

УДК 524.1:521.16

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ ПО ДАННЫМ УСТАНОВКИ “НЕЙТРОН”

© 2021 г. Л. Бушаман<sup>1</sup>, \*, Ф. А. Богданов<sup>1</sup>, Д. М. Громушкин<sup>1</sup>, А. Н. Дмитриева<sup>1</sup>,  
З. Т. Ижбулякова<sup>1</sup>, П. С. Кузьменкова<sup>1</sup>, С. Мешрауи<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
“Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ”, Москва, Россия

\*E-mail: bouchama\_lazhar@mail.ru

Поступила в редакцию 24.05.2021 г.

После доработки 01.06.2021 г.

Принята к публикации 28.06.2021 г.

С использованием данных установки “Нейтрон” с мая 2015 г. по февраль 2019 г. исследовано влияние метеопараметров на концентрацию тепловых нейтронов. Получены суточные и сезонные вариации скорости счета нейтронов, связанные с изменениями температуры. Оценено влияние высоты снежного покрова на скорость счета нейтронов за четыре зимних периода. Показано, что метеопараметры оказывают существенное влияние на концентрацию нейтронов в приземной области, суммарный вклад от давления, температуры и высоты снежного покрова может составлять более 30%.

DOI: 10.31857/S0367676521100112

### ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день большой интерес уделяется изучению естественного потока нейтронов вблизи поверхности Земли. Основными источниками потока нейтронов вблизи поверхности Земли являются атмосфера и земная кора [1]. Чтобы качественно исследовать нейтронный поток в приземной атмосфере, необходима информация о том, как он изменяется в зависимости от разных эффектов окружающей среды.

На малых высотах над поверхностью Земли на поток нейтронов влияют следующие факторы: атмосферные параметры (давление, температура, количество выпавших осадков), высота над поверхностью грунта, содержание воды в окружающей среде (пар, снег, растительность), содержание радона, сейсмическая активность, воздействие Солнца и Луны, изменения потока космических лучей и другие [2–4].

В работе приводятся результаты обработки данных установки “Нейтрон” [5] за период с мая 2015 г. по февраль 2019 г. с целью исследования влияния различных метеопараметров на поток тепловых нейтронов в приземной атмосфере.

### ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ “НЕЙТРОН”

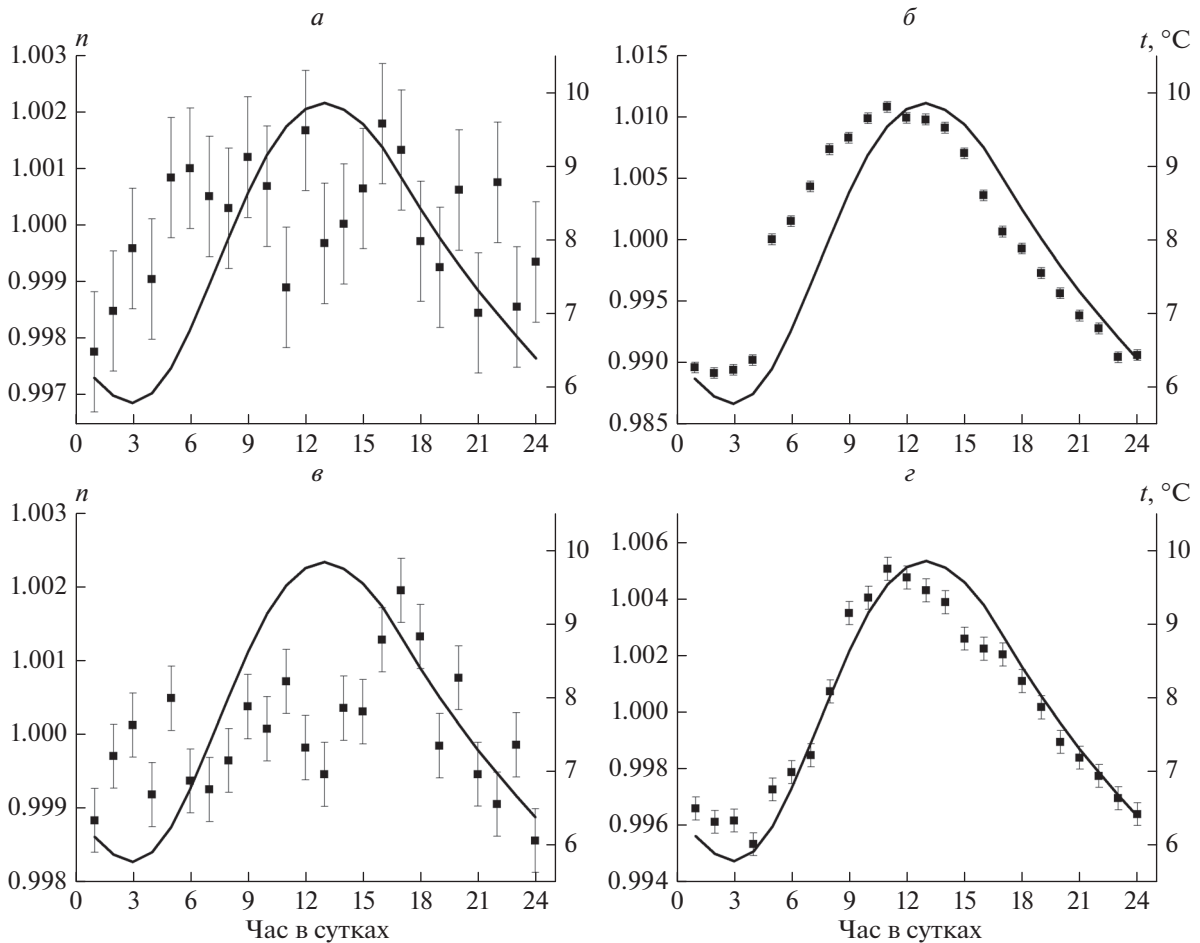
С 2010 года в составе уникальной научной установке “Экспериментальный комплекс НЕВОД”

