

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ,  
МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ**

УДК 524.1

**МОБИЛЬНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ ШИРОТНОГО  
МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ**

© 2026 г. П. Г. Кобелев, Е. А. Маурчев, В. Г. Янке\*

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн*

*им. Н.В. Пушкина Российской академии наук*

*Россия, 108840, Москва, Троицк, Калужское шоссе, 4*

*\*E-mail: yanke@izmiran.ru*

Поступила в редакцию 03.12.2025

После доработки 08.08.2026

Принята к публикации 28.08.2026

Цели работы – создание и исследование характеристик модернизированного стандартного нейтронного монитора на базе борного счетчика тепловых нейтронов СНМ-15 и системы сбора данных, ориентированной на проведение морских экспедиционных исследований вариаций космических лучей. Для решения задачи применялись современные методы ядерно-физического эксперимента и принципы организации микропроцессорных систем сбора данных. Результат тестовых испытаний и непрерывного мониторинга показали, что характеристики модернизированного и стандартного нейтронного мониторов близки, а простота эксплуатации, компактность и стабильность позволяют сделать вывод о том, что мобильный нейтронный детектор можно эксплуатировать в экспедиционных условиях с ограниченным доступом обслуживающего персонала.

**Ключевые слова:** космические лучи, нейтронная компонента, нейтронный монитор, система сбора данных, широтные измерения космических лучей.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на семидесятилетнюю историю [1–4], нейтронные мониторы остаются и сегодня важным инструментом для измерения интенсивности космических частиц с энергией более 400 МэВ. Область энергий нейтронных мониторов – прекрасное дополнение и продолжение верхней границы энергий, измеряемых детекторами космических лучей в космическом пространстве. Благодаря высокой скорости счета нейтронные мониторы способны измерять даже слабую анизотропию, связанную с галактическими космическими лучами. На сегодняшний день вся наиболее надежная информация об анизотропии получена по измерениям наземными детекторами.

В состав стандартного нейтронного монитора входит размножитель нейтронов в виде свинцовых колец, в котором атмосферные вторичные частицы с энергией не менее 10 МэВ имеют высокую вероятность взаимодействия со свинцом с генерацией испарительных нейтронов с энергиями в диапазоне нескольких МэВ. Они замедляются до тепловых энергий в полиэтиленовом замедлителе толщиной 25 мм, который окружает борный ( $^{10}\text{B}$ ) или гелиевый ( $^3\text{He}$ ) счетчики тепловых нейтронов. Стандартный нейтронный монитор также окружен полиэтиленовым отражателем толщиной 75 мм, целью которого является удержание в теле монитора нейтронов, произведенных в свинце, а также минимизация реакции детектора на поток внешних тепловых нейтронов в результате их альбедо.

В начале 2000-х годов на основе гелиевого счетчика LND25382 был разработан экспедиционный нейтронный мини монитор [5–13]. Но этот детектор обеспечивает только примерно 9% от скорости счета односчетчикового нейтронного монитора 1NM64, что составляет около  $1\text{ с}^{-1}$  на уровне моря на высоких широтах. Такой детектор можно использовать только на горных станциях [12], например, в Антарктиде на станции Concordia, где поток нейтронов почти на два порядка выше, чем на уровне моря.

В работе [14] описан мобильный нейтронный монитор на основе геометрии 3NM64. Определенный интерес представляют так называемые бессвинцовые нейтронные мониторы [15] для изучения влажности почвы [16] или для контроля ядерной безопасности [17]. Но использовать такие детекторы как элемент мировой сети нейтронных детекторов следует с большой осторожностью, поскольку данные таких детекторов сильно подвержены влиянию изменений окружающей среды из-за изменений содержания водородосодержащих веществ.

Мировая сеть детекторов космических лучей оснащена стандартными нейтронными мониторами, например, станция Москва – детектором 24NM64. Масса такого детектора составляет 48 т. Даже размещение на судах 6-счетчикового экспедиционного варианта (6NM64 в 20-футовом морском контейнере) приводит к проблемам.

При построении новых нейтронных детекторов возникает задача изготовления свинцовых колец. Нами разработан и построен нейтронный детектор на основе больших пропорциональных счетчиков СНМ-15, в котором свинцовые кольца заменены стандартными свинцовыми блоками.

Цель работы – создание детектора с требуемыми характеристиками для проведения экспедиционных измерений. Основными задачами являются разработка и описание

экспедиционного нейтронного монитора, системы сбора и обработки данных в экспедиционных условиях с ограниченным доступом обслуживающего персонала. Кроме интенсивности вторичных нейтронов, система должна регистрировать необходимые метеорологические данные и координаты по маршруту следования судна.

