**Описания экспериментальной установки для мониторинга землетрясения в Тянь-Шаньской высокогорной научной станции**

Искаков Б.А.1,2, Садыков Т.Х.2, Таутаев Е.М.1,2

1КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

2Физико-технический институт, Сәтбаев Университеті, Алматы, Казахстан

Прогноз и мониторинг сейсмической активности местности представляет собой актуальную проблему современной сейсмологии. Нерешенной проблемой традиционной сейсмологии к настоящему времени остается выделение из потока регистрируемой многочисленными сейсмическими датчиками информации строго определенного сигнала о приближении конкрет­ного, локализованного во времени и пространстве, катастрофического землетря­сения. Такой сигнал обычно теряется на постоянном фоне от большого числа небольших и неопасных землетрясений, а также маскируется флуктуациями круп­номасштабных геодинамических процессов, и, как правило, по этой причине он обнаруживается только постфактум.

В 90-е годы учеными из Физического института им. П. Н. Лебедева и Института физики Земли, был предложен новый метод прогноза землетрясений, а точнее использование для прогноза землетрясений сигнала от упругих колебаний в акустическом диапа­зоне частот, которые, предположительно, могут генерироваться под воздействием локальной ионизации, образованной в момент прохождения проникающих ча­стиц космического излучения — мюонов высокой энергии, — через сейсмически напряженную среду в глубинных слоях земной коры. Основная идея этого метода иллюстрируется рисунком [1](#bookmark11).

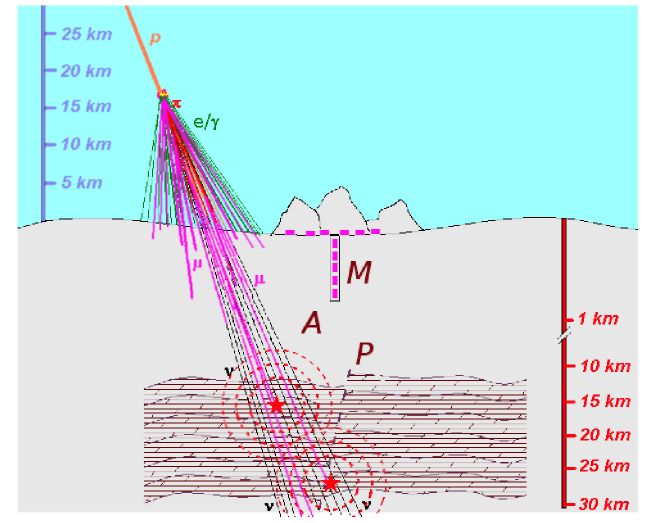


Рисунок 1 –– Идея глубинного сканирования земной коры на основе мюонов

из ствола энергичных ШАЛ. *Р* — зона глубинного разлома, *А* — упругие

колебания, которые генерируются в сейсмически напряженной среде

под воздействием локальной ионизации от прохождения мюонов µ

и распространяются в виде акустической волны, *М* — система чувствительных микрофонов.

В случае, если бы такой подход оказался осуществимым, зондирование земной коры пучком проникающих энер­гичных мюонов, постоянным источником которых являются космические лучи высокой энергии, позволило бы вести непосредственный мониторинг внутрен­него состояния литосферы на глубинах 1–20 км, что максимально близко к зоне формирования очагов землетрясений. В комплексе с сейсмоакустическим мони­торингом отклика глубинной среды на триггерное воздействие мюонного пучка, такое зондирование представляет собой уникальный метод непосредственного проникновения в сравнительно близкую, по сравнению с другими методами, окрестность очаговой зоны. Каждое отдельное измерение при мюонном мони­торинге является локальным, а в совокупности все измерения, выполненные в течение некоторого интервала времени, позволяют контролировать значительный объем очаговой зоны, величина которого зависит от чувствительности сейсмоакустических приемников, уровня сейсмоакустического шума и чувствительной площади установки для детектирования мюонного потока. Впоследствии этот метод получил количественное обоснование, где путем численного моделирования исследовалось прохождение мюонов с энергией *∼*10–100 ТэВ через грунт, и были получены конкретные оценки множественности таких мюонов в ШАЛ с энергией 1016 *-* 1018 эВ, глубины их проникновения внутрь земной коры и число взаимодействий (микротрещин), которые такие мюоны могут вызывать внутри сейсмически напряженных областей коры, в зависимости от энергии мюонов и запасенной энергии упругой деформации. Появление проникающих частиц связано с развитием широ­ких атмосферных ливней в атмосфере, для выделения акустической эмиссии на шумовом фоне можно применять поиск корреляций между акустическими сигналами и сигналами о прохождении ШАЛ, либо сигналами мюонного детектора.

