

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2019.42.119-121

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ВО ВРЕМЯ ПОЛЕТА НА САМОЛЕТЕ ИЗМЕРЕНИЙ СКОРОСТИ СЧЕТА ЗАРЯЖЕННОЙ КОМПОНЕНТЫ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В КАЧЕСТВЕ ОДНОГО ИЗ МЕТОДОВ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА RUSCOSMICS

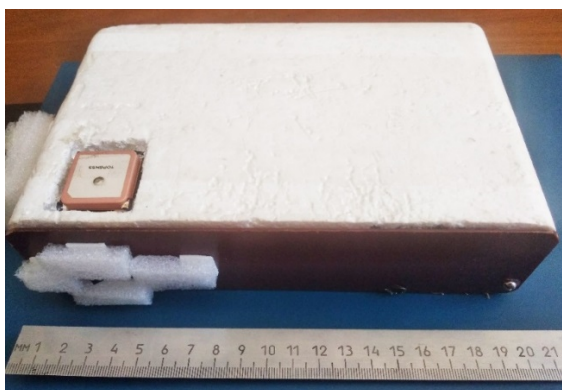
А.В. Германенко, Е.А. Маурчев, Е.А. Михалко

ФГБНУ "Полярный геофизический институт", г. Апатиты, Россия

**Аннотация.** В Полярном Геофизическом Институте при помощи комплексной системы мониторинга непрерывно ведется регистрация адронной и электромагнитной компоненты вторичного космического излучения (ВКИ). С целью регистрации заряженных частиц (электроны, мюоны, протоны) и точной привязки полученных данных к месту и времени был разработан специальный детектор с GPS модулем и системой сбора под управлением платы микропроцессора Arduino. При помощи этого устройства в течение 2018 г. был проведен ряд наземных измерений, а осенью 2018 г. прибор был установлен на борту аэробуса и произвел запись скорости счета во время взлета, занятия высоты и посадке на маршруте г. Мурманск – г. Москва – г. Минеральные Воды. Таким образом, представленные результаты позволяют произвести верификацию данных моделирования не в одной точке, а сразу для нескольких значений географических координат, в том числе и для интервала высот от уровня земли до 10 км.

### Введение

На станции космических лучей Апатиты при помощи комплексной системы сбора данных ведется непрерывная регистрация адронной и электромагнитной компонент вторичных космических лучей (ВКЛ) [1, 2]. Для регистрации частиц, участвующих в электромагнитных взаимодействиях, применяются сцинтилляционные детекторы различной геометрии и, соответственно, чувствительные к разным диапазонам регистрируемого спектра. Поскольку активный элемент – кристалл NaI – чувствителен не только к гамма-квантам, но и к электронам, то совместно с ним используется детектор заряженной компоненты (ДЗК). На протяжении уже 5 лет он зарекомендовал себя как неотъемлемое вспомогательное оборудование при регистрации мюонов, протонов и электронов, производя записи как на станции г. Апатиты, так и на арх. Шпицберген. Именно поэтому на базе ДЗК решено было разработать и ввести в эксплуатацию два модифицированных детектора – наземный и портативный, которые используются для верификации данных моделирования прохождения протонов галактических космических лучей (ГКЛ) через атмосферу Земли.