## 2. КОНФИГУРАЦИЯ ЭКСПЕДИЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА

Геометрия стандартного нейтронного монитора NM64 строилась, исходя из максимальной эффективной скорости счета при минимальной массе детектора. Такие детекторы строятся на основе больших ( $\varnothing 150 \times 1910$  мм<sup>2</sup>) пропорциональных борных BF<sub>3</sub>-счетчиков СНМ-15 или ВР-28 [18]. Свинцовый размножитель стандартного нейтронного монитора формируется из набора специально изготовленных свинцовых колец (рис. 1а), общая масса которых на один счетчик составляет 1900 кг, скорость счета крайнего в секции счетчика равняется примерно 430 мин<sup>-1</sup>.

При создании экспедиционного нейтронного детектора 1NM64М необходимо было заменить специально изготовленные свинцовые кольца стандартными свинцовыми блоками. Здесь возможны два варианта.

Первый вариант представлен на рис. 1б, когда максимально повторялись размеры и геометрия свинцового кольца-стандартного монитора, вплоть до организации “крыльев”, опирающихся на деревянные опоры. Общая масса свинца составляет 1914 кг, скорость счета также около 430 мин<sup>-1</sup>.

Второй вариант (при условиях ограниченной массы) представлен на рис. 1в; он отличается отсутствием “крыльев”. Общая масса свинца уже 1320 кг, скорость счета при этом около 290 мин<sup>-1</sup>, поскольку отсутствие “крыльев” уменьшает эффективную площадь детектора примерно на треть. Уточнение характеристик требует создания виртуальной модели детектора и проведения GEANT4-моделирования. Для организации свинцового размножителя необходимо 120 свинцовых блоков размером 200×100×50 мм<sup>3</sup> и 66 свинцовых блоков размером 180×90×50 мм<sup>3</sup> для формирования “крыльев”.

На рис. 1г показана изометрическая проекция модели детектора.

## 3. УСИЛИТЕЛЬНЫЙ ТРАКТ

В счетном режиме к усилителю не предъявляется особых требований, кроме необходимой амплитуды импульса на выходе, а также временной и температурной стабильностей его параметров. Поэтому общие требования к усилителю могут быть

сформулированы следующим образом: простота, надежность и высокая стабильность относительно всех дестабилизирующих параметров (температура, напряжение питания).

Широкополосный усилитель (рис. 2) состоит из двух операционных усилителей (ОУ) общего назначения. Первый каскад представляет собой преобразователь ток–напряжение, второй служит для дополнительного усиления.

Первый каскад выполнен по схеме инвертирующего включения ОУ с обратной связью по напряжению [19]. При построении цепи обратной связи первого каскада использован прием, с помощью которого большое эффективное значение сопротивления обратной связи создается за счет резисторов с относительно небольшими сопротивлениями. В данном случае выходное напряжение ОУ уменьшается в 60 раз делителем  $R_3$ – $R_4$ , и представленная цепь обратной связи работает как один резистор с сопротивлением  $R_{oc} = R_2 (R_3/R_4) = 6 \text{ МОм}$ . Проведем приближенный анализ и расчет первого каскада усилителя. При инвертирующем включении ОУ управляющим сигналом служит входной ток, а на его выходе генерируется напряжение. Основной передаточной функцией данной схемы является передаточное сопротивление  $R_g = -R_{oc} = -R_2 (R_3/R_4) = -6 \text{ МОм}$ . Выходное напряжение первого каскада определяется следующим образом:  $U_{вых} = R_g I_c = -6 \cdot 10^6 (-100 \cdot 10^{-9}) \text{ В} = +0.6 \text{ В}$ , т.е. первый каскад на частотах сигнала преобразует ток, равный  $-100 \text{ нА}$ , в положительный импульс с амплитудой  $+0.6 \text{ В}$ .

Второй каскад выполнен также по схеме инвертирующего включения ОУ с обратной связью по напряжению. Передаточное сопротивление данной схемы равно  $R_{п} = -R_{oc} = -R_7$ . Выходное напряжение второго каскада определяется следующим образом:  $U_{вых} = R_{п} I_c = -20 \cdot 300 \cdot 10^{-6} \text{ В} = -6 \text{ В}$ , т.е. второй каскад на частотах сигнала преобразует ток, равный  $300 \text{ мкА}$ , в отрицательный импульс амплитудой  $-6 \text{ В}$ . Амплитуда выходного сигнала со второго каскада может также меняться в широких пределах потенциометром  $R_5$ : от  $-0.6 \text{ В}$  (при  $R_5 = 20 \text{ кОм}$ , когда второй каскад работает как инвертор) до максимальной величины, примерно равной  $-10 \text{ В}$ .

Таким образом, в результате усиления на выходе второго каскада усилителя амплитуда импульса меняется от нуля до максимальной величины (она может достигать примерно  $10 \text{ В}$ ). Для исключения самовозбуждения второго каскада при подключении к аналоговому выходу емкостных нагрузок в выходной цепи каскада включен резистор  $R_6$ . Даже при больших емкостных нагрузках создается достаточно большой запас по фазе, обеспечивающий стабильную работу усилительного каскада.

