

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ,
МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ

УДК 53.087.47 + 53.082.744 + 537.86.029

РЕГИСТРАЦИЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ
КОМПОНЕНТ ИМПУЛЬСНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
И.Н.Ч.–О.Н.Ч.-ДИАПАЗОНА
НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

© 2013 г. А. А. Галахов, О. И. Ахметов, В. И. Кириллов

Полярный геофизический институт КНЦ РАН

Россия, 184209, Апатиты Мурманской обл., ул. Академгородок, 26а

Поступила в редакцию 05.02.2013 г.

Описан комплекс аппаратуры для регистрации трех компонент H_x , H_y , H_z импульсной составляющей электромагнитного поля в диапазоне инфранизких – очень низких частот, входящий в состав геофизической обсерватории ПГИ (пос. Баренцбург, арх. Шпицберген). Комплекс работает под управлением операционной системы Linux и интегрирован в локальную компьютерную сеть обсерватории, что позволяет обеспечить удаленный доступ к данным и временную GPS-синхронизацию. Использование буферных трансформаторов как в сигнальной цепи, так и в цепи подключения к общей линии питания обсерватории позволило улучшить электромагнитную совместимость данного комплекса с основной аппаратурой обсерватории. Описана методика проведения абсолютной калибровки аппаратуры.

DOI: 10.7868/S0032816213060037

ВВЕДЕНИЕ

Исследование естественного импульсного электромагнитного поля Земли в диапазоне инфранизких – очень низких частот (и.н.ч.–о.н.ч), источником которого являются грозовые разряды [1], представляет интерес как при исследовании неоднородной структуры нижней ионосферы высоких широт в зависимости от солнечной активности, геомагнитной возмущенности, сезона, времени суток, так и в вопросах изучения сейсмоэлектромагнетизма.

Регистрация трех магнитных H_x , H_y , H_z компонент естественного импульсного электромагнитного поля Земли дает возможность измерять суммарную интенсивность потока атмосфериков и разделять его по направлениям приема в зависимости от ориентации рамочных антенн.

В данной работе описана методика проведения измерений импульсной составляющей естественного электромагнитного поля и.н.ч.–о.н.ч.-диапазона и калибровки аппаратуры на обсерватории ПГИ, расположенной в пос. Баренцбург (арх. Шпицберген).

ПРИЕМНО-РЕГИСТРИРУЮЩАЯ
АППАРАТУРА

Приемно-регистрационная аппаратура, структурная схема которой представлена на рис. 1, со-

держит полевой пункт (рамочные антенны PA , приемники $П$, стабилизатор напряжения $СН$) и аппаратуру, находящуюся в обсерватории (сигнальные буферные трансформаторы BT , селектор атмосфериков $СА$, персональный компьютер $ПК$, источники питания $ИП_1$, $ИП_2$, сетевой буферный трансформатор $СБТ$). В качестве симметричного кабеля связи (~500 м) между полевым пунктом и обсерваторией используются три витые пары кабеля П274М. Применение сигнальных буферных трансформаторов BT_1 , BT_2 и сетевого буферного трансформатора $СБТ$ (500 Вт) вызвано необходимостью улучшения гальванической развязки как в цепях связи между выносным приемным пунктом и регистрирующей аппаратурой, так и в силовых цепях питания между рассматриваемым комплексом и электрооборудованием обсерватории.

В связи с тем что в рассматриваемом диапазоне частот очень высокий уровень электромагнитных промышленных помех и нет возможности вынести полевой пункт на значительное расстояние, вопрос электромагнитной совместимости стоит очень остро. Опыт проведения измерений показал, что гальваническая развязка силовых цепей и сигнальных при помощи буферных трансформаторов дает положительный результат.

