

О РАЗВИТИИ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ИСЗФ

В.А. Добрынин, А.Г. Сорокин

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
dobrynin-vasiliy95@mail.ru

ON DEVELOPMENT OF ACOUSTIC MEASUREMENTS AT ISTP

V.A. Dobrynin, A.G. Sorokin

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia
dobrynin-vasiliy95@mail.ru

Аннотация. В работе анализируется опыт предыдущих поколений, и учитываются современные запросы. Предложена концепция построения инфразвуковой станции на основе современной технологии микрокомпьютеров Raspberry Pi.

Ключевые слова: атмосфера, инфразвуковые волны, беспроводная связь, инфразвуковой датчик.

Abstract. The paper analyzes the experience of previous generations, and takes into account modern requests. The concept of building infrasound station based on Raspberry Pi modern microcomputer technology is proposed.

Keywords: atmosphere, infrasound waves, wireless communication, infrasound sensor.

ВВЕДЕНИЕ

Инфразвуком называются продольные колебания сжатия-расширения в веществе частотой ниже 16–20 Гц. Уже несколько десятилетий большой интерес представляет атмосферный инфразвук, поскольку он распространяется на большие расстояния без существенного затухания, неся в себе информацию об источнике возникновения и о среде, через которую проходит, а также является основным средством переноса энергии от мощных наземных источников (например, взрывов) в верхние слои атмосферы.

Начало работ по исследованию атмосферного инфразвука в ИСЗФ (институт тогда еще носил название СибИЗМИР) относится к осени 1972 г., когда возникла идея оценивать количество тепла, вносимого в верхнюю атмосферу диссипацией авроральных электроджетов, путем регистрации волн давления от них. Дальнейшее развитие инфразвукового направления можно разбить на три основных этапа (периода); в задачи первого периода входило создание работоспособной аппаратуры, не уступающей по характеристикам зарубежным аналогам, а также получение большинства известных инфразвуковых сигналов. Во время первой экспедиции в Тикси в 1974 г. установлено, что в авроральной зоне (бухта Тикси) наблюдаются почти все известные типы инфразвуковых сигналов.

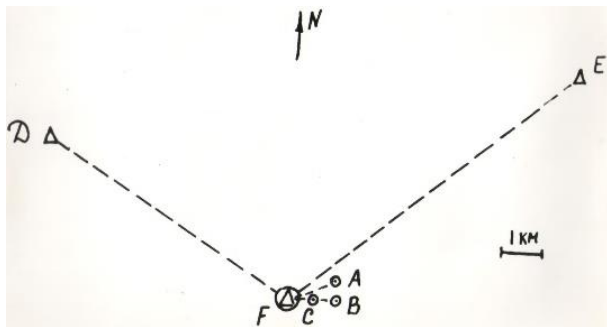


Рис. 1. Схема расположения инфразвуковых микрофонов (микробарографов) на инфразвукометрической ст. Бадары

Во втором периоде (середина 70-х гг.) большое внимание было уделено инфразвуковому излучению, идущему «снизу» на ионосферу (взрывы в атмосфере и под землей, землетрясения, извержения вулканов, атмосферные грозы). Третий период характеризуется интересом к сейсмоакустическим явлениям, использованию микробаромов и микросейсмов для диагностики атмосферного акустического канала. Началом этого периода можно считать публикацию в 1977 г. обзора [Ерущенков, Пономарев, 1977].

Таким образом, к середине 80-х гг. в ИСЗФ был создан современный (по тем стандартам) сейсмоакустический комплекс, работающий в непрерывном режиме, сначала на территории обсерватории «Бадары» (рис. 1), затем на территории Геофизической обсерватории в с. Торы (рис. 2).

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФРАЗВУКОВОЙ СТАНЦИИ

В основе методики измерений сигналов на инфразвуковой станции лежит способ разнесенного приема, согласно которому инфразвук регистрируется с помощью нескольких инфразвуковых датчиков-микрофонов (чаще всего трех-четырех), расположенных на некотором расстоянии друг от друга, зависящем от спектра интересующего излуче-



Рис. 2. Блок-схема сбора и передачи информации инфразвуковой ст. Торы

ния. Базовое расстояние между датчиками (так называемая «база») обычно составляет $\lambda/2$ – $\lambda/4$ м и рассчитывается, исходя из степени пространственной когерентности сигнала в данной местности и необходимости получить оптимальный временной сдвиг между моментами прихода волны на датчик для уменьшения ошибки при определении характеристик направления волны. [Ерущенков, Пономарев, 1976].

