

УДК 550.380; 551.508; 551.501

## МОДЕЛЬ ПРИЗЕМНОГО НЕЙТРОННОГО ФОНА В КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ И НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ ЭЛЬБРУСА В ИЮНЕ 2014 Г.

А.В. Тертышников

Поступила в редакцию 05 августа 2015 г.

Представлены результаты измерений интенсивности приземного потока тепловых нейтронов в Приэльбрусье во второй половине июня 2014 года.

Маршрутные съемки проведены мобильным счетчиком «СНМ 18» по трассам Р217 и А158 от Минеральных Вод до Терскола, от Терскола до Нальчика и на южном склоне Эльбруса.

Обсуждается представленная региональная модель нейтронного приземного фона.

Полученные результаты маршрутных съемок соответствуют данным о радиации в свободной атмосфере по климатической модели NASA.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** НЕЙТРОН, ФОН, ПОТОК, ИЗМЕРЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ, МАРШРУТНАЯ СЪЕМКА, МОДЕЛЬ.

### ВВЕДЕНИЕ

В исследовательском центре Лэнгли (Langley Research Center, LaRC) в рамках проекта NASA по сверхкраткосрочному прогнозированию радиационной опасности авиaperелетов [1] разработаны климатические модели радиации и нейтронного потока в атмосфере Земли [2]. Нейтроны – это нейтральные частицы с массой, близкой к массе протона, и спином, равным  $\frac{1}{2}$  [3]. Из нейтронов и протонов состоят атомные ядра.

Основным источником свободных нейтронов в атмосфере Земли является космическое излучение. Преимущественно протоны космических лучей создают при взаимодействии с атомами атмосферы Земли вторичное космическое излучение, содержащее пионы, протоны, нейтроны, мюоны, электроны, позитроны и фотоны.

Регистрация потока тепловых нейтронов активно используется для решения задач скважинной геофизики, оценки пород в пространстве и во времени. Нейтронный фон или поток гамма-квантов определяются, главным образом, макроскопическим сечением поглощения тепловых нейтронов в среде. То есть, свойствами среды.

Обзор технологий, а также очевидный коллапс в исследованиях потока тепловых нейтронов представлен в [4, 5], где оставлены без внимания вопросы времени жизни тепловых нейтронов, что актуально при обработке данных наблюдений нейтронного фона, и др. Попытки разобраться в результатах из [4, 5] привели к постановке ряда натуральных экспериментов на полигоне Сура и в Приэльбрусье.

Первая попытка исследования интенсивности потока тепловых нейтронов была предпринята на полигоне Сура в марте 2014 г. При этом было отмечено увеличение мощности вариаций потока тепловых нейтронов после выключения нагревного стенда для периодов, соответствующих времени жизни тепловых нейтронов. Однако измерения были непродолжительными из-за позиции авторов [4], предоставивших, в том числе, для измерений мобильный счетчик тепловых нейтронов СНМ 18.

В июне 2014 г. в ходе экспедиции в Приэльбрусье удалось провести маршрутные съемки интенсивности потока тепловых нейтронов мобильным счетчиком потока тепловых нейтронов СНМ 18 (наполнение – 97%  $^3\text{He}$  + 3%  $\text{Ar}$ , 405 кПа), который был предоставлен авторами [4]. При этом, счетчик работал в пропорциональном режиме.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Выбор маршрутов в июне 2014 г. для измерений потока тепловых нейтронов в Приэльбрусье определялся основными задачами экспедиции, проводившей экспериментальное зондирование ионосферы над Эльбрусом и установку сетевых геодезических навигационных приемников сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS на метеостанциях Росгидромета.

