

## Приемно-измерительный комплекс СНЧ диапазона с УКВ ретранслятором

В. Е. Пазнухов, О. В. Буданов, А. Г. Рохман, Ю. В. Аристов

*Радиоастрономический институт НАН Украины,  
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина  
E-mail: pzn@ri.kharkov.ua*

*Статья поступила в редакцию 27 марта 2009 г.*

Описана организация пункта мониторинговых исследований электромагнитного окружения Земли в СНЧ диапазоне в низкочастотной обсерватории РИ НАНУ в с. Мартовая в Харьковской области. Рассмотрены основные направления исследований в СНЧ диапазоне и требования к приемно-измерительной аппаратуре. Обоснован выбор места расположения и структуры комплекса с учетом локальных помех, характерных для СНЧ диапазона. Приведена блок-схема комплекса и краткое описание отдельных узлов. Проведено сопоставление экспериментальных данных с данными, полученными на Украинской антарктической станции “Академик Вернадский”. Показана возможность совместной обработки синхронных данных, в частности пеленгации отдельных молниевых разрядов.

### 1. Введение

Излучение глобальной грозовой активности в широкой полосе частот от долей герца до сотен килогерц формирует электромагнитный климат Земли [1, 2]. На сегодняшний день известны различные проявления влияния электромагнитных процессов на состояние атмосферной и космической погодных систем [3], биологических объектов, на психофизиологическую реакцию организма человека [4] и т. д. В настоящее время к естественному фону прибавляется существенная часть различных электромагнитных эмиссий техногенного происхождения. Среди них можно выделить локальные – высокочастотные, существенные только в ограниченном пространстве вблизи источника, и глобальные – низкочастотные, распространяющиеся вокруг Земли благодаря естественным волноводным и резонаторным структурам. В то время как первые могут моделироваться в лабораторных условиях, исследования вторых требует организации натурных полевых измерений в мо-

нитинговом режиме. Особенно интенсивные электромагнитные сигналы промышленного происхождения возникают в СНЧ диапазоне (1÷100 Гц) в связи с производством, потреблением и транспортировкой электроэнергии на частотах 50 Гц в Евразии и 60 Гц в Америке. Существенными оказываются уровни излучения на высших гармониках этих частот. Естественный фон в этом диапазоне формируется мировой грозовой активностью. Важно отметить, что в этом же интервале частот находятся биоритмы человека, проявляются предвестники и последствия землетрясений и вулканических извержений.

Начиная с 2001 г. Радиоастрономический институт НАН Украины (РИ НАНУ) принимает участие в организации и проведении мониторинговых исследований электромагнитного окружения Земли в широком частотном диапазоне в Антарктике на Украинской антарктической станции (УАС) “Академик Вернадский” (65°15' ю. ш., 64°16' з. д.) [5]. В то же время аналогичные исследования в Украине до сих пор носили эпизодический характер.

Нашей целью было создание приемно-измерительного комплекса (ПИК) для непрерывного мониторинга электромагнитных полей СНЧ диапазона на территории Украины. Основной сложностью в реализации этой задачи в промышленно развитом и густонаселенном регионе является выбор места расположения приемных антенн с низким уровнем помех и шумов техногенного происхождения. Как правило, такие условия выполняются на расстояниях не менее нескольких километров от центров энергопотребления и линий электропередач. Очевидно, что ПИК должен обладать автономной системой питания и средствами ретрансляции СНЧ сигналов в центр сбора и обработки информации. В настоящей работе описана реализация такого СНЧ комплекса в низкочастотной обсерватории (НЧО) РИ НАНУ в с. Мартова Печенежского района Харьковской области ( $49^{\circ}56'$  с. ш.,  $36^{\circ}57'$  в. д.).

## 2. Требования к пункту СНЧ мониторинга

Весь комплекс задач по исследованию СНЧ электромагнитного поля можно условно разделить на следующие части. Во-первых, исследование глобальной грозовой активности и параметров резонатора Земля – ионосфера, восстановление средней динамики источников, а также особенностей распространения СНЧ полей. Подход к решению этого класса задач подробно описан в [1, 5]. Основной интерес здесь представляют усредненные суточные и сезонные вариации параметров электромагнитного поля. Следовательно, проводимые измерения должны носить регулярный, а лучше и непрерывный характер. Результаты измерений и их обработки должны сводиться в единую базу данных, что позволит оценивать долговременные изменения представляющих интерес параметров ионосферы и источников излучения.

Второй перспективной задачей является исследование откликов глобального резонатора на отдельные краткосрочные события: мощные молниевые разряды, высыпания энергичных частиц в высоких широтах, солнечные

вспышки, затмения, землетрясения, запуски ракет и т. д. Особый интерес здесь представляет сопоставление результатов наблюдений, проводимых в разных точках земного шара. В качестве примера можно упомянуть работы по локации молний по всплескам СНЧ излучения [6, 7]. Важными критериями качества измерений в этом случае являются точность временной привязки записей и динамический диапазон измерений.

В отдельную задачу можно выделить исследование техногенных сигналов, в том числе вариации параметров излучения линий электропередач, мощных центров генерирования и потребления электроэнергии. Такие исследования проводились на УАС и описаны в [2].

