

УДК 524.1-352

НАБЛЮДЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ПОТОКОВ ВТОРИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВО ВРЕМЯ МОРСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

© 2022 г. Ю. В. Балабин¹*, А. В. Германенко¹, Е. А. Михалко¹, Е. А. Маурчев¹, А. В. Ларченко¹

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Полярный геофизический институт, Анатиты, Россия

*E-mail: balabin@pgia.ru

Поступила в редакцию 15.10.2021 г.

После доработки 05.11.2021 г.

Принята к публикации 22.11.2021 г.

Разработан и создан действующий образец портативного комплекса для регистрации вторичных космических лучей. Комплекс предназначен для выполнения мониторинга космических лучей в различных экспедициях, на удаленных пунктах и маяках. В составе комплекса расположены детекторы для регистрации потоков нейтронов, заряженных частиц и гамма-излучения. Прибор испытан в экспедиции в Баренцевом и Гренландском морях.

DOI: 10.31857/S0367676522030036

ВВЕДЕНИЕ

С целью увеличения числа точек наблюдения за вариациями космических лучей в лаборатории космических лучей Полярного геофизического института был создан портативный комплекс для мониторинга основных компонент вторичных космических лучей (ВКЛ). Основу комплекса составляет детектор нейтронной компоненты (энергии <1 МэВ) на 6 гелиевых счетчиках СНМ-18 и электронно-программная часть, обеспечивающая многоканальный прием данных и запись их на компактные съемные накопители (SD-карты). Названные части размещены в едином корпусе (см. рис. 1). Прибор имеет возможность подключения различных внешних детекторов, питающихся как независимо, так и от комплекса. В настоящее время имеются два типа внешних подключаемых детекторов: детекторы заряженной компоненты (мюоны и электроны) и сцинтилляционный гамма-детектор (диапазон 20–600 кэВ). Кроме того, комплекс имеет приемник GPS-сигналов с выносной активной антенной для записи координат и получения сигналов точного времени. Запись всех данных производится на твердотельный накопитель раз в минуту. Небольшие габариты, малое энергопотребление и возможность записи данных на флэш-накопители позволяют использовать прибор для мониторинга ВКЛ в труднодоступных и уединенных местах, а также на судах в дальних плаваниях и экспедициях без присутствия персонала.

Испытания комплекса в лаборатории показали его надежность и автономность. Прибор в ре-

жиме регистрации не требует настройки или какого-либо обслуживания. Для получения данных достаточно сменить SD-карту без выключения прибора. В то же время комплекс может быть подключен в локальную сеть и передавать данные на выбранный компьютер или удаленному пользователю, поскольку комплекс может иметь в своем составе одноплатный мини-компьютер.

Детектор нейтронов представляет собой набор счетчиков СНМ-18, размещенных в полиэтиленовой защите толщиной 25 мм. Полиэтилен выполняет роль замедлителя и расширяет энергетический диапазон счетчиков до 1 МэВ. Детектор гамма-квантов создан на основе сцинтилляционного кристалла NaI(Tl) размерами $\varnothing 62 \times 20$ мм. Имеются выходы >20 и >100 кэВ. Детектор заря-



Рис. 1. Портативный комплекс для мониторинга вторичных космических лучей, использованный в экспедиции. Детектор гамма-излучения стоит справа, он является внешним прибором, подключаемым к комплексу.



Рис. 2. Маршрут экспедиции в акватории Ледовитого океана.

женной компоненты собран из двух наборов счетчиков, разделенных алюминиевой пластиной толщиной 5 мм. В каждом слое размещено 8 счетчиков СТС-6, рабочими выходами являются выход от сумматора верхнего ряда счетчиков и выход со схемы совпадений верхнего и нижнего слоев. Таким образом, верхний слой регистрирует заряженные частицы всех энергий, а схема совпадений выделяет из общего потока только частицы с энергиями от ~ 6 МэВ.

Функции отклика и эффективность регистрации перечисленных детекторов в примененных конструкциях были вычислены с помощью программного пакета RUSCOSMICS (были заданы конкретно использованные материалы и форма конструкции), разработанного в лаборатории на основе пакета GEANT-4. RUSCOSMICS был разработан для моделирования прохождения энергичных частиц космических лучей через различные среды и материалы [1]. Приводимые рабочие энергетические диапазоны рассчитаны с помощью этого пакета.

МОРСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследовательское судно Мурманского морского биологического института выполняло очередную морскую экспедицию в акватории Баренцева и Гренландских морей осенью 2020 г. Маршрут экспедиции приведен на рис. 2. На этом корабле был установлен портативный комплекс для регистрации различных компонент ВКЛ в том составе, как показано на рис. 1: нейтронный и сцинтиляционный детекторы; сцинтиляционный детектор гамма-излучения идентичен установленным в шести пунктах на суше: Апатиты, Баренцбург, Тикси, Якутск, Ростов-на-Дону и Нейтрино (Северный Кавказ). Во всех перечисленных пунктах отмечаются события возрастания гамма-излучения, приходящего из атмосферы [2]. Подробно об этом явлении рассказано в [3, 4]. Отметим, что амплитуда этих возрастаний обычно составляет 20–50%, хотя отмечены возрастания до 100%. Длительность обычно превышает время выпадения осадков примерно на 1–2 ч. В Апатитах размещается наиболее оснащенная систе-

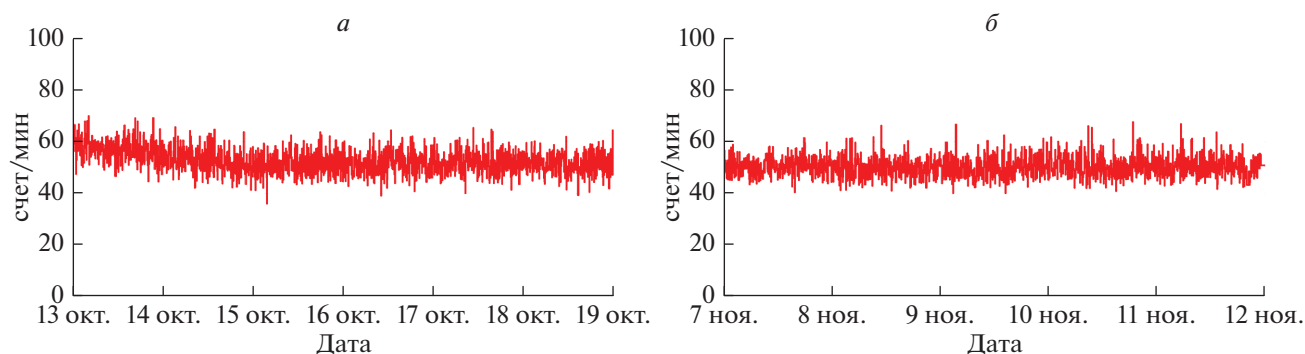


Рис. 3. Профиль счета детектора нейтронов. Слева: во время тестирования комплекса на стоянке в порту Мурманска. Справа: в ходе экспедиции. Данные исправлены на вариации давления. Пятиминутное усреднение.

ма наблюдения. В ее состав входят два сцинтилляционных детектора с диапазонами 20–600 кэВ и 0.1–10 МэВ. Имеется система регистрации дифференциальных энергетических спектров гамма-излучения со временем сбора одного спектра продолжительностью 30 мин. В этой системе дополнительно включен оптический регистратор осадков, показывающий относительную интенсивность осадков с периодичностью 1 мин. Измерения дифференциальных спектров гамма-излучения во время осадков и во время ясной погоды показали, что спектр излучения во всех случаях непрерывный, монотонно падающий, без характеристических линий; он соответствует спектру тормозного излучения [5], возникающего при движении легкой заряженной частицы в атмосфере. Для калибровки спектрометра использовались линии цезия-137 и природного калия-40.

Различными экспериментами были получены свидетельства, что возрастания при осадках не обусловлены дополнительным выделением радона из почвы или переносом радионуклидов с облаками. Против радонной гипотезы выступает тот факт, что возрастания наблюдаются зимой, когда почва промерзает на глубину более метра, а поверх лежит слой плотного снега. Против радионуклидной – перенос их в облаках и выпадение с осадками – выступает тот факт, что, время спада уровня гамма-излучения к базовому уровню составляет менее часа. Следовательно, период полураспада радионуклида также не более этого значения. Это означает, что радионуклид должен попасть в облако и быть перенесенным из места выделения к месту наблюдения тоже не более, чем за 1–2 ч. Во-первых, такой постоянный источник радионуклида в окрестностях города был бы известен СЭС, во-вторых, возрастания наблюдаются на Шпицбергене, где отсутствует какое-либо промышленное производство, а сам архипелаг удален от материка на тысячу км. Перенос облаками короткоживущего радионуклида на такое расстояние невозможен, он распадется по пути.