Например, ст. Бадары состояла, по сути, из двух трехэлементных интерферометров, первый содержал три пункта регистрации с большой базой (DFE, 7–9 км, рис. 1) для регистрации длиннопериодного инфразвука, второй — три пункта с малой базой (ABC, 250 м, рис. 1) для регистрации короткопериодного инфразвука. Станция Торы была построена по аналогичному принципу, преимущественно для регистрации штормовых инфразвуковых сигналов — микробаромов; базовое расстояние было выбрано отличным от двух предыдущих случаев (500 м). Расчеты параметров инфразвукового сигнала (азимута источника А и скорости следа волны V) производятся исходя из данного вида измерительной базы по формулам (1) и (2), с учетом положения приемников 1-2-3 (рис. 3).

$$A = \arctg \left[\frac{L_{12} \Delta t_{12}}{L_{12} \Delta t_{12} \sin \varphi} - \text{ctg} \varphi \right], \quad (1)$$

$$V = \frac{L_{12} \cos(\alpha - \delta)}{\Delta t_{12}} = \frac{L_{12} \cos[\varphi - (\alpha - \delta)]}{\Delta t_{12}}. \quad (2)$$

Здесь L_{12} и L_{23} — плечи расстояний между приемниками интерферометра, τ_{12} , τ_{23} — временные задержки инфразвуковых сигналов между приемниками 1 и 2, 2 и 3, соответственно.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФРАЗВУКОВОЙ СТАНЦИИ

Вследствие того, что существует зависимость между базовым расстоянием и длиной волны принимаемого излучения, считаем целесообразным в перспективе работы по развитию станции проводить в направлении расширяемости ее базы для регистрации более низкочастотного инфразвука. Связь по беспроводному каналу, например, по стандарту Wi-Fi, между центральным пунктом обработки поступающих данных и выносными пунктами приема инфразвука упрощает процесс реконфигурации станции.

Технически, использование узконаправленных антенн и правильное их размещение может обеспечить уверенную передачу данных на дистанциях от нескольких сот метров до нескольких км, что позволяет менять базовое расстояние между датчиками в достаточно широком диапазоне. В ближайшей перспективе по сети Wi-Fi планируется осуществлять лишь управление и контроль за оборудованием, отвечающим непосредственно за снятие сигнала с датчика и первичную его обработку.

Важным условием при проектировании инфразвуковой станции является стабильная атмосфера с низким уровнем мелкомасштабной турбулентности

в месте размещения приемников инфразвука. Наиболее оптимальное решение — расположение станции

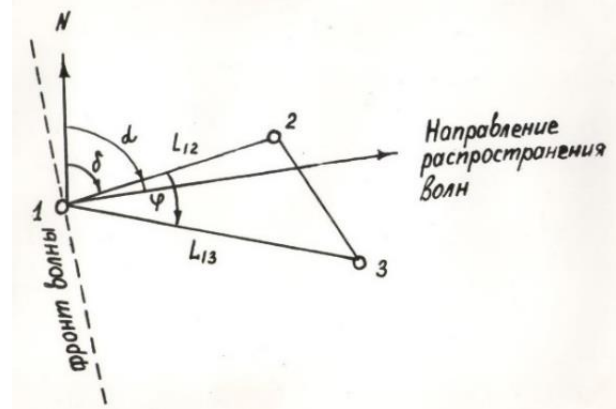


Рис. 3. Пример 3-х элементного интерферометра для приема инфразвуковых волн. 1–3 — приемники инфразвука

на равнинной местности, вдали от крупных населенных пунктов и промышленных предприятий, возможно, в окружении леса и кустарника.