Важнейшим требованием к качеству измерений является отсутствие в пункте приема локальных помех. Помехи, наблюдаемые в СНЧ диапазоне, можно разделить на узкополосные – в основном наводки от электросети на основных гармониках 50 и 60 Гц, и импульсные – широкополосные сигналы, занимающие весь диапазон шумановского резонатора. Сетевая наводка довольно стабильна по частоте и превосходит уровень наблюдаемых модов шумановского резонанса, поэтому ее влияние на качество записей можно снижать, повышая динамический диапазон приемных устройств, либо с помощью аналоговой фильтрации сигналов.

К широкополосным помехам в низкочастотной части диапазона относятся ветровые и вибрационные помехи, которые определяются особенностями конструкции датчиков СНЧ поля и локальными метеорологическими условиями, а также ближние грозы и, самое главное, фон индустриального происхождения, создаваемый работающим электрооборудованием. Уровень техногенного шума высок в городах, населенных пунктах, вблизи промышленных объектов и снижается по мере удаления от них. Вибрационные помехи можно уменьшать, применяя специальные методы установки и крепления приемных антенн, а также используя корреляционную обработку сигналов, поступающих с датчиков различных конструкций [8]. Борьба с техногенным шумом сводится к удалению приемной аппаратуры на определенное расстояние от его источников.

Сотрудники РИ НАНУ ведут теоретические и экспериментальные исследования в СНЧ диапазоне уже более 40 лет. Разработаны различные модели шумановского резонатора и источников его возбуждения [1]. В области экспериментальных исследований проведено множество измерительных кампаний, накоплен большой опыт в изготовлении приемной аппаратуры и обработке полученных результатов. На начальном этапе исследований осуществлялись измерения вертикальной электрической компоненты СНЧ поля, в том числе одновременно в нескольких далеко разнесенных приемных пунктах: Харьков – Иркутск и Североморск – Карадаг (Крым). По результатам таких кампаний проводились оценки собственных частот и добротностей шумановского резонатора, функции ослабления сигналов, вариаций пространственной разности фаз на резонансных частотах.

В конце 70-х гг. в с. Мартовя Печенежского района Харьковской области организована НЧО РИ НАНУ. Она оборудована всеми необходимыми системами обеспечения жизнедеятельности (жилимыми и лабораторными помещениями, электроснабжением, автономным отоплением, системами связи), а также укомплектована квалифицированным техническим персоналом. Ее основное назначение состоит в проведении полевых испытаний приемных СНЧ комплексов, различных типов приемных антенн и апробации разных систем регистрации, архивирования и обработки сигналов. В настоящее время НЧО дооснащена постоянно действующими системами метеорологического и магнитометрического мониторинга УНЧ диапазона на базе станции ЛЕМИ-017, приемником точного времени ГНСС и телескопом-детектором космических лучей. Информационные выходы всех комплексов подключены к локальной компьютерной сети, которая обеспечена системой передачи данных в РИ НАНУ по сети Интернет.

Помеховая обстановка в самой обсерватории позволяет получать качественные записи вертикальной электрической компоненты СНЧ поля. Однако для регистрации горизонтальных магнитных компонент помеховые условия значительно хуже. Уровни “полезных” сигналов естественного происхождения значительно

уступают локальным широкополосным помехам, обусловленным интенсивными застройками вблизи НЧО, наличием большого числа энергопотребителей и линий электропередач. Так к 1998 г. качественные записи магнитных компонент поля можно было получить только во время отключений электроснабжения в с. Мартовя. В последние несколько лет были проведены специальные рекогносцировочные измерения в окрестности с. Мартовя в радиусе от 1 до 5 км. Для этих целей был создан мобильный измерительный магнитометрический СНЧ комплекс с автономным энергоснабжением. В результате таких измерений было установлено, что удаления магнитных антенн на расстояние примерно 2 км от населенного пункта достаточно для существенного ослабления техногенных помех. Особенно эффективным оказалось вынесение приемных антенн на противоположный (правый) берег Печенежского водохранилища, на левом берегу которого находится с. Мартовя и НЧО. Отсутствие локальных потребителей электроэнергии и наличие естественной водной преграды существенно уменьшают пространственные “наводки” и гальванические земные токи (токи утечки) сетей электроснабжения. Очевидно, что выездные измерительные кампании с использованием автономных источников электропитания и проживанием персонала в полевых условиях, особенно в зимнее время, представляют значительную сложность для реализации мониторингового режима СНЧ измерений. В этой связи для организации пункта СНЧ мониторинга было решено:

а) датчики магнитного поля – магнитные антенны – разместить в вынесенном автономном пункте с низким уровнем техногенных помех;

б) приемно-регистрирующую аппаратуру, датчик электрического поля и компьютерную систему архивирования и обработки данных расположить непосредственно в НЧО;

в) для передачи данных между автономной частью ПИК и остальной аппаратурой использовать УКВ ретрансляционный радиоканал.

Конечно, для реализации такой двухпозиционной схемы СНЧ ПИК необходимо минимизировать энергозатраты в выносном пункте.

### 3. Состав комплекса

Рассмотрим подробнее структуру ПИК. Комплекс состоит из двух частей – автономной, выполняющей прием и оцифровку горизонтальных магнитных компонент естественного СНЧ поля, и пункта регистрации непосредственно в НЧО, в котором регистрируется вертикальная электрическая компонента, принимаются данные от автономной части, а также проводится их компьютерная обработка и архивирование данных. Блок-схема комплекса приведена на рис. 1.

