



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2009148713/28**, **11.06.2008**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**11.06.2008**

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
**11.06.2007 PL P382624**  
**30.05.2008 PL P385320**(43) Дата публикации заявки: **20.07.2011** Бюл. № 20(45) Опубликовано: **20.12.2012** Бюл. № 35(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2188439 C2**, **27.08.2002**. **RU 2230336 C2**, **10.06.2004**. **RU 2253133 C2**, **27.05.2005**. **EP 0000706060 B1**, **05.12.2001**. **US 0006278947 B1**, **21.08.2001**.(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: **11.01.2010**(86) Заявка РСТ:  
**IB 2008/052296 (11.06.2008)**(87) Публикация заявки РСТ:  
**WO 2008/152587 (18.12.2008)**Адрес для переписки:  
**123242, Москва, Кудринская пл., 1, а/я 35,**  
**"Михайлюк, Сороколат и партнеры-**  
**патентные поверенные"**

(72) Автор(ы):

**КУЛЯК Анджей (PL),**  
**КУБИШ Ежий (PL),**  
**МИЦЕК Станислав (PL),**  
**МИХАЛЕЦ Адам (PL),**  
**НЕЦКАЖ Зенон (PL),**  
**ОСТРОВСКИЙ Михал (PL),**  
**ЗЕБА Станислав (PL)**

(73) Патентообладатель(и):

**УНИВЭРСЫТЭТ ЯГЭЛЛОНСКИ (PL)****(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

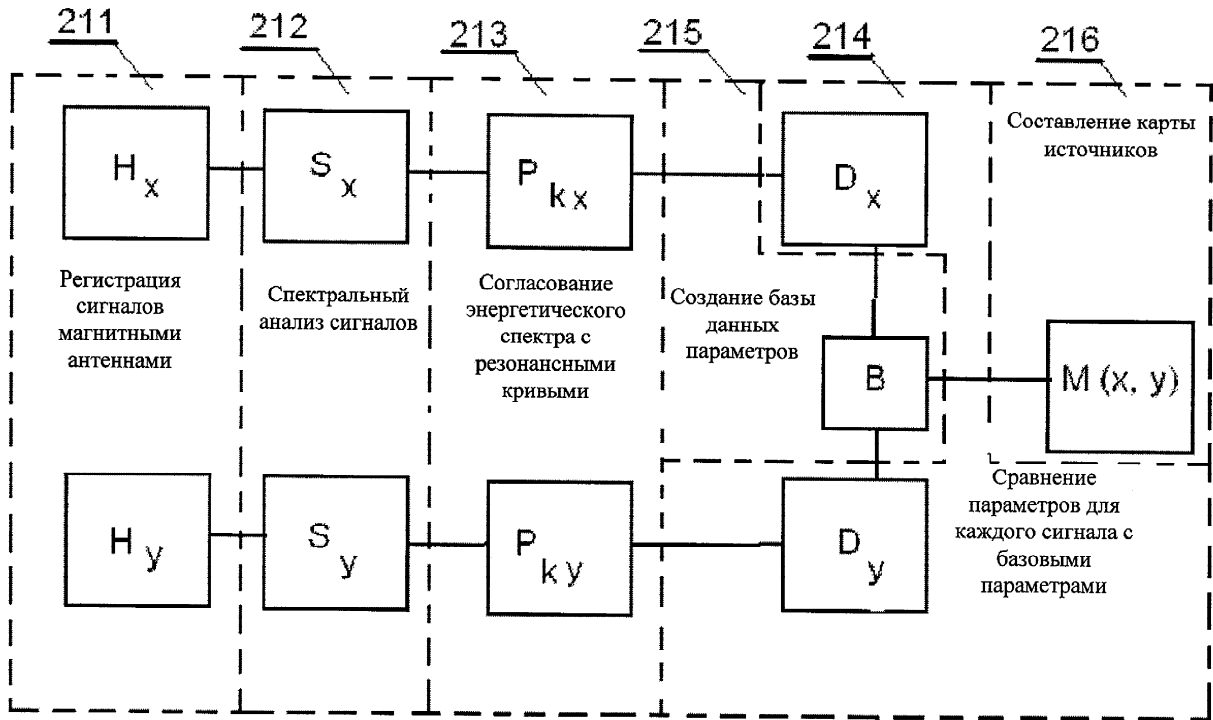
(57) Реферат:

