

ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ КОМПОНЕНТ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

П.Г. Кобелев, Л.А. Трефилова, В.Г. Янке

Институт земного магнетизма ионосферы и распространения радиоволн им Н.В. Пушкова, Москва, Россия
kobelev@izmiran.ru

USING SECONDARY COMPONENTS OF COSMIC RAYS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING

P.G. Kobelev, L.A. Trefilova, V.G. Yanke

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Moscow, Russia
kobelev@izmiran.ru

Аннотация. В работе проведена оценка чувствительности различных вторичных компонент космических лучей к изменениям окружающей среды, которая сводится к задачам мониторинга вторичных компонент и метеорологических факторов. Исследована реакция детекторов нескольких типов (бессвинцовый нейтронный монитор, счетчик тепловых нейтронов, мюонный телескоп) на снегопады и дожди. Детекторы непрерывно работали с 2010 г., мониторинг метеопараметров проводился с 2015 г.

Ключевые слова: нейтронный монитор, снег, мюонный телескоп, эпитепловые нейтроны.

Abstract. In this paper, we assessed the sensitivity of various secondary components of cosmic rays to changes in the environment, which is reduced to the problems of monitoring secondary components and meteorological factors. The reaction of several types of detectors (lead-free neutron monitor, thermal neutron counter, muon telescope) to snowfalls and rains was studied. The detectors have been in continuous operation since 2010; monitoring of meteorological parameters has been carried out since 2015.

Keywords: neutron monitor, snow, muon telescope, epithermal neutrons.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы было показано, что на основе нейтронных детекторов космических лучей [Zreda et al., 2012] можно успешно реализовать методы контроля влажности почвы и толщины снежного покрова над ней. Данное направление может представлять собой практическую ценность для поиска запасов влаги. Поведение детекторов во время дождей также изучалось ранее [Eroshenko et al., 2010]. В данной работе исследуется чувствительность детекторов Мобильной лаборатории космических лучей ИЗМИРАН к осадкам для всех периодов мониторинга с 2015 г.

ОПИСАНИЕ ДЕТЕКТОРОВ

Нейтронный детектор эпитепловых нейтронов 6nmE (рис. 1) чувствителен к нейтронам с энергией >0.5 эВ и выполнен на основе шести борных счетчиков СНМ-15 с 2.5 см замедлителем нейтронов [Abunin et al., 2011]. Скорость счета эпитепловых нейтронов составляет ~ 12 имп/с.

Нейтронный детектор тепловых нейтронов 1nmT (см. рис. 1) чувствителен к нейтронам с энергией <0.5 эВ и выполнен на основе одиночного борного счетчика СНМ-15 [Abunin et al., 2011]. Скорость счета тепловых нейтронов таким детектором составляет около 1.5 имп/с. В нашем случае погрешности измерений эпитепловых и тепловых нейтронов составляют около 0.5 и 1.3 % соответственно для часового усреднения.

Мюонный телескоп Cube (см. рис. 1) представляет собой две плоскости из восьми пропорциональных счетчиков СГМ-14, включенные в схему совпадений.

Для автоматических измерений метеорологических параметров (влажность и температура), используются данные автоматической метеостанции Vaisala Rosa.



Рис. 1. Детекторы Мобильной лаборатории космических лучей

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 2 показаны данные детекторов ИЗМИРАН (для контроля изображены также данные стандартного нейтронного монитора 24nm64) и данные по осадкам (нижняя часть рисунка). Заметен годовой ход вариаций тепловых и эпитепловых нейтронов, более выраженный в случае снежных зим. На рис. 3 показан аналогичный график с середины 2017 до середины 2019 г., где добавлена также температура. Ход эпитепловых нейтронов очень хорошо коррелирует с общим количеством выпавшего снега. Вариации достигают ~ 30 % при максимальной толщине снежного покрова. Данное явление обусловлено замедлением в толще снега образующихся в грунте эпитепловых нейтронов и переходом их в тепловой диапазон. Реакция тепловых нейтронов на снег носит сложный характер. Наблю-