Для установки автономной части комплекса выбрано место на расстоянии 2.5 км от НЧО на противоположном берегу Печенежского водохранилища. Индукционные датчики магнитного поля – магнитные антенны (МА) – представляют собой соленоиды с пермаллоевыми сердечниками, содержащие по 30 000 витков провода, для герметичности и снижения наводок помещенные в металлические тубусы. Кроме основной обмотки МА содержат калибровочные катушки для проверки и настройки приемной аппаратуры. Для устранения вибрационных помех и климатических воздействий

антенны закопаны в землю на глубину 1.5 м. Магнитные датчики сориентированы по направлениям “север – юг” и “восток – запад”. В непосредственной близости от антенн расположены малошумящие антенные усилители (АУ), обеспечивающие предварительное усиление сигналов и формирование горизонтальной АЧХ в полосе  $1 \div 300$  Гц. Коэффициент преобразования напряженности магнитного поля антенн с антенными усилителями составляет 70 мВ/нТл. Далее фильтр нижних частот 8-го порядка (ФНЧ) и переходные конденсаторы выделяют в сигнале частотную полосу  $3 \div 40$  Гц. Предусмотрена также возможность установки режекторных фильтров (Р) для подавления сетевой помехи 50 Гц.

Оцифровка сигналов производится в блоке АЦП и формирования последовательного кода. Он включает в себя два 16-разрядных интегральных АЦП AD7684 и микроконтроллер, управляющий процессом оцифровки и формирующий пакеты данных для передачи в пункт регистрации. Структура пакетов является стандартной для последовательной передачи данных. Управляющая программа обеспечивает оцифровку сигналов по двум каналам

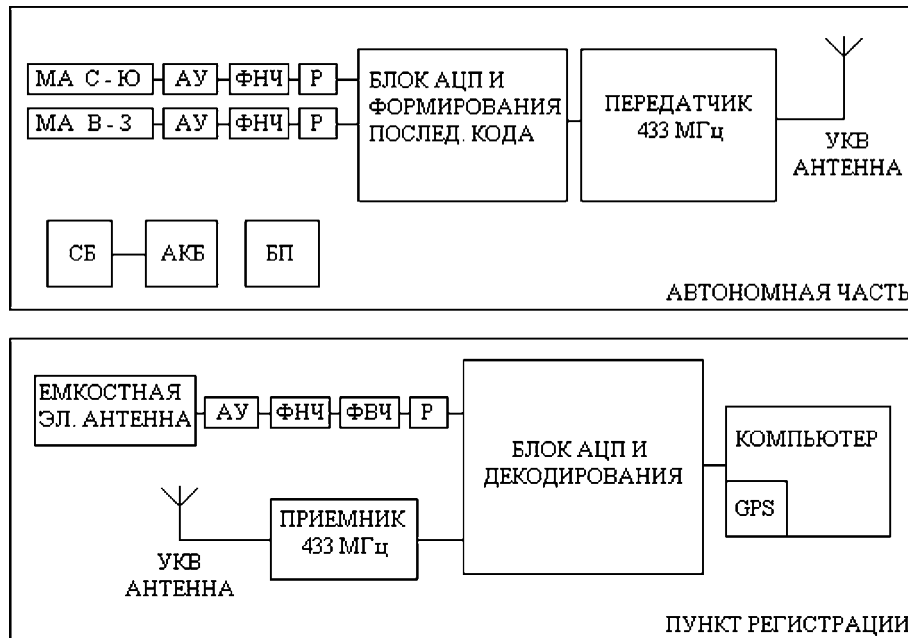


Рис. 1. Блок-схема ПИК

с темпом 125 Гц и выдачу последовательного кода на УКВ передатчик со скоростью 19.2 кБод. Дважды в сутки производится контроль температуры и напряжения питания аппаратуры и перезагрузка управляющей программы. В это время в пункте регистрации открывается новый файл с данными и время компьютера подстраивается по сигналам системы GPS.

Питание автономной части комплекса осуществляется от блока питания (БП) микро-мощным стабилизатором напряжения (БП) и аккумуляторной батареей (АКБ). По мере разрядки батарея требует подзарядки или замены, что довольно неудобно, особенно в зимнее время. Поэтому существенным требованием к аппаратуре является минимальный ток потребления. Исходя из этого выбирались элементная база и режимы работы аппаратуры. Для продления срока автономной работы АКБ была смонтирована солнечная батарея (СБ), обеспечивающая ток подзарядки аккумулятора до 100 мА в дневное время суток.

Для передачи информации от автономной части ПИК к пункту регистрации используется УКВ радиоканал, работающий в диапазоне 430 МГц в режиме с частотной манипуляцией (FSK). В пробной модели комплекса использовался ретранслятор, работающий в диапазоне 27 МГц. Он оказался вполне работоспособным, однако диапазон 430 МГц имеет ряд серьезных преимуществ. Во-первых, он менее “зашумлен”, и, главное, для диапазона 430 МГц можно изготовить остронаправленные антенные системы, что в условиях прямой видимости позволяет получить более устойчивую связь при минимальной мощности передатчика. При разработке УКВ ретранслятора основное внимание было уделено минимизации тока, потребляемого автономной частью комплекса. Поэтому приемопередающая УКВ аппаратура была разработана и изготовлена на микросхемах фирмы ANALOG DEVICES, имеющих достаточно низкое энергопотребление. Передатчик выполнен на микросхеме ADF7011. Микросхема предоставляет возможность широкого выбора вариантов в настройке несущей частоты, выходной мощности и режимов модуляции. Управление микросхемой осуществляется по последователь-