Способ включает в себя регистрацию сигналов КНЧ-электромагнитного поля, создаваемых искровыми электрическими разрядами и индуцируемыми в резонаторе Земля-ионосфера. Сигналы подвергаются спектральному анализу на основе моделей распространения резонансов КНЧ-поля в полости Земля-ионосфера. В результате спектрального анализа выделяются характеристики, зависящие от расстояния и

интенсивности искровых электрических разрядов, которые затем сравниваются с параметрами базы данных модели. Данные модели, выбранные как наилучшее приближение, позволяют воссоздать местоположение и интенсивность искровых электрических разрядов. Устройство, позволяющее воссоздавать местоположение и интенсивность искровых электрических разрядов, оснащено двумя индуктивными магнитными антеннами ( $A_x$ ,  $A_y$ ),

перпендикулярными одна другой и расположенными вдоль направлений север-юг и восток-запад на земной поверхности или близко к поверхности под землей. Антенны ( $A_x$ ,  $A_y$ ) соединены экранированными проводами с блоком, регистрирующим сигналы наблюдения. Блок содержит по два идентичных тракта сигнала, усилителя ( $G_x$  и  $G_y$ ), фильтра ( $BPF_x$ ,  $BPF_y$ ), аналого-цифровых преобразователя ( $A/C_x$ ,  $A/C_y$ ), а также модуль

управления ( $\mu P$ ). Сигналы передаются в электронный управляющий модуль ПК, запрограммированный для выполнения алгоритмов спектрального анализа КНЧ-сигналов и определения характеристик, зависящих от расстояния до источника и его интенсивности. Техническим результатом является разработка способа и устройства для глобального мониторинга штормовой активности на всей поверхности Земли. 2 н. и 6 з.п. ф-лы, 6 ил.



Фиг. 2

RU 2470332 C2

RU 2470332 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2009148713/28, 11.06.2008**(24) Effective date for property rights:  
**11.06.2008**

Priority:

(30) Convention priority:  
**11.06.2007 PL P382624**  
**30.05.2008 PL P385320**(43) Application published: **20.07.2011 Bull. 20**(45) Date of publication: **20.12.2012 Bull. 35**(85) Commencement of national phase: **11.01.2010**(86) PCT application:  
**IB 2008/052296 (11.06.2008)**(87) PCT publication:  
**WO 2008/152587 (18.12.2008)**

Mail address:

**123242, Moskva, Kudrinskaja pl., 1, a/ja 35,  
"Mikhajljuk, Sorokolat i partnery-patentnye  
poverennye"**

(72) Inventor(s):

**KULJaK Andzhej (PL),  
KUBISh Ezhij (PL),  
MITsEK Stanislav (PL),  
MIKhALETs Adam (PL),  
NETsKAZh Zenon (PL),  
OSTROVSKIJ Mikhal (PL),  
ZEBA Stanislav (PL)**

(73) Proprietor(s):

**UNIVeHRSYTEhT JaGEhLLONSKI (PL)****(54) METHOD AND DEVICE TO MONITOR THUNDERSTORM ACTIVITY ON EARTH SURFACE IN REAL TIME MODE**