Предварительный поиск кратковременных сигналов акустической эмиссии в событиях, связанных с групповым прохождением мюонов высокой энергии, проводился в специальном эксперименте на Тянь-Шаньской высокогорной стан­ции в 2012 г. По завершении модификации Тянь-Шаньской ливневой установки и переходу к регулярной регистрации широких атмосферных ливней эксперимен­ты подобного рода предполагается продолжить в полном объеме, то есть с привлечением к анализу зарегистрированных акустических событий подробной информации о параметрах (первичная энергия, расстояние от оси и т.п.) наблю­давшихся в их временной окрестности ШАЛ.

Для поиска возможных корреляций между широкими атмосферными ливнями и сигналом упругих колебаний из глубины земной коры создана специальная система акустических детекторов (чувствительных микрофонов), предназначенных для совместной синхронной работы с ливневой установкой. Всю установку энергией обеспечивает две панели солнечных батарей расположенный на крыше помещении.

Высокочувствительный микрофон с чувствительностью 25 мВ/Па в акустическом диапазоне частот 500-1000 Гц размещается на глубине 50 м от поверхности земли внутри скважины, пробуренной в скальном грунте. Расстояние между скважиной и системой ливневых детекторов составляет примерно 200 м. Схема электронной аппаратуры которая обеспечивает регистрацию показана на рисунке 2. Передача электрических сигналов от микрофона из глубины скважины производится по образованной витой парой проводов кабельной линии через посредство трансформаторной развязки, при этом микрофон и служащий для передачи сигнала промежуточный малогабаритный трансформатор представляют собой единый конструктивный блок, который целиком опускается в скважину. Постоянное напряжение ±3В для питания микрофона вырабатывается независимым источником питания, который построен на основе отдельного трансформатора с незаземленной вторичной обмоткой и не имеет непосредственного электрического контакта ни с остальной частью электронной схемы, ни с силовыми линиями внешней электрической сети. От источника питания к микрофону это напряжение подается по второй паре витых проводов. Таким образом, микрофонный узел измерительной системы оказывается электрически изолированным от всех общих линий заземления и подвода питания к электронным схемам, на которых могут присутствовать значительные электромагнитные наводки и шумы, в частности, синусоидальная помеха с частотой 50 Гц от внешней сети переменного тока.

Регистрация сигналов акустического детектора производится в специальном помещении, которое располагается непосредственно у верхнего края скважины и в котором размещаются остальные узлы формирующей сигнал аппаратуры: дифференциальный усилитель и селектор низкочастотной огибающей микрофонного сигнала. Дифференциальный усилитель (элемент *D1* на рисунке 2) обеспечивает ∼100 кратное усиление полезного сигнала с одновременным подавлением синфазных помех, которые возникают на длинной линии связи. Коэффициент подавления синфазного сигнала усилителем данного типа составляет ∼70 дБ. На выходе дифференциального усилителя формируются биполярные сигналы синусоидальной формы, принадлежащие к акустическому диапазону (∼102 – 104Гц) и готовые для оцифровки посредством системы АЦП. Построенный на опе6рационных усилителях *D2* и *D3* селектор низких частот служит для выделения модулирующей амплитуды акустического сигнала низкочастотной огибающей, которая выдается для регистрации по отдельному каналу АЦП.

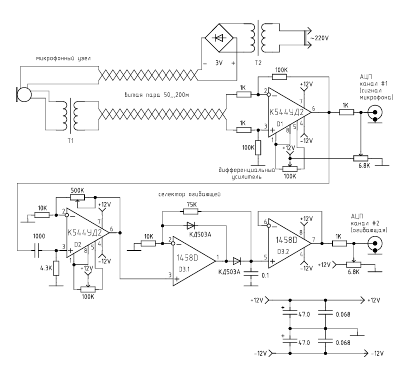


Рисунок 2 – Схема подключения микрофона в акустическом детекторе.

Для регистрации сигналов акустического детектора была разработана специальная малогабаритная система АЦП с малым энергопотреблением, которая размещается вместе со схемами формирования непосредственно у верхнего края скважины. Основу системы АЦП образует одноплатный компьютер Raspberry PiB+ на микропроцессоре типа Broadcom BCM2835 с тактовой частотой 700 МГц. Этот компьютер, через посредство линий встроенного в него цифрового порта ввода-вывода общего назначения, управляет двумя элементами АЦП микросхемами типа AD7887 производства фирмы Analog Devices.