[6] функционирует установка “Нейтрон”, предназначенная для контроля нейтронного фона под и над поверхностью Земли. Она состоит из четырех одинаковых сцинтилляционных детекторов на основе неорганического сцинтиллятора ZnS(Ag) + <sup>6</sup>LiF. Каждый детектор установки представляет собой пирамидальный металлический корпус, в котором находится сцинтиллятор с эффективной площадью, равной 0.75 м<sup>2</sup>, который просматривается одним фотоумножителем ФЭУ-200. Установка работает в непрерывном режиме и регистрирует скорость счета тепловых нейтронов каждые пять минут. Детекторы размещены внутри здания НЕВОД на различных высотах от –3 до 10.5 м от поверхности грунта. Первый детектор находится в подвале (что делает детектор более чувствительным к вариациям нейтронов от естественной радиоактивности за счет радона, скапливающегося в подвалах), второй – в стеклянном переходе между зданиями, третий и четвертый – на втором и третьем этажах здания.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

#### *Барометрический эффект*

Одним из основных метеопараметров, оказывающих влияние на поток нейтронов, является давление, поэтому перед исследованием влияния окружающей температуры на концентрацию ней-



**Рис. 1.** Суточная волна скорости счета нейтронов  $n$ , нормированной на среднее значение, по данным четырех детекторов установки “Нейтрон” (точки, левые оси) и температуры  $t$  (сплошные кривые, правые оси) за период с мая 2015 по февраль 2019 года:  $a$  – детектор № 1,  $б$  – детектор № 2,  $в$  – детектор № 3,  $г$  – детектор № 4.