Измерения потока тепловых нейтронов проводились в период летнего солнцестояния 2014 г. Состояние магнитного поля Земли в период проведения измерений было спокойным. Индекс Кр 17.06.2014 г. по данным [6] соответствовал значению 1+, 18.06.2014 г – 3-, 19.06.2014 г. – 2, 20.06 – 2, 21.06 – 1, 22.06 – 1-, 23.06 – 1-, 24.06 – 1+, 25.06 – 1. В изменении индекса ар возмущений не было. Интенсивность солнечного излучения на длине волны 10,7 см (F10,7) уменьшалась: 20.06 – 105.5, 21.06 – 104.5, 22.06 – 97.3, 23.06 – 95.6, 24.06 – 96.6, 25.06 – 100.2. Возмущений ионосферы не было. 22.06.2014 г. началась перестройка атмосферной циркуляции. На Приэльбрусье начал оказывать воздействие гребень повышенного давления с северо-запада, что привело к уменьшению облачности.

Сейсмические условия региона были спокойными. Геофизической службой РАН [7] на Восточном Кавказе 23.06.2014 г. в 05:27:44.0 UT были зафиксированы слабые землетрясения с координатами эпицентра 42.92° с.ш. и 45.44° в.д., магнитудой  $m_b=3,6-4,0$ , глубиной гипоцентра  $z=15$  км, 24.06.2014 г.,  $t=12:36:34.1$ , 43.62° с.ш., 45.64° в.д.,  $m_b=3,6$ ,  $z=10$  км, а также на Западном Кавказе 24.06.2014 г.,  $t=05:07:28.3$ , 44.66° с.ш., 37.25° в.д.,  $m_b=3,4$ ,  $z=10$  км.

В этих условиях были проведены измерения потока тепловых нейтронов по следующим маршрутам:

1. Минеральные Воды – Терскол по трассам Р217 и А158 (17.06.2014 г.);
2. Южный склон Эльбруса (Терскол – поляна Азау – станция «Мир» – Гара-Баши – Приют 11, 22.06.2014 г.);
3. Терскол – Нальчик по трассе А158 и Р217 (25.06.2014 г.).

Дискретность снятия данных была настроена через каждые 3 минуты.

Для координатной привязки счетчика СНМ 18 при проведении измерений использовался планшетный компьютер, с встроенным блоком позиционирования GPS/ГЛОНАСС, и работающее под управлением ОС Android бесплатное программное обеспечение «Геотрекер» [8].

Полученные результаты мощности потока тепловых нейтронов по указанным маршрутам представлены на рис. 1–3.

### Маршрут Минеральные Воды – Терскол (17.06.2014 г.)

Счетчик потока тепловых нейтронов для измерений по маршруту Минеральные Воды – Баксан – Терскол (17.06.2014 г.) был установлен на крыше легкового автомобиля.

На рис. 1 представлены полученные результаты измерений потока тепловых нейтронов по времени и по высоте над уровнем моря. Продолжительные почти неизменные изменения рассчитанной высоты соответствуют стоянкам автомобиля.

Значительное увеличение отклонений рассчитанной трассы от положения шоссе на космическом снимке может быть обусловлено искажением сигналов навигационных космических аппаратов системы GPS в горах и погрешностями одночастотного позиционирования в алгоритмах приемовычислителя используемого навигатора.

Увеличение вариаций потока тепловых нейтронов были отмечены в районе Тырнауза. Это могло быть обусловлено не только значительными перепадами высот, но и месторождением вольфрама, молибдена и строительного сырья (гипса, мрамора, гранитогнейсов, гранитов, талька, полевошпатного сырья, кровельных сланцев, аплита (фарфорового камня), аргиллитовых глин, извести и др.).

