

УДК 537.8

ОНЧ-РЕГИСТРАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ*

Г. И. Дружин, В. М. Пухов,
Д. В. Санников, Е. И. Малкин, И. Е. Стасий

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований и распространения радиоволн
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
684034, с. Паратунка, Елизовский район, Камчатский край ул. Мирная, 7,
E-mail: drug@ikir.ru

С целью исследования естественных шумовых электромагнитных излучений в Институте космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН разработан и создан ОНЧ-регистратор, установленный на Камчатке, в экспедиционном пункте «Карымшина». Непрерывные наблюдения, проведенные с помощью ОНЧ-регистратора, позволили исследовать различные геофизические эффекты, связанные с распространением радиоволн, грозовой активностью, землетрясениями, циклонами.

Ключевые слова: антенный комплекс, система регистрации, электромагнитное излучение

© Дружин Г. И. и др., 2019

Введение

В экспедиционном пункте «Карымшина» ($\phi = 52^{\circ}49' N, \lambda = 158^{\circ}07' E$) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИКИР ДВО РАН), расположенного на полуострове Камчатка, проводятся наблюдения за естественным электромагнитным излучением. В 1993 г был установлен ОНЧ-регистратор, принимающий на магнитную антенну шумовые излучения в диапазоне очень низких частот (ОНЧ). Применение ОНЧ-регистратора позволило исследовать эффекты, связанные с естественными электромагнитными излучениями перед камчатскими землетрясениями [1],[2] и циклонами [3].

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 19-05-00543, Механизмы грозообразования в условиях активной вулканической деятельности на полуострове Камчатка

Состав регистратора

ОНЧ-регистратор (рис. 1) состоял из многовитковой рамочной антенны (РА), предварительного усилителя (ПУ), расположенного непосредственно у основания антенны, кабельной линии связи (кЛС), с помощью которой сигнал подавался на устройство обработки сигналов, состоящего из широкополосного усилителя (ШУ), полосовых фильтров (ПФ), детекторов (Д), интеграторов (ИНТ), усилителей постоянного тока (УПТ), аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и телеметрического канала (Т). Питание аппаратуры осуществлялось от аккумуляторных батарей. ОНЧ-регистратор был изготовлен по схемам, аналогичным приведенным в [4]. Для уменьшения влияния помех от сети 50 Гц антенна вместе с предварительным усилителем была установлена на расстоянии 200 метров от источника возможных местных помех. Антенна имела эффективную площадь 3300 кв. метров и была согласована со входом усилителя с помощью трансформатора.

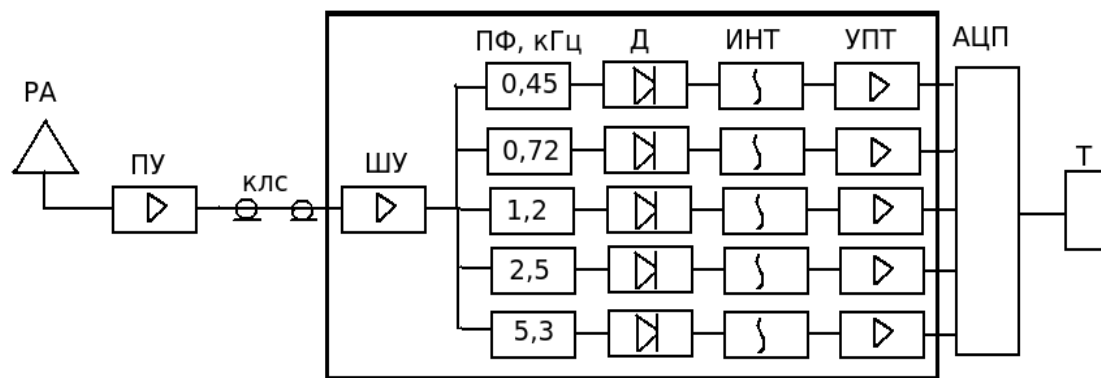


Рис. 1. Структурная схема ОНЧ-регистратора

Предварительный усилитель был собран на малошумящих микросхемах и содержал фильтр нижних частот с частотой среза 8.5 кГц.

Огибающие выходного сигнала записывались и передавались по системе телеметрии в ИКИР ДВО РАН. Запись огибающей сигнала осуществлялась на 5-ти фиксированных частотах (0.45, 0.72, 1.2, 2.5, 5.3 кГц), с полосой пропускания (5 – 10)% от центральной частоты. Пороговая чувствительность ОНЧ-регистратора не хуже $2 \cdot 10^{-7} \text{ нТ}/\sqrt{\text{Гц}}$. Пример записи огибающих сигналов (на трех частотах), зарегистрированных на станции «Карымшина», приведен на (рис. 2) [2].

