

АСТРОНОМИЯ И ФИЗИКА КОСМОСА

УДК 524.1

О МЕТОДИКЕ ИЗМЕРЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ
В АТМОСФЕРЕ

А. Н. Квашнин, В. С. Махмутов, Ю. И. Стожков

В статье рассматривается методика измерений интенсивности космических лучей в стратосфере. Приводится доказательная база устойчивости характеристик радиозонда в течение длительного периода стратосферных измерений космических лучей при выбранной методике его изготовления и настройки.

Ключевые слова: методика, радиозонд, космические лучи, измерения, высотный ход.

Введение. С 1957 года в Москве (на Долгопрудненской Научной Станции – ДНС ФИАН) и в Мурманской обл. (ст. Оленья, ст. Апатиты) ведутся регулярные измерения интенсивности космических лучей (КЛ) в стратосфере с помощью радиозонда. За это время получен непрерывный ряд данных с 1957 года и по настоящее время. Кроме этого, с 1963 года по настоящее время проводятся измерения КЛ в Антарктиде на ст. Мирный. В течение нескольких лет проводились измерения в Алма-Ате, Симеизе (Крым), Ереване, Тикси, Воейково (Ленингр. обл.) и в морских экспедициях [1–3]. Детектором заряженных частиц в радиозонде является газоразрядный счётчик СТС-6. Радиозонд поднимается в стратосферу на латексной оболочке до 30–34 километров. Информация о потоке заряженных частиц, прошедших через счётчик, и о высоте подъёма радиозонда передаётся на землю с помощью радиосигналов.

Аппаратура и методика подготовки радиозонда. Для измерения космических лучей в стратосфере на ДНС ФИАН в 1957 году был разработан и сдан в эксплуатацию радиозонд с детектором заряженных частиц, в котором используется гейгеровский счётчик СТС-6. Описание радиосхемы и работы радиозонда приводятся в работах [4–6]. Принципиальная радиосхема радиозонда с тех пор не изменилась, но менялась элементная база его радиосхемы и оформление. Первая радиосхема была собрана на радиолампах, затем на полупроводниковых триодах и сейчас на микросхемах. Постепенно менялся

и вес прибора первоначально от 3-х килограммов до 600 граммов в настоящее время. На рис. 1 приводится вариант принципиальной радиосхемы, используемой в зонде в последние годы.