Для отбора аналоговых сигналов выше некоторого порогового значения и для преобразования входной информации в одно бинарное сообщение используется

компаратор общего назначения. Поскольку входной импульсный сигнал имеет крутой фронт и быстрый спад вблизи уровня дискриминации, нет и необходимости применять специальные меры против эффекта дребезга выходного сигнала. Компаратор [20] работает при постоянном опорном напряжении 1 В. В используемых компараторах выходной каскад выполнен по схеме с открытым коллектором. Это позволяет реализовать токовую передачу сигнала для связи с вычислительными устройствами.

#### 4. СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

С массовым внедрением микропроцессорной технологии возможен подход, когда каждый детектор обеспечен собственной встроенной системой сбора данных. Такая система имеет мало взаимосвязей, что ведет к увеличению надежности и автономности отдельных детекторов. Автономность детекторов важна, поскольку при проведении морских экспедиционных измерений используется комплекс детекторов, размещенных в разных лабораториях судна, иногда далеко разнесенных.

Требования к системе сбора данных достаточно простые. Вторичное космическое излучение в глубине атмосферы фактически является фоновым ( $\text{менее } 100 \text{ с}^{-1}$ ). Система сбора данных работает в режиме простого счета импульсов. Основное требование к системе сбора данных – это надежность, поскольку аппаратура должна работать непрерывно в режиме ограниченного доступа (более 180 суток).

Система регистрации построена на базе микроконтроллера Arduino-Uno [21]. Сформированные усилителем-дискриминатором с открытым коллектором выходные импульсы длительностью около 10 мкс подаются на прерывания “0” или “1” микроконтроллера, настроенные на срабатывание по переднему фронту.

Помимо скорости счета детекторов с таким же временем разрешения регистрируется ряд других параметров. Для регистрации атмосферного давления и внутренней температуры окружения используется датчик BMP280 ( $\pm 0.12 \text{ мб}$ ,  $\pm 0.01 \text{ }^\circ\text{C}$ ). В качестве датчика внешней температуры и влажности используется водонепроницаемый цифровой датчик DHT22 с параметрами:  $(-40-125) \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $(0-100) \pm 2\%$ .

Для получения географических координат используется модуль приемника GPS/Glonass/Beidou/Galileo для проекта Arduino на основе чипа ATGM336H. Модули взаимодействуют друг с другом с помощью аппаратного протокола связи UART для последовательной связи между устройствами. Это позволяет выносить антенну GPS на расстояния до 15 м, что важно в условиях судна.

Для поддержания точного времени используются часы реального времени DS3231 (их точность составляет  $\pm 5$  секунд в месяц), которые периодически синхронизируются с мировым временем по данным приемника GPS/Glonass/Beidou/Galileo.

Запись данных проводится на microSD-карту емкостью 32 Гб, что достаточно для хранения годового архива данных минутного разрешения всех 12 каналов информации. При необходимости возможна передача данных на PC по USB-интерфейсу.

## 5. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРОВ

Основные характеристики нейтронных детекторов сведены в табл. 1. Статистическая погрешность измерений детектора 1NM64M составляет около 0.8%/час или примерно 0.15%/сутки.

**Таблица 1.** Основные характеристики нейтронных детекторов

| Параметр                                                        | 1NM64M            | 1NM64E            | 1NM64T |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------|
| Средняя скорость счета в мае 2025, мин <sup>-1</sup>            | 290               | 160               | 70     |
| Статистическая точность, %/ч                                    | 0.8               | ~1                |        |
| Длина плато счетной кривой, В                                   | 500               | 450               | 350    |
| Наклон плато счетной кривой, %/В                                | 0.04              | 0.04              | 0.05   |
| Амплитуда форбуш-эффекта 1 июня 2025, %                         | 13                | 12                | 12     |
| Барометрический коэффициент $\beta$ , %/мб                      | 0.74 $\pm$ 0.02   | 0.76 $\pm$ 0.04   |        |
| Эффект влажности $\epsilon$ , %/г/м <sup>3</sup>                | 0.034 $\pm$ 0.005 | 0.056 $\pm$ 0.009 |        |
| Доля вариаций опорной станции в наблюдаемых вариациях, $\delta$ | 0.59 $\pm$ 0.07   | 0.57 $\pm$ 0.07   |        |

На рис. 3 приведены кривые зависимости скорости счета от приложенного к счетчику напряжения. Длина плато счетной кривой и его наклон приведены в табл. 1 для каждого рассматриваемого детектора. Рабочее напряжение счетчиков около 2120 В, длина плато более 300 В, наклон плато не превышает 0.05%/В [22]. В качестве высоковольтного питания используется блок БНВ-31 (Аспект) с температурным коэффициентом  $-30$  ppm/ $^{\circ}\text{C}$ , что даже при колебании температуры  $30^{\circ}\text{C}$  приводит к изменению напряжения в рабочей точке только на несколько вольт. Возможная альтернатива – БНВ-07 (Аспект) с температурным коэффициентом  $50$  ppm/ $^{\circ}\text{C}$  или блок NT-4000P (Магнитура) с температурным коэффициентом  $25$  ppm/ $^{\circ}\text{C}$ .