В 2005 г. была проведена модернизация имеющегося в экспедиционном пункте Карымшина ОНЧ-регистратора. Была подключена антенная система, состоящая из двух взаимно-перпендикулярных рамочных антенн и одной штыревой электрической антенны (рис. 3). Рамочные антенны, предназначенные для приема магнитной составляющей электромагнитного поля, были расположены вертикально, плоскостью в направлении север-юг и восток-запад. Высота рамочных антенн $h = 8$ м, ширина $l = 8$ м, количество витков $N = 100$. Штыревая антенна длиной 2 м была закреплена на верхнем основании рамочных антенн. В центре антенной системы была установлена малая рамочная антенна, предназначенная для калибровки ОНЧ-регистратора по магнитной составляющей излучений. Вблизи нижнего основания антенн находились

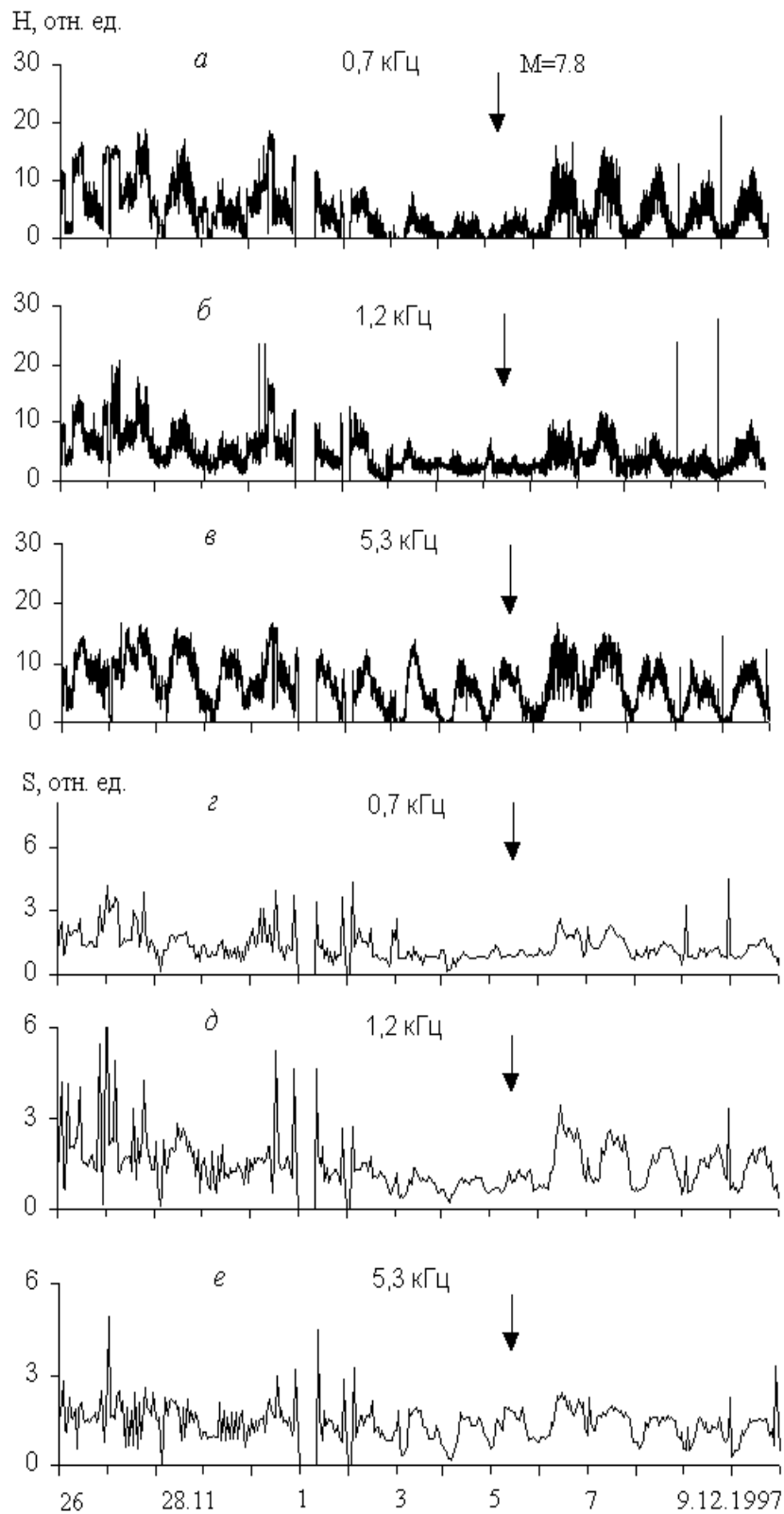


Рис. 2. Запись огибающей сигнала (а, б, в) и среднеквадратичных отклонений (г, д, е) в период Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. Стрелкой показан момент землетрясения