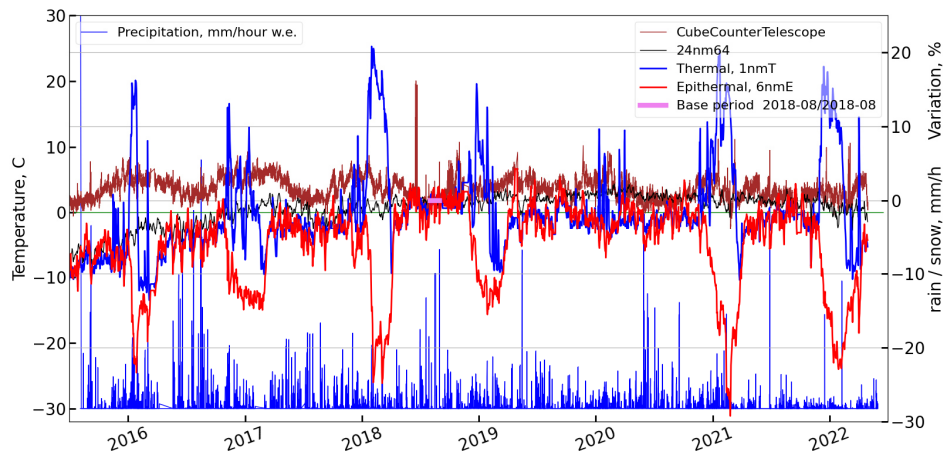


Рис. 2. Общий вид данных за 2015–2022 гг.

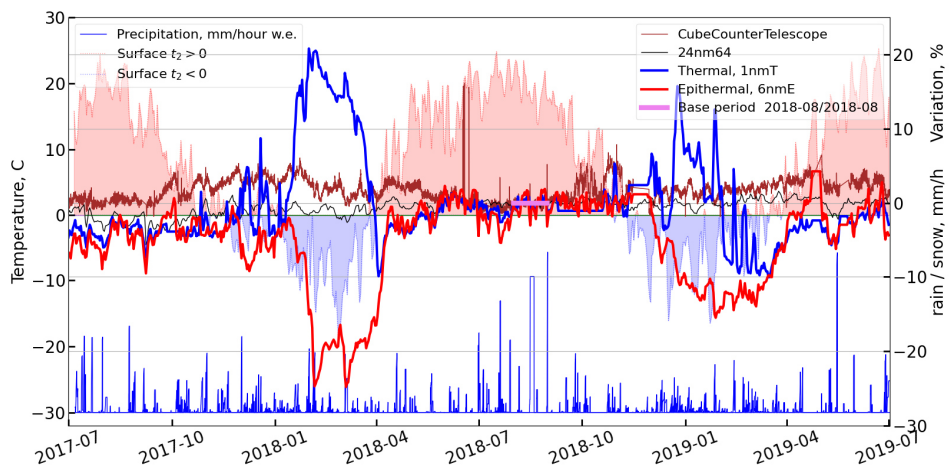


Рис. 3. Детализированные данные за 2017–2019 гг.

дается существенный пик (увеличение скорости счета на 20–30 %) при первом снегопаде и достаточно быстрое снижение после. При последующих снегопадах увеличение скорости счета становится менее выраженным. Обращает на себя внимание существенное снижение скорости счета относительно среднего уровня (10–15 %) в период таяния снега. Частично увеличение скорости счета детектора тепловых нейтронов можно объяснить упомянутым выше переходом части эпитепловых нейтронов в тепловой диапазон, однако полностью объяснить сложный ход тепловых нейтронов на данный момент не удастся. Реакции заряженной компоненты на снегопады не наблюдается.