ному интерфейсу с помощью микроконтроллера Atmega 8l. Выходной сигнал передатчика через согласующие цепи по коаксиальному кабелю подается на передающую УКВ антенну, которая представляет собой синфазную двухэлементную решетку вертикальной поляризации. В качестве излучателей в решетке использованы пятиэлементные антенны типа “волновой канал”. УКВ антенна поднята на высоту 7 м над поверхностью земли. Пробные эксперименты показали, что для устойчивой передачи данных в НЧО достаточно мощности передатчика 1 мВт. Общий ток потребления автономной части комплекса при этом составляет 40 мА, что в 5 раз меньше, чем при использовании радиоканала в диапазоне 27 МГц.

Вторая часть комплекса (пункт регистрации) выполняет прием данных от автономной части, измерение и оцифровку вертикальной электрической компоненты поля и передачу данных в компьютер. Программное обеспечение проводит архивацию данных, их предварительную обработку и временную синхронизацию записей по шкале времени UTC с помощью системы GPS.

Приемная УКВ антенна – четырехэлементная синфазная решетка из пятиэлементных “волновых каналов”, аналогичных используемым на передающей антенне. Для компенсации потерь в кабеле снижения использован антенный усилитель SWA1LUX, применяющийся в приемных телевизионных антеннах. Приемник диапазона 430 МГц выполнен на микросхеме ADF7020. Управление приемником осуществляется микроконтроллером Atmega 8l. С выхода приемника пакеты данных от автономной части комплекса поступают на блок АЦП и декодирования.

Емкостным датчиком вертикальной электрической компоненты СНЧ поля является проволочный шар диаметром 1 м, закрепленный на изоляторе на высоте 12 м над землей. Возможно применение и антенн других конструкций, например, горизонтального металлического провода. Сигнал с электрической антенны проходит через антенный усилитель (АУ) с высоким входным сопротивлением (4 МОм), фильтры высоких (ФВЧ) и низких (ФНЧ) частот, формирующие полосу  $3 \div 40$  Гц,

и фильтр-режектор (Р), настроенный на частоту 50 Гц. В комплексе предусмотрен еще один идентичный аналоговый канал для регистрации электрической компоненты дополнительным датчиком.

Наиболее сложной частью комплекса является блок АЦП и декодирования. В его состав входят две микросхемы АЦП AD7684 и управляющий микроконтроллер Atmega 8515, запрограммированный на проверку целостности пакетов данных, полученных по радиоканалу, их декодирование, управление процессом аналогово-цифрового преобразования сигналов электрической компоненты и передачу данных в компьютер через параллельный порт.

В состав ПИК входит также компьютер на основе процессора Intel Celeron 566 МГц с установленной платой GPS приемника. Программное обеспечение производит считывание данных с LPT порта, их визуализацию, вычисление текущих энергетических спектров, сохранение данных на диске, подстройку шкалы времени к UTC, а также вывод на экран служебной информации (напряжение аккумулятора и температура в блоке аппаратуры автономной части ПИК). В течении суток регистрирующая программа формирует 2 файла с данными размером по 41 Мб и текстовые файлы, содержащие информацию о ходе измерений и работе аппаратуры (для определения причин и характера возможных сбоев).

#### **4. Результаты предварительных измерений и обработка данных**

ПИК в его современном составе введен в эксплуатацию в октябре 2007 г. Запись данных ведется до настоящего времени с перерывами на ремонт и профилактику аппаратуры.

Обслуживание ПИК сводится к контролю степени заряда аккумулятора в автономной части комплекса, своевременной замене (подзарядке) аккумулятора, а также считыванию данных с регистрирующего компьютера для последующей обработки. До октября 2008 г. для питания аппаратуры автономной части комплекса использовались стартерные свинцово-кислотные батареи 6СТ60, 6СТ75 и 6СТ90.

Практика показала, что при полном заряде батареи продолжительность работы не превышает месяца, вне зависимости от емкости АКБ. Это объясняется высокой скоростью саморазряда стартерных аккумуляторов. Для более длительной работы необходимо использовать специальные батареи с малым током саморазряда, предназначенные для питания автономных систем сравнительно небольшими токами. В октябре 2008 г. в автономную часть комплекса установлен аккумулятор Sprinter 6V2030 емкостью 192 А · ч, выполненный по технологии AGM (свинцово-кислотный с электролитом в связанном состоянии). Теперь ожидаемое время автономной работы составляет более четырех месяцев.