Отсутствие инфраструктуры на месте размещения может порождать проблемы с электропитанием, датчиков и смежного оборудования; в перспективе станция может стать энергонезависимой. В частности рассматривается вариант с установкой на каждом выносном пункте солнечной электростанции. Данное решение способствует повышению мобильности и транспортабельности станции, что может помочь при исследовании специфических инфразвуковых явлений, таких как сигналы от авроральных образований в полярных широтах; но, в то же время, требует применения аппаратуры с малым энергопотреблением. Например, за первичную обработку полученного с датчика сигнала может отвечать одноплатный микрокомпьютер по типу Raspberry Pi. При этом, можно рассмотреть использование современных малопотребляющих пьезорезистивных датчиков давления, основанных на технологии MEMS.

На основании вышеперечисленных факторов — вероятных трудностей при проектировании и способов их разрешения — в данный момент в ИСЗФ реализуется проект, представленный на рис. 4. Микрокомпьютер, синхронизируемый по времени со спутниками GPS/ГЛОНАСС, осуществляет аналого-цифровое преобразование поступающего с датчика сигнала, сохраняет данные на внешний диск; управление микрокомпьютером, а также, в перспективе, непрерывная передача данных производится по радиоканалу. Источником питания для элементов системы, как уже указывалось ранее, может являться солнечная электростанция.

На текущий момент подготовлено три микрокомпьютера с необходимой периферией, проводится проверка беспроводного соединения между выносными пунктами и центральным пунктом управления на базе ст. Торы, тестируется автономная работа микрокомпьютеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен вариант развития инфразвуковой системы наблюдений за атмосферными волновыми

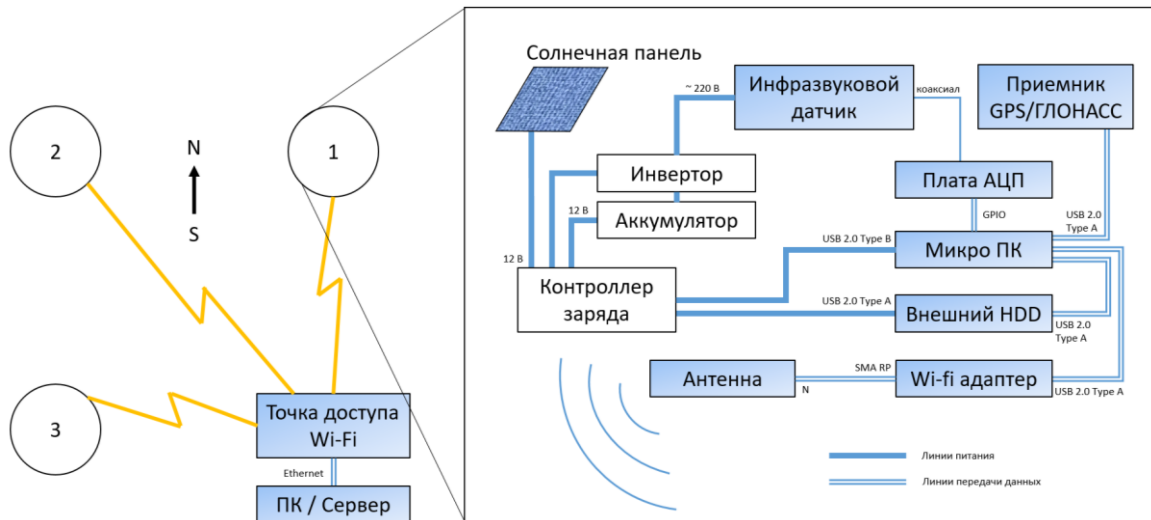


Рис. 4. Один из вариантов конфигурации инфразвуковой станции с беспроводной передачей данных

процессами. Проведены опытные контрольные записи атмосферных инфразвуковых волн. Показана работоспособность регистрирующей аппаратуры на основе микрокомпьютера Raspberry Pi.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ерущенко А.И., Пономарев Е.А. Инфразвуковые волны в атмосфере Земли // Известия вузов. Радиофизика, 1977. Т. 20, № 12. С. 1773–1789.

Исследование условий в магнитосфере и ионосфере Земли по данным наземных наблюдений в высоких широтах. Инфразвуковая станция. (отчет). Иркутск, 1976.