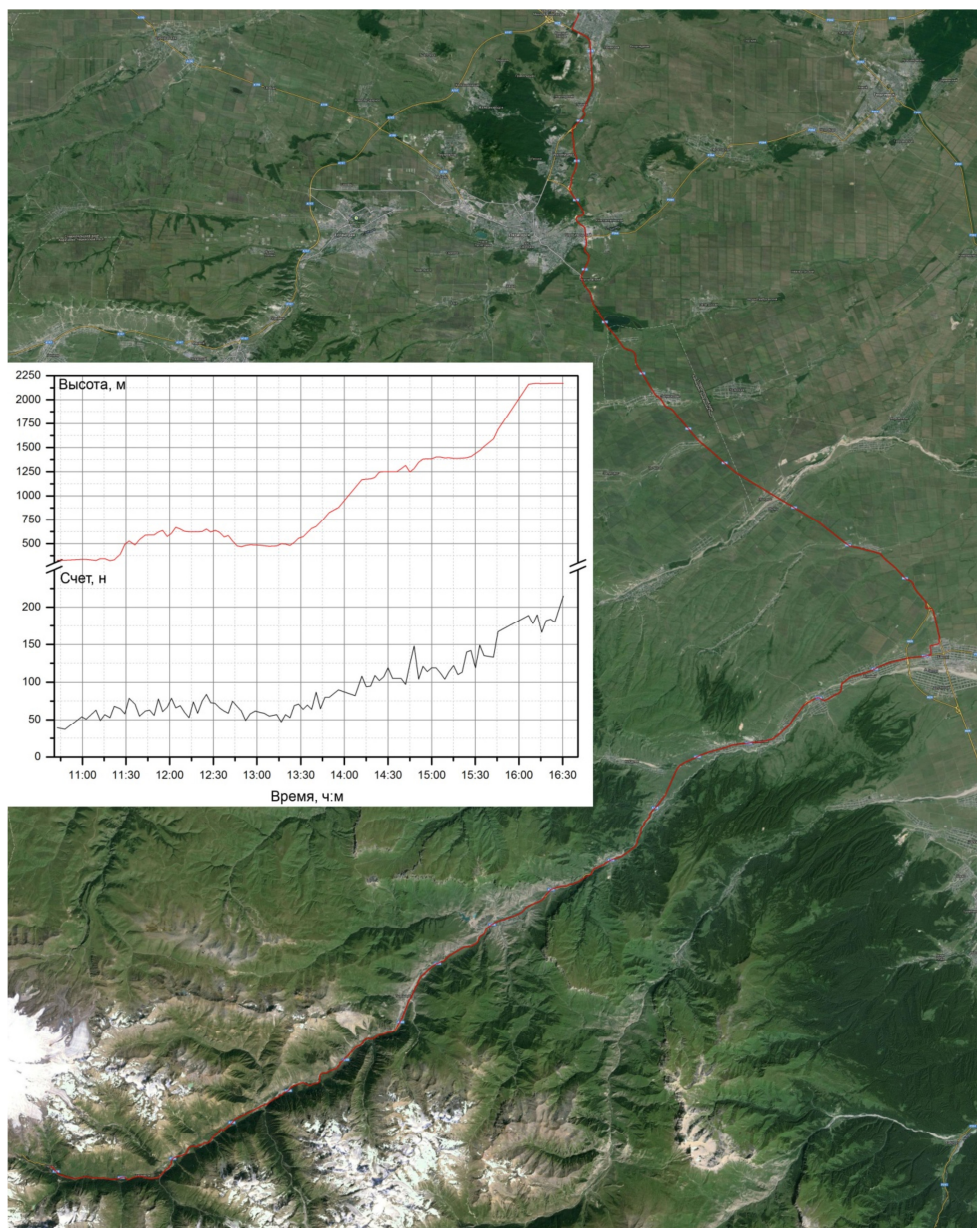


Рис. 1. Интенсивность потока тепловых нейтронов по маршруту  
Минеральные Воды – Терскол (шоссе М29 и А158) 17.06. 2014 г.