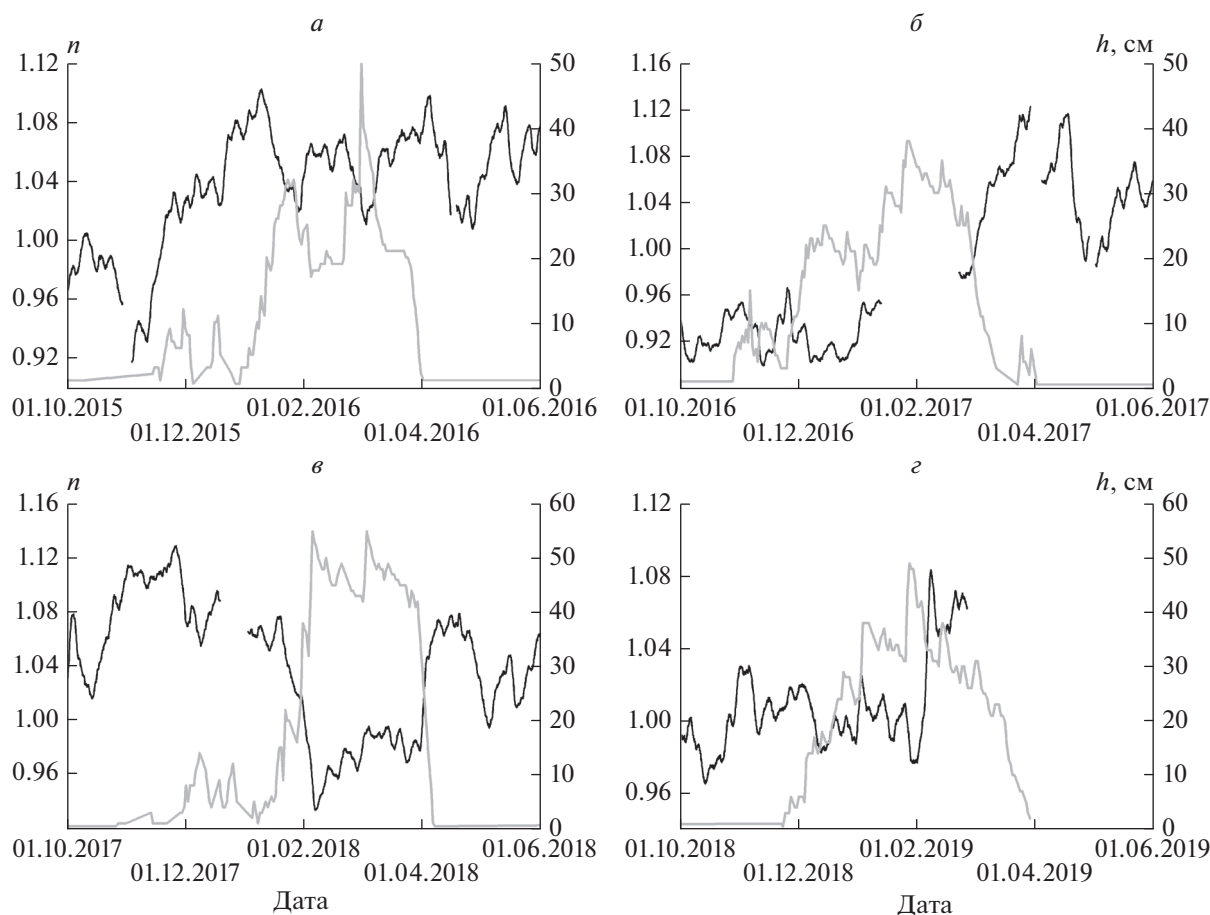
тронов необходимо ввести корректировку в текущую скорость счета  $N(t)$ :

$$N^{\text{корр}}(t) = N(t) + B \cdot (P_0 - P(t)),$$

где  $P$  – текущее значение атмосферного давления,  $P_0$  – среднее значение,  $B$  – барометрический коэффициент. Для расчета  $B$  строится зависимость скорости счета от давления, определяется коэффициент  $B$  уравнения фитирующей прямой. Барометрический коэффициент  $\beta$  (в %/мбар), который показывает на сколько процентов изменится скорость счета детектора, если атмосферное давление изменится на одну единицу, вычисляется по формуле  $\beta = (B/N_0) \times 100\%$ , где  $N_0$  – среднее значение скорости счета за месяц. До введения поправки на барометрический эффект скорость счета нейтронов довольно сильно антикоррелирует с давлением, но после его введения корреляция практически исчезает.

### Температурный эффект

Поиск суточной волны, показывающей влияние температуры на скорость счета в течение суток (день/ночь), проводился следующим образом. За период принимаются одни сутки (24 ч). Скорость счета пятиминутных данных, попавших в первый час первых суток временного ряда, складывается со скоростью счета пятиминутных данных, попавших в первый час вторых суток, в первый час третьих суток и так далее – по всему изучаемому периоду. Скорость счета пятиминутных данных, попавших во второй час первых суток, складывается со скоростью счета пятиминутных данных, попавших во второй час вторых суток, во второй третьих суток и так далее – по всему изучаемому периоду. Полученная сумма для соответствующего часа затем делится на число пятиминутных событий, попавших в этот час. Наиболее ярко по форме проявляются суточные волны скорости счета для второго и четвертого детекторов. На рис. 1 показаны суточные волны



**Рис. 2.** Зависимость скорости счета детектора № 2 с поправкой на давление и нормированной на среднее значение  $n$  (черные сплошные линии, левые оси) и высоты снежного покрова  $h$  (серые сплошные линии, правые оси) от времени для четырех зим: *a* – 2015–2016 гг., *б* – 2016–2017 гг., *в* – 2017–2018 гг., *з* – 2018–2019 гг.

скорости счета и температуры, построенные по данным четырех детекторов за период с мая 2015 по февраль 2019 года.

По амплитуде более чувствительным оказался второй детектор (2.16% против 0.40, 0.34 и 0.97% для 1-го, 3-го и 4-го детектора, соответственно). Это отличие по большей части объясняется местом расположения каждого детектора внутри здания (разной экранировкой детекторов веществом здания).