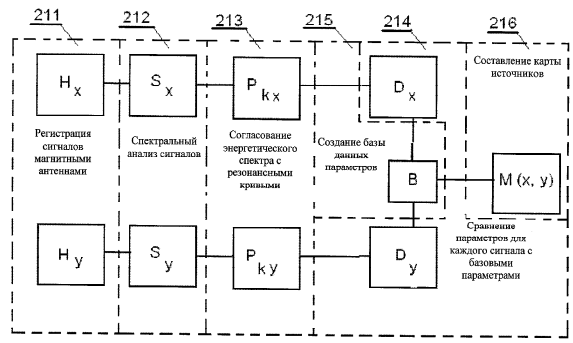
(57) Abstract:

FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: method includes registration of signals of an extremely low frequency electromagnetic field generated by spark electric discharges and induced in a resonator Earth-ionosphere. Signals are exposed to spectral analysis based on models of extremely low frequency field resonances spreading in the cavity of Earth-ionosphere. As a result of spectral analysis, characteristics are identified, which depend on distance and intensity of spark electric discharges, which are then compared to parameters of the model data base. These models selected as best approximation make it possible to restore location and intensity of spark electric discharges. A device making it possible to restore location and intensity of spark electric discharges is equipped with two

inductive magnetic antennas ( $A_x$ ,  $A_y$ ), perpendicular one to the other and arranged along directions of north-south and east-west on the earth surface or closely to the surface under the earth. Antennas ( $A_x$ ,  $A_y$ ) are connected by shielded wires with a unit that registers signals of observation. The unit comprises two identical tracks of a signal, an amplifier ( $G_x$  and  $G_y$ ), a filter ( $BPF_x$ ,  $BPF_y$ ), analogue to digital converters ( $A/C_x$ ,  $A/C_y$ ), and also a control module (uP). Signals are sent to an electronic control module of a PC, programmed to perform logics of spectral analysis of extremely low frequency signals and detection of characteristics that depend on the distance to the source and its intensity.

EFFECT: development of a method and a device for global monitoring of thunderstorm activity on the entire Earth surface.



Фиг. 2

RU 2470332 C2

RU 2470332 C2

## Область технического применения

Предмет изобретения - способ и устройство для мониторинга грозовой активности на поверхности Земли в реальном времени, используемые для дистанционных измерений активности центра штормового циклона и определения его местоположения. Мониторинг грозовой активности имеет значение для обеспечения безопасности воздушного и морского транспорта, а также играет важную роль в прогнозировании погоды.

## Предпосылки

На сегодняшний день существует несколько способов регистрации искровых электрических разрядов в атмосфере, происходящих внутри грозовых туч, между облаками и/или между облаками и земной поверхностью.

Первый способ мониторинга грозовой активности основан на оптических наблюдениях со спутников за молниями, возникающими, как было указано выше, внутри грозовых туч, между облаками и/или между облаками и землей. Этот способ предоставляет подробную информацию об области, которая непосредственно наблюдается при помощи оборудования, установленного на спутнике. Зона наблюдения покрывает  $10^5$  км<sup>2</sup>, что составляет лишь малую часть земной поверхности. Система орбитального наблюдения, даже в случае развитой сети спутников, не может обеспечить надежную глобальную систему мониторинга грозовой активности.

Второй способ наблюдения за грозами связан с обнаружением в ОНЧ-, ВЧ- и ОВЧ-диапазонах радиочастот электромагнитных сигналов, которые генерируются при искровых электрических разрядах в атмосфере. Данный способ позволяет осуществлять оценки интенсивности разряда и его местоположения. К недостаткам способа следует отнести дальность распространения сигналов, которая - на этих частотах - ограничена расстояниями до нескольких сот километров для ВЧ и нескольких тысяч километров для ОНЧ. Покрывание больших площадей, позволяющих осуществлять наблюдение при помощи станций, требует наличия плотной сети станций слежения. В настоящее время наиболее развитая система мониторинга осуществляет анализ сигналов, регистрируемых одновременно в ОНЧ- и ВЧ-диапазонах частот. Она функционирует только в высокоразвитых странах и поэтому покрывает лишь малую долю земной поверхности.