**Маршрут по Южному склону Эльбруса (Терскол – поляна Азау – станция Мир – Гара-Баши, 22.06.2014 г.)**

На южном склоне Эльбруса измерения потока тепловых нейтронов проводились с поляны Азау при движении на подъемниках канатной дороги и на ее пересадочных пунктах. При общей тенденции увеличения интенсивности потока тепловых нейтронов с высотой было отмечено снижение потока нейтронов во время пересадок на пунктах канатной дороги на высоте 2800 м (10:40 UT) и 3200 м (11:10 UT) над уровнем моря (рис. 2). Возможно, что эти эффекты были обусловлены снежным покровом над вулканическими породами южного склона Эльбруса.

На станции «Мир» на высоте около 3300 м над уровнем моря были проведены достаточно длительные измерения потока тепловых нейтронов со средней интенсивностью около 400 импульсов в секунду.

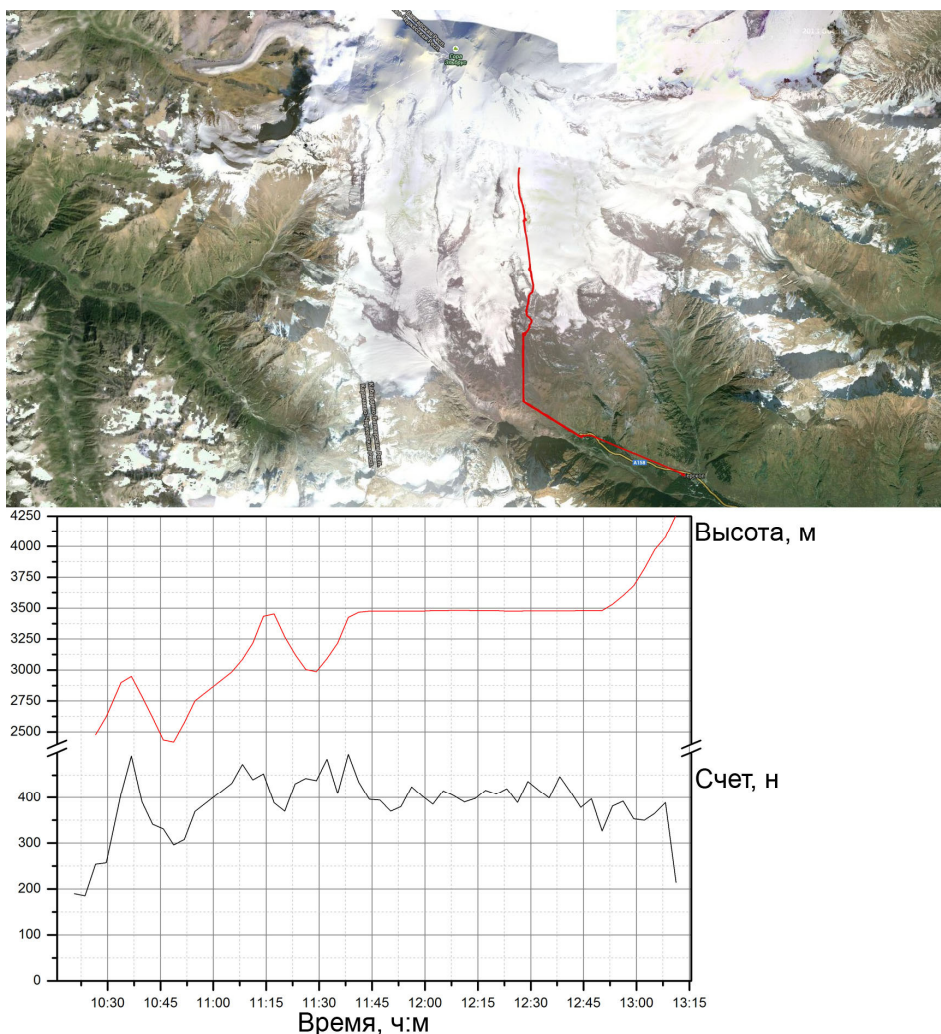


Рис. 2. Интенсивность потока тепловых нейтронов по маршруту Терскол – южный склон Эльбруса 22 июня 2014 г.