Для записи результатов измерений амплитуды атмосфериков используются последовательные порты $ПК$. Подключение широкополосного сиг-

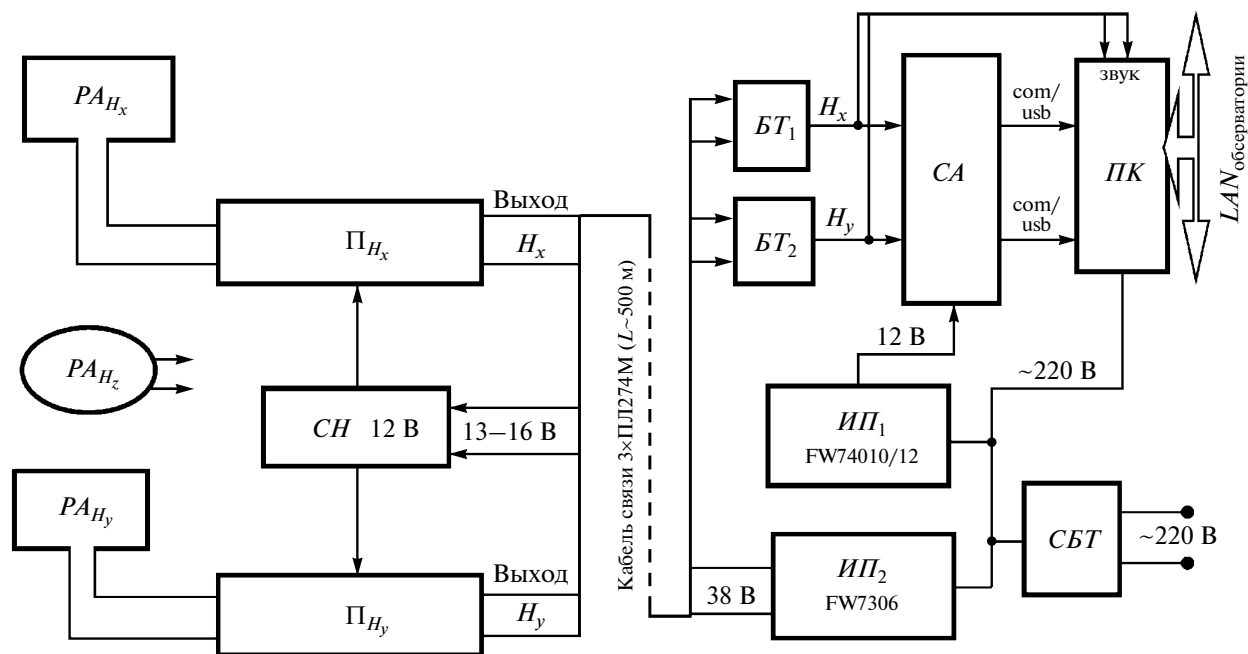


Рис. 1. Структурная схема приемно-регистрирующей аппаратуры и.н.ч.–о.н.ч.-диапазона. *PA* – рамочные антенны; *П* – приемники; *СН* – стабилизатор напряжения; *ИП₁*, *ИП₂* – источники питания; *СБТ* – сетевой буферный трансформатор; *БТ₁*, *БТ₂* – сигнальные буферные трансформаторы; *СА* – селектор атмосфериков; *ПК* – персональный компьютер.

нала к линейному входу звуковой карты компьютера (режим карты: стерео, частота дискретизации 48 кГц, разрядность 16 бит) позволяет регистрировать волновую форму сигнала как во время прихода атмосферика, так и непрерывно. При использовании аналогового алгоритма селекции атмосфериков объем файлов с данными – измеренными за сутки амплитудами и временами их прихода – составляет 5–10 Мбайт, в то время как при непрерывной записи 10-минутного интервала волновой формы – 109 Мбайт. Подробное описание всех элементов данной аппаратуры представлено в [2].

В связи с тем что используемый комплект аппаратуры содержит только два приемника и 2-канальный селектор атмосфериков, регистрация сигналов велась попеременно по двум компонентам: H_x , H_y и H_z . Для одновременной регистрации трех компонент поля в комплект необходимо добавить третий канал.

Прием горизонтальных магнитных компонент H_x , H_y осуществлялся двумя идентичными взаимно ортогональными рамочными антеннами, ориентированными на “север–юг” и “запад–восток”, со следующими параметрами: площадь антенны $S_0 = 40 \text{ м}^2$; высота антенны 5 м; количество витков антенны $N = 14$; активное сопротивление антенны $R_a = 14 \text{ Ом}$; координаты местоположения ан-

тенны: $78^\circ 05' 36.044''$, $14^\circ 13' 51.404''$, высота над уровнем моря $h = 114 \text{ м}$.