Третий способ основан на отслеживании сигналов только в ОНЧ-диапазоне. Дальность действия одиночной станции не превышает одной тысячи километров. На данный момент всемирная система основывается на 27 измерительных станциях.

Распространение сигналов электромагнитного поля с крайне низкой частотой (КНЧ) известно из результатов исследований, проведенных учеными Ягеллонского университета (Краков, Польша), которые представлены в статье «Studies of ELF propagation in the spherical shell cavity using a field decomposition method based on asymmetry of Schumann resonance curves». Journal of Geophysical Research, Vol.111, A10304, doi: 10.1029/2005, JA011429, 2006. В соответствии с положениями этой статьи, асимметрия кривой и изменчивость пиковых резонансных частот в наблюдаемом КНЧ-спектре возникает из-за наложения поля стоячей волны, которое порождает резонансные моды при взаимодействии с полем волны, распространяющейся от источников. Проблема, которая требовала решения, заключалась в нахождении возможности разделения компонентов обоих полей для их независимого измерения в резонаторе. Предложенный новый подход к решению данной задачи состоит в измерении асимметрии спектра или спектра сигнала, полученных при наблюдении компонентов

электрического или магнитного поля при помощи одной антенны. В данном подходе предполагается, что спектр сигнала в любой точке резонатора включает симметричную составляющую, относящуюся к резонансной компоненте поля, и несимметричную составляющую, связанную с полем бегущей волны. Энергетический спектр компоненты поля  $|a(\theta, f)|^2$  определяется по формуле:

$$|a(\theta, f)|^2 \approx \sum_{k=1}^K \frac{P_k(\theta) \cdot |1 + e_k(\theta) \cdot (f - f_{rk}^*)|}{(f - f_{rk}^*) + (\gamma_k^*)^2}$$

Данная формула позволяет осуществлять определение приблизительного расстояния  $\theta$  от любой точки резонатора до единичного источника бегущей волны.

Обсужденные выше способы наблюдения атмосферных разрядов, даже в предположении значительного расширения базы наблюдения, не позволяют осуществлять глобальный мониторинг грозовой активности на всей земной поверхности. Кроме того, ни один из вышеперечисленных методов не гарантирует 100% эффективности обнаружения искровых электрических разрядов в атмосфере. В настоящее время оценка эффективности упомянутых методов составляет 60-80% в зависимости от применяемого способа и алгоритмов анализа сигнала.

Цель изобретения

Целью изобретения является разработка способа и устройства для глобального мониторинга штормовой активности на всей поверхности Земли.

Раскрытие изобретения

Согласно настоящему изобретению, способ мониторинга штормовой активности основан на анализе электромагнитных сигналов, индуцированных искровыми электрическими разрядами в атмосфере в ливневых очагах, аналогично вышеупомянутым способам. Идея изобретения заключается в том, что регистрируются сигналы электромагнитного поля с крайне низкой частотой (КНЧ), индуцируемые в резонаторе Земля-ионосфера, которые затем подвергаются спектральному анализу на основе моделей распространения резонанса для КНЧ-поля в резонаторе Земля-ионосфера. Затем характеристики, зависящие от расстояний между местоположениями искровых электрических разрядов и антенн, т.е. расстояний до источника, а также интенсивности, разделяются и сопоставляются с параметрами базы данных модели. Набор параметров базы с наилучшим приближением идентифицирует местоположение и интенсивность этих источников. Анализ может производиться в реальном времени, а его результаты могут быть представлены в виде карт грозовой активности.

Благодаря специфическим особенностям распространения волнового резонанса в КНЧ-поле, зарегистрировать сигналы, приходящие ото всех искровых электрических разрядов в атмосфере Земли, можно при помощи одного устройства, а зарегистрированные сигналы допускают точную подготовку карт штормовой активности на расстояниях до 10000 км. Использование нескольких устройств, находящихся на разных континентах, позволяет осуществлять четкую визуализацию штормовой активности в географических координатах в глобальном масштабе.