Интенсивность космических лучей уменьшается с увеличением плотности атмосферы (атмосферного давления). Влажность воздуха также влияет на регистрацию космических лучей, так как водяной пар в атмосфере поглощает вторичное нейтронное излучение. Для коррекции изменений интенсивности космических лучей с учетом

барометрического и влажностного эффектов космических лучей используются коэффициенты, определяющие процентные изменения интенсивности частиц при изменении давления и абсолютной влажности на одну единицу [23]. В табл. 1 приведены барометрический и влажностный коэффициенты.

## 6. РЕЗУЛЬТАТЫ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА

На рис. 4 для периода с мая 2025 года по настоящее время для Москвы сравниваются вариации нейтронной компоненты космических лучей двух свинцовых нейтронных мониторов 1NM64M и стандартного нейтронного монитора 24NM64.

Рассматриваемый период близок к максимуму солнечной активности, когда наблюдалось 19 форбуш-эффектов, три из которых превышали 8%; детали можно найти в [24].-На вставке приведен форбуш-эффект 7 сентября 2025 года.

На рис. 5а приведены результаты большого форбуш-эффекта 1 июня 2025 года для трех экспериментальных нейтронных детекторов и их сравнение с данными стандартного нейтронного монитора Москва 24NM64. С учетом статистики с данными стандартного детектора хорошо согласуются данные экспедиционного нейтронного монитора 1NM64M и детектора тепловых нейтронов 1NM64E. Кроме того, на рис. 5 хорошо виден эффект влажности тепловых нейтронов, который отчетливо проявился 8 июня после небольшого дождя (13 UTC, 6 мм воды; он отмечен знаком дождя). Мониторинг тепловых нейтронов проводился только в течение нескольких дней с 1–3 июня 2025 г., но в очень удачный момент – в период начала и развития форбуш-эффекта. Следует отметить, что для всех компонент, как и следовало ожидать, амплитуды форбуш-эффекта для различных детекторов близки, поскольку он определяется модуляцией первичного потока в гелиосфере.

На рис. 5б приведен результат редкого наблюдаемого наземного возрастания солнечных космических лучей 2025-11-11 (GLE c077). С учетом статистики также наблюдается хорошее согласие данных экспедиционного монитора 1NM64M и стандартного нейтронного монитора.

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в настоящей работе детектор предназначен для непрерывного мониторинга фоновое нейтронное излучение при проведении экспедиционных измерений в условиях ограничения массы и геометрических размеров. Масса детектора

2000 кг, площадь 1 м<sup>2</sup>. Представлен альтернативный способ формирования свинцового замедлителя в виде свинцовых блоков, определены их оптимальные размеры.

Разработанный комплекс представляет собой необходимый набор модулей для проведения эксперимента. В него входят переформатированный нейтронный монитор, блок электроники, низко- и высоковольтные источники питания, а также встроенная система сбора, обработки и хранения данных. Экспериментально определены характеристики созданного нейтронного детектора 1NM64M. Детекторы при необходимости легко каскадируются, что позволяет улучшить статистическую точность.

Для получения географических координат используется модуль приемника GPS/Glonass/Beidou/Galileo для проекта Arduino, который связан с системой сбора данных с помощью аппаратного протокола связи UART. Это позволяет выносить антенну GPS на расстояние до 15 м, что важно в условиях судна. Метеоданные (атмосферное давление, приземная температура и влажность воздуха) регистрируются по маршруту следования судна. Стоит отметить, что такой набор модулей определялся потребностями конкретного эксперимента, он легко может быть изменен или расширен.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны участникам проектов NMDB ([www.nmdb.eu](http://www.nmdb.eu)), “Морские научные исследования” (<https://ocean-and-we.ru>) и УНУ “российская национальная наземная сеть станций космических лучей (Сеть СКЛ)” (<https://ckprf.ru/catalog/usu/433536>) за предоставленные сети нейтронных мониторов.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа финансировалась за счет средств бюджета ИЗМИРАН, тема 1021060808568-7 16.3.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Simpson J.A.* Annals of the International Geophysical Year. 1957. V. 4. P. 351.  
<https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-1304-0.50020-8>.
2. *Simpson J.A.* Space Sci. Rev. 2000. V. 93. P. 11. <https://doi.org/10.1023/A:1026567706183>
3. *Hatton C.J., Carmichael H.* Can. J. Phys. 1964. V. 42. P. 2443.