Параметры горизонтальной рамки для приема вертикальной составляющей H_z следующие: $S_0 \sim 71 \text{ м}^2$; $N = 10$; $R_a = 25 \text{ Ом}$; координаты местоположения антенны: $78^\circ 05' 34.978''$, $14^\circ 13' 51.919''$, $h = 112 \text{ м}$.

При определении коэффициента усиления всего приемно-регистрирующего тракта необходимо учитывать тот факт, что диапазон амплитуд атмосфериков лежит в очень широких пределах и при завышенном значении коэффициента усиления значительная часть атмосфериков может быть искажена по амплитуде. Поэтому, как представляется авторам, за оптимальное значение коэффициента усиления можно принимать то, при котором за выбранный временной интервал (например, сутки) число атмосфериков, ограниченных по амплитуде, составляло бы доли процента от общего числа атмосфериков, зарегистрированных за этот же интервал. Тогда возможный факт ограничения амплитуды атмосфериков не повлияет на результаты статистической обработки данных.

Согласно результатам измерения магнитной компоненты H_y (23.10.2012), при установленном коэффициенте усиления и ограничении амплитуды атмосфериков $\leq 3.15 \cdot 10^{-5} \text{ А} \cdot \text{м}^{-1}$ число иска-

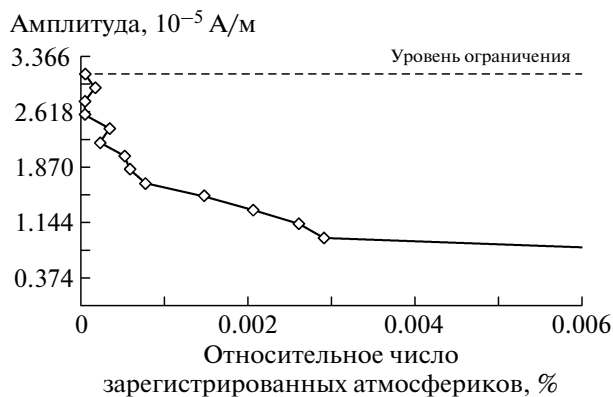


Рис. 2. Относительное число зарегистрированных атмосфериков в зависимости от их амплитуды при уровне ограничения $3.15 \cdot 10^{-5} \text{ А} \cdot \text{м}^{-1}$ за суточный интервал времени (компонента H_y , 23.10.2012).

женных данных не превышает 0.001% от общего числа атмосфериков, зарегистрированных за сутки (рис. 2).

КАЛИБРОВКА АППАРАТУРЫ

Для представления результатов измерения напряженности магнитных компонент естественного импульсного электромагнитного поля Земли в общепринятых единицах измерения, А/м, была проведена абсолютная калибровка аппаратуры по методу, описанному в [3]. Метод состоит в том, что при помощи тороидального кольца и генератора-имитатора создается магнитный поток известной величины, пронизывающий плоскость рамочной антенны, при этом фиксируется выходное напряжение $U_{\text{вых}(\omega)}$ в условных единицах. В этом случае величина передаточной характеристики всего устройства может быть рассчитана по формуле

$$G(\omega) = H(\omega)/U_{\text{вых}(\omega)} = LI(\omega)/\mu_0 NSU_{\text{вых}(\omega)},$$

где $H(\omega)$ – напряженность магнитного поля; $U_{\text{вых}(\omega)}$ – выходная величина в условных единицах а.ц.п.; L – индуктивность калибровочной катушки; I – ток в калибровочной катушке; S – площадь антенны; N – число витков калибровочной катушки; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.