Предпочтительно, сигналы КНЧ-электромагнитного поля регистрируются в зонах, свободных от локальных источников электрических полей, с использованием двух горизонтальных магнитных антенн, расположенных перпендикулярно друг относительно друга на земной поверхности или близко к поверхности под землей вдоль направлений север-юг и восток-запад. После усиления сигналы подвергаются

фильтрации и обрабатываются, например, на частоте дискретизации 180 Гц в цифровые сигналы наблюдения, которые передаются по радио в электронный модуль обработки данных, где подвергаются спектральному анализу. Сформированный энергетический спектр сигнала затем согласовывается с резонансными кривыми, что  
 5 позволяет осуществлять параметризацию спектров. Затем полученные параметры сравниваются с базовыми параметрами, которые хранятся в базе данных модели, созданной на основе знаний о распространении КНЧ-волн в резонаторе Земля-ионосфера, полостях или волноводах. С использованием процедуры минимизации отклонения наблюдаемых параметров от базовых производится выбор набора базовых параметров, значения которых дают наилучшее приближение. Набор базовых параметров воссоздает местоположение и интенсивность грозовых источников, в которых происходят искровые электрические разряды. На основе набора базовых параметров возможно составление карты источников.

15 Для осуществления параметризации для каждого энергетического спектра рекомендуется согласование с резонансными кривыми по формуле:

$$S(\omega) = b + \frac{a}{\omega^\alpha} + \sum_{k=1}^K \frac{p_k \cdot [1 + e_k \cdot (\omega_k - \omega)]}{(\omega_k - \omega)^2 + (\Gamma_k)^2},$$

20 где

$S(\omega)$  - согласованный энергетический спектр;

$a$  - параметр, описывающий фоновые цветовые шумы;

$b$  - параметр, описывающий фоновые широкополосные шумы;

25  $\alpha$  - спектральный индекс цветковых шумов;

$\omega$  - интенсивность (пульсация);

$p_k$  - максимальная величина энергии  $k$ -го резонансного пика;

$e_k$  - параметр асимметрии  $k$ -го резонансного пика;

30  $\omega_k$  - интенсивность резонанса  $k$ -го резонансного пика, равная  $2\pi f_k$ ;

$\Gamma_k$  - полуширина  $k$ -го резонансного пика.

Вторая идея изобретения - устройство для мониторинга грозовой активности на поверхности Земли в реальном времени. Устройство оборудовано двумя индуктивными активными магнитными антеннами, расположенными  
 35 перпендикулярно друг другу вдоль направлений север-юг и запад-восток на поверхности земли или близко к поверхности под землей. Каждая из антенн соединена экранированным проводом с блоком, регистрирующим сигналы наблюдения. Блок содержит по два идентичных тракта сигнала, усилителя, фильтра, аналого-цифровых преобразователя, а также систему управления, часы которой синхронизированы через  
 40 приемник с временем GPS (глобальной системы навигации и определения положения). Электронный модуль обработки данных в системе управления программируется для выполнения алгоритма спектрального анализа КНЧ-сигналов, а также алгоритма, определяющего характеристики, зависящие от расстояния и активности источников  
 45 грозовых разрядов.

Предпочтительно, блок, регистрирующий сигналы наблюдения, соединен с передающей антенной, которая передает данные, обработанные в аналого-цифровом преобразователе, тогда как вычислительный модуль соединен с приемной антенной,  
 50 сообщаемой с передающей антенной, которая соединена с блоком, регистрирующим сигналы наблюдения.

Краткое описание графических материалов

Изобретение будет описано на примере с ссылкой к сопроводительным

иллюстрациям, где:

Фиг.1 - Земля и центр штормового циклона, генерирующий КНЧ-электромагнитные волны;

Фиг.2 - блок-схема способа мониторинга грозовой активности;

Фиг.3А - приемные антенны в КНЧ-электромагнитном поле;

Фиг.3В и 3С - устройство для мониторинга грозовой активности на поверхности Земли в реальном времени;

Фиг.4 - три выбранные резонансные пика, относящиеся к первым трем последовательным максимумам распространения.