предварительные усилители, сигналы с которых поступали по кабельной линии связи длиной 200 м на блок повторителей напряжения и записывались на персональный компьютер через 16-bit звуковую плату Fast Track Ultra 8R с частотой дискретизации 48 000 Гц. Затем сигналы по системе телеметрии поступали в центр обработки данных, где проводилась предварительная обработка и хранение информации.



Рис. 3. Антенная система для регистрации радиосигналов в ОНЧ диапазоне, установленная в пункте наблюдения «Карымшина»

С помощью установленной аппаратуры была проведена запись сигналов в период солнечного затмения 1 августа 2008 г., в результате которой были получены новые сведения о влиянии лунной тени на характеристики принимаемых излучений [5]; были исследованы излучения, возникшие в период глубокофокусного камчатского землетрясения, произошедшего 24 мая 2013 г. [6]; приняты на большом расстоянии слабые сигналы КНЧ-ОНЧ передатчика [7]; рассмотрена связь суточных периодов Земли с рентгеновскими источниками Солнца и галактики [8].

В 2015 г. была построена и установлена новая антенная система, в которой к вертикально расположенным магнитным антеннам, ориентированных в направлениях север-юг и восток-запад, была добавлена горизонтально расположенная около поверхности земли рамочная антенна, а также проведена замена электрической антенны, расположенной в верхней части магнитных антенн, на отдельно отстоящую от магнитных штыревую антенну.

Основные параметры антенн

Вертикальные рамочные антенны. Длина $l = 11.6$ м; высота $h = 8.9$ м, геометрическая площадь $S = lh = 103.24$ м². Количество витков приемной антенны $N = 98$, дополнительной калибровочной, намотанной вплотную к приемной, $N_d = 2$. Индуктивность приемной антенны север-юг $L_{ns} = 0.58$ Гн, восток-запад – $L_{ew} = 0.56$ Гн. Собственная емкость антенны север-юг $C_{ns} = 6.8$ нФ, восток-запад – $C_{ew} = 6.6$ нФ, активное сопротивление постоянному току антенны север-юг $R_{ns} = 433$ Ом, восток-запад – $R_{ew} = 393$ Ом.

Горизонтальная рамочная антенна. Расположена у поверхности земли, имеет сторону квадрата $l_h = 9.9$ м, количество витков $N = 98$, количество витков калибровочной антенны $N_d = 2$, индуктивность горизонтальной приемной антенны $L_h = 0.55$ Гн, собственная емкость $C_h = 7.5$ нФ, активное сопротивление постоянному току $R_h = 433$ Ом.

Основные размеры магнитных рамочных антенн, установленных в 2015 г. приведены на рис. 4.