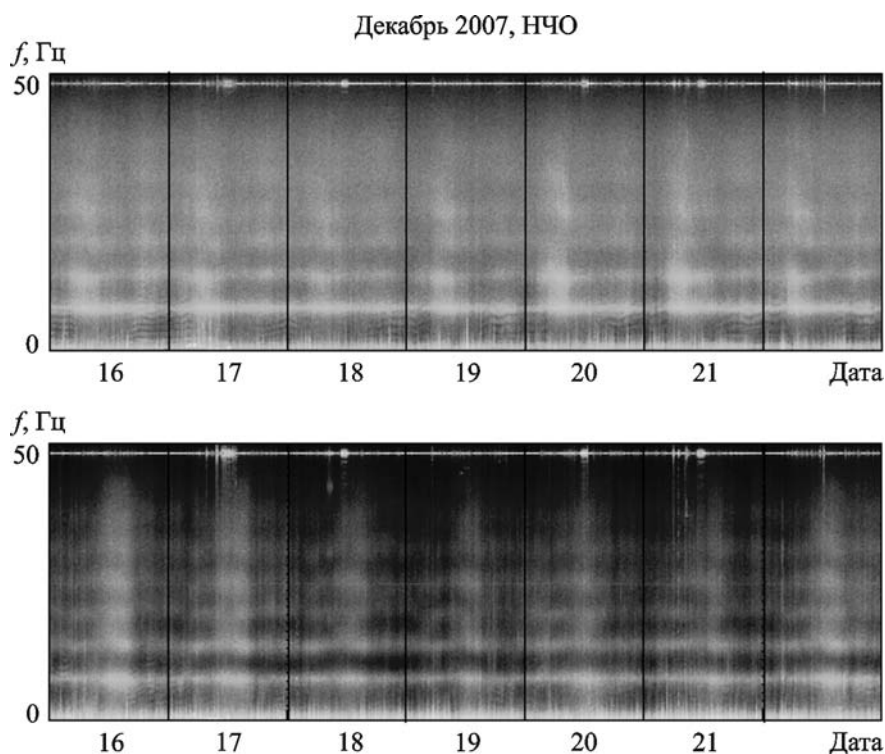
К недостаткам в работе комплекса можно отнести сильную подверженность датчика электрического поля помехам, обусловленным ветром и интенсивными осадками. В этом случае низкочастотный шум практически полностью “замывает” полезный сигнал. Эпизодически также возникают помехи (шумы) в радиоканале ретранслятора, хотя они не оказывают практически никакого влияния на качество записи в целом.

Первичная обработка полученных данных сводится к формированию суточных файлов в формате, принятом на УАС [5]. Для преобразования форматов данных и контроля правильности временной привязки записей разработаны специальные прикладные программы.

Предварительная обработка данных включает в себя получение спектральных и поляризационных характеристик СНЧ излучения. Параметры глобальных источников СНЧ поля (мировых грозных центров) и свойства ионосферы напрямую связаны с солнечной активностью и, следовательно, имеют суточный и годичный циклы. Для наглядности результаты обработки удобно представлять в виде суточных вариаций (единичных либо усредненных за месяц, сезон и т. д.) параметров поля. За время эксплуатации ПИК на УАС (2001 – 2008 гг.) были наработаны методики обработки и представления получаемых данных [2]. Так, суточные реализации сигналов разбиваются на 144 десятиминутных интервала, для которых вычисляются усредненные энергетические и взаим-

ные спектры с частотным разрешением 0.1 Гц. По спектрам рассчитываются суточные вариации резонансных частот и поляризационных параметров. Энергетические спектры удобно представлять в виде суточных спектрограмм сигналов, принятых двумя магнитными антеннами. Спектрограммы позволяют легко оценивать динамику и особенности поведения СНЧ электромагнитного излучения в течении суток, наличие, число и интенсивность модов шумановских резонансов, присутствие помех, их интенсивность и полосу частот, наличие резонансных структур в верхней части диапазона альфвеновского ионосферного резонатора, а также временные зависимости всех перечисленных параметров. Поляризационные характеристики: коэффициент эллиптичности, позиционный угол, степень поляризации и полная интенсивность магнитного поля, – приводятся в виде усредненных за месяц суточных вариаций.

В качестве примера рассмотрим результаты обработки данных из НЧО за декабрь 2007 г. и сопоставим их с результатами, полученными в тот же период времени в Антарктике на УАС. Спектрограммы СНЧ сигналов, зарегистрированных в период с 16 по 22 декабря в НЧО приведены на рис. 2. В спектрах наблюдаются до пяти резонансных модов. Ежедневно на верхней спектрограмме (антенна “север-юг”) устойчиво присутствуют два максимума интенсивности около 9:00 и 21:00 UT, что соответствует пикам активности азиатского и американского мировых грозных центров, на нижней спектрограмме (антенна “восток-запад”) максимум расположен около 15:00 UT, ему соответствует пик активности африканского грозного центра. На спектрограммах отчетливо проявляется локальная сетевая наводка 50 Гц. Она стабильна по частоте, а по интенсивности сравнима с уровнем естественного поля. На аналогичной спектрограмме для дан-



**Рис. 2.** Спектрограммы сигналов горизонтальных магнитных компонент СНЧ поля, зарегистрированных в период с 16 по 22 декабря 2007 г. в НЧО антеннами “север-юг” (верхняя панель) и “восток-запад” (нижняя панель)

