при помощи счетчика, расположенного на расстоянии 2 м от культуры. Плотность потока тепловых нейтронов при естественном освещении измерялась в течение семи суток.

#### Результаты и их обсуждение.

1. *Пространственно-временные неоднородности плотности потока тепловых нейтронов на разных широтах у поверхности Земли на суше и на море.* При приближении к экватору в Европейской части России происходит достоверно регистрируемое, хотя и не очень значительное снижение плотности потока тепловых нейтронов: при уменьшении широты от 59° S до 44° S (Волхов — Новороссийск)  $F_n$  уменьшается от 26–30 н/(с · м<sup>2</sup>) до 4 н/(с · м<sup>2</sup>). На рис. 1 представлены результаты измерений, проведенных во время Атлантических экспедиций. Особенно явно зависимость плотности потока тепловых нейтронов от широты проявляется в Южном полушарии. Аномальное увеличение плотности потока тепловых нейтронов наблюдаются в районе экватора и в районах от 31° N до 54° N и от 33° S до 53° S, что примерно совпадает с расположением фронтальных зон и связанных с ними полей фитопланктона экваториального и субтропических климатических поясов [6].

2. *Плотность потока тепловых нейтронов в северных высоких широтах.* Фоновый уровень тепловых нейтронов был измерен на широте 89° 20' N в апреле 2006 и 2009 гг., его величина составляет  $15 \pm 1$  н/(с · м<sup>2</sup>). Уменьшение этой величины по сравнению с континентальной ( $25 \pm 1$  н/(с · м<sup>2</sup>) на Кольском полуострове) можно объяснить, в том числе, наличием полярных выюкоширотных аэрозолей.

3. *Зависимость плотности потока тепловых нейтронов от высоты у поверхности суши.* Изменения  $F_n$  при увеличении высоты от 0 до 2100 м над уровнем моря составляют от 4 н/(с · м<sup>2</sup>) до 50–60 н/(с · м<sup>2</sup>) у поверхности Земли. Значение  $F_n$  у поверхности моря не зависит от глубины моря (от 0 до 2500 м) и не зависит от удаленности от берега (до 160 км), что указывает на отсутствие значимых потоков нейтронов от поверхности Земли в причерноморских районах Западного Кавказа.

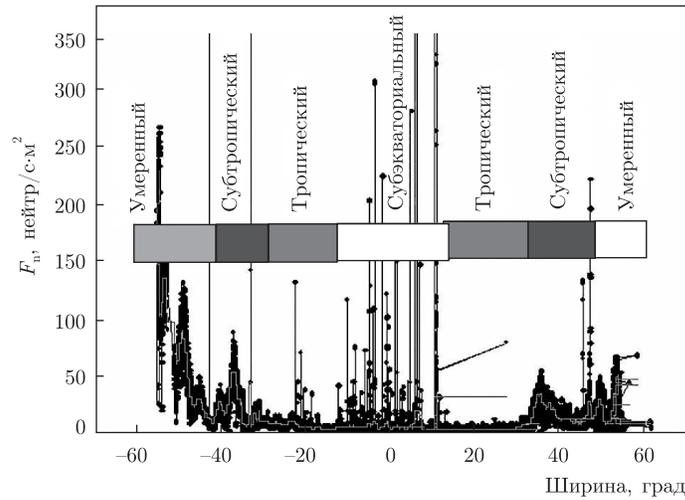


Рис. 1. Зависимость плотности потока тепловых нейтронов в Атлантическом океане от Балтийска ( $54^{\circ}$  N) до Ушуаи ( $55^{\circ}$  S)

4. *Пространственно-временные неоднородности  $F_n$  в нижнем слое тропосферы на различных высотах (данные авиaperелетов).* Характер увеличения потока тепловых нейтронов при наборе высоты (от 0 до 9000 м) не зависит от места измерения (Москва, Шпицберген, Северный полюс, Петропавловск-Камчатский и др.) при отсутствии значительной облачности. Величина плотности потока тепловых нейтронов на высоте 9100 м превышает фоновую более чем на два порядка.

5. *Аномалии нейтронного потока в растительных биоценозах.* Ранее нами было обнаружено аномальное увеличение  $F_n$  в различных биоценозах [5], связанное, возможно, с особенностями взаимодействия нейтронов с мультигетерогенной средой живого вещества, играющей роль стационарной “ловушки” медленных нейтронов, средах [7]. Существует еще один возможный механизм генерации нейтронов, связанный с накоплением радионуклидов в биосистемах. Источником нейтронов, вносящим вклад в формирование повышенного корпускулярного излучения от биоценозов, в таком случае могут быть пары радиоактивных изотопов (например, Pu–Be и др.). Мы предположили, что в биоценозе может происходить стационарная задержка части нейтронного потока вследствие всех типов рассеяния и преотражения на межфазных границах с последующим испусканием “избытка” нейтронов в определенное время суток, например, при изменении тургора растительных клеток, на что указывает циркадный ритм счета нейтронов [5]. Не исключено, что суточные изменения у растений связаны с механизмом функционирования устьиц, фотосинтеза, роста листьев, сопровождающимся перепадом осмотического давления, что приводит к изменению химического состава клеток.