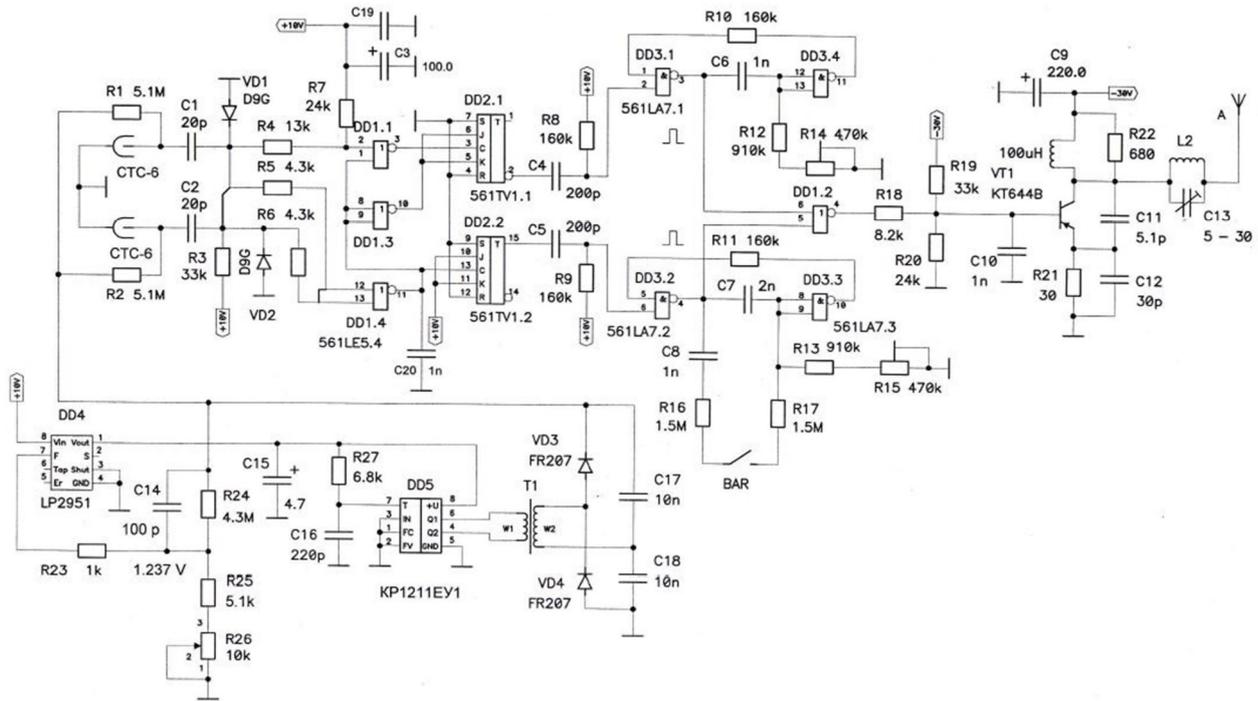


Рис. 1: Принципиальная схема радиозонда.

Претерпел изменение и анероидный бародатчик, применяемый в радиозонде. Первоначально эти бародатчики изготавливались на заводе, но в начале 2-хтысячных годов завод прекратил их изготовление и, в связи с этим, на ДНС был разработан и изготовлен аналогичный бародатчик, но более дешёвый и простой в изготовлении. В 2023 году разработан и испытан улучшенный вариант этого бародатчика [7]. В качестве экспедиционного варианта сейчас разработан и эксплуатируется электронный вариант бародатчика [8].

Каждый детектор заряженных частиц, в данном эксперименте гейгеровский счётчик СТС-6, может иметь несколько разные счётные характеристики, поэтому получаемый счёт от постоянного потока падающих на него частиц будет разным для разных счётчиков. В связи с этим необходимо результаты измерений от разных счётчиков приводить к единому стандарту. Эта задача решается с помощью введения поправки, полученной после совместной одновременной градуировки рабочих и контрольных счётчиков. Были отобраны восемь счётчиков для использования в качестве контрольных. Эти счёт-

чики отбирались по одинаковому или близкому счёту при облучении радиоактивным источником. Отбор проводился по измеренному счёту при одинаковой геометрии расположения счётчиков относительно радиоактивного источника. Также была отобрана ещё группа из восьми счётчиков для контроля за стабильностью характеристик самих контрольных счётчиков путём сравнения среднего счёта этих счётчиков со счётом отдельно каждого контрольного счётчика. Для градуировки счётчиков был сконструирован и собран градуировочный стенд, который представляет собой круговую установку в диаметре 105 см. По внешнему контуру круга этой установки, по направлению радиуса, расположены пружинные контакты для размещения 80 счётчиков. На стенд устанавливаются 72 градулируемых счётчика и 8 контрольных счётчиков. Установка комплектуется электроникой на 80 каналов для счёта проходящих заряженных частиц через каждый счётчик. Счёт с каждого канала вводится в компьютер и обрабатывается с помощью программного обеспечения. Программа определяет средний счёт в минуту для каждого счётчика. Сравнивая средний счёт контрольных счётчиков со счётом каждого градулируемого рабочего счётчика, программа определяет поправки к каждому из них. В качестве источника заряженных частиц используется фон космических лучей. Чтобы облучение для каждого счётчика было одинаковым, стенд вращается вокруг центра круга со скоростью один оборот за 30 сек. Градуировка каждой группы из 72 счётчиков, для набора хорошей статистики, продолжается 16 часов.