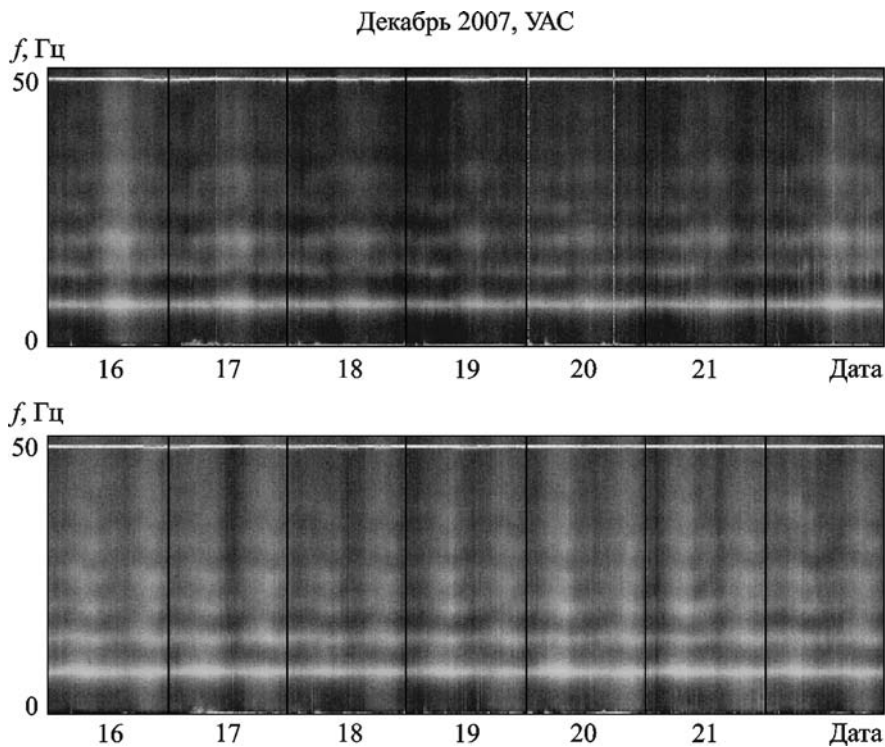
ных, полученных на УАС, (рис. 3) видно, что максимумы интенсивности сигнала от азиатского и американского грозовых центров регистрируются антенной “восток-запад”, а африканского – антенной “север-юг”. Различие в поведении суточных максимумов интенсивности на рис. 2 и рис. 3 объясняется взаимным расположением источников (центров грозовой активности) и пунктов приема.

Оценим влияние помех на качество записей в обоих приемных пунктах. Антарктический регион считается наименее “загрязненным” помехами техногенного происхождения. Однако на УАС приемные антенны расположены сравнительно недалеко (около 500 м) от дизель-генератора, обеспечивающего жизнедеятельность станции. В то же время в Антарктике нет локальной грозовой активности, крупных потребителей электроэнергии и т. п.

Уровень сетевой наводки меняется в течении суток, поэтому сравним среднемесячные

отношения уровня наводки 50 Гц к уровню первого резонансного мода. На УАС это отношение составляет  $\approx 80$ , а в НЧО всего лишь около 20. Кроме того, в диапазон ПИК на УАС ( $3 \div 300$  Гц) попадают третья и пятая гармоники сети, 150 и 250 Гц, сравнимые по уровню с первой. Таким образом, влияние сетевых наводок на качество записи в НЧО существенно меньше, чем на УАС.

Для грубой оценки влияния широкополосного шума рассмотрим отношение уровня первого резонансного мода в полосе 1 Гц к уровню спектральной мощности сигнала в этой же полосе в минимуме между первым и вторым модами. Это отношение, естественно, меняется во времени, поэтому возьмем среднее за месяц значение. За рассматриваемый период для НЧО это отношение составляет 2.8, а для УАС примерно 4. Эти оценки сопоставимы. В целом же качество записей, получаемых в НЧО, вполне сравнимо



**Рис. 3.** Спектрограммы сигналов горизонтальных магнитных компонент СНЧ поля, зарегистрированных в период с 16 по 22 декабря 2007 г. на УАС антеннами “север-юг” (верхняя панель) и “восток-запад” (нижняя панель)



с качеством записей в электромагнитно чистом регионе Антарктики.

Рассмотрим также усредненные вариации поляризационных параметров, рассчитанные по данным, полученным на УАС и в НЧО. На рис. 4. приведены полная интенсивность поля  $I$ , степень поляризации  $P$ , коэффициент эллиптичности  $r$  и позиционный угол  $\Psi$  эллипса поляризации, вычисленные на частоте первого резонансного мода.

В качестве примера совместной обработки приведем пеленгацию одиночного молниевое разряда по данным, полученным одновременно в НЧО и на станции “Академик Вернадский”. На рис. 5 показан фрагмент записи длительностью 4 с, полученной 1 декабря 2007 г. Мощный всплеск СНЧ излучения синхронно отмечен в обоих пунктах наблюдения. Применяв методику вычисления направления на источник, подробно описанную в [3], определим значения позиционных углов для обоих пунктов. Они составили  $16.8^\circ$  для УАС и  $32.2^\circ$  для НЧО. Направление на источник перпендикулярно позиционному

углу (позиционный угол отсчитывается от направления на север к востоку). Отметив направления на карте, получим 2 места вероятного расположения одиночного молниевое разряда. Одно из них – в юго-восточном регионе Тихого океана, второе – в Центральной Азии (см. рис. 6). Неоднозначность определения локализации источника, возможно, удастся устранить, включив в обработку вертикальную электрическую компоненту поля, синхронно регистрируемую в НЧО.