Предпочтительный вариант осуществления изобретения

Варианты осуществления изобретения, представленные на иллюстрациях, предназначены только для иллюстративных целей и не ограничивают объем изобретения, определенный сопроводительной формулой изобретения.

На фиг.1-5 показано устройство для мониторинга грозовой активности на поверхности Земли в реальном времени, решение которого в рамках изобретения будет представлено в виде устройства мониторинга грозовой активности, используемого для дистанционных измерений активности центра штормового циклона и его местоположения на поверхности Земли. Компоненты и модули устройства, выполняющие одинаковые функции, на всех иллюстрациях имеют одинаковую нумерацию или пометки, отличающиеся только первой цифрой, которая указывает на конкретную иллюстрацию и ее номер.

На фиг.1 схематически показана Земля 100 и центр штормового циклона 101. Центр штормового циклона генерирует в воздушной полости 104 сигналы КНЧ-электромагнитного поля, или, иными словами, в резонаторе Земля-ионосфера сигналы, являющиеся КНЧ-электромагнитными волнами 102 и 103, распространяются во всех направлениях в полости Земля-ионосфера 104. На фиг.1 показан единичный атмосферный искровой электрический разряд 109, который, среди прочего, генерирует первую электромагнитную волну 102, распространяющуюся в направлении против часовой стрелки, и вторую волну 103, распространяющуюся в направлении по часовой стрелке, в воздушной полости 104, образованной между ионосферой 105 и земной поверхностью 106. Эти волны огибают Землю много раз, интерферируя друг с другом, а также достигая приемных антенн 110, 120, расположенных в благоприятном положении перпендикулярно друг другу. По причине интерференции волн, генерируемых центром штормового циклона 101, образуются волны с характерными частотными замираниями, как следствие, образующие серию резонансных пиков.

На фиг.2 схематически показана блок-схема способа мониторинга грозовой активности на поверхности Земли в реальном времени. На первой стадии 211 компоненты магнитного поля  $H_x$  и  $H_y$ , образованные искровыми электрическими разрядами, генерируют сигналы, которые регистрируются двумя магнитными антеннами. На стадии 212 эти сигналы подвергаются идентичным процессам спектрального анализа, в результате которых формируются энергетические спектры  $S_x$  и  $S_y$ . По причине резонансной природы распространения КНЧ-сигнала в полости Земля-ионосфера, спектры имеют форму наборов резонансных пиков, связанных с максимумами распространения. На стадии 213 каждый из энергетических спектров  $S_x$  и  $S_y$  согласовывается с резонансными кривыми, которые описываются формулой, детально описанной ниже. Результат процедуры согласования представляет собой параметризацию спектра. Каждому спектру  $S_x$  и  $S_y$  присваивается набор параметров наблюдения  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$  стадии 214 наборы параметров для каждого сигнала