Как отмечалось ранее, регулярные измерения КЛ в стратосфере проводятся уже несколько десятилетий, поэтому представляет интерес насколько однороден полученный за это время ряд данных [1, 9]. Чтобы проверить это, сравним результаты измерений отдельных полётов радиозондов в разные периоды времени и в разных точках земного шара. Для сравнения отбирались полёты с одинаковым счётом радиозонда в максимуме высотного хода интенсивности космических лучей. На рис. 2 приведены данные измерений заряженной компоненты космических лучей в атмосфере, полученные в трёх полётах радиозондов в 1968, 1992 и в 2024 годах в Москве (ФИАН ДНС).

При рассмотрении рисунка наблюдаем хорошее совпадение данных всех трёх полётов в течение времени подъёма радиозонда от Земли до давления несколько г/см^2 , что указывает на корректную работу прибора в течение всего этого интервала времени. (На рис. 2 приведены среднеквадратичные ошибки для одного из полётов, в других полётах ошибки по величине аналогичны.)

На рис. 3 приведены данные высотного хода счёта радиозонда при подъёме в стратосферу, полученные в одновременных полётах 23 июня 1967 года в Мурманске и в

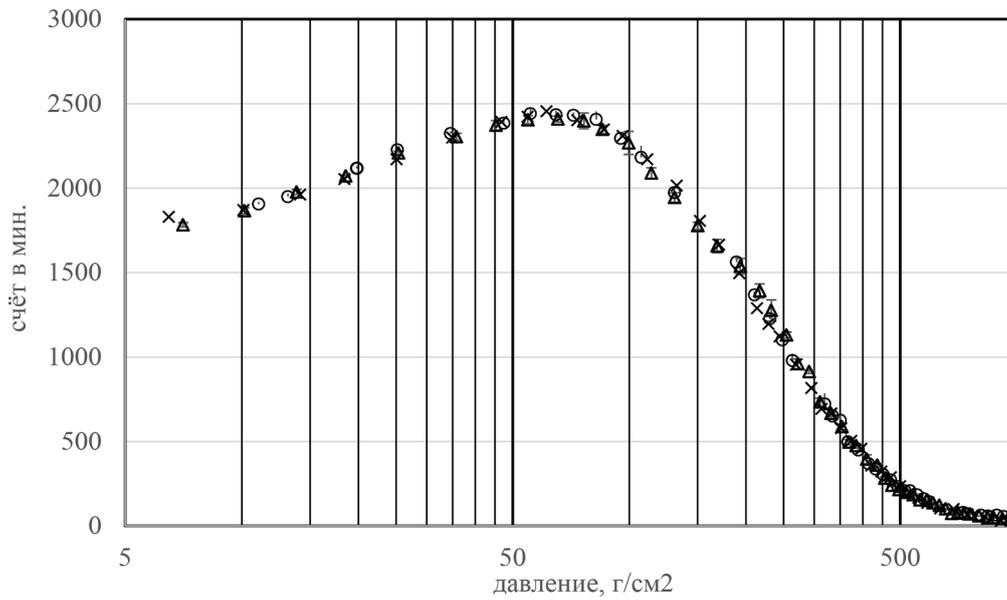


Рис. 2: Сравнение высотного хода космических лучей в разные периоды времени в Москве: круж. – 19.03.1968 г., треуг. – 18.09.1992 г. и крест. – 15.03.2024 г.