Из-за холода на склоне Эльбруса быстро разрядился аккумулятор. Поэтому при подъеме на третий пункт маршрута (Гара-Баши, 3800 м) счетчик тепловых нейтронов остался без питания и отключился. В условиях высокогорья и разряженной атмосферы это не сразу было замечено.

**Маршрут Терскол – Нальчик (25.06.2014 г.).**

Маршрут и результаты измерений потока тепловых нейтронов по маршруту Терскол – Нальчик (25.06.2014 г.) показаны на рис. 3. Перепад высот начального и конечного пункта маршрута составил около 1500 м.

В районе Тырнауза также были отмечены небольшие всплески потока тепловых нейтронов. Возможно из-за меньшего количества облачности и прекратившихся дождей вариации потока тепловых нейтронов на участке маршрута Терскол-Баксан были больше, чем при съемках 17.06.2016 г. на отрезке Баксан-Терскол.

На полпути между Баксаном и Нальчиком разрядился аккумулятор навигатора. Поэтому часть отрезка рассчитанного маршрута между Баксаном и Нальчиком не выделена красной линией. При этом счетчик тепловых нейтронов продолжал работать и был выключен только в Нальчике.

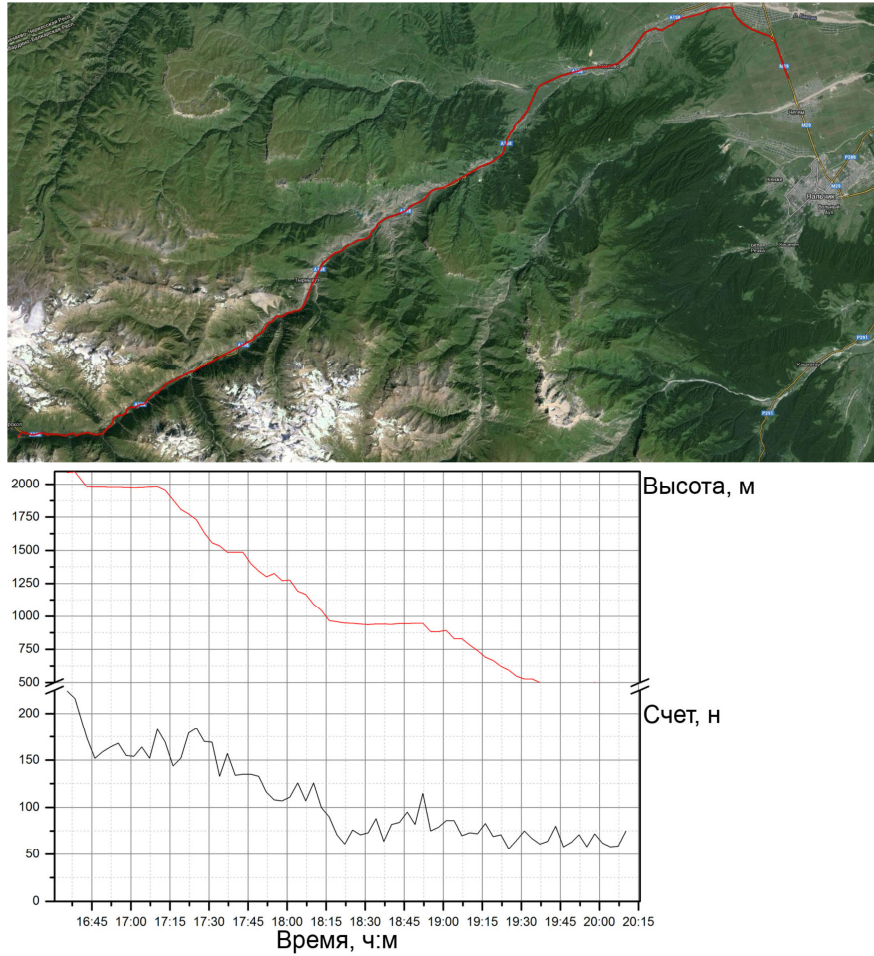


Рис. 3. Интенсивность потока тепловых нейтронов по маршруту Терскол – Нальчик 25.06.2014 г.

