

На основе отмеченных результатов была выбрана следующая конструкция полевого варианта имитатора акустического излучения каскадных ливней в воде. Его основными составляющими являются излучающая акустическая антенна, источник высокого напряжения и блок управления разрядом емкости.

Акустическая антенна имитатора диаметром 4 см и длиной 3 м для удобства при транспортировке составлена из трех секций одинаковой длины. Вдоль оси каждой секции проходит экранированный провод, который затем заполняет цилиндрический объем секции слоями, диаметры которых равны 12, 20, 30 и 40 мм. Проводники каждого слоя параллельны осевому проводнику. В указанных слоях находится соответственно 4, 8, 12 и 16 проводников.

Высокое напряжение для заряда накопительной емкости обеспечивается преобразователем напряжения, выполненным по схеме самовозбуждающегося блокинг-генератора. Импульсы напряжения в повышающей обмотке трансформатора блокинг-генератора выпрямляются схемой учетверения. При напряжении питания 6,5 В преобразователь обеспечивает на накопительной емкости максимальное напряжение 1500 В. Разряд емкости через проводники антенны происходит при подаче на управляющие электроды тиристоров импульсов с блока управления.

Испытания имитатора были проведены в августе 1989 г. на платформе МГИ АН УССР в Черном море. Автономность источников электропитания позволяла совершать необходимые перемещения имитатора с помощью катера. Чувствительность к взаимному расположению антенны имитатора и гидрофонов приемного модуля, расположенного на глубине 10 м, определялась изменением глубины погружения антенны имитатора. Расстояние между ней и приемным модулем составляло примерно 30 м. При уменьшении глубины с 10 м (рис. 2, а) до 4 м (рис. 2, б) сигнал претерпевает незначительные изменения. Сигнал на рис. 2, в соответствует нахождению в воде только последней секции антенны.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что рассмотренный имитатор может быть использован для контроля функционирования и настройки систем акустической регистрации каскадных ливней в естественных водоемах, а также в других гидрофизических исследованиях, где необходим протяженный источник акустических сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубничий П. И., Калюжный Г. С., Яковлев В. И. Исследование механизма генерации акустического излучения, инициированного лазерным пучком в жидкостях: Препринт № 167. М.: ФИАН СССР, 1977.
2. Данильченко И. А., Лбов И. Е., Медведев А. Ю., Павленко А. В., Петрухин А. А., Толстой М. Ю., Шестаков В. В. Исследование характеристик акустического журнала в ближней зоне пучка протонов в воде // Радиационная акустика. М.: Наука, 1987. С. 51–58.
3. Hunter S. D., Jones W. V., Malbrough D. J. Acoustic Signals from an Extended Laser Beam Source // 16th Internat. Cosmic. Ray. Conf. V. 11. T Session Kyoto. 1979. P. 184–189.
4. Sulak L. R. et al. Experimental Studies of the Acoustic Signature of Proton Beams Traversing Fluid Medium // Nucl. Instrum. Meth. 1979, V. 161. № 2. P. 203–217.
5. Кудленко В. Г., Голубничий П. И. Об одном способе контроля измерительной аппаратуры акустического варианта проекта ДЮМАНД // Перспективы осуществления проекта ДЮМАНД в Тихом океане. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. С. 47–48.

