

УДК 524.1-352

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ТОЧЕК РАЗМЕЩЕНИЯ ПОРТАТИВНОГО НЕЙТРОННОГО МОНИТОРА

© 2021 г. Ю. В. Балабин*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
“Полярный геофизический институт”, Апатиты, Россия

*E-mail: balabin@pgia.ru

Поступила в редакцию 21.06.2021 г.

После доработки 05.07.2021 г.

Принята к публикации 28.07.2021 г.

Выполнен поиск места размещения портативного прибора для мониторинга космических лучей. Критерием отбора служило условие получения новых данных, не дублированных уже имеющимися станциями.

DOI: 10.31857/S0367676521110053

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость дополнительных точек измерения, расположенных в высоких широтах, во время солнечных событий GLE проявлялась не раз. Для решения обратной задачи GLE требуется как можно больше точек измерения, потому что солнечные космические лучи обладают сильной анизотропией, доходящей на начальной фазе до 1. Однако установка нового нейтронного монитора в современных условиях невозможна в первую очередь по финансовым причинам.

Лабораторией космических лучей ПГИ был разработан и создан недорогой, простой в эксплуатации портативный детектор нейтронов (ПДН) с энергиями от тепловых до ~ 1 МэВ. Фактически это мобильный вариант бессвинцовой секции нейтронного монитора [1]. Предполагалось использовать его в сезонных морских экспедициях. Однако ПДН может быть установлен на долгий срок в различных удаленных пунктах (метеостанциях, маяках и пр.). ПДН не требует обслуживания и наладки, запись данных производится на флэш-карту, определение географических координат и коррекция часов микроконтроллера производится автоматически по сигналам GPS. Потребляемая прибором мощность менее 15 Вт [2].

На территории России находятся шесть среднеширотных станций нейтронных мониторов (НМ): Москва, Баксан, Новосибирск, Иркутск, Якутск и Магадан, а также пять высокоширотных: Баренцбург, Апатиты, Норильск, Тикси и Мыс Шмидта. Российская часть составляет более четверти в мировой сети НМ [3, 4], однако, при решении обратной задачи GLE (восстановление параметров потока солнечных космических лу-

чей по данным наземной сети НМ) [5] данных все мировой сети НМ порой недостаточно для получения решения с хорошей точностью. Основная причина в том, что потоки солнечных космических лучей имеют сильную анизотропию. Например, внутри обширной области, обозначенной четверкой станций Апатиты, Москва, Новосибирск, Норильск, нет ни одного НМ. При решении обратной задачи подобные слепые места ухудшают сходимость, поскольку имеется протяженная область (в угловых координатах), где отсутствуют данные о потоках космических лучей. Показательным примером может служить событие 28.10.2003 [6]. Станция Норильск отметила существенное возрастание солнечных космических лучей на полчаса ранее остальных. Другие ближайшие НМ (Апатиты, Тикси, Мыс Шмидта) в этот момент показали возрастание чуть выше уровня шумов, но их конуса отстояли от Норильска не менее 40–50 градусов. По этой причине начальная фаза этого события при решении обратной задачи, если не опускается, то решается с большой ошибкой – мало точек, давших измерения.

На рис. 1 приведена карта асимптотических конусов (АК) ряда НМ мировой сети в событии GLE65 [6]. Названия станций приведены у края, обеспечивающего прием частиц 20 ГВ. Противоположный край соответствует 1 ГВ. Ось анизотропии потока обозначена “+”, тонкие линии с числами – линии равных питч-углов. Использована GSE-система координат. Особенность большинства станций в том, что “мягкая часть” (принимающая частицы 1–5 ГВ) АК даже у заполярных станций (Апатиты, Тикси) располагается вблизи магнитного экватора. И только крайне

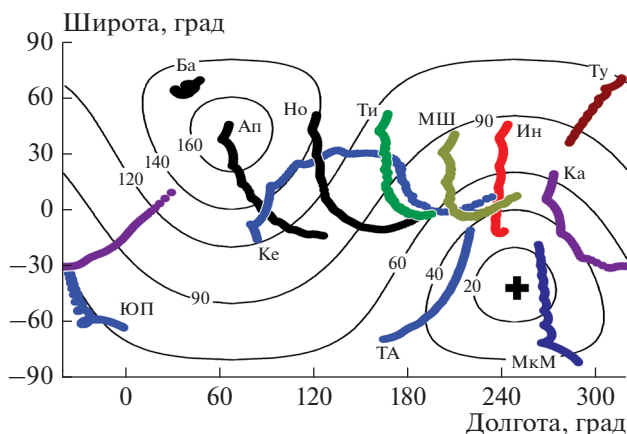


Рис. 1. Карта асимптотических конусов приема ряда станций НМ мировой сети в событии GLE65. Обозначены следующие российские станции: Ба – Баренцбург, Ап – Апатиты, Но – Норильск, Ти – Тикси, МШ – мыс Шмидта.