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Основным фактором в изменениях интенсивности потока тепловых нейтронов является высота над уровнем моря и состояние подстилающей поверхности. Поэтому для полученных на всех маршрутах данных с использованием метода наименьших квадратов были построены линейные уравнения регрессии интенсивности потока тепловых нейтронов от высоты (рис. 4).

Сгущения точек на графиках обусловлены стоянками экспедиции и естественной орографией маршрутов.

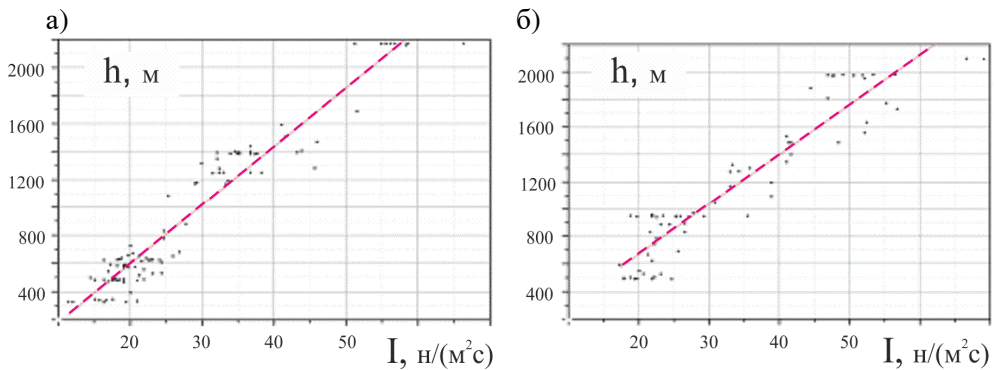


Рис. 4. Изменение интенсивности потока тепловых нейтронов по высоте на трассах:  
 а) Минеральные воды – Терскол (шоссе Р217 и А158) – 17.06.2014 г.;  
 б) Терскол – Нальчик (шоссе А158 и Р217) – 25.06.2014 г.

Полученные результаты измерений приземного нейтронного фона на маршруте Терскол-Баксан в июне 2014 г. соответствуют модели удельной интенсивности потока (I) тепловых нейтронов в виде:

$$I = 0,0815 h + 20 + R,$$

где R используется для учета влагосодержания в приземном слое атмосферы. При наличии осадков  $R=10$  н/с на кв. метр. При сырой и облачной погоде  $R=0$ .

Погрешности полученных оценок – 15-20 %.

Для отрезка высот 2500-3300 м над уровнем моря на южном склоне Эльбруса удельная интенсивность потока тепловых нейтронов соответствует модели:  $I=0,118h+6$ .

Наклон линейной зависимости с высотой увеличивается, как и коэффициент корреляции между высотой и интенсивностью потока тепловых нейтронов при использовании экспоненциальных зависимостей. Это отмечено для измерений с самолетов [4, рис. 25]. При этом требуется уточнение оцифровки осей графика в [4, рис. 25], где на высоте 3 км средняя интенсивность нейтронного потока оценена в 3 н/с, а на высоте 2 км вдвое меньше. Последнее на полтора порядка меньше, чем оценки, полученные при маршрутных съемках в районе Майкопа [4, рис. 22].

В результате проведенных измерений в Приэльбрусье интенсивность потока тепловых нейтронов на высоте 2 км оценена в 54-57 н/с на кв. метр, что в полтора раза больше, чем для маршрутных съемок в [4, рис. 22], хотя по тексту [4, с. 114 ] максимальная оценка соответствует полученным результатам измерений в Приэльбрусье.