Поскольку второй детектор является более чувствительным, для него была рассмотрена сезонная зависимость скорости счета от температуры. Соотношение амплитуда скорости счета – среднее значение температуры – амплитуда температуры для каждого сезона: летом – июнь, июль, август (3.5%, 19.1°C, 6°C), осенью – сентябрь, октябрь, ноябрь (1.5%, 6.3°C, 3.1°C), зимой – декабрь, январь, февраль (1.3%, –4.6°C, 1.5°C), весной – март, апрель, май (2.6%, 7.9°C, 5.2°C). Уменьшение амплитуд суточной волны для зимнего и осеннего сезона объясняется уменьшением амплитуд ко-

лебаний температуры, а также общим снижением температуры и большим количеством осадков, в частности снега. Сдвиг по времени между волнами скорости счета и температуры наблюдался по всем сезонам.

#### *Эффект снежного покрова*

Для изучения влияния снежного покрова проведено исследование зависимости скорости счета от его высоты [7] для четырех зим (2015–2016, 2016–2017, 2017–2018, 2018–2019 гг.). Скорость счета была скорректирована на давление, сглажена по трем суткам и нормирована на среднее значение, данные по снежному покрову были усреднены по суткам. На рис. 2 изображены зависимости нормированной скорости счета нейтронов второго детектора и высоты снежного покрова от времени для перечисленных выше четырех зим. Как видно из рисунка, явный эффект влияния снежного покрова наблюдался зимой 2017–2018 гг., в течение которой скорость счета снижалась на ~20%. Для остальных детекторов эффект

был слабее (5, 10 и 10% для 1-го, 3-го и 4-го детектора соответственно). Также видно влияние температуры: при отрицательной температуре снег долго не подтаивает и играет роль экрана нейтронов в течение длительного периода (зимой 2017–2018 гг. высота снега 50 см сохранялась более двух месяцев при температуре примерно  $-10^{\circ}\text{C}$ , при этом высота снежного покрова возросла и упала очень быстро), остальные зимы оказались немного теплее, температура варьировалась вокруг нуля, высота снежного покрова изменялась более плавно.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали исследования, метеопараметры оказывают существенное влияние на концентрацию нейтронов в приземной области, вклад давления может достигать 0.85%/мбар, температуры до 2.2%, снежного покрова — до 20%. Поэтому их вклад необходимо учитывать при изучении внеатмосферных процессов. Наиболее подходящим для исследования влияния метеорологических параметров является второй детектор установки “Нейтрон”, находящийся в открытой галерее.

Работа выполнена на уникальной научной установке “Экспериментальный комплекс НЕВОД” при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект “Фундаментальные проблемы космических лучей и темная материя” № 0723-2020-0040).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kuzhevskij B.M., Nechaev O.Yu., Panasyuk M.I. et al.* // J. Radiat. Prot. Res. 2001. V. 26. № 3. P. 315.
2. *Dorman L.I.* Cosmic rays in the Earth's atmosphere and underground. Springer, 2004. 862 p.
3. *Eroshenko E., Velinov P., Belov A. et al.* // Adv. Space Res. 2008. V. 43. P. 637.
4. *Hutcheson A.L., Grove J.E., Mitchell L.J. et al.* // Radiat. Meas. 2017. V. 99. P. 50.
5. *Громушкин Д.М., Алексеенко В.В., Петрухин А.А. и др.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73. № 3. С. 425; *Gromushkin D.M., Alekseenko V.V., Petrukhin A.A. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2009. V. 73. No. 3. P. 407.
6. <http://ununevod.mephi.ru/ru>.
7. <https://gp5.ru>.

## Study of the influence of meteoroparameters on the concentration of thermal neutrons by the “Neutron” setup data

**L. Bouchama<sup>a,\*</sup>, F. A Bogdanov<sup>a</sup>, D. M. Gromushkin<sup>a</sup>, A. N. Dmitrieva<sup>a</sup>, Z. T. Izhbulyakova<sup>a</sup>, P. S. Kuzmenkova<sup>a</sup>, S. Mechraoui<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow 115409 Russia*

*\*e-mail: bouchama\_lazhar@mail.ru*

Using the data of the “Neutron” setup from May 2015 to February 2019, the influence of meteorological parameters on the thermal neutron concentration was studied. Daily and seasonal variations in the neutron counting rate associated with temperature changes were obtained. The effect of snow depth on the neutron counting rate for four winter periods was estimated. It was shown that meteorological parameters have a significant impact on the neutron concentration near the surface, the total contribution from pressure, temperature and snow depth can be more than 30%.