<https://doi.org/10.1139/p64-222>.

4. *Carmichael H.* Cosmic Ray Measurements, Annals of the IQSY 1, Cambridge: MIT Press, MA, 1968. P. 178.
5. *Moraal H., Benadie A., de Villiers D., Bieber J.W., Clem J.M., Evenson P.A., Pyle K.R., Shulman L., Duldig M., Humble J.E.* Proc. of the 27th International Cosmic Ray Conference. 2001. Hamburg : Copernicus Gesellschaft. V. 10. 4083.  
<https://adsabs.harvard.edu/full/2001ICRC...10.4083M>
6. *Kuwabara T., Bieber J.W., Clem J., Evenson P., Pyle R., Munakata K., Yasue S., Kato C., Akahane S., Koyama M., Fujii Z., Duldig M. L., Humble J. E., Silva M. R., Trivedi N. B., Gonzalez W. D., Schuch N. J.* Space Weather. 2006. V. 4. Art. S08001.  
<https://doi.org/10.1029/2005SW000204>
7. *Krüger H., Moraal H., Bieber J.W., Clem J.M., Evenson P.A., Pyle K.R., Duldig M., Humble J.E.* J. Geophys. Res. Space Phys. 2008. V. 113. Art. A08101.  
<https://doi.org/10.1029/2008JA013229>
8. *Krüger H., Moraal H.* Adv. Space Res. 2010. V. 46. № 11. P. 1394.  
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.07.008>
9. *Krüger H., Moraal H.* J. Phys.: Conf. Ser. 2013. V. 409. 012171.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/409/1/012171>
10. *Medina J., Blanco J., Garca O., Gomez-Herrero R., Catalan E., Garcia I., Hidalgo M., Meziat D., Prieto M., Rodriguez-Pacheco J., Sanchez S.* Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A . 2013. V. 727. P. 97. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2013.06.028>
11. *Heber B., Galsdorf D., Herbst K., Gieseler J., Labrenz J., Schwerdt C., Walter M., Benade G., Fuchs R., Krüger H., Moraal H.* J. Phys.: Conf. Ser. 2014. V. 632. 012057.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/632/1/012057>
12. *Poluianov S., Usoskin I., Mishev A., Moraal H., Kruger H., Casasanta G., Traversi R., Udisti R.* J. Astron. Space Sci. 2015. V. 32. № 4. P. 281.  
<https://doi.org/10.5140/JASS.2015.32.4.281>
13. *Maghrabi A., Al Harbi H., Al-Mostafa Z., Kordi M., Shehri S.* Adv. Space Res. 2012. V. 50. P. 700. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2011.10.011>
14. *Khamphakdee S., Nuntiyakul W., Banglieng C. , Seripienlert A. , Yakum P. , Saiz A. , Ruffolo D., Evenson P., Munakata K., Komonjinda S.* Astrophys. J. 2025. V. 984. P. 51.  
<https://doi.org/10.3847/1538-4357/adc5f9>.

15. Nuntiyakul W., Saiz A., Ruffolo D., Mangeard P.-S., Evenson P., Bieber J.W., Clem J., Pyle R., Duldig M.L., Humble J.E. J. Geophys. Res. Space Phys. 2018. V. 123. № 9. P. 7181. <https://doi.org/10.1029/2017JA025135>.
16. Zreda M., Desilets D., Ferre T.P.A., Scott R.L. Geophys. Res. Lett. 2008. V. 35. № 21. Art. L21402. <https://doi.org/10.1029/2008GL035655>
17. Kouzes R.T., Siciliano E.R., Ely J.H., Keller P.E. & McConn R. J. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 2008. V. 584. № 2-3. P. 383. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2007.10.026>
18. LND, INC. Design and manufaction of nuclear radiation detectors. <https://www.lndinc.com> (дата обращения: 17.09.2026).
19. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. Москва: Изд. “Советское радио”, 1979.
20. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Москва: Мир, 1983.
21. Михалко Е.А., Маурчев Е.А., Балабин Ю.В., Германенко А.В. ПТЭ. 2021. № 4. С. 89. <https://doi.org/10.31857/s0032816221030228> .
22. Наумов В.А., Моргунов А.П., Деркач В.В. Аппроксимация экспериментальных кривых работоспособности и надежности. Омск: Изд. ОмГТУ, 2015. <https://studfile.net/preview/2687330>
23. Кобелев П.Г., Хамраев Ю.Б., Янке В.Г. Солнечно-земная физика. 2024. Т.10. № 4. С. 106. <https://doi.org/10.12737/szf-104202411>
24. ИЗМИРАН. База данных форбуш-эффектов и межпланетных возмущений. <https://crst.izmiran.ru/w/feid> (дата обращения: 17.09.2026)