Ворошиловградский
машиностроительный институт

Поступило в редакцию
18.05.90

УДК 537.591

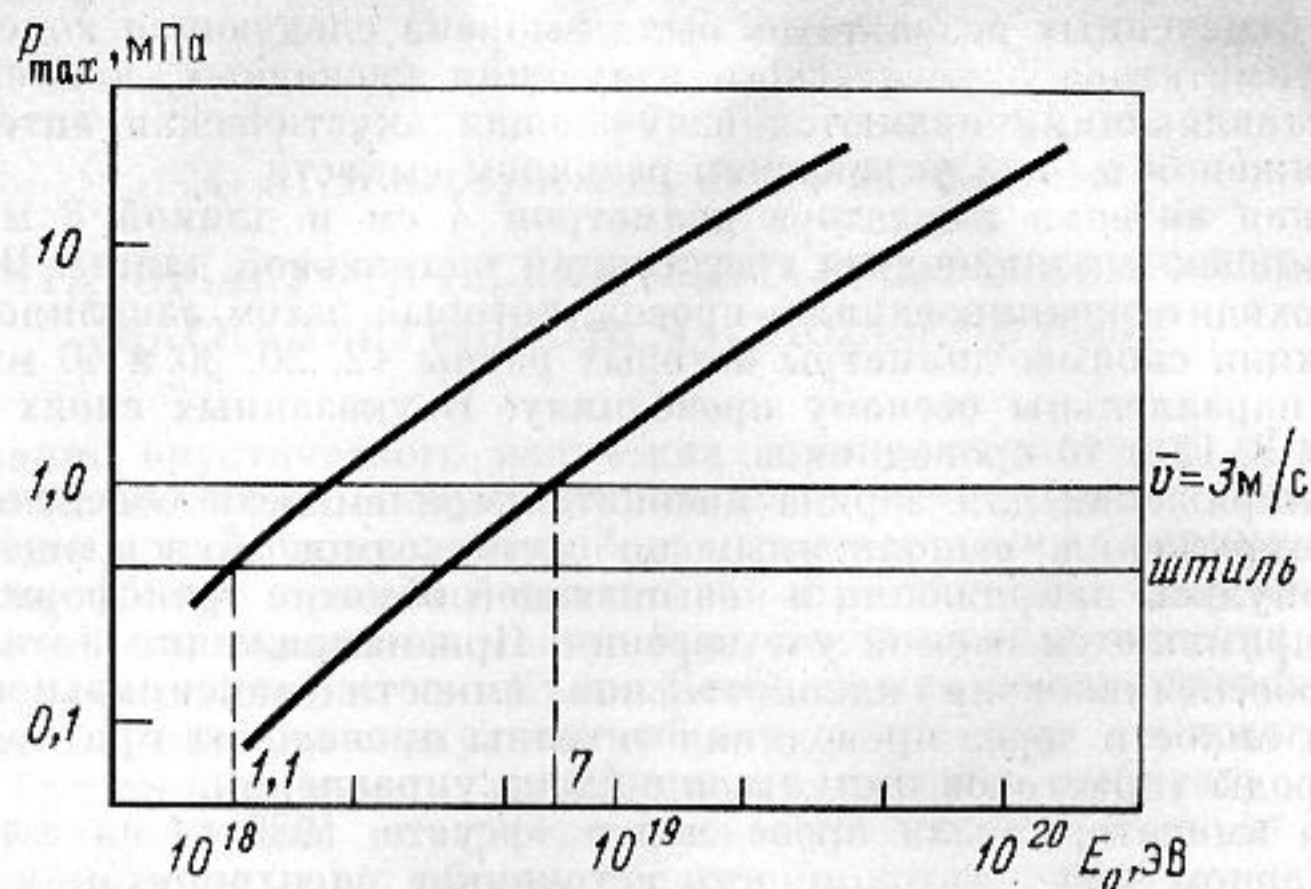
© 1990 г.

*И. Е. Лбов, А. Ю. Медведев, А. В. Павленко,
А. А. Петрухин, В. В. Шестаков*

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СТВОЛОВ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ

Для расчета амплитуды акустического сигнала проведена оценка доли энергии ливня в эффективно излучающей области ствола. В основу этой оценки положены экспериментальные данные при $E_0 = 10^{14} - 10^{16}$ эВ на уровне гор, которые экстраполировались к $E_0 = 10^{18} - 10^{20}$ эВ. Было получено, что диаметр эффективно излучающей области составляет 4–6 см, а доля энергии с учетом вклада электронно-фотонной компоненты лежит в пределах (3,6–14)% от E_0 для ШАЛ, инициированных протонами и (1,4–11)% от E_0 для ШАЛ соответствующего стандартному химическому составу (атомный номер $A = 10$).