**Рисунок 1.** Внешний вид портативного ДЗК, предназначенного для проведения измерений на борту самолета.

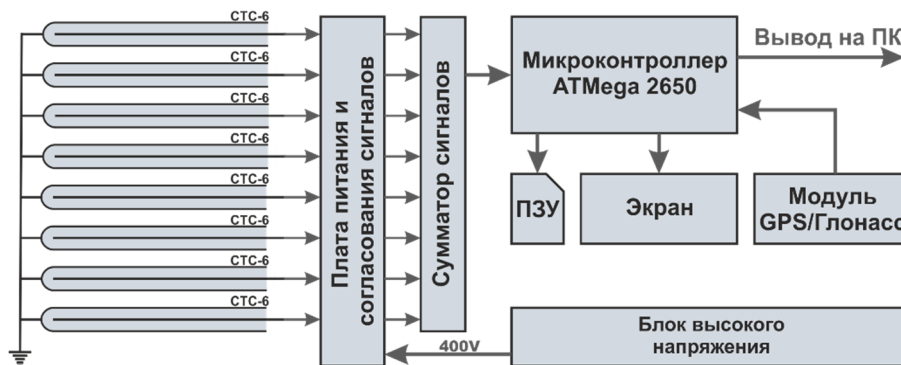
### Принцип работы ДЗК

Детектирующим объемом заряженной компоненты являются счетчики Гейгера-Мюллера (СТС-6 в наземной конфигурации и СТС-5 в портативной). При попадании частицы в металлический корпус происходит выбивание электронов по направлению к нити, где они ускоряются под действием электрического поля. На этом пути они ионизируют молекулы газа, выбивая вторичные электроны. Процесс многократно повторяется и количество электронов лавинообразно увеличивается, что приводит к возникновению разряда между катодом и анодом [3]. В ДЗК для верификации RUSCOSMICS установлено 8 счетчиков СТС-6 или 4 счетчика СТС-5, для наземной и портативной конфигурации, соответственно.

Внешний вид портативного детектора представлен на рис. 1. Счетчики включены последовательно между собой в ряд, по логической схеме «или».

Предполагается, что устройство наиболее чувствительно к электронам с  $E > 2$  МэВ, протонам с  $E > 2$  МэВ и гамма-квантам с  $E > 20$  кэВ (с эффективностью детектирования  $\delta \sim 1\%$ ) [4]. Для обеспечения работы счетчиков

высоким напряжением, которое составляет 400 В, произведено усовершенствование электронной схемы ДЗК при помощи разработки и установки в прибор стабильного источника высокого напряжения индуктивного типа. Новый источник обладает высоким КПД при небольших габаритах. В итоге, благодаря небольшим размерам источника питания и габаритам счетчиков, обе модификации ДЗК обладают небольшим весом и геометрическими размерами, что обеспечивает каждому устройству мобильность и простоту в установке в качестве дополнительного оборудования в различных пунктах наблюдения.

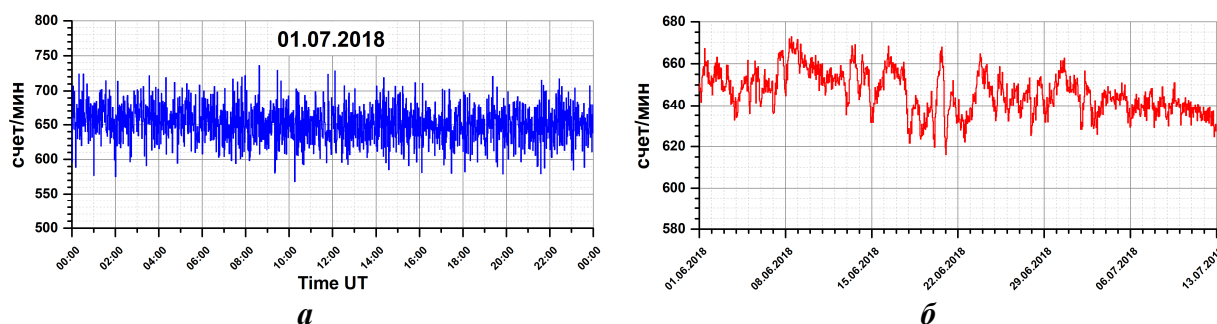


**Рисунок 2.** Блок-схема мобильного детектора заряженной компоненты КЛ, разработанного и введенного в эксплуатацию на станции КЛ Апатиты.

Система сбора данных в данном варианте детектора основана на микроконтроллере и позволяет отказаться от компьютера в качестве регистрирующего устройства. В качестве устройства регистрации импульсов используется микроконтроллер ATmega 2560 (в составе платформы Arduino Mega 2560) дополнительно оборудованный модулем для подключения карт памяти (SD или microSD) и модулем часов реального времени (DS3231). Прошивка микроконтроллера написана на языке C++ (модификация для микроконтроллеров семейства ATmega) с использованием ряда стандартных библиотек, часть из которых была модифицирована для получения необходимой функциональности. Данная система сбора рассчитана на подключение до четырех каналов данных с TTL уровнями.