### 5. Заключение

Таким образом, в Радиоастрономическом институте НАН Украины создан и апробирован ПИК для регистрации в мониторинговом режиме электромагнитных полей СНЧ диапазона с системой ретрансляции сигналов по УКВ радиоканалу. Проведена предварительная спектральная и поляризационная обработка полученных записей сигналов. Сравнительный анализ результатов измерений с данными, зарегистрированными на УАС, подтвердил

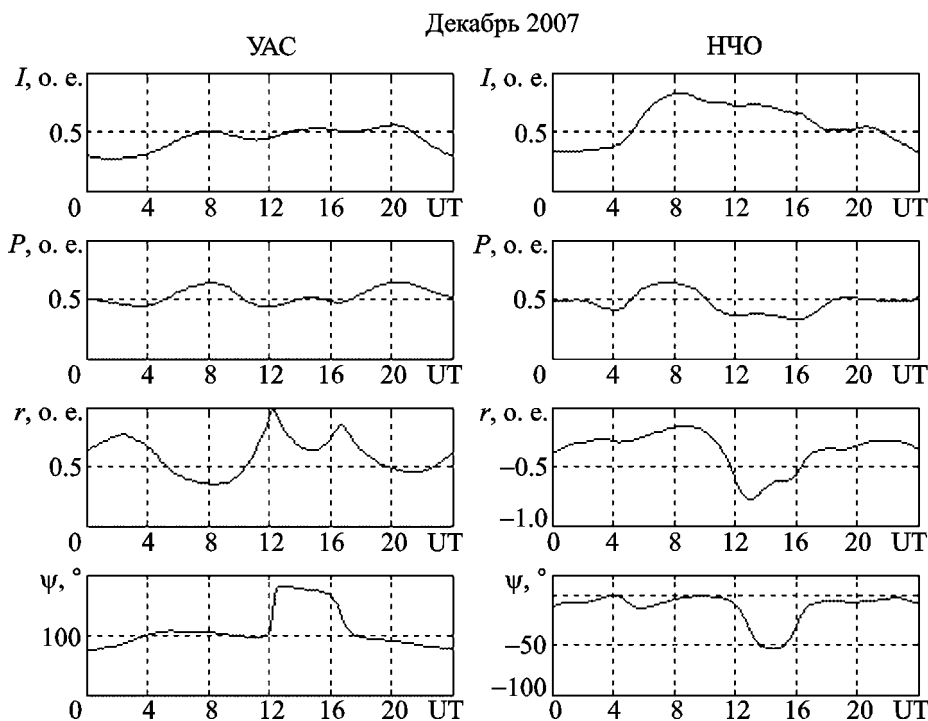
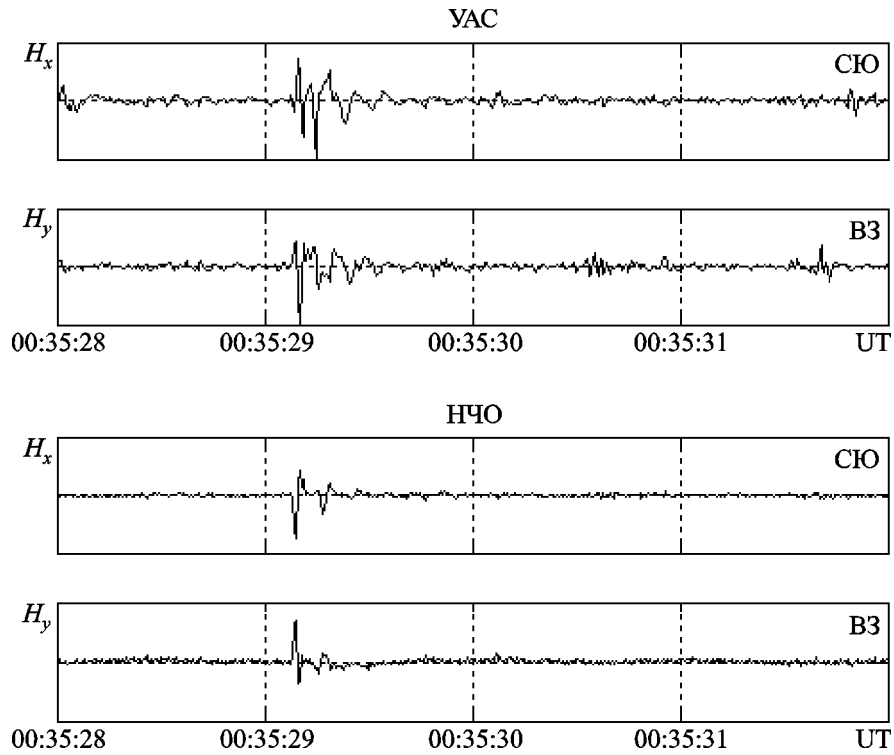
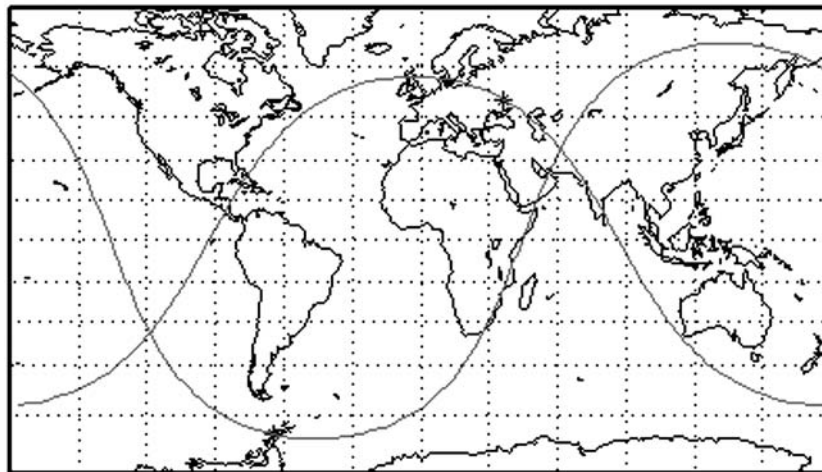


Рис. 4. Суточные вариации поляризационных параметров СНЧ поля, усредненные за декабрь 2007 г.