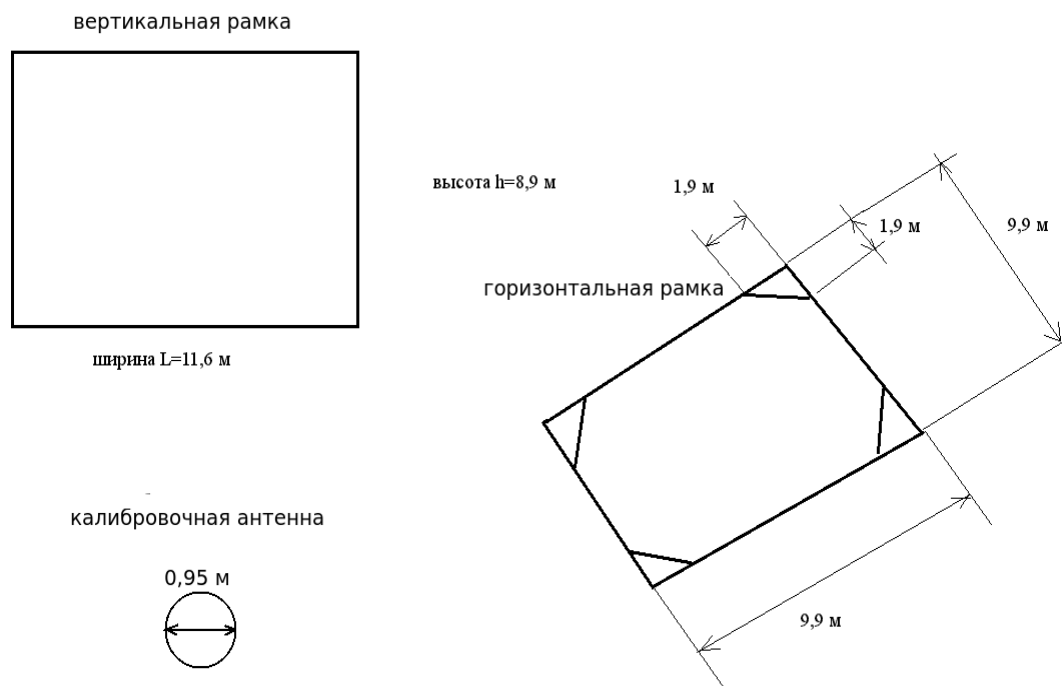


Рис. 4. Размеры антенн, установленных на станции «Карымшина» в 2015 г

Предварительные усилители рамочных антенн расположены у нижнего основания вертикальных антенн и имеют коэффициенты усиления $K_{pH} = 2000$.

Электрическая антенна представляет собой штырь высотой $h = 6$ м, установленный на фундаменте высотой $h_f = 3$ м. Действующая высота электрической антенны $h_E = (h + h_f)/2 = 4.5$ м. Наведенная в электрической антенне ЭДС усиливается предварительным усилителем (ПУ) с коэффициентом усиления $K_{pE} = 20$. После предварительных усилителей электрической и магнитных антенн сигналы по кабельным линиям связи поступают на повторители напряжения, с выходов которых они подаются на входы аналого-цифрового преобразователя, в качестве которого исполь-

зуется 16-bit звуковая плата Fast Track Ultra 8R, а также на блок звукового контроля сигнала. Частота оцифровки сигнала составляет 48 000 Гц. Вся аппаратура в пункте «Карымшина» питается от аккумуляторных батарей, подзарядка которых производится от местного дизель-генератора. Принятые в пункте «Карымшина» сигналы по системе телеметрии передаются в центр обработки данных, расположенный в пункте «Паратунка», в главном здании ИКИР ДВО РАН. Для передачи данных между пунктами «Карымшина» и «Паратунка» используется радиосеть на базе оборудования компании Ubiquiti. В связи с тем, что между этими пунктами нет прямой видимости, для функционирования радиосети используются два сегмента. Первый обеспечивает радиомост между п. «Карымшина» и промежуточным пунктом, второй — между промежуточным и п. «Паратунка». Общее расстояние радиомоста 20 км, мощность передатчика 600 мВт, пропускная способность 100 Мбит, диапазон частот 5470-5825 МГц. В центре обработки данных проводится запись и хранение 15-минутных *.wav файлов, в имени которых содержится информация о дате, времени начала записи, номере канала (электрической и магнитной составляющих сигнала). Обработка данных *.wav файлов, полученных со станции «Карымшина», производится в пункте «Паратунка».