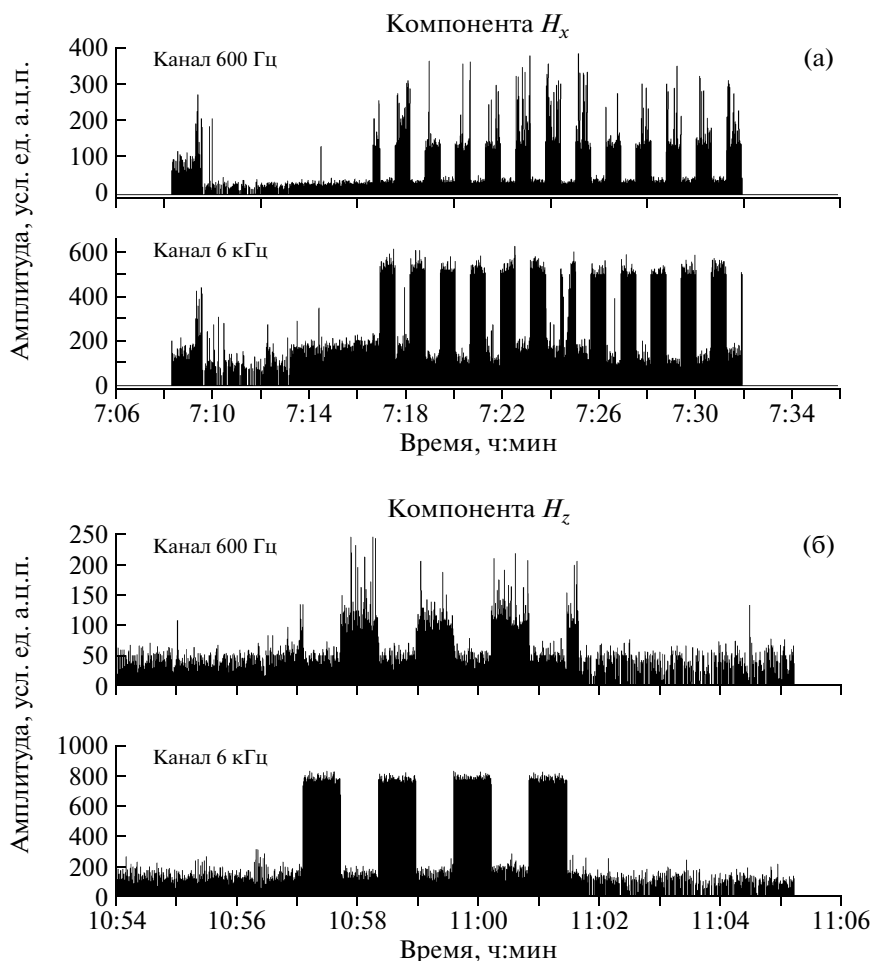


Рис. 3. Калибровка H_x -компоненты (а) и H_z -компоненты (б).