На высоте 1 км интенсивность потока для маршрутных съемок в районе Майкопа в [4, рис. 22] соответствует 22-23 н/с на кв. м., а в измерениях в Приэльбрусье эта оценка на четверть больше (28-30 н/с на кв. м.). Время проведения эксперимента в [4, для рис. 22] не указано. По приведенным фотографиям можно предположить, что это лето.

Полученные оценки маршрутных съемок интенсивности приземного потока тепловых нейтронов в Приэльбрусье лучше, чем в [4], соответствуют данным климатической модели распределения радиации по высоте в свободной атмосфере [2], хотя представленные результаты экспедиционных измерений получены у земной поверхности.

## ВЫВОДЫ

По результатам маршрутных съемок приземного потока тепловых нейтронов в Приэльбрусье во второй половине июня 2014 г. получена модель интенсивности потока тепловых нейтронов региона по высоте.

Полученные оценки интенсивности потока тепловых нейтронов у земной поверхности в Приэльбрусье соответствуют данным климатической модели LaRC Parametric Atmospheric Ionizing Radiation (AIR) Model [2] в свободной атмосфере.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 14-05-00029, № 14-05-10024, № 15-05-10029.

**Благодарности.** Автор благодарит директора ФГБУ «ИПГ» доктора физико-математических наук профессора В.Б. Лапшина и его заместителя – доктора биологических наук профессора А.В. Сыроешкина за предоставленный мобильный счетчик потока тепловых нейтронов СНМ 18 и разрешение о проведении маршрутных съемок нейтронного фона в Приэльбрусье, Аракелова А.С., Филиппова М.Ю., Земского П.Ю., Глухова Я.В. за помощь в проведении измерений, Земского П.Ю. за помощь в первичной обработке данных, Филиппова М.Ю. за предоставленный для экспедиции автомобиль.

Автор благодарит Р.Х. Калова (ФГБУ «ИПГ») за помощь в проведении экспедиции, Ю.В. Писанко за внимание к работе, полезные советы и плодотворные дискуссии.

---

**MODEL OF GROUND-LEVEL NEUTRON BACKGROUND IN KABARDINO-BALKARIA AND ON THE SOUTHERN SLOPE OF ELBRUS IN JUNE, 2014.**

A.V. Tertyshnikov

Results of measurements of intensity of thermal neutron ground flux are presented in Prielbrusye in the second half of June, 2014.

Reconnaissance survey is carried out by the mobile counter "CHM 18" on the routes P217 and A158 from Mineralnye Vody to Terskol, from Terskol to Nalchik and on the southern slope of Elbrus.

The presented regional model of neutron ground-level background is discussed.

The obtained results of the survey correspond to NASA climatic model data of free atmosphere radiation.

**KEYWORDS:** NEUTRON, BACKGROUND, FLUX, MEASUREMENTS, TECHNOLOGY, EXPERIMENT, RECONNAISSANCE SURVEY, MODEL.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. [http://sol.spacenvironment.net/nairas/docs/nairas\\_4thquarter\\_2008.pdf](http://sol.spacenvironment.net/nairas/docs/nairas_4thquarter_2008.pdf).
2. Christopher J. Mertens, Brian T. Kress, Michael Wiltberger, W. Kent Tobiska, Barbara Grajewski and Xiaojing Xu Atmospheric Ionizing Radiation from Galactic and Solar Cosmic Rays / <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/32114.pdf>.
3. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/>
4. Сыроешкин А.В., Лапшин В.Б., Плотникова Н.В. Нейтронное поле у поверхности земли и биосфера. – Обнинск: ВНИИГМИ – МЦД, 2011 204 с.
5. Сыроешкин А.В. Нейтронное поле Земли и биосфера. – 2012. Palmarium Academic Publishing. 236 с.
6. celestrak.com.
7. <http://www.ceme.gsras.ru>.
8. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ilyabogdanovich.geotracker&hl=ru>.