Поэтому наблюдениям за вариациями гамма-фона над морской поверхностью во время экспедиции уделялось особое внимание. Портативный комплекс размещался в легкой палубной надстройке, а детектор гамма-излучения устанавливался у окна с небольшим наклоном наружу, чтобы большая часть поля зрения детектора не перекрывалась стенами или потолком. Дело в том, что стальные стенки надстройки довольно сильно поглощают гамма-кванты, особенно с энергиями менее 100 кэВ.

На рис. 3 и 4 приведены результаты работы портативного комплекса. Как видим, фон нейтронов тепловых и умеренных (до 1 МэВ) энергий сохраняется постоянным как у берега, так и вдали от суши. Нейтроны создаются в результате взаимодействия первичных космических частиц с ядрами атомов атмосферы, поток космических лучей задается либо жесткостью геомагнитного обрезания, либо (в северных широтах, где порог низкий) атмосферным порогом обрезания 1 ГВ [2]. Поскольку атмосферное обрезание действовало на всем маршруте экспедиции, то и поток вторичных нейтронов не менялся существенно. Отметим, что нуклонная компонента ВКЛ (к которой принадлежат и нейтроны) является наименее подверженной воздействию атмосферы [2], за исключением барометрического эффекта, который легко может быть исправлен.

Гамма-фон по маршруту экспедиции изменялся. Поскольку ни радон, ни радионуклиды посреди моря не могут быть источниками вариаций потока гамма-излучения, следует признать, что все наблюдаемые изменения потока связаны с атмосферными процессами. Постоянный уровень счета нейтронного детектора указывает на то, что поток космических лучей был на постоянном уровне, а вариации на рис. 4 отражают влияние атмосферных процессов на поток гамма-квантов. Из опыта многолетних наблюдений за гамма-фоном на других станциях известно, что медленные изменения фона (периоды более суток) связаны с такими метеорологическими явлениями, как ту-

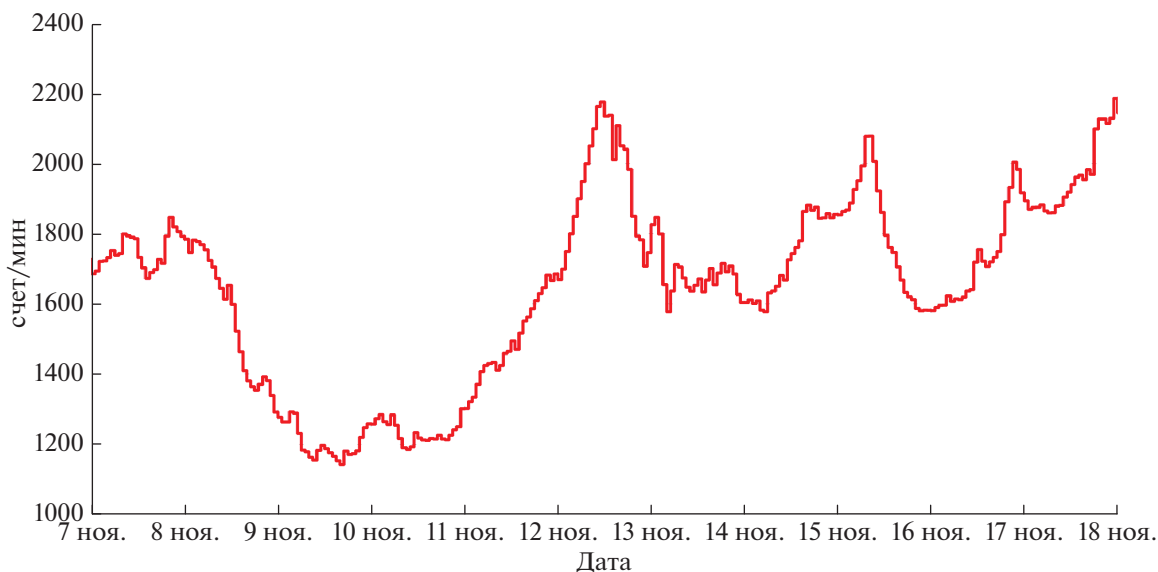


Рис. 4. Профиль счета гамма-детектора. Канал >20 кэВ. Часовое усреднение.