При расчете амплитуды акустического сигнала были использованы результаты работы [1]. Также использовались данные о температуре воды озер Табацкури



Зависимость амплитуды акустического сигнала от энергии ШАЛ. $T_{\text{воды}}=15^\circ\text{C}$. Полоса частот сигнала 2–50 кГц. Расстояние до источника 100 м

(1990 м над уровнем моря, площадь 14,2 км²) и Севан (1898 м, 1235 км²), измеренные авторами, и озера Тити-Кака [2]. Для ШАЛ, инициированного протоном с $E_0=10^{19}$ эВ, на расстоянии 100 м от оси ливня амплитуда сигнала составит $P_{\text{max}}=1,7-6,6$ мПа. Для ядра с $A=10$ $P_{\text{max}}=0,7-5,5$ мПа.

При определении пороговых энергий использовались данные о шумах высокогорных водоемов [3] и вышеприведенные оценки акустического сигнала от ствола ШАЛ. Для понижения порога регистрации предлагается использовать следующие два метода.

1. Пространственная фильтрация шумов при помощи разработанного приемника с частотно-независимой в полосе частот 2–50 кГц для диапазона углов $\pm 60^\circ$ диаграммой направленности. Измерения в полевых условиях показали, что такой приемник подавляет акустические шумы в 15 раз по мощности.

2. Корреляционное накопление шумов при сопоставлении с образом сигнала, варьируемого по длительности в широких пределах, обеспечивает надежное выделение полезных событий на уровне среднеквадратичного значения шума.

На рисунке представлены кривые, соответствующие максимальному и минимальному значению $P_{\text{max}}(E_0)$ для ШАЛ, инициируемых протонами. Горизонтальные линии соответствуют $\sigma_{\text{шума}}$ в полосе 2–50 кГц, приведенному ко входу гидрофона. Для определения $\sigma_{\text{шума}}$ использовались спектральные плотности шумов при штиле и средней скорости ветра около 3 м/с на озерах Иссук-Куль и Севан. Порог регистрации составляет $(1,1-7,0) \cdot 10^{18}$ эВ.

Акустические антенны будут располагаться в вершинах правильных треугольников со стороной 300–500 м. Для запуска акустической установки предполагается использовать триггерные ячейки на основе сцинтилляторов площадью порядка одного квадратного метра, расположенные на поверхности озера с шагом порядка одного километра. Наличие триггера позволит существенно понизить порог регистрации, а также осуществить привязку к результатам, получаемым на уже существующих установках. По результатам полевых испытаний опытного прототипа антенны с использованием имитатора сигнала от ШАЛ среднеквадратичная ошибка восстановления направления оси ствола для диапазона зенитных углов $0-30^\circ$ и азимутальных углов $\pm 60^\circ$ составит $\sigma_\theta, \sigma_\phi < 0,1^\circ$. Ошибка восстановления координат ствола ШАЛ составит не более 5 м.

При оценке скорости счета установки, использующей акустический метод регистрации, необходимо учитывать распределение по глубине атмосферы точки первого взаимодействия первичного космического излучения. Предполагалось, что диссипация энергии происходит по степенному закону, а поперечное расхождение частиц — по линейному. При пороге регистрации $P_{\text{пор}}=7 \cdot 10^{-4}$ Па при среднем значении $P_{\text{max}}(E_0)$ для ШАЛ, инициированных протонами на уровне озера Иссук-Куль скорость счета составит около 20 событий/(год·стер·км²). Время непрерывной работы установки можно оценить как 4–5 месяцев в году.

Приведенные оценки свидетельствуют о реальной возможности создания установки, использующей акустический метод, начиная с площади 3–5 км², с дальнейшим расширением, что позволит на начальном этапе отработать методику регистрации. Установка площадью 3 км² уже позволит изучать стволы ШАЛ с энергией $E_0 > (1-7) \cdot 10^{18}$ эВ акустическим методом, что является принципиально новой возможностью в исследованиях первичного космического излучения сверхвысоких энергий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ascarijan G. A., Dolgoshein B. A., Kalinovsky A. N. et al. // Nucl. Inst. and Meth. 1979. V. 164. № 2. P. 267–278.
2. Kaneko T., Incue N., Kakimoto F. et al. // XVIII Int. Cosm. Ray Conf. 1983. V. 11. P. 428–431.