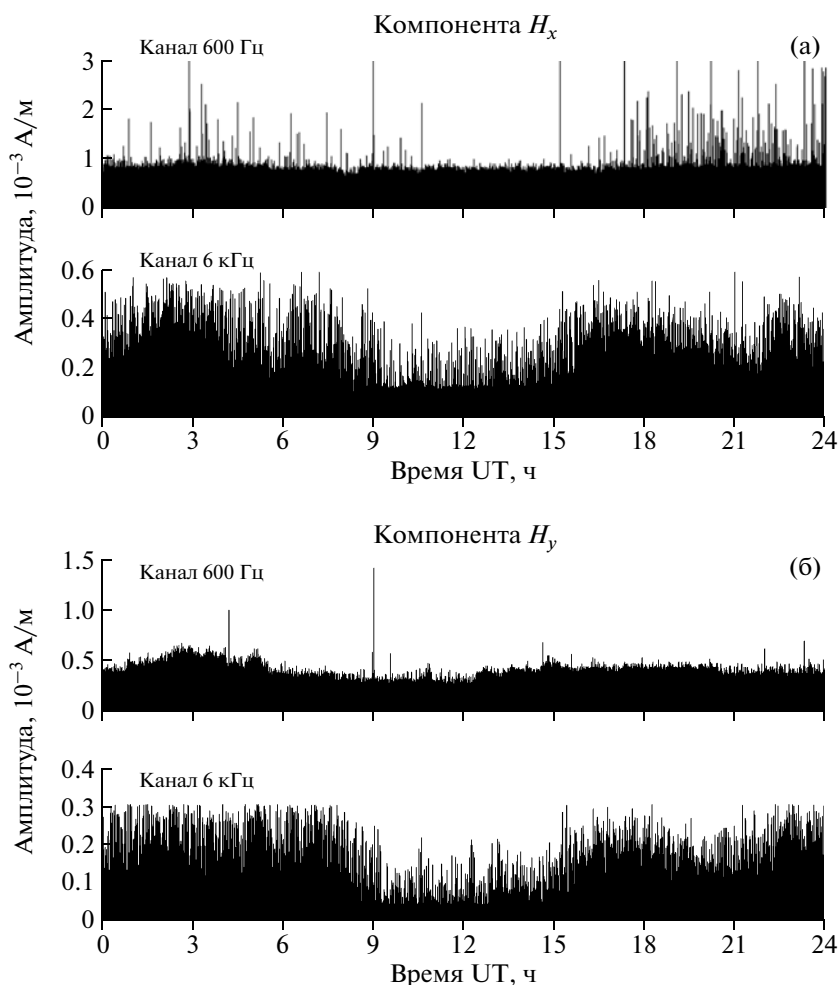


Рис. 4. Суточный ход атмосфериков: а – компонента H_x (08.10.2012 г.); б – компонента H_y (08.10.2012 г.).

На рис. 3 представлены результаты калибровок для компонент H_x и H_z . В качестве калибровочного сигнала использовались импульсы, имитирующие атмосферика, с частотой заполнения 600 Гц и 6000 Гц.

Для калибровочной катушки с параметрами $L_k = 83.75 \cdot 10^{-6}$ Гн; $N_k = 180$ получено:

– компонента H_x

$$G_{(600 \text{ Гц})} = 1.76 \cdot 10^{-6} \text{ А/(м} \cdot \text{Гц}^{1/2}) \text{ при } I_{\text{кал}} = 0.019 \text{ А,}$$

$$U_{\text{вых}(600 \text{ Гц})} = 100 \text{ у.е.,}$$

$$G_{(6 \text{ кГц})} = 8.8 \cdot 10^{-8} \text{ А/(м} \cdot \text{Гц}^{1/2}) \text{ при } I_{\text{кал}} = 0.0038 \text{ А,}$$

$$U_{\text{вых}(6 \text{ кГц})} = 400 \text{ у.е.};$$

– компонента H_y

$$G_{(600 \text{ Гц})} = 0.798 \cdot 10^{-6} \text{ А/(м} \cdot \text{Гц}^{1/2}) \text{ при } I_{\text{кал}} = 0.019 \text{ А,}$$

$$U_{\text{вых}(600 \text{ Гц})} = 150 \text{ у.е.,}$$

$$G_{(6 \text{ кГц})} = 3.74 \cdot 10^{-8} \text{ А/(м} \cdot \text{Гц}^{1/2}) \text{ при } I_{\text{кал}} = 0.0038 \text{ А,}$$

$$U_{\text{вых}(6 \text{ кГц})} = 640 \text{ у.е.};$$

– компонента H_z

$$G_{(600 \text{ Гц})} = 5.29 \cdot 10^{-6} \text{ А/(м} \cdot \text{Гц}^{1/2}) \text{ при } I_{\text{кал}} = 0.019 \text{ А,}$$

$$U_{\text{вых}(600 \text{ Гц})} = 75 \text{ у.е.,}$$

$$G_{(6 \text{ кГц})} = 2.045 \cdot 10^{-7} \text{ А/(м} \cdot \text{Гц}^{1/2}) \text{ при } I_{\text{кал}} = 0.00627 \text{ А, } U_{\text{вых}(6 \text{ кГц})} = 640 \text{ у.е.}$$

Примеры записи атмосфериков приведены на рис. 4 и 5.

На рис. 4 представлен суточный ход атмосфериков компонент H_x , H_y (дата измерения 08.10.2012 г.), а на рис. 5 – суточный ход атмосфериков компонент H_y , H_z и их амплитудное распределение (дата измерения 25.09.2012 г.).