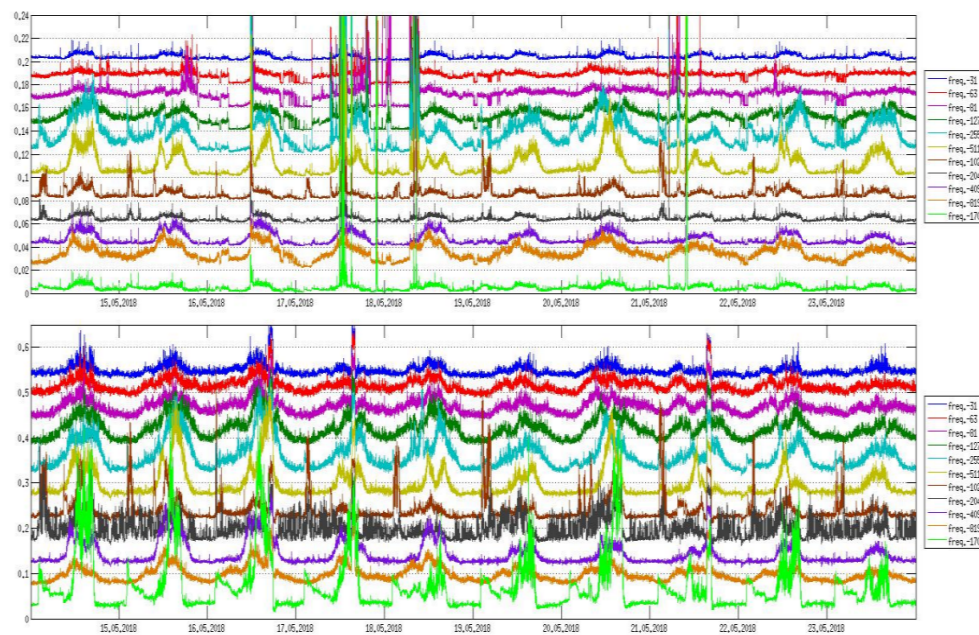


Рис. 5. Амплитудные значения сигналов, зарегистрированных на станции «Карымшина» с 15 по 26 июня 2018 г

На рис. 5 показан пример записи электрической и магнитной составляющей сигналов, обработка которых проводилась следующим образом. С помощью программы, использующей быстрое преобразование Фурье с окном Чебышева, соответствующей секундной выборке, с перекрытием 93.75%, проводилась частотная фильтрация принятых с электрической и магнитных антенн излучений. Регистрируемые частоты (в Гц) показаны в правой части рис. 5. Частотный интервал был выбран таким образом, чтобы отфильтрованные частоты были распределены по возможности равномерно в логарифмическом масштабе и чтобы они не совпадали с частотами гармоник сети 50 Гц.

Калибровка

Калибровка ОНЧ-регистратора осуществляется путем подачи синусоидального или шумового сигнала на приемные антенны через устройства калибровки ОНЧ-регистратора.

Калибровка ОНЧ-регистратора через магнитные антенны. Имеется возможность осуществлять калибровку двумя способами.

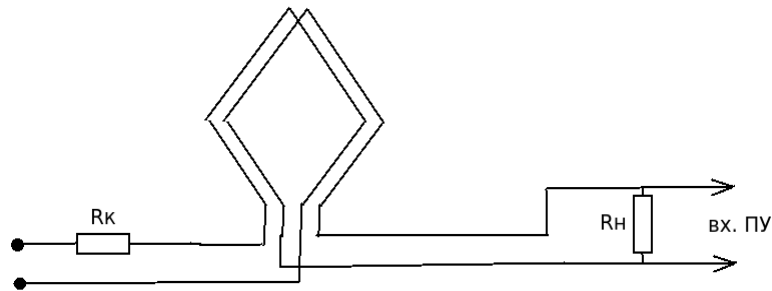


Рис. 6. Схема калибровки регистратора через магнитные антенны

В первом случае напряжение подается на вход калибровочной антенны (имеющей 2 витка), намотанной вплотную к приемной (см. рис. 6). При условии $\omega L_k \ll R_k$ ($\omega = 2\pi f$ – циклическая частота, f – частота сигнала, L_k – индуктивность калибровочной антенны, R_k – сопротивление, соединенное последовательно с витками калибровочной антенны) ток калибровочной антенны I_k практически не зависит от частоты в широком диапазоне частот и определяется подаваемым на вход калибровочной системы напряжением U_k :

$$I_k = U_k / R_k. \quad (1)$$

При этом магнитный поток Φ_k охватывает всю площадь приемной антенны и величина этого потока связана с током калибровочной антенны следующим образом:

$$\Phi_k = I_k L_k. \quad (2)$$

Величина магнитной индукции:

$$B = \Phi_k / S_{eff}, \quad (3)$$

где $S_{eff} = N_a S_a$ – эффективная площадь, N_a – количество витков, S_a – геометрическая площадь приемной антенны.

Э.д.с., возникающая в антенной цепи:

$$U = -j\omega B S_{eff}, \quad (4)$$

Напряжение на выходе приемной антенны:

$$U_H = U K_a, \quad (5)$$

где коэффициент передачи антенной цепи $K_a = Z_H / (j\omega L_a + R_a + Z_H)$, $Z_H = (R_{BX} X_C) / (R_{BX} + X_C)$ – комплексное входное сопротивление нагрузки, R_{BX} – входное активное сопротивление предварительного усилителя, X_C – суммарное емкостное

сопротивление антенны и входной емкости предварительного усилителя, L_a и R_a – индуктивное и активное сопротивление антенны.

Во втором случае подача сигнала на вертикально расположенные магнитные антенны осуществляется путем подачи напряжения на малую (по сравнению с приемной) рамку, которая излучает на приемную антенну. Калибровочная антенна, размер которой приведен на рис. 4, установлена в центре приемных магнитных антенн, под углом 45° к ним.