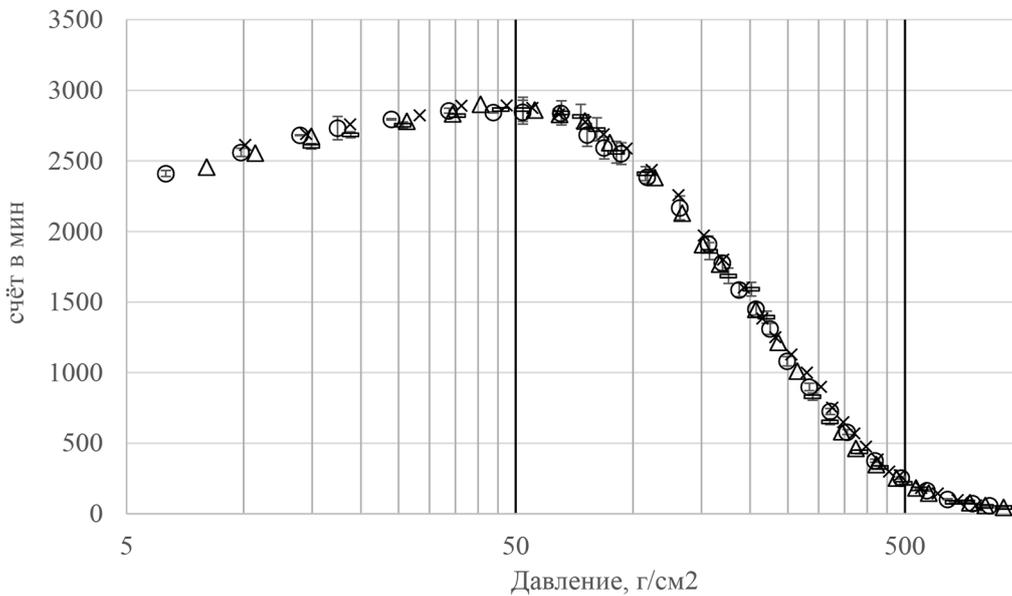


Рис. 3: Сравнение высотного хода космических лучей в разные периоды времени в Мурманске и Мирном. В Мурманске: треугольники – 23.06.67 г., кружки – 21.04.88 г., в Мирном: горизонтальные палочки – 23.06.67 г., крестики – 05.10.2022 г.

Мирном, в Мурманске 21 апреля 1988 года и в Мирном 05 октября 2022 года и (ошибки приведены для одного из полётов). Отбирались полёты с одинаковым счётом в максимуме высотной кривой. Счёт в максимуме интенсивности в одновременных полётах в Мурманске и в Мирном одинаковый, несмотря на некоторую разницу в жесткости обреза. В этот период солнечная активность была достаточно высокая ($Rz \sim 100 - 150$), и поэтому в потоке первичных космических лучей не было частиц малых энергий. Отметим хорошее совпадение данных всех четырёх полётов по всем высотам.