сопоставляются с базовыми параметрами  $p_{ok}$ ,  $f_{ok}$ ,  $\gamma_{ok}$  и  $e_{ok}$ , которые хранятся в базе данных параметров модели В. Задача системы сопоставления заключается в выборе набора базовых параметров  $p_{ok}$ ,  $f_{ok}$ ,  $\gamma_{ok}$  и  $e_{ok}$ , значения которых максимально  
 5 возможно близки значениям набора параметров наблюдения  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$ . С этой целью, для минимизации отклонения параметров наблюдения  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$  от базовых параметров  $p_{ok}$ ,  $f_{ok}$ ,  $\gamma_{ok}$  и  $e_{ok}$ , применяется одна из известных процедур минимизации. База данных параметров модели В создается с применением знаний о модели распространения КНЧ-волн в полости Земля-ионосфера на стадии 215, например,  
 10 после подтверждения наблюдения искровых электрических разрядов в атмосфере. При наличии характеристического набора базовых параметров для каждого расстояния между наблюдателем, т.е. антеннами, и источником, т.е. искровым электрическим разрядом, а также для каждой интенсивности разряда, отнесение набора параметров наблюдения  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$  к набору базовых параметров  $p_{ok}$ ,  $f_{ok}$ ,  $\gamma_{ok}$  и  $e_{ok}$ , позволяет на  
 15 стадии 216 составить карту местоположения и интенсивности источников. Разрешающая способность полученной карты напрямую зависит от количества спектральных параметров наблюдения  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$ , полученных на стадии 213 разложения сигнала, а также от уровня локального шума, сопровождающего  
 20 измерение. Параметры наблюдения  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$  являются характеристиками, зависящими от расстояния и интенсивности искровых электрических разрядов, что помогает реконструировать местоположение и интенсивность искровых электрических разрядов и сформировать основу для составления карты грозовых источников  $M_{(x,y)}$ . Неопределенности карты напрямую зависят от формы базовых  
 25 заданий распределения поля, т.е. являются производными от принятой модели распространения.

КНЧ-электромагнитное поле 301, схематически показанное на фиг.3А, которое создается в воздушной полости, состоит из компонент  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$ , две из которых,  $H_x$  и  
 30  $H_y$ , принимаются двумя направленными горизонтальными приемными антеннами  $A_x$  321 и  $A_y$  322, которые идеально перпендикулярны друг другу и расположены в области Земли, свободной от локальных источников электрических полей. Антенны  $A_x$  321 и  $A_y$  322 являются активными магнитными антеннами с нормальной  
 35 индуктивностью и длиной, например 1 м и площадью поперечного сечения  $1 \text{ см}^2$ . Предпочтительно, антенны  $A_x$  321 и  $A_y$  322 экранированы от рассеянных электрических полей, если они присутствуют, и расположены на земле 106 или неглубоко под землей, обычно вдоль направлений север-юг и восток-запад. Под  
 40 действием КНЧ-электромагнитного поля в направленных приемных антеннах  $A_x$  321 и  $A_y$  322 генерируются сигналы  $U_x$  331 и  $U_y$  332.

Перед спектральным анализом сигналов  $U_x$  331 и  $U_y$  332 на основе моделей распространения резонансов КНЧ-поля в волноводе Земля-ионосфера, или полости Земля-ионосфера (коротко - в воздушной полости), и выделением характеристик,  
 45 зависящих от расстояния и интенсивности источника, генерированные в направленных магнитных приемных антеннах  $A_x$ , 321 и  $A_y$  322 сигналы  $U_x$  331 и  $U_y$  332 передаются в блок, который регистрирует сигналы наблюдения на двух, преимущественно отдельных, трактах обработки, и затем, по экранированным  
 50 проводам длиной, например, 100 м, - ко входам широкополосных малошумящих усилителей  $G_x$  341 и  $G_y$  342, а затем, после усиления, пропускаются через сглаживающие фильтры нижних частот  $ВРF_x$  351 и  $ВРF_y$  352 с полосой пропускания, составляющей, например 1-60 Гц, и преобразуются из аналоговой формы в цифровую

в 16-битных аналого-цифровых преобразователях  $A/C_x$  361 and  $A/C_y$  362, соединенных с системой управления  $\mu P$  365. Дискретизация сигналов осуществляется обоим в аналого-цифровых преобразователях синхронно на частоте, составляющей, например, 180 Гц. Устройство из двух выше и нижеописанных блоков оборудовано приемником GPS 364, благодаря которому часы системы управления синхронизируются с временем GPS. Затем сигналы  $U_x$  331 и  $U_y$  332 кодируются и направляются в радиопередающую систему малой мощности 366, антенна которой T 367 передает данные, обработанные в аналого-цифровом преобразователе, или в волноводную линию. Возможно и другое решение, в котором цифровые сигналы  $U_x$  331 и  $U_y$  332 передаются через канал связи в систему управления, например, в ПК, для дальнейшего анализа. Однако такое решение связано с риском внесения шумов в пути измерения. В благоприятном решении, которое проиллюстрировано на фиг.3В, все блоки устройства, описанные выше, расположены вдали от линий электропередач, питаются от автономного источника питания, а передача сигналов к счетному модулю, например, к ПК, как упомянуто выше, осуществляется по радио или по световоду.

