

## АНАЛИЗ ТЕМПА СЧЕТА НЕТРИГГЕРНЫХ СИГНАЛОВ НА УСТАНОВКЕ BAIKAL-GVD

**А.А. Семенюк, И.А. Перевалова, И.В. Черноусов, А.С. Белякова, М.Г. Крестьянских, А.А. Куликов**

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия  
semeniuk\_n@mail.ru

## ANALYSIS OF THE COUNTING RATE OF NON-TRIGGER SIGNALS AT THE BAIKAL-GVD NEUTRINO TELESCOPE

**A.A. Semeniuk, I.P. Perevalova, I.V. Chernousov, A.S. Belyakova, M.G. Krestyanskikh, A.A. Kulikov**

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia  
semeniuk\_n@mail.ru

**Аннотация.** Главная цель проекта Baikal-GVD заключается в изучении потока астрофизических нейтрино высоких энергий. В частности, задачей установки является регистрация черенковского излучения, испускаемого при прохождении вторичных заряженных частиц, образующихся в результате реакций нейтрино с окружающей средой, через толстый слой воды оз. Байкал. Помимо черенковского излучения регистрируется также окружающий фоновый шум и нетриггерные сигналы. Процедура выделения астрофизического сигнала из фона является нетривиальной задачей, включающей в себя в том числе и тщательное изучение самого фона. В данной статье представлены результаты анализа темпа счета нетриггерных и шумовых сигналов за 2021 г.

**Ключевые слова:** нейтрино, Байкальский нейтринный телескоп, шумовые сигналы, анализ данных.

**Abstract.** The main goal of the Baikal-GVD project is to detect high-energy astrophysical neutrinos. In particular, the telescope is aimed at registering Cherenkov radiation emitted during the passage of secondary charged particles formed as a result of neutrino reactions with the environment through the deep waters of Lake Baikal. In addition to Cherenkov radiation, ambient background noise and non-trigger signals are also recorded. Extracting astrophysical signal from the noise background is not a trivial problem which includes a thorough study of the background itself. This paper presents the results of analysis of the counting rate of non-trigger and noise signals for the year 2021.

**Keywords:** neutrinos, Baikal neutrino telescope, noise signals, data analysis.

### ВВЕДЕНИЕ

Эксперимент Baikal-GVD (Baikal GigaVolume Detector) направлен на исследование высокоэнергетических процессов в астрофизических объектах Вселенной посредством регистрации нейтрино. Процесс детектирования данных частиц на Байкальском нейтринном телескопе основан на регистрации черенковского излучения от вторичных частиц, рожденных при взаимодействии нейтрино со средой, в которой расположен детектор. Метод регистрации нейтрино с помощью мюонов представляет собой мощный инструмент для исследования космических объектов галактического и внегалактического происхождения. Помимо черенковского излучения от астрофизических нейтрино на установке регистрируется также окружающий фоновый свет. Несмотря на то, что фотоэлектронные умножители телескопа расположены глубоко под водой (глубина самого нижнего ФЭУ 1200 м, самого верхнего 660 м), срабатывание датчиков происходит постоянно из-за хемилюминесценции воды, достигающих этой глубины атмосферных мюонов и каскадов, а также из-за калибровочных сигналов самих модулей телескопа.

### ТЕМП СЧЕТА ШУМОВЫХ СИГНАЛОВ

На данный момент Байкальский нейтринный телескоп состоит из 10 структурных единиц — кластеров, в каждом из которых находятся восемь стрингов (вертикальные тросы длиной 1250 м, закрепленные на дне). Регистрирующими элементами Baikal-GVD являются фотоэлектронные умножители (ФЭУ), расположенные на стрингах ФЭУ вместе с управляющей электроникой размещаются в стеклянных корпусах, образуя оптические модули (ОМ).