Основные параметры малой калибровочной антенны:

диаметр антенны – $D_k = 0.95$ м,

количество витков $N_k = 120$,

активное сопротивление постоянному току $R_k = 17.2$ Ом,

индуктивность $L_k = 43.7$ мГн,

емкость $C_k = 0.935$ нФ,

резонансная частота $f_k = 24.9$ кГц,

геометрическая площадь калибровочной антенны $S_k = 0.709$ м²,

эффективная площадь $S_\varepsilon = S_k N = 0.709 \cdot 120 = 85.08$ м².

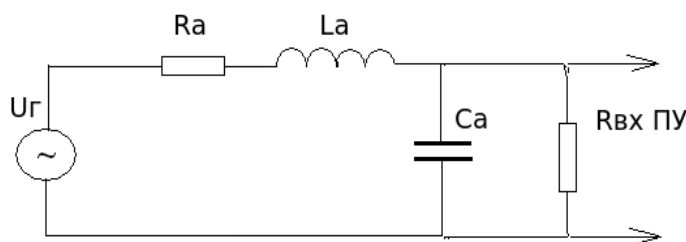


Рис. 7. Эквивалентная схема магнитной антенной цепи

Эквивалентную электрическую схему рамочных антенн представим в виде, изображенным на рис. 7. Э.д.с., возникающая в антенной цепи:

$$U = -j\omega B S_a N_a \cos(\alpha), \quad (6)$$

где ω – циклическая частота, B – величина магнитной индукции, S_a – геометрическая площадь, N_a – число витков антенны, α – угол между нормальными к плоскостям калибровочной и приемной антенн.

Измерив коэффициент передачи по напряжению от калибровочной до приемной антенны, из формулы (6) определяем величину магнитной индукции B .

Калибровка ОНЧ-регистратора по электрической составляющей сигнала. На рис. 8 показана схема калибровки. Подача калибровочного синусоидального или шумового напряжения с генератора сигнала (ГС) на вход предварительного усилителя (ПУ) осуществляется через делитель напряжения, выполненный на резисторах R_{k1}, R_{k2} , и калибровочную емкость C_k . Эквивалентная схема калибровки антенной цепи представлена на рис. 9, а, где C_k – калибровочная емкость, C_a – емкость

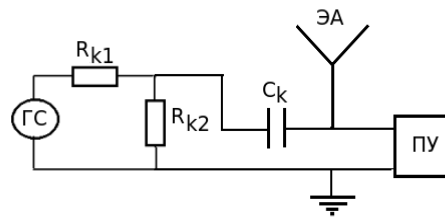


Рис. 8. Схема калибровки регистратора с применением электрической антенны

антенны, R_{pa} – входное сопротивление предварительного усилителя. При условии, когда входное сопротивление предварительного усилителя много больше емкостного сопротивления антенны $R_{pa} \gg 1/(\omega C_a)$ и емкость антенны много больше входной емкости первого каскада предварительного усилителя $C_a \gg C_{pa}$, коэффициент передачи антенной цепи

$$K_{ac} = C_k / (C_a + C_k) \quad (7)$$

Из (7) находим емкость антенны:

$$C_a = C_k(1 - K_{ac}) / K_{ac} \quad (8)$$

Если подобрать калибровочную емкость, равную емкости антенны, то $K_{ac} = 0.5$.

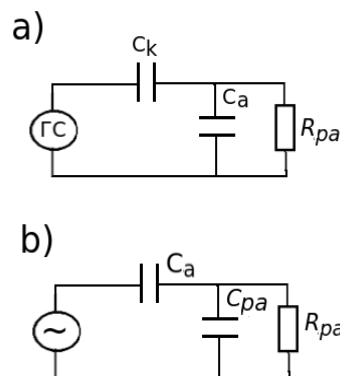


Рис. 9. Схемы антенной цепи. а) схема калибровки по электрической составляющей сигнала, б) схема антенной цепи при приеме E составляющей электромагнитного излучения

Эквивалентная схема антенной цепи при приеме электромагнитных излучений показана на рис. 9, б. Определив емкость антенны, легко рассчитать напряженность поля E , поскольку напряжение, возникающее на входе приемного тракта:

$$U_E = Eh_E K_E \quad (9)$$

где h_E – действующая высота приемной антенны, K_E – коэффициент передачи антенной цепи, определяемый по формуле:

$$K_E = Z_{pa} / (X_a + Z_{pa}). \quad (10)$$

Здесь Z_{pa} – комплексное сопротивление входной цепи ПУ, состоящее из параллельно соединенных реактивного сопротивления входной емкости и активного входного сопротивления, $X_a = 1/(j\omega C_a)$ – емкостное сопротивление антенны.