высокоширотные станции (российская станция Баренцбург и американская Туле) имеют АК, располагающийся целиком выше 60° . В этом событии был отмечен обратный поток (на питч-углах более 140° и с жесткостью <5 ГВ он был сравним с основным потоком) на поздней фазе события. Однако, как видно из рис. 1, его способен был принять только Баренцбург, что маловато для решения обратной задачи.

ПДН является недорогим прибором, имеется возможность изготовить и разместить один или несколько таких детекторов. В данной работе представлены результаты поисков возможных мест размещения ПДН. Критерием отбора мест являлась возможность принимать потоки космических лучей из направлений, недоступных для других станций. Для этого вычислялись АК приема предполагаемых мест размещения, которые затем сравнивались с конусами уже существующих станций.

Разработанный и изготовленный ПДН имеет недостаток: его счет составляет 60 имп./мин. В нем 6 счетчиков. Можно увеличить их число до двух десятков без существенного увеличения габаритов и веса. Для типичного пятиминутного усреднения, используемого в методике решения обратной задачи, ПДН обеспечит приемлемую точность (~ 1000 импульсов за 5 мин).

ПДН чувствителен к нейтронам от тепловых энергий до сотен кэВ [1], потоки которых имеют существенные вариации, связанные с окружающими условиями, в том числе погодными. Это делает ПДН малопригодным к мониторингу вариаций космических лучей. События GLE длятся лишь часы, и фоновый поток на этот период можно считать постоянным. ПДН имеет свою собствен-

ную удельную функцию сбора. Она отличается от удельной функции для НМ, но известна и продолжает уточняться путем моделирования [8–10].

РАСЧЕТ АК ВОЗМОЖНЫХ ТОЧЕК РАЗМЕЩЕНИЯ И ВЫБОР НАИЛУЧШЕГО МЕСТА

Было выбрано около десятка пунктов, где возможно размещение ПДН. В средних широтах точки соответствовали городам (Ростов-на-Дону, Сыктывкар, Челябинск, Лесосибирск, Петропавловск-Камчатский, Южно-Сахалинск), а в высоких широтах точки выбирались на местности (архипелаги Земля Франца-Иосифа и Новая Земля, северная оконечность Таймыра, бухта Провидения). Затем для действующих российских станций и новых пунктов вычислялись АК. Расчет АК велся в модели T-89 (Цыганенко-89) [7] магнитосферы Земли с шагом 0.01 ГВ при спокойной магнитосфере с $Kp = 1$. При задании даты выбрано равноденствие, когда магнитный диполь перпендикулярен эклиптике. Для того, чтобы качественно оценить пределы изменения АК станций в течение суток, АК вычислялись для четырех моментов времени: 03, 09, 15 и 21 UT. На рис. 2 приведены АК действующих российских станций и возможных мест размещения только для двух моментов времени: 09 и 21 UT.

АК ст. Петропавловск-Камчатский и бухта Провидения располагаются близко к действующим ст. Магадан и мыс Шмидта. Аналогичная ситуация с другими выбранными среднеширотными точками размещения. Их АК располагаются вблизи уже действующих ст. Апатиты, Москва, Баксан, Новосибирск. Следовательно, размещение в этих пунктах ПДН ситуацию с обзором небесной сферы улучшит ненамного: данные новой станции будут дублировать уже существующие.

АК высокоширотных пунктов Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Таймыр большую часть времени суток располагаются в областях небесной сферы, которые никакими действующими станциями не обозреваются. Кроме того, АК указанных станций половину суток направлены в сторону северного полюса эклиптики, откуда, за исключением Баренцбурга, ни одна станция не принимает потоки КЛ. Таким образом, оптимальными с точки зрения ценности получаемой новой информации будут станции, расположенные на архипелагах Земля Франца-Иосифа и Новая Земля, или на северной оконечности полуострова Таймыр. Это могут быть поселки Рогачево, Диксон или какие-то технические пункты на побережье: метеостанции, маяки.