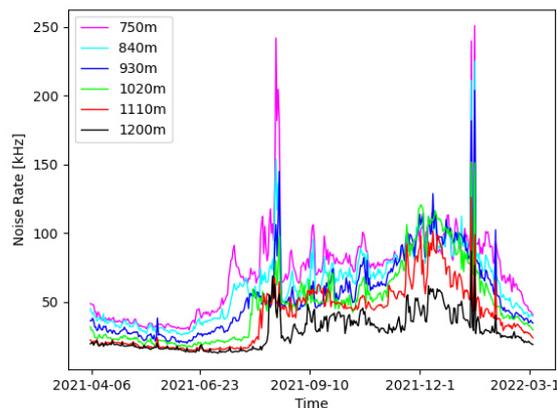


Рис. 1. Изменение уровня шумового сигнала для одного стринга на различных глубинах. На изображении представлены 6 ФЭУ из 36, находящиеся на глубинах 750, 840, 930, 1020, 1110 и 1200 м

Система запуска каждого кластера телескопа спроектирована таким образом, что сигналы от каждого ОМ во временном окне 5 мкс сохраняются, если выполняется триггерное условие. Триггер срабатывает, когда любая пара соседних ОМ генерирует сигналы, превышающие низкие ( $\approx 1.5$  фотоэлектрона) и высокие ( $\approx 4$  фотоэлектрона) пороговые значения заряда во временном интервале менее 100 нс. При срабатывании триггера на одной конкретной паре ФЭУ данные записываются на всем кластере. Все записанные кластерные данные в этот промежуток времени, исключая данные пары ФЭУ, на которых сработал триггер, и называются нетриггерным сигналом. В нем может содержаться информация и об астрофизической частице, однако основным

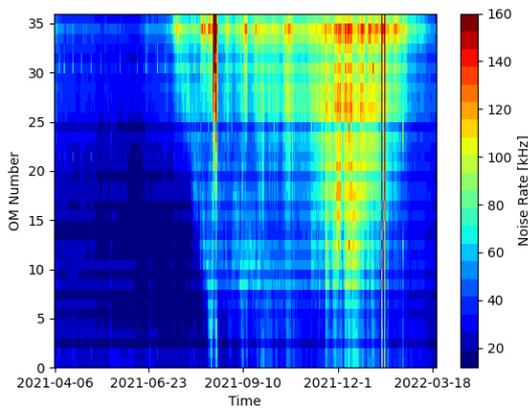


Рис. 2. Уровень шума в зависимости от даты для 36 оптических модулей 1-го стринга 6-го кластера за 2021 г. 0-й ОМ расположен на глубине 1200 м, 36-й ОМ — на глубине 660 м

источником таких сигналов являются атмосферные мюоны и окружающий шум воды. Атмосферными мюонами называются мюоны, рождающиеся в результате столкновений космических лучей с ядрами атомов воздуха, а также в разветвленных цепочках распадов нестабильных частиц. Такие мюоны обладают энергией до 100 ТэВ, их изучение является отдельной отраслью науки, однако с точки зрения регистрации астрофизических нейтрино сигнал от таких мюонов является шумовым. Получение сигналов от фонового освещения достигается путем выбора сигналов в первые две микросекунды в течение всего 5-микросекундного временного окна. Таким образом, данные о случайном шуме собираются практически непрерывно, поскольку типичная частота срабатывания кластера достигает нескольких десятков герц.

Байкальский нейтринный телескоп оснащен системой мониторинга качества данных — Data Quality Monitoring (DQM) [Allakhverdyan et al., 2021a]. Качество поступающих экспериментальных данных имеет существенное значение как для обработки и анализа данных, так и для проведения самого эксперимента. Поэтому главной задачей DQM является контроль состояния телескопа и полученных данных. В данной работе представлен один из этапов работы системы DQM, а именно анализ темпа счета нетриггерных сигналов в течение года набора статистики. Из-за особенностей среды, в которой находится Baikal-GVD, в году выделяются несколько периодов с резким изменением оптической активности байкальской воды. Вследствие этого изменяется темп счета случайного шума, который является фоном для мюонных сигналов. Выявление таких периодов необходимо для приближенного к реальности описания свойств окружающей среды при моделировании мюонных треков и каскадов частиц.

Данные, полученные за период с 4 апреля 2021 г. по 18 марта 2022 г. с нескольких ФЭУ 1-го стринга 6-го кластера телескопа, приведены на рис. 1. Видно, что наблюдаются два периода с низкой оптической активностью с 4 апреля по начало июня 2021 г. и с конца января по конец марта 2022 г., а также один продолжительный оптически активный период с июня 2021 г. по январь 2022 г.