### Результаты наземных измерений

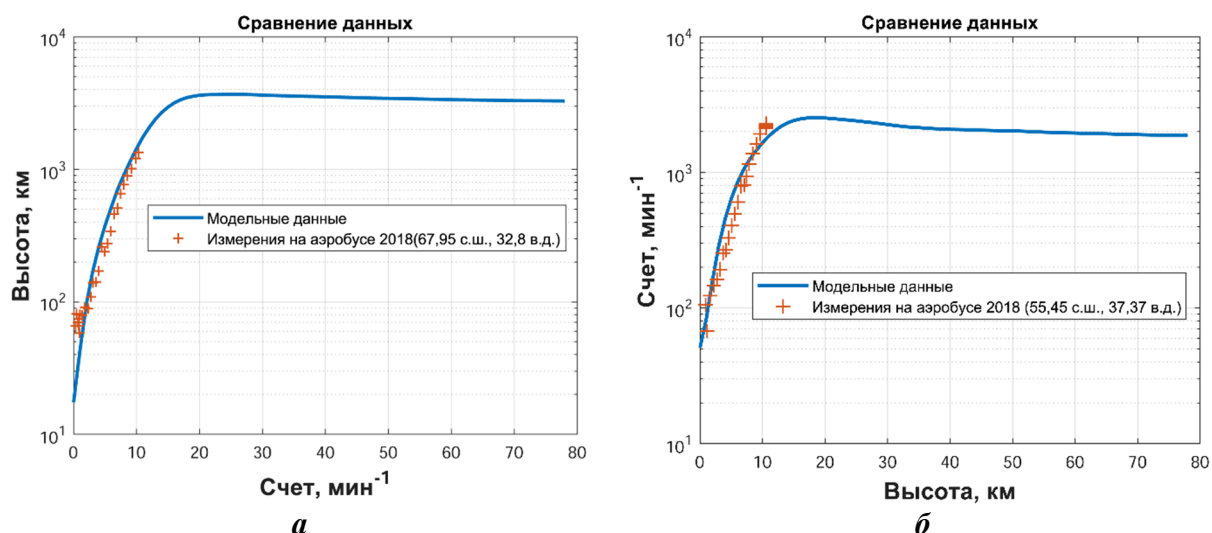
Начиная с июля 2018 года наземный ДЗК ведет непрерывную регистрацию заряженной компоненты, располагаясь на станции космических лучей Апатиты. Типовые графики представлены на рис. 3.



**Рисунок 3.** Типовые графики, полученные при помощи наземного детектора, состоящего из линейки 7 счетчиков марки STC-6. На рис. *а* представлены данные для определенной даты, на рис. *б* представлены результаты измерений в течение месяца.

### Сравнение данных с результатом моделирования

Поскольку проверка результатов моделирования тем лучше, чем в больших точках будет произведено сравнение, то на первом этапе работы было решено провести эксперимент в двух точках – г. Апатиты и г. Москва. Для этого портативный ДЗК был расположен на борту самолета и в течении всего маршрута записывал данные, включая взлет и посадку. Полученные профили вместе с результатами моделирования прохождения протонов ГКЛ через атмосферу Земли представлены на рис. 4.



**Рисунок 4.** Сравнение высотных профилей скорости счета, полученных во время проведения измерений на самолете (*a* – Кольский п-ов, *б* – г. Москва), с результатами моделирования прохождения протонов ГКЛ.

Из представленных данных видно, что соответствие профилей является удовлетворительным. Разница, предположительно, возникает вследствие разных начальных условий (форма спектра, учет только протонов и т.д.). Однако для проведения верификации такое оборудование подходит, в последующих работах предполагается «покрывать» измерениями максимально возможную площадь.

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-32-00626.

### Список литературы

1. A. V. Germanenko, Yu. V. Balabin, B. B. Gvozdevsky, and L. I. Schur, Nature of gamma radiation variations during atmospheric precipitation, *Solar-Terrestrial Physics*, 2016, 2, 1, pp. 78—88.
2. A. V. Germanenko, Yu. V. Balabin, B. B. Gvozdevsky, and E. V. Vashenyuk, Features of the flux of gamma-radiation in the lower atmosphere during precipitation, *Journal of Physics: Conference Series*, 2013, 409, 1, 012241 p.
3. Glenn F. Knoll., *Radiation Detection and Measurement*, third edition, John Wiley and sons, New York, 2000, 803 p. 4.
4. E. A. Mauricev and Yu. V. Balabin, RUSCOSMICS — The new software toolbox for detailed analysis of cosmic ray interactions with matter, *Solar-Terrestrial Physics*, 2016, 2, 4, pp. 3—10.