Следует отметить, что расчет АК велся в диапазоне жесткостей $1–20$ ГВ, который является рабочим для стандартного НМ [1], и выводы, сле-

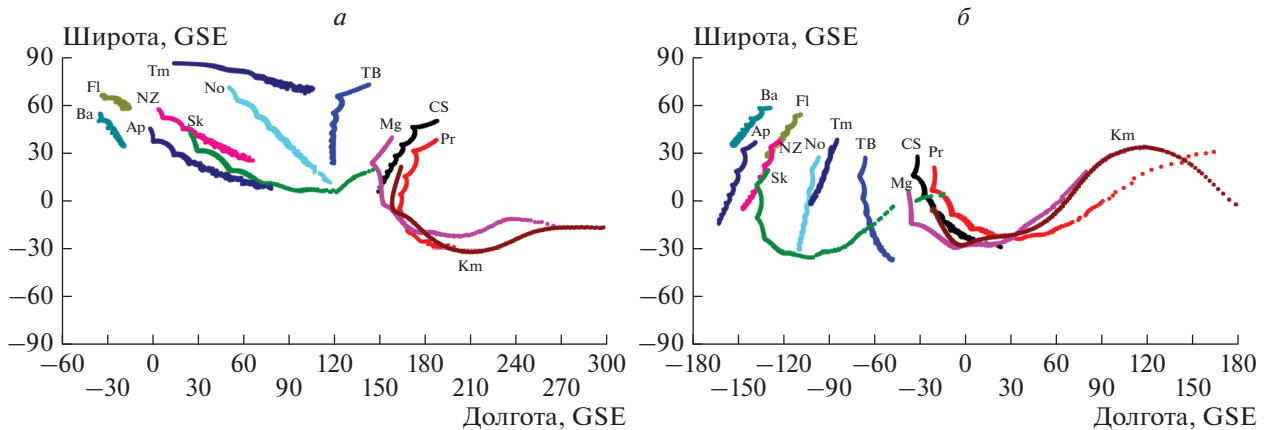


Рис. 2. АК российских действующих и предполагаемых станций для 09 UT. Ва – Баренцбург, FI – Земля Франца-Иосифа, Ap – Апатиты, NZ – Новая Земля, Tm – Таймыр, Sk – Сыктывкар, No – Норильск, TB – Тикси, Mg – Магадан, CS – мыс Шмидта, Pr – бухта Провидения, Km – Петропавловск-Камчатский (а). АК тех же станций для 21 UT (б).

ланные для ПДН, верны также и для НМ. При размещении стандартного НМ в указанных высокоширотных пунктах получаемая информация о вариациях космических лучей будет иметь ценность, поскольку другие НМ не принимают из этой части небесной сферы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На территории России был выбран и рассмотрен десяток средне- и высокоширотных пунктов размещения детектора нейтронов. Расчет асимптотических конусов приема для выбранных пунктов выполнялся в модели магнитосферы T-89. Сравнение асимптотических конусов показало, что конусы новых среднеширотных станций располагаются вблизи уже существующих станций, и новые станции будут дублировать действующие. Ценность таких данных невелика. В то же время новые высокоширотные пункты для мониторинга космических лучей на Земле Франца-Иосифа, Новой Земле или на севере Таймыра были бы весьма полезны, поскольку их асимптотические конусы приема располагаются в недоступных для других станций направлениях. Полученный вывод касается размещения не только разрабо-

танного портативного детектора, но и стандартного нейтронного монитора, поскольку асимптотические конусы рассчитывались от 1 до 20 ГВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорман Л.И. Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей. М.: Наука, 1975. 402 с.
2. Mikhalko E.A., Mauricev E.A. // E3S Web Conf. 2019. V. 127. Art. No. 02001.
3. Гвоздевский Б.Б., Белов А.В., Гущина П.Т. и др. // Phys. Aur. Phenom. 2018. V. 41. С. 80.
4. <http://www01.nmdb.eu/station>.
5. Vashenyuk E.V., Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B. // Astrophys. Space Sci. Trans. 2011. V. 7. P. 459.
6. Miroshnichenko L.I., Klein K.-L., Trotter G. et al. // J. Geophys. Res. 2005. V. 110. Art. No. A09S08.
7. Tsyganenko N.A. // Planet. Space Sci. 1989. V. 37. No. 1. P. 5.
8. Pioch C., Mares V., Vashenyuk E.V. et al. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A. 2011. V. 626–627. P. 51.
9. Vashenyuk E.V., Balabin Yu.V., Stoker P.H. // Adv. Space Res. 2007. V. 40. P. 331.
10. Mauricev E.A., Balabin Yu.V. // Sol.-Terr. Phys. 2016. V. 2. No. 4. P. 3.

Search for the optimal locations for the portable neutron monitor

Yu. V. Balabin*

Polar Geophysical Institute, Apatity, 184211 Russia

*e-mail: balabin@pgia.ru

The search for the location of a portable instrument for monitoring cosmic rays was carried out. The selection criterion was the condition for obtaining new data that were not duplicated by the existing stations.