Заключение

В ИКИР ДВО РАН разработан и создан ОНЧ-регистратор для исследования электромагнитных излучений, который установлен в экспедиционном пункте «Карымшина», на Камчатке, и который позволяет проводить непрерывную запись электрических и магнитных компонент электромагнитного поля как в отдельных частотных полосах, так и широкополосных излучений в диапазоне частот до ~ 10 кГц. Применение ОНЧ-регистратора позволило исследовать различные геофизические процессы, проявившиеся в записях электромагнитных сигналов.

Список литературы/References

- [1] Руленко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф., “Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед камчатским землетрясением 13.11.1993 г. $M=7.0$ ”, *Доклады АН*, **348:6** (1996), 815. [Rulenko O.P., Druzhin G.I., Vershinin Ye.F., “Izmereniya atmosfernogo elektricheskogo polya i yestestvennogo elektromagnitnogo izlucheniya pered kamchatskim zemletryaseniym 13.11.1993 g. $M=7.0$ ”, *Doklady AN*, **348:6** (1996), 815].
- [2] Дружин Г.И., “Опыт прогноза камчатских землетрясений на основе наблюдений за электромагнитным ОНЧ излучением”, *Вулканология и сейсмология*, **6** (2002), 51–62. [Druzhin G.I., “Opyt prognoza kamchatskikh zemletryasenyiy na osnove nablyudenyiy za elektromagnitnym ONCH izlucheniym”, *Vulkanologiya i seystologiya*, **6** (2002), 51–62].
- [3] Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Дружин Г.И., Чернева Н.В., “Возможные атмосферные эффекты в нижней атмосфере по наблюдениям атмосферных радиопомех на Камчатке во время тропических циклонов”, *Геомagnetизм и астрономия*, **45** (2005), 824–839. [Mikhaylov Yu.M., Mikhaylova G.A., Kapustina O.V., Druzhin G.I., Cherneva N.V., “Vozmozhnyye atmosferynye efekty v nizhney atmosfere po nablyudenyam atmosferynykh radioshumov na Kamchatke vo vremya tropicheskikh tsiklonov”, *Geomagnetizm i aeronomiya*, **45** (2005), 824–839].
- [4] Вальков С.П., Дружин Г.И., Швецов В.Д. и др., “Аппаратура для регистрации ОНЧ излучений”, *Низкочастотные сигналы во внешней ионосфере*, ЯФ СО АН СССР, Якутск, 1976, 107–116. [Val'kov S.P., Druzhin G.I., Shvetsov V.D. i dr., “Apparatura dlya registratsii ONCH izltsucheniy”, *Nizkochastotnyye signaly vo vneshney ionosfere*, YAF SO AN SSSR, Yakutsk, 1976, 107–116].
- [5] Дружин Г.И., Уваров В.Н., Муллаяров В.А., Козлов В.И., Корсаков А.А., “Одновременные наблюдения на Камчатке и в Якутии естественного электромагнитного излучения в КНЧ-ОНЧ-диапазонах в период солнечного затмения 1 августа 2008 г.”, *Геомagnetизм и астрономия*, **50:2** (2010), 220–227. [Druzhin G.I., Uvarov V.N., Mullayarov V.A., Kozlov V.I., Korsakov A.A., “Odnovremennyye nablyudeniya na Kamchatke i v Yakutii yestestvennogo elektromagnitnogo izlucheniya v KNCH-ONCH-diapazonakh v period solnechnogo zatmeniya 1 avgusta 2008 g.”, *Geomagnetizm i aeronomiya*, **50:2** (2010), 220–227].
- [6] Victor A. Mullayarov, Gennady I. Druzhin, Vyacheslav V. Argunov, Larisa M. Abzaletdinova, Aleksande N. Mel'nikov, “Variations of VLF radio signals and atmospheric during the deep earthquake with $M = 8.2$ occurred on 24 May 2013 near Kamchatka peninsula”, *Natural Science*, **6:3** (2014), 144–149.