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1. Свинцовый нейтронный монитор 1NM64М (схема, 3D-графика и фото): **а–в** – сечения нейтронных детекторов без полиэтиленового отражателя, **г** – 3D-графика детектора; **1** – счетчик тепловых нейтронов, **2** – полиэтиленовый цилиндрический замедлитель нейтронов (толщиной 24 мм), **3** – свинцовый размножитель, **4** – полиэтиленовый отражатель (толщиной 72 мм); на вставке приведен также трехсчетчиковый монитор 3NM64; **д** – фото экспедиционного нейтронного детектора с источниками питания и системой сбора и обработки данных; показан также детектор эпитепловых нейтронов 1NM64Е

Рис. 2. Усилитель–дискриминатор с ТТЛ-выходом. На вставках – внешний вид усилителя и выходной аналоговый и цифровой импульсы

Рис. 3. Счетные характеристики детекторов: 1NM64М – свинцовый нейтронный монитор, 1NM64Е – детектор эпитепловых нейтронов, 1NM64Т – детектор тепловых нейтронов (одионочный счетчик СНМ-15). Вертикальным отрезком отмечено рабочее напряжение счетчиков 2120 В

Рис. 4. Сравнение вариаций нейтронной компоненты космических лучей в Москве для свинцовых нейтронных мониторов 1NM64М и стандартного 24NM64М.

Рис. 5. Сравнение вариаций нейтронных компонент  $v$ , регистрируемых экспедиционным нейтронным монитором 1NM64М, детектором эпитепловых нейтронов 1NM64Е и детектором тепловых нейтронов 1NM64Т, с данными нейтронного монитора в Москве 24NM64 для форбуш-эффекта (**а**) и протонной солнечной вспышки (**б**)

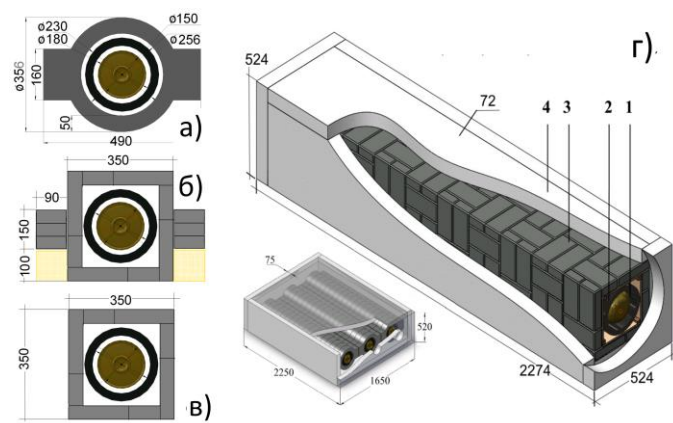


Рис.1.