На рис. 4 представлена реакция детекторов на ливни. Примечательно отсутствие статистически значимого изменения скорости счета детектора тепловых нейтронов. Скорость счета эпитеплового детектора находится в хорошей корреляции с выпавшими осадками, достигая 8 % снижения скорости счета в случае максимально интенсивных ливней. Мюонный телескоп показывает увеличение скорости счета до ~5–6 % в течение нескольких часов после начала дождя. Это, предположительно, связано не с осадками, а с нахождением над детектором грозовых облаков, что приводит к дополнительному развитию электронно-фотонного ливня и увеличению наблюдаемой интенсивности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен результат непрерывного мониторинга с помощью детекторов эпитепловых, тепловых нейтронов и заряженной компоненты начиная с 2015 г.

Наилучшими возможностями для задачи определения влажности обладают эпитепловые нейтроны. Понижение интенсивности эпитепловых нейтронов в случае эффекта дождя составляет до –8 %, в случае эффекта снега — до –30 %.

Отклик тепловых нейтронов не наблюдается для осадков в виде дождя. Для осадков в виде снега характерен быстрый рост интенсивности при появлении небольшого слоя снега (более 20 %) в зимний период. При последующих снегопадах наблюдаются более слабые возрастания на фоне спада интенсивности. В весенний период, а также при резких потеплениях в течение зимы наблюдаются резкие понижения скорости счета (весной более чем на 10 %). После полного схода снега интенсивность возвращается к среднему уровню и значимо не изменяется в бесснежный период. Поведение тепловых нейтронов в зимне-весенний период и отсутствие реакции на дождь требуют дальнейшего изучения.

Реакция заряженной компоненты на метеословия зимой отсутствует, летом наблюдаются повышения несколько процентов в течение 1–2 ч после

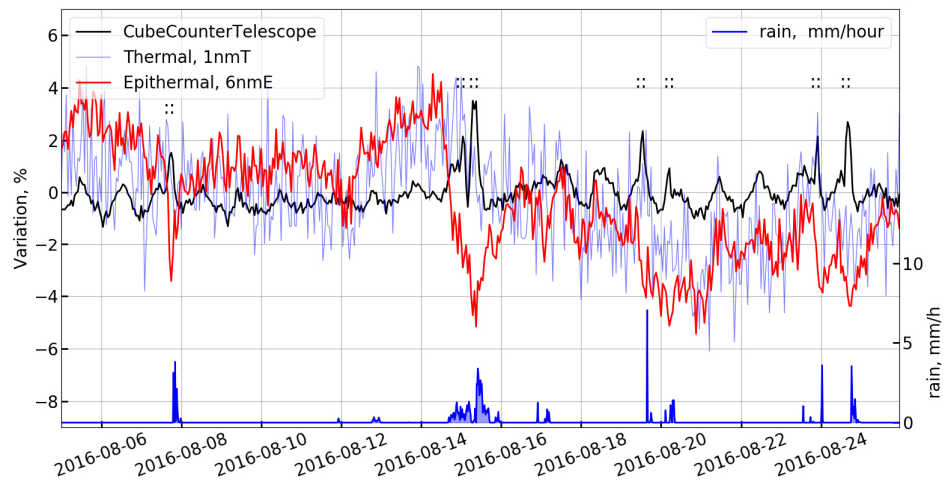


Рис. 4. Пример реакции детекторов на дожди

начала дождей, что, предположительно, связано с дополнительной генерацией заряженной компоненты в кучево-дождевых облаках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Abunin A.A., Pletnikov E.V., Shchepetov A.L., Yanke V.G. Efficiency of detection for neutron detectors with different geometries. *Bull. Russian Academy Sci.: Phys.* 2011. Vol. 75, iss. 6. P. 866–868.
- Eroshenko E., Velinov P., Belov A., et al. Relationships between neutron fluxes and rain flows. *Adv. Space Res.* 2010. Vol. 46, iss. 5. P. 637–641.
- Zreda M., Shuttleworth W.J., Xeng X., et al. The cosmic-ray soil moisture observing system. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 2012. Vol. 9. P. 4505–4551.