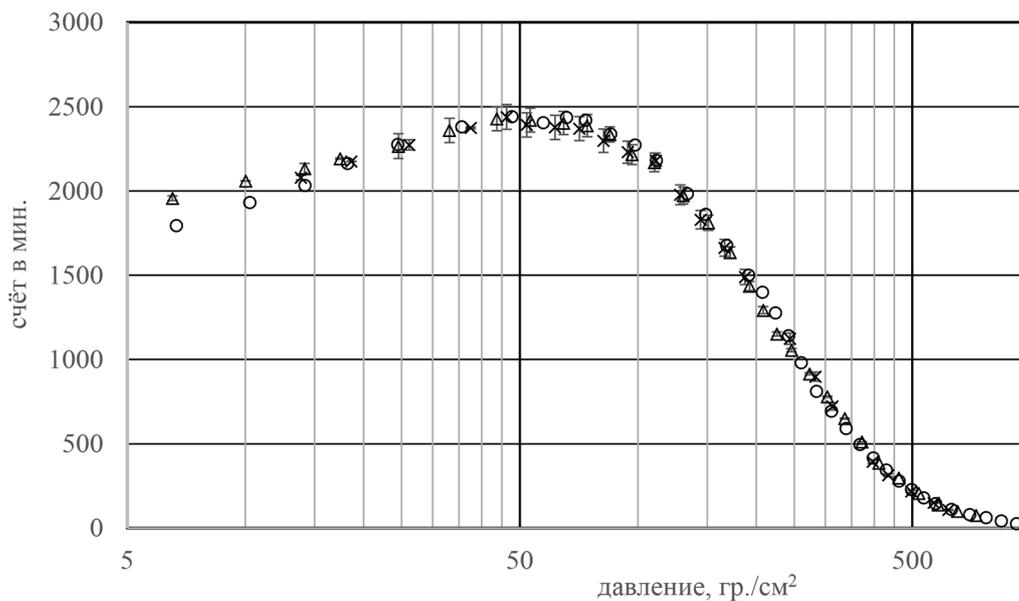


Рис. 4: Сравнение высотного хода космических лучей в разные периоды времени, в Мурманске: крест. — 15.05.70 г., треугол. — 01.05.92 г. и в Москве: кругл. — 28.08.2023 г.

На рис. 4 приведены данные высотного хода счёта радиозонда при подъёме в стратосферу в Мурманске в 1970 и 1992 годах, и в Москве в 2023 году. (Среднеквадратичные ошибки, как и во втором рисунке, приведены только для одного полёта.) Так как солнечная активность в эти три периода была достаточно высокой, было возможно найти полёты с одинаковой величиной интенсивности космических лучей в максимуме высотной кривой в Москве и Мурманске. Из рис. 4 видно также хорошее совпадение кривых по всем высотам.

Заключение. Рассмотрены данные измерений космических лучей в атмосфере в Москве (ДНС ФИАН), Мурманске и Мирном за период более 60-ти лет. Проведено сравнение полученных данных измерений интенсивности космических лучей в атмосфере в разных точках земного шара и в разные периоды времени. Во всех приведен-

ных случаях получено хорошее совпадение хода интенсивности космических лучей во время подъёма радиозонда в стратосферу. По полученным результатам можно сделать вывод о том, что существующая методика подготовки прибора была выбрана правильно и позволяет сохранять характеристики прибора постоянными в течение длительного периода времени.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] G. A. Bazilevskaya, A. K. Svirzhevskaya, Space Sci. Rev. **85**(3–4), 431 (1998). <https://doi.org/10.1023/A:1005029832052>.
- [2] Yu. I. Stozhkov, N. S. Svirzhevsky, G. A. Bazilevskaya, et al., Advances in Space Research **44**(10), 1124 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.asr.2008.10.038>.
- [3] Yu. Stozhkov, V. Makhmutov, N. Svirzhevsky, Universe **8**, 558 (2022). <https://doi.org/10.3390/universe8110558>.
- [4] П. Н. Агешин, А. Н. Чарахчьян, Геомагнетизм и аэрономия **6**(3), 617 (1966).
- [5] А. К. Свиржевская, Ю. И. Стожков, Труды Всесоюзной конференции по физике космических лучей, Ташкент, 1969, ч. 2, вып. 3, стр. 63-66.
- [6] Ю. И. Стожков, Модуляция космических лучей солнечной активностью и общим магнитным полем солнца, диссертация на соискание учёной степени доктора физ.-мат. наук, ФИАН, 1970, стр. 17-18.
- [7] А. Н. Квашнин, Краткие сообщения по физике ФИАН **52**(6), 43 (2025).
- [8] А. Н. Квашнин, Д. С. Тесленко, Краткие сообщения по физике ФИАН **51**(6), 19 (2024). DOI: 10.3103/s1068335623602200.
- [9] Ю. И. Стожков, В. С. Махмутов, Н. С. Свиржевский, Успехи Физических Наук **192**(9), 1054 (2022). DOI: 10.3367/UFNe.2021.06.039215.

Поступила в редакцию 3 декабря 2025 г.

После доработки 5 января 2026 г.

Принята к публикации 6 января 2026 г.