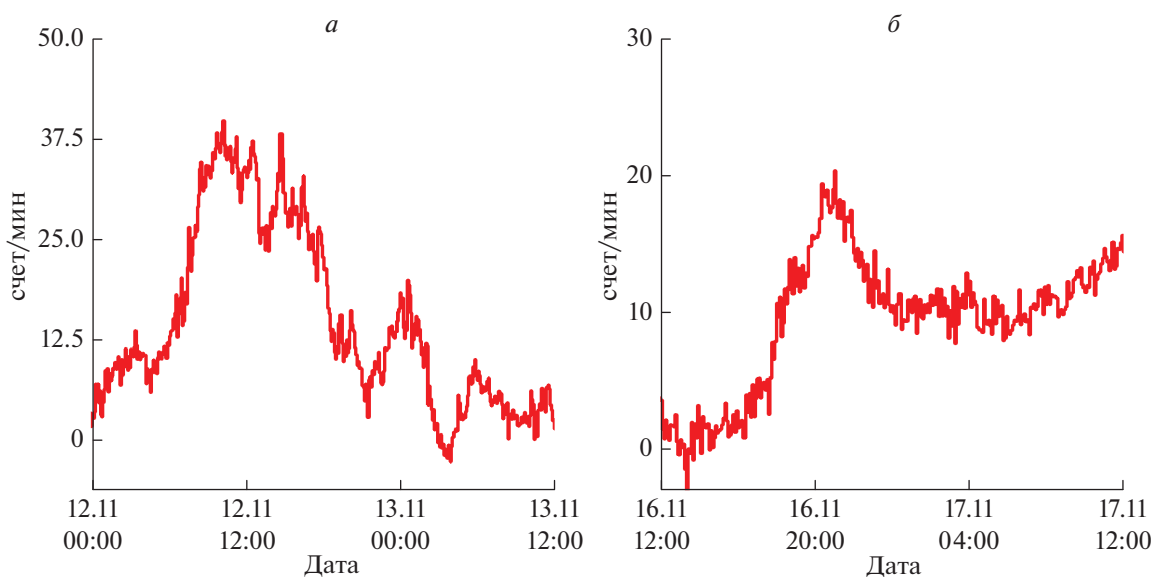


Рис. 5. Возрастания гамма-излучения 12 и 16–17 ноября. Пятиминутное усреднение.

ман, сильный ветер. В ходе экспедиции за метеорологическими явлениями не следили, доступны только записи в судовом журнале. На 9–11 ноября запись сообщает, что было сильное волнение, сильный ветер без осадков.

Наиболее интересным результатом экспедиции является обнаружение событий возрастаний гамма-фона при осадках. На рис. 5. это 12, 15 и ночь 16–17 ноября. В судовом журнале отмечено, что в это время наблюдался дождь или дождь со снегом. Возрастание определяется, во-первых, по записи в судовом журнале – начался дождь, – во-вторых, по типичному профилю: более резкие пе-

редний фронт и пологий спад. Скорее всего, и более протяженное возрастание 14–16 ноября тоже имеет тот же характер и природу, поскольку в судовом журнале в этот период отмечен туман, морось. Но запись о дожде относится к 15 ноября, поэтому выделено только достоверное возрастание в эту дату. После возрастания 16–17 ноября уровень гамма-фона не вернулся к прежнему уровню. Это может быть обусловлено продолжением осадков в виде мороси. К сожалению, установленный портативный комплекс работал в автономном режиме, тщательных наблюдений за погодой экипажем корабля не проводилось.