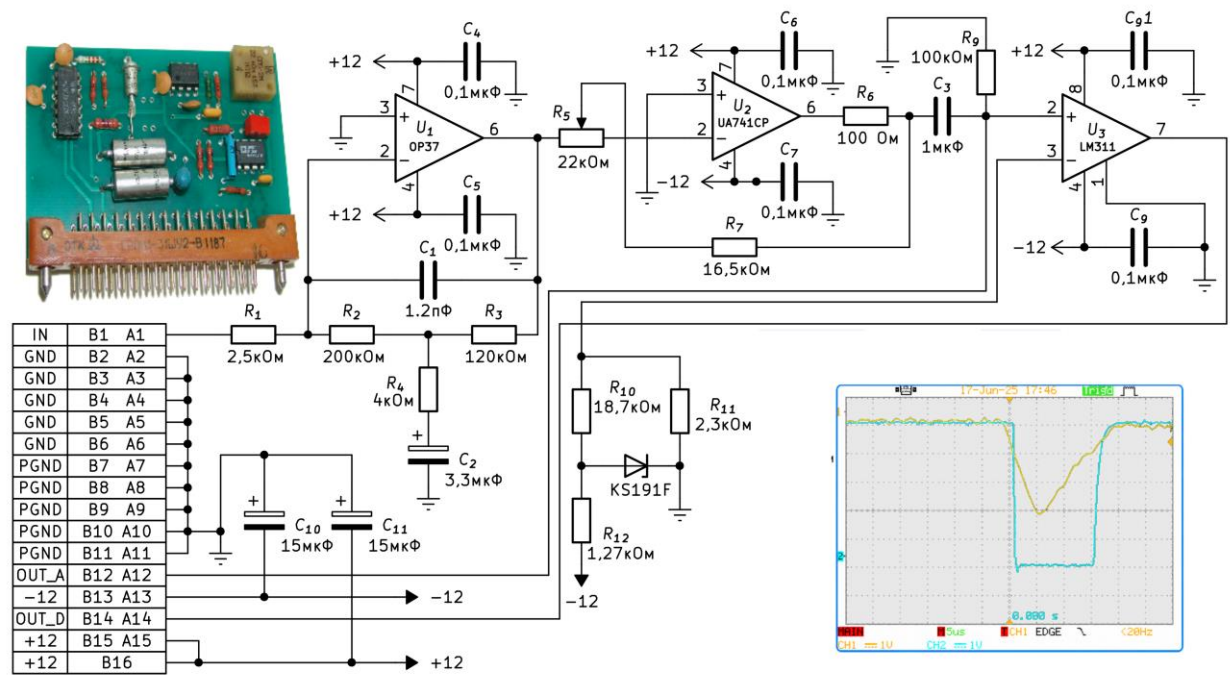


Рис. 2.

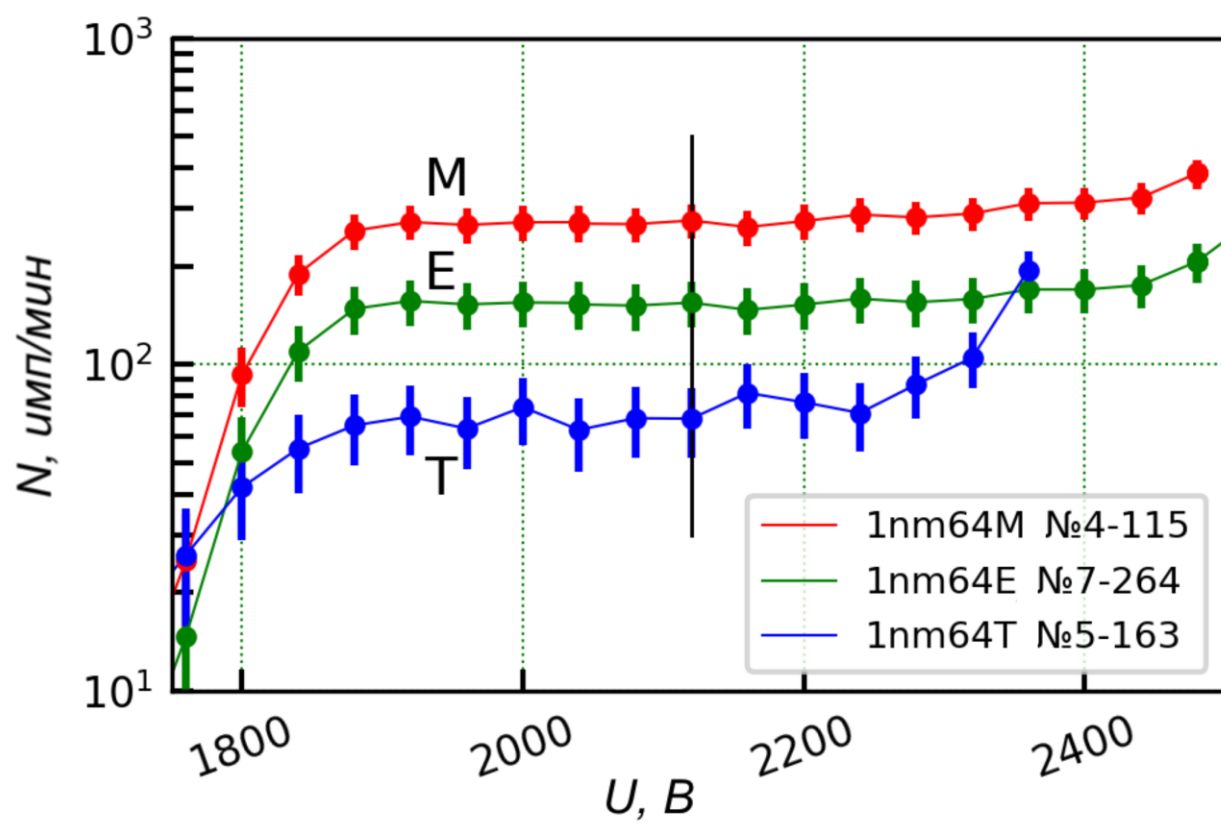


Рис. 3.