Функции распределения амплитуд атмосфериков, полученные по экспериментальным данным, удовлетворительно аппроксимируются выражением [4, 5]

$$P(X) = \left(1 + \left(\frac{X}{X_{50}} \right)^k \right)^{-1},$$

что свидетельствует о корректной работе всего комплекса аппаратуры.

Работа выполнена при поддержке Программы Отделения физических наук РАН “Физика атмо-

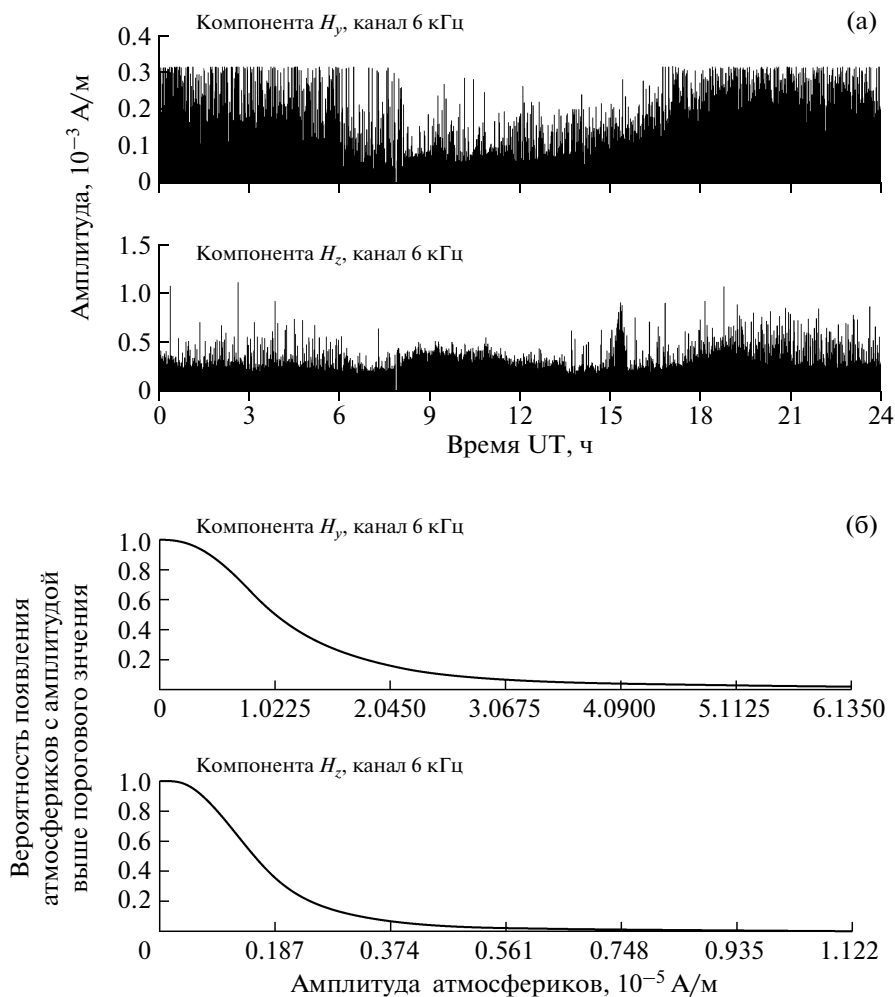


Рис. 5. Суточный ход атмосфериков компонент H_y , H_z (а) и их амплитудное распределение (б) (25.09. 2012 г.).

сферы: электрические процессы, радиофизические методы исследований” (Программа № 12, проект № 4,5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремизов Л.Т. Естественные радиопомехи. М.: Наука, 1985. С. 34.
2. Галахов А.А., Ахметов О.И. // ПТЭ. 2011. № 3. С. 136.
3. Галахов А.А., Федоренко Ю.В. // Измер. техника. 1990. № 6. С. 48.
4. Лихтер Я.И. // Геомагнетизм и аэрономия. 1961. Т. 1. № 2. С. 281.
5. Махоткин Л.Г. // Геомагнетизм и аэрономия. 1963. Т. 3. № 2. С. 284.