ОБСУЖДЕНИЕ

Основным результатом данной работы является испытание комплекса с подключенным детектором гамма-излучения в морской экспедиции, в условиях, отличающихся от стационарных. По итогам экспедиции, были получены важные результаты, связанные с обнаружением возрастных гамма-излучения при осадках. Эти возрастные четко определяются на фоне других вариаций. Их амплитуда, длительность и профиль соответствуют подобным возрастаниям в Апатитах и Баренцбурге. Поэтому не остается сомнений, что наблюдался тот же эффект, что на других станциях на берегу. Во многих событиях (как 12 ноября) после прекращения осадков происходит возвращение к уровню гамма-фона, бывшему до начала дождя, в течение 1–2 ч. Если этот спад трактовать как время распада радионуклида, принесенного осадками из загрязненной области, то на перенос вместе с облаками радионуклида с суши к кораблю, находящемуся во многих сотнях км от берега, потребуется много часов, за которые этот короткоживущий радионуклид полностью распадется. Ведь после выпадения с дождем он полностью распадается за пару часов. Таким образом, вывод, полученный в ходе экспедиции: возрастания гамма-излучения при осадках являются распространенным по всей Земле эффектом. Он вызван пока еще не до конца выясненным механизмом взаимодействия ВКЛ с метеорологическими процессами в атмосфере. Наиболее вероятными представляются гипотезы, связанные с электрическими полями в облаках. О влиянии электрических полей грозных облаков на потоки мюонов имеется немало работ, например [6–9], однако, в них идет речь о низких широтах, где электрические явления в атмосфере распространены. Ясно, что полярная атмосфера в условиях полярной ночи не способна создавать электрические поля большой напряженности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе морской научной экспедиции во время плавания в акваториях Баренцева и Гренландского морей были зарегистрированы типичные возрастания гамма-фона во время осадков. Такие возрастания много лет отмечаются на сети станций, размещенных от Баренцбурга до Се-

верного Кавказа. Амплитуда этих возрастаний составила ~20%, длительность — несколько часов. Важность этих наблюдений состоит в том, что исключается гипотеза дополнительного выделения радионуклидов из почвы во время осадков или вынесения их ветрами из промышленных зон. Наблюдение возрастаний гамма-фона в десятках и сотнях километров от береговой линии однозначно указывает, что причиной возрастания не могут быть выделения радионуклидов из почвы, равно как и перенос промышленных выбросов воздушными массами.

Проведение во время морской экспедиции в акватории Баренцева и Гренландских морей мониторинга фонового потока гамма-излучения, возникающего в атмосфере от вторичных космических лучей, показало, что наблюдавшиеся ранее на сети материковых станций возрастания гамма-излучения при осадках происходят и на море вдали от суши. Таким образом, предположение, что возрастания связаны с попаданием в облака антропогенных или природных короткоживущих радионуклидов из почвы, может быть окончательно отвергнуто.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маурчев Е.А., Балабин Ю.В., Гвоздевский Б.Б. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2015. Т. 79. № 5. С. 711; *Maurchev E.A., Balabin Yu.V., Gvozdevskii B.B. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2015. V. 79. No. 5. P. 657.
2. Дорман Л.И. Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей. М.: Наука, 1975. 402 с.
3. *Germanenko A.V., Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B., Vashenyuk E.V.* // J. Phys. Conf. Ser. 2013. V. 409. Art. No. 012241.
4. Балабин Ю.В., Германенко А.В., Гвоздевский Б.Б., Ващенко Э.В. // Геомагн. и аэронам. 2014. Т. 54. № 3. С. 376.
5. Мурзин В.С. Введение в физику космических лучей. М.: Изд-во МГУ, 1988. 320 с.
6. *De Mendonca R.R.S., Raulin J.P., Bertoni F.C.P. et al.* // J. Atm. Sol.-Terr. Phys. 2011. V. 73. P. 1410.
7. *Dwyer J.R., Rassoul H.K., Al Dayeh M. et al.* // Geophys. Res. Lett. 2004. V. 31. Art. No. L05119.
8. *Rust W.D., Trapp R.J.* // Geophys. Res. Lett. 2002. V. 29. P. 1959.
9. *Мироничев П.В.* // Геомагн. и аэронам. 2003. Т. 43. № 5. С. 702.

Observation of variations in secondary cosmic rays' fluxes during a sea expedition in the Arctic Ocean

Yu. V. Balabin^a, *, A. V. Germanenko^a, E. A. Mikhalko^a, E. A. Maurchev^a, A. V. Larchenko^a

^a Polar Geophysical Institute, Apatity, 184209 Russia

*e-mail: balabin@pgia.ru

A portable complex for registration of secondary cosmic rays has been developed and created. It is designed to perform monitoring of cosmic rays in various expeditions, at remote points and lighthouses. It has detectors for measuring fluxes of neutrons, charged particles and gamma rays. The device was tested on an expedition to the Barents and Greenland Seas.