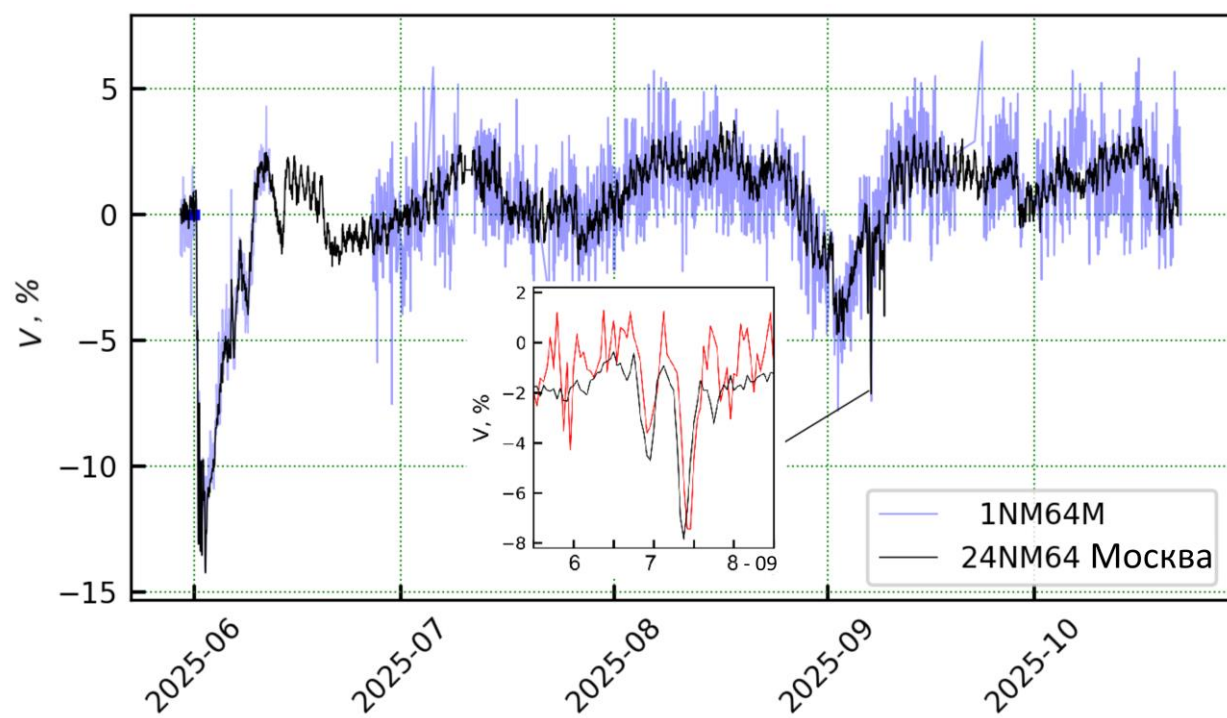


Рис. 4.

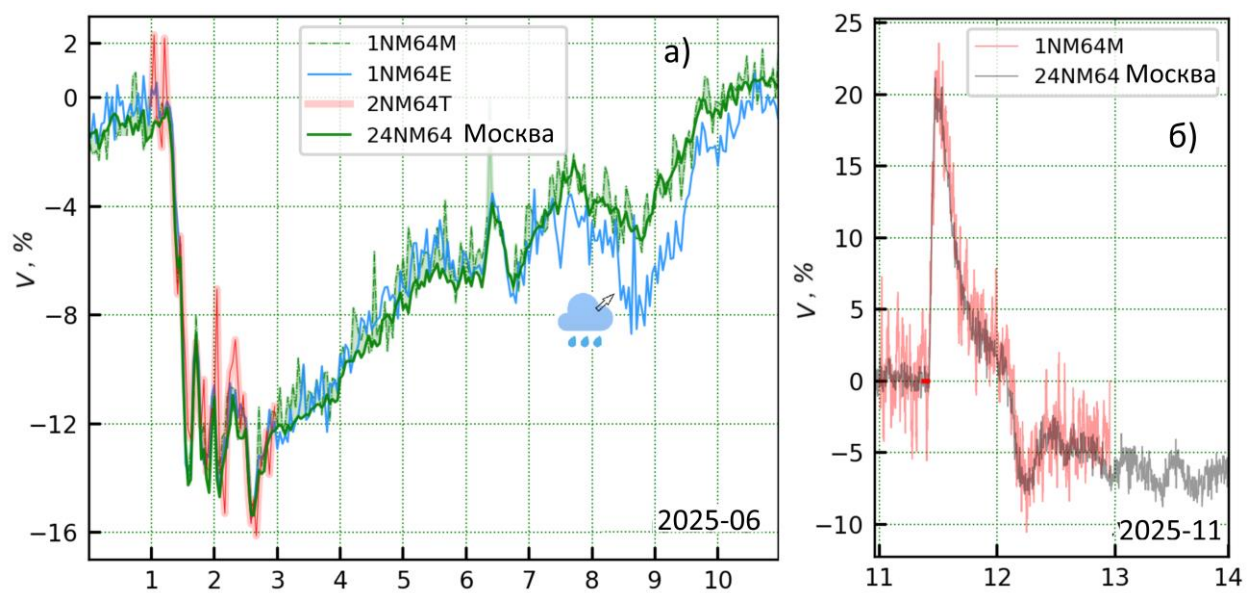


Рис. 5.