- [7] Жамалетдинов А.А., Шевцов А.Н., Велихов Е.П. и др., “Исследование взаимодействия электромагнитных волн КНЧ-СНЧ диапазона с земной корой и ионосферой в поле промышленных линий электропередачи (эксперимент FENICS)”, *Геофизические процессы и биосфера*, 14:2 (2015), 5–49. [Zhamaletdinov A.A., Shevtsov A.N., Velikhov Ye.P. i dr., “Issledovaniye vzaimodeystviya elektromagnitnykh voln KNCH-SNCH diapazona s zemnoy koroy i ionosferoy v pole promyshlennykh liniy elektroperedachi (eksperiment FENICS)”, *Geofizicheskiye protsessy i biosfera*, 14:2 (2015), 5–49].
- [8] Дружин Г.И., Стасий И.Е., “Связь суточных периодов Земли с рентгеновскими источниками”, *Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки*, 4 (2016), 92-98. [Druzhin G.I., Stasiy I.Ye., “Svyaz’ sutochnykh periodov Zemli s rentgenovskimi istochnikami”, *Vestnik KRAUNTS. Fiziko-matematicheskiye nauki*, 4 (2016), 92-98].

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Руленко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф. Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед камчатским землетрясением 13.11.1993 г. $M=7.0$ // Доклады АН. 1996. Т. 348. №6. С. 815.
- [2] Дружин Г.И. Опыт прогноза камчатских землетрясений на основе наблюдений за электромагнитным ОНЧ излучением // Вулканология и сейсмология. 2002. №6. С. 51–62.
- [3] Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Дружин Г.И., Чернева Н.В. Возможные атмосферные эффекты в нижней атмосфере по наблюдениям атмосферных радиошумов на Камчатке во время тропических циклонов // Геомагнетизм и аэронаомия. 2005. Т. 45. С. 824–839.
- [4] Вальков С.П. Дружин Г.И. Швецов В.Д. и др. Аппаратура для регистрации ОНЧ излучений // Низкочастотные сигналы во внешней ионосфере. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1976. С. 107-116.
- [5] Дружин Г.И., Уваров В.Н., Муллаяров В.А., Козлов В.И., Корсаков А.А. Одновременные наблюдения на Камчатке и в Якутии естественного электромагнитного излучения в КНЧ-ОНЧ-диапазонах в период солнечного затмения 1 августа 2008 г. // Геомагнетизм и аэронаомия. 2010. Т. 50. №2. С. 220–227.
- [6] Victor A. Mullayarov, Gennady I. Druzhin, Vyacheslav V. Argunov, Larisa M. Abzaletdinova, Aleksande N. Mel'nikov. Variations of VLF radio signals and atmospheric during the deep earthquake with $M = 8.2$ occurred on 24 May 2013 near Kamchatka peninsula // Natural Science. 2014. vol. 6. no. 3. pp. 144–149.
- [7] Жамалетдинов А.А., Шевцов А.Н., Велихов Е.П. и др. Исследование взаимодействия электромагнитных волн КНЧ-СНЧ диапазона с земной корой и ионосферой в поле промышленных линий электропередачи (эксперимент FENICS) // Геофизические процессы и биосфера. 2015. Т. 14. №2. С. 5–49.
- [8] Дружин Г.И., Стасий И.Е. Связь суточных периодов Земли с рентгеновскими источниками // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2016. №4(15). С. 92-98.

Для цитирования: Дружин Г.И. Пухов В.М. Санников Д.В. Малкин Е.И. Стасий И.Е. ОНЧ-регистратор для исследования естественных радиоизлучений // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2019. Т. 27. № 2. С. 105-116. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-27-2-105-116

For citation: Druzhin G. I., Pukhov V. M., Sannikov D. V., Malkin E. I., Stasiy I. E. VLF – recorder for the study of natural radio emission, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2019, **27**: 2, 105-116. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-27-2-105-116

DOI: 10.26117/2079-6641-2019-27-2-105-116

MSC 83C50

VLF – RECORDER FOR THE STUDY OF NATURAL RADIO EMISSION¹

**G. I. Druzhin, V. M. Pukhov, D. V. Sannikov,
E. I. Malkin, I. E. Stasiy**

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 684034 Russia, Kamchatka region, Elizovskiy district, Paratunka, Mirnaya str., 7.

E-mail: drug@ikir.ru

In order to study the natural noise electromagnetic radiation at the Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, a VLF-recorder was developed, created and installed in Kamchatka, in the expedition point "Karymshina". Continuous observations carried out with the help of VLF-registrator allowed to study various geophysical effects associated with the propagation of radio waves, thunderstorm activity, earthquakes, cyclones.

Key words: antenna complex, recording system, electromagnetic radiation

© Druzhin G. I. et. all, 2019

Поступила в редакцию / Original article submitted: 10.04.2019

¹This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project No. 19-05-00543, Mechanisms of thunderstorm formation in conditions of active volcanic activity on the Kamchatka Peninsula