В настоящее время обоснована феноменология влияния плотности потока тепловых нейтронов ( $F_n$ ) на водородобогащенные системы с наличием неравновесных межфазных электрохимических процессов [8, 9], к которым относятся все клеточные системы. Во время мониторинга плотности потока тепловых нейтронов над Атлантическим океаном были обнаружены аномальные увеличения плотности потока тепловых нейтронов в местах скопления фитопланктона. Зависимость медианных значений плотности потока тепловых нейтронов от средней биомассы лесных биоценозов Европейской части России (рис. 2, а) и фитоплан-

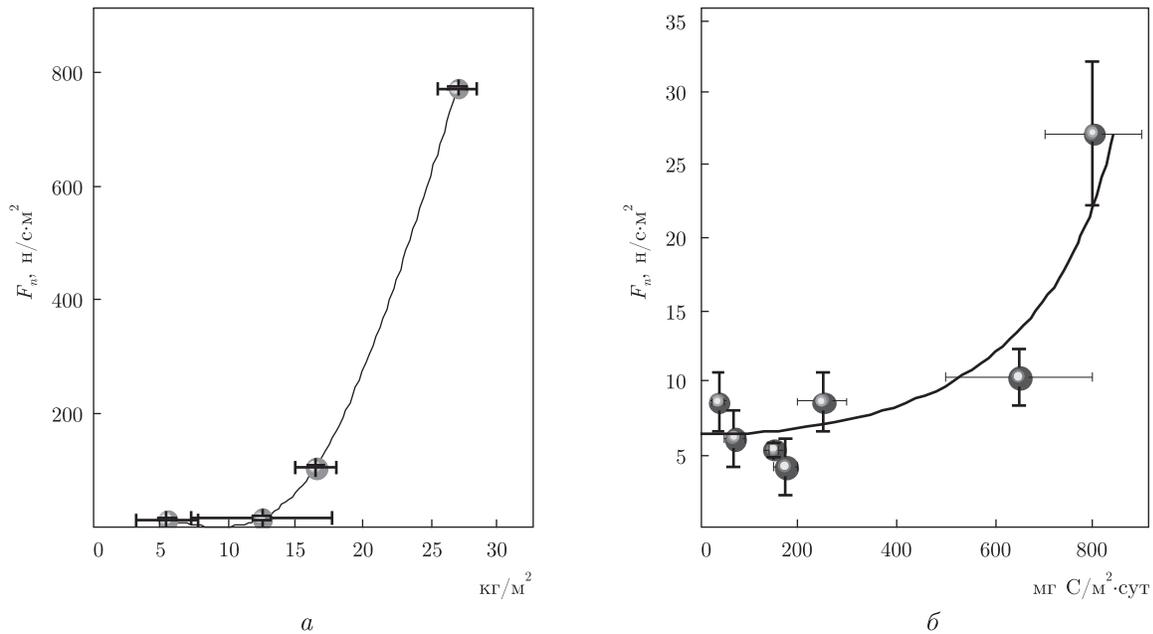


Рис. 2. Зависимость медианных значений плотности потока тепловых нейтронов от средней биомассы растительных поверхностных биоценозов суши Европейской части России (а) и биоценозов морских планктонных сообществ Атлантики (б)

ктонных биоценозов Атлантики представляет собой монотонно возрастающую функцию (рис. 2, б) (расчет биомассы проводили по данным Базилевич Н. И., Гребенщикова О. С., 1986 г. и Добровольского В. В., 1994 г.) Такой вид зависимости позволил предположить, что изменение нейтронного флюенса будет происходить и над модельной культурой зеленых микроводорослей.

б. *Аномалии нейтронного потока на водных суспензиях культур дунаниэллы и хлореллы.* Водная суспензия дунаниэллы и хлореллы через определенные промежутки времени демонстрировала многократное увеличение нейтронного потока. Характерный график представлен на рис. 3, где показаны данные одновременной записи сигналов двух счетчиков: от суспензии микроводорослей и контрольный (фоновый).

Таким образом, в настоящей работе проведен мониторинг фонового потока тепловых нейтронов, позволяющий создать представление о пространственно-временной изменчивости плотности потока тепловых нейтронов у поверхности Земли и над Атлантическим океаном. Исследована изменчивость плотности потока тепловых нейтронов на широтном разрезе от Москвы до Новороссийска и от Балтийска до Ушуайи. Проведены исследования высотной зависимости плотности потока тепловых нейтронов у поверхности Земли и в тропосфере во время высотных перелетов Москва — Северный полюс и Москва — Петропавловск-Камчатский. Аномальное увеличение плотности потока тепловых нейтронов наблюдается в районе экватора и в районах от 31° N до 54° N и от 33° S до 53° S, что примерно совпадает с расположением фронтальных зон, полей фитопланктона экваториального и субтропических климатических поясов (см. рис. 1).