**Рис. 5.** Фрагмент синхронных записей сигналов магнитных компонент поля с мощным СНЧ всплеском, принятых 1 декабря 2007 г. на УАС и в НЧО антеннами “север-юг” (СЮ) и “восток-запад” (ВЗ)



**Рис. 6.** Пеленги источника СНЧ всплеска

хорошее качество получаемых в НЧО записей, принципиальную возможность идентификации всплесков СНЧ излучения, локацию их источников, а также возможность системати-

ческого синхронного мониторинга глобальной грозовой активности двумя разнесенными на значительное расстояние установками в Антарктике и в Украине.

Авторы работы благодарны А. А. Гридину за помощь в разработке антенных систем УКВ ретранслятора, А. В. Колоскову за участие в обработке антарктических СНЧ данных, а также проф. Ю. М. Ямпольскому за полезные советы по подготовке статьи.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке в рамках НИР “Оточення” по Целевой программе НАН Украины “ГЕО-UA”, а также НИР “Резонанс-2006” НАНЦ МОНУ.

### Литература

1. Блюх П. В., Николаенко А. П., Филиппов Ю. Ф. Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земли – ионосфера. – Киев: Наукова думка, 1977. – 200 с.
2. Безродный В. Г., Буданов О. В., Колосков А. В., Ямпольский Ю. М. Электромагнитное окружение Земли в СНЧ диапазоне // Космична наука і технологія. – 2003. – Т. 9, №5/6. – С. 117-123.
3. Ямпольский Ю. М., Зализовский А. В., Занимонский Е. М., Лизунов Г. В., Лисаченко В. Н. Связь атмосферной и космической погодных систем // Космична наука і технологія. – 2008. – Т. 14, № 5. – С. 6-36.
4. Литвиненко Л. Н., Аристов Ю. В., Блюх П. В., Буданов О. В., Лазебный Б. В., Пазнухов В. Е., Рохман А. Г., Сухоруков В. И., Сербиненко И. А., Забродина Л. П. Влияние сверхнизкочастотных электромагнитных полей на биоэлектрическую активность головного мозга // Радиофизика и радиоастрономия. – 1998. – Т. 3, №3. – С. 312-319.
5. Колосков А. В., Безродный В. Г., Буданов О. В., Пазнухов В. Е., Ямпольский Ю. М. Поляризационный мониторинг шумановских резонансов в Антарктике и восстановление характеристик мировой грозовой активности // Радиофизика и радиоастрономия. – 2005. – Т. 10, №1. – С. 11-29.
6. Колосков А. В., Буданов О. В., Безродный В. Г., Ямпольский Ю. М. Определение положения сверхмощных молниевых разрядов на основе поляризационных магнитных измерений в диапазоне шумановских резонансов // Радиофизика и радиоастрономия. – 2004. – Т. 9, №4. – С. 391-403.
7. Аристов Ю. В., Блюх П. В., Буданов О. В., Лазебный Б. В., Пазнухов В. Е., Рохман А. Г. Однопунктовая локация мощных грозовых разрядов по всплескам СНЧ шума // Радиофизика и радиоастрономия. – 1999. – Т. 4, №2. – С. 153-159.
8. Аристов Ю. В., Лазебный Б. В., Пазнухов В. Е., Рохман А. Г. Подавление локальных помех при наблюдении шумановских резонансов // Радиофизика и радиоастрономия. – 1998. – Т. 3, №1. – С. 33-36.

### Приймально-вимірювальний комплекс ННЧ діапазону з УКХ ретранслятором

**В. С. Пазнухов, О. В. Буданов, А. Г. Рохман, Ю. В. Аристов**

Описано створення пункту моніторингових досліджень електромагнітного довкілля Землі в ННЧ діапазоні в низькочастотній обсерваторії РІ НАНУ в с. Мартова у Харківській області. Розглянуто основні напрямки досліджень у ННЧ діапазоні та вимоги до приймально-вимірювальної апаратури. Обґрунтовано вибір місця розташування та структури комплексу з урахуванням локальних завад, притаманних ННЧ діапазону. Наведено блок-схему комплексу та короткий опис окремих вузлів. Експериментальні дані співставлено з даними, отриманими на Українській антарктичній станції “Академік Вернадський”. Показано можливість сумісної обробки синхронних даних, зокрема пеленгації окремих блискавок.

### ELF Receiving Complex with VHF Retransmitter

**V. E. Paznukhov, O. V. Budanov, F. G. Rokhman, and Yu. V. Aristov**

The creation of a receive site intended for monitoring the Earth's electromagnetic environment in the ELF range in the village of Martova, Kharkiv region is described. The major topics of the current research in the ELF range and requirements for experimental facilities are discussed. The selection of the receive site location and the specific structure of the receiving complex chosen to account for the local interferers typical of the ELF range are motivated. The functional diagram of the receiving complex and brief description of its major units are given. The quality of the experimental data collected at the new receive site is compared to those recorded at the Ukrainian Antarctic Station “Akademik Vernadsky”. Simultaneous synchronous data processing from the two sites, e. g. locating lightning strokes, is shown possible.