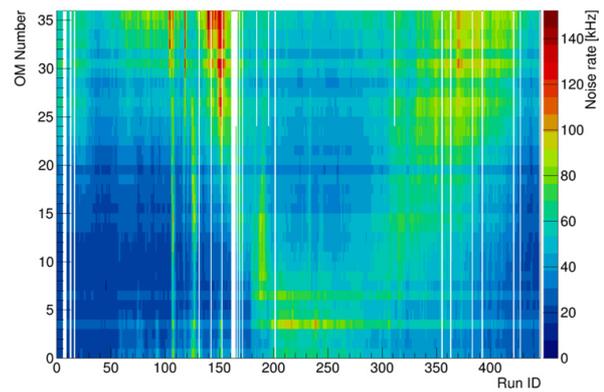


Рис. 3. Уровень шума в зависимости от Run ID на 3-м стринге 3-го кластера за 2020 г. Run ID совпадает со временем измерения [Allakhverdyan et al., 2021b]

На рис. 2 показано изменение уровня нетриггерных и шумовых сигналов в течение 2021 г. для всего стринга. Каждый пиксель изображения представляет собой некоторое числовое значение, записанное для каждого ОМ в стринге:

$$V_{\text{alue}} = \frac{N_{\text{nontrig}}}{t N_{\text{rec}}},$$

где  $N_{\text{nontrig}}$  — количество нетриггерных сигналов;  $t$  — длительность временной дорожки (5 мкс);  $N_{\text{rec}}$  — количество дорожек, когда секция телескопа записывала шумовые данные в течение суток

Максимальная амплитуда сигналов в 2021 г. достигала 250 кГц (рис. 1), однако на рис. 2 значения больше 160 кГц не были учтены, чтобы различие между оптически активным и оптически неактивными периодами было более наглядным. Наибольшая оптическая активность наблюдалась в период с начала ноября до конца декабря 2021 г.

В 2020 г. впервые были собраны данные фонового шума за весь календарный год. До 2020 г. Байкальский нейтринный телескоп полностью отключался на время монтажных и ремонтных работ (с февраля по апрель). На данный момент конструкция телескопа позволяет отключать лишь некоторые кластеры, пока остальные продолжают работать в автономном режиме.

Для сравнения на рис. 3 изображен уровень шума за 2020 г. на 3-м стринге 3-го кластера Байкальского нейтринного телескопа. В январе 2021 г. впервые наблюдался эффект поднятия оптически активных слоев [Allakhverdyan et al., 2021b]. В течение 2021 г. (см. рис. 2) подобный эффект не наблюдался.

Это говорит о том, что необходимы дополнительный анализ и больший набор экспериментальных данных.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены темпы счета нетриггерных сигналов, включающих в себя фоновые шумы, а также все возможные данные, записанные на всех ФЭУ за исключением пары со сработавшим триггером. Были выявлены два периода активности байкальской воды: спокойный с апреля по начало июня

2021 г. и с конца января по конец марта 2022 г., а также один продолжительный оптически активный период с июня 2021 по январь 2022 г. Эффект опускания и поднятия люминесцирующих слоев, наблюдавшийся в 2020 г., не повторился. Были установлены периоды повышенной оптической активности, а также максимальная амплитуда фонового шума. Данный анализ будет служить основой для дальнейшей процедуры отбора интересных нас астрофизических импульсов из всех регистрируемых сигналов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Allakhverdyan V.A., Avrorin A.D., Avrorin A.V., et al. Data Quality Monitoring system of the Baikal-GVD experiment. *37<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference, July 12–23, 2021*. Berlin, Germany. 2021a. Vol. 395, 1094. DOI: [10.22323/1.395.1094](https://doi.org/10.22323/1.395.1094).

Allakhverdyan V.A., Avrorin A.D., Avrorin A.V., et al. The Baikal-GVD neutrino telescope as an instrument for studying Baikal water luminescence. *37<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference, July 12–23, 2021*. Berlin, Germany. 2021b. Vol. 395, 1113. DOI: [10.22323/1.395.1113](https://doi.org/10.22323/1.395.1113).