В данный момент производится запись экспериментальных данных. Предварительный анализ данных показал, что данная методика работает и требуется набрать статистику для дальнейшего изучения.

**Литература:**

1. Гуфельд И. Л., Матвеева М. И. Барьерный эффект дегазации и деструкция земной коры // ДАН. — 2011. — Т. 438, № 2. — С. 92–96.
2. Гуфельд И. Л., Матвеева М. И., Новоселов О. Н. Почему мы не можем осуществить прогноз сильных коровых землетрясений //Геодинамика и тек-тонофизика. — 2011. — Т. 2, № 4. — С. 378–415.
3. Соболев Г. А. Основы прогноза землетрясений. — М.: Наука, 1993.
4. G. A. Gusev, V. V. Zhukov, G. I. Merzon et al. // Cosmic rays as a new instrument of seismological studies // Bull. Lebedev Phys. Inst. — 2011. — Vol. 38, no. 12. — Pp. 374–379.
5. L. I. Vil’danova, G. A. Gusev, V. V. Zhukov et al. // The first results of observations of acoustic signals generated by cosmic ray muons in a seismically stressed medium // Bull. Lebedev Phys. Inst. — 2013. — Vol. 40, no. 3. — Pp. 74–79.

7. Садыков A. сейсмический режим территории Казахстана. – Алма-Ата: Гылым, 2004. – 270 с.

8. Царев В.А., Чечин В.А. Атмосферные мюоны и высокочастотные сейсмические шумы. // Препринт ФИАН. - 1988. - № 179. - 21с.

9. Groom D.E., N.V. Mokhov, and S.I. Striganov. Muon stopping-power and range tables// Atomic Data and Nuclear Data Tables. – 2001. – Р.78-183.

10. Adamson P. et al. Measurement of the atmospheric muon charge ratio at TeV energies with MINOS // Phys. Rev. –2007. –Vol. D76. –P. 052003.

11. Crouch M. An Improved World Survey Expression for Cosmic Ray Vertical Intensity VS. Depth in Standard Rock // Proc. 20th Int. Cosmic Ray Conf., Moscow: http://adsabs.harvard.edu/abs/1987ICRC....6..165C.–1987. – 6. – Р. 165.

12. Andreev Yu.M., V.I. Gurentzov, and I.M. Kogai. Muon Intensity from the Baksan Underground Scintillation Telescope // Proc. 20th Int. Cosmic Ray Conf. Moscow: http://adsabs. harvard.edu/abs/1987ICRC....6..165C. –1987. – №6. – Р. 200.

13. Aglietta M. (LVD Collab. [Neutrino-induced and atmospheric single-muon fluxes measured over five decades of intensity by LVD at Gran Sasso Laboratory](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0927650595000126) //Astropart. Phys. – 1995. – №3. – Р. 311-320.

14. Искаков Б.А., Каликулов О.А.*,* Оскомов В.В. [Регистрация мюонной и электронно-фотонной компонент космического излучения годоскопическими модулями нейтронного супермонитора 6NM-64](https://elibrary.ru/item.asp?id=25737180) // [Исследования технических наук](https://elibrary.ru/contents.asp?id=34226972). 2015. [№ 3 (17)](https://elibrary.ru/contents.asp?id=34226972&selid=25737180). С. 17-20.

15. Хачикян Г.Я., Садыкова А.Б., Джанабилова С. Связь частоты повторяемости землетрясений и сейсмической энергии Земли с вариациями солнечной активности. // Научный журнал-приложение международного журнала «Высшая школа Казахстана». Поиск-Izdenis. – 2014. - № 2 .– С. 55-61.

16. Shepetov A.L., T.Kh. Sadykov, V.V. Zhukov and etc., Seismic signal Registration with an acoustic detector at the Tian Shan Mountain Station, Series of geology and technical sciences, 2018. V.3 N.429, P. 47-56.

17. Вильданова Л .И ., Гусев Г.А., Жуков В.В., Мерзон Г.И., Митько Г.Г., Наумов А.С ., Рябов В.А., Степанов А.В., Чечин В.А., Чубенко А.П., Щепетов А.Л. Первые результаты наблюдения акустических сигналов, генерируемых мюонами космических лучей в сейсмически-напряженной среде // Краткие сообщения по физике ФИАН. –2013.– №12. – С. 31-39.

**© Искаков Б.А. 2019**