Зависимость медианных значений плотности потока тепловых нейтронов от средней биомассы лесных биоценозов Европейской части России и фитопланктонных биоценозов Атлантики представляет собой монотонно возрастающую функцию (см. рис. 2). В модель-

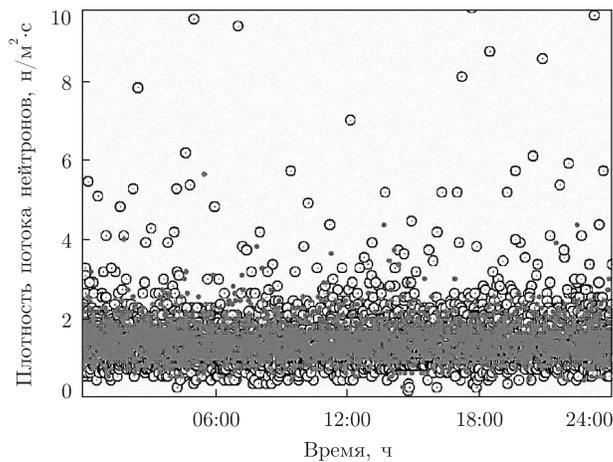


Рис. 3. Суточный ход плотности потока тепловых нейтронов от времени над суспензией зеленых микроводорослей, культура клеток *Dunaniella sp* ( $10^7$  клеток/мл). Длительность наблюдения — семь суток

ных экспериментах водные суспензии *Dunaniella sp.* (см. рис. 3) и *Chlorella sp.* обнаруживают многократное увеличение плотности потока тепловых нейтронов, что является косвенным подтверждением феноменологии влияния плотности потока тепловых нейтронов на водородобогащенные системы с наличием неравновесных межфазных электрохимических процессов, к которым относятся все клеточные системы.

1. O'Brien K., Sauer H. H. The atmospheric cosmic – and solar energetic particle // Adv. Space Res. – 1998. – **21**, No 12. – P. 1739–1748.
2. Володичев Н. Н., Кузевский Б. М., Нечаев О. Ю. и др. Солнечно-лунно-земные связи: всплески нейтронного излучения и сейсмоактивность // Астроном. вестн. – 2000. – **34**, № 2. – С. 188–190.
3. Sato T., Yasuda H., Niita K. et al. Development of ARMAPHITS-based analytical radiation model in the atmosphere // Radiat. Res. – 2008. – **170**, No 2. – P. 244–259.
4. Rühm W., Mares V., Pioch C. et al. Continuous Measurement of Secondary Neutrons from Cosmic Radiation at Low Atmospheric and Geomagnetic Shielding by Means of Bonner Sphere Spectrometer // Radiat. Prot. Dosimetry. – 2009. – **136**, No 4. – P. 256–261.
5. Плотникова Н. В., Смирнов А. Н., Колесников М. В. и др. Аномальное изменение плотности потока нейтронов в биоценозах у поверхности Земли // Бюл. эксперим. биологии и медицины. – 2007. – **143**, № 4. – С. 394–397.
6. Kaufman Y. J., Koren I., Remer L. A. et al. The effect of smoke, dust and pollution aerosol on shallow cloud development over the Atlantic Ocean // PNAS. – 2005. – **102**, No 32. – P. 11207–11212.
7. Теоретические и экспериментальные проблемы нестационарного переноса нейтронов // Отв. ред. В. В. Орлова и Э. А. Стумбура. – Москва: Атомиздат, 1972. – 352 с.
8. Липсон А. Г., Бардышев И. И., Кузнецов В. А. и др. Аномальное поглощение тепловых нейтронов в меди в присутствии сильных механических напряжений // Физика твердого тела. – 1998. – **40**, № 3. – С. 254–259.
9. Матвеева И. С., Смирнов А. Н., Воденников Б. Д. и др. Облучение потоком нейтронов как тест на выживаемость *Artemia salina* // Бюл. эксперим. биологии и медицины. – 2004. – **138**, № 11. – С. 530–534.

Институт коллоидной химии и химии воды  
им. А. В. Думанского НАН Украины, Киев  
ФГУ “Государственный океанографический институт  
им. Н. Н. Зубова”, Москва

Поступило в редакцию 10.03.2010

Academician of the NAS of Ukraine **V. V. Goncharuk, V. B. Lapshin,**  
**N. V. Plotnikova, E. Yu. Frolova, A. V. Syroeshkin**

### **Troposphere neutron field and its anomalies near the Atlantic Ocean surface**

*The large-scale monitoring of a thermal neutron flux was carried out near the Earth surface in the European part of Russia and the Atlantic ocean (from the Baltic sea to the Drake Strait), near the North Pole, and during troposphere air-flights. The zones of increased emission of thermal neutrons (up to 300 n per s per sq. m) was observed over the Atlantic ocean. Neutron fluxes in the zones exceeded the background level by 20–30 times. The zones of neutron flux anomalies coincided with the localization of ocean fronts and zones of increased concentrations of phytoplankton. The role of the kinetic thermal neutron capture in the formation of the anomalously high corpuscular radiation from biomass is discussed.*