В приведенном примере цифровые сигналы  $U_x$  331 и  $U_y$  332 принимаются радиоприемной системой 376, расположенной в нескольких, например, 3-10, километрах от антенн и оборудованной приемной антенной 377, декодируются и направляются в вычислительный модуль 375, например, ПК, питающийся от сети электроснабжения. Вычислительный модуль, который представляет собой электронную систему обработки данных, программируется в соответствии с алгоритмами спектрального анализа КНЧ-сигналов и определения характеристик, зависящих от расстояния и активности источников искровых электрических гроздовых разрядов. В вычислительном модуле 375 цифровые сигналы  $U_x$  331 и  $U_y$  332 подвергаются идентичным процессам спектрального анализа, давая энергетические спектры  $S_x$  и  $S_y$  сигналов наблюдения  $U_x$  231 и  $U_y$  232, которые согласовываются с резонансными кривыми в блоках  $DFT_x$  371 и  $DFT_y$  372 с использованием преобразования Фурье. По причине резонансной природы распространения КНЧ-сигналов наблюдения в полости Земля-ионосфера спектры находятся в виде групп резонансных пиков 411, 412 и 413, которые связаны с последовательными максимумами распространения, как показано в таблице и, в графической форме, на фиг.4.

Номер пика k	Частота пика f	Энергия P	Эксцентриситет пика e	Ширина пика Г
1	$f_1$	$P_1$	$e_1$	$\gamma_1$
2	$f_2$	$P_2$	$e_2$	$\gamma_2$
3	$f_3$	$P_3$	$e_3$	$\gamma_3$
4	$f_4$	$P_4$	$e_4$	$\gamma_4$
...	...	...	...	...
a				
b				
$\alpha$				

На следующей стадии резонансные кривые, описываемые нижеприведенной формулой, согласовываются с каждым из энергетических спектров  $S_x$  и  $S_y$  в блоках согласования  $D_x$  381 и  $D_y$  382:

$$S(\omega) = b + \frac{a}{\omega^\alpha} + \sum_{k=1}^K \frac{p_k \cdot [1 + e_k \cdot (\omega_k - \omega)]}{(\omega_k - \omega)^2 + (\Gamma_k)^2},$$

где

- 5  $S(\omega)$  - согласованный энергетический спектр;  
 $b$  - параметр, описывающий фоновые цветовые шумы;  
 $a$  - параметр, описывающий фоновые широкополосные шумы;  
 $\alpha$  - спектральный индекс цветового шума;  
10  $\omega$  - интенсивность (пульсация);  
 $p_k$  - максимальный уровень энергии  $k$ -го резонансного пика;  
 $e_k$  - параметр асимметрии  $k$ -го резонансного пика;  
 $\omega_k$  - интенсивность резонанса  $k$ -го резонансного пика, равная  $2\pi f_k$ ;  
 $\Gamma_k$  - полуширина  $k$ -го резонансного пика.

15 Вышеприведенная формула взята из статьи «Studies of ELF propagation in the spherical shell cavity using a field decomposition method based on asymmetry of Schumann resonance curves». Journal of Geophysical Research, Vol.111, A10304, doi: 10.1029/2005JA011429, 2006, и дополнена параметрами, описывающими фоновые цветовые шумы, фоновые широкополосные шумы, а также спектральным индексом цветового шума.

20 Добавление параметра фоновых цветовых шумов  $a$ , фоновых широкополосных шумов  $b$  и спектрального индекса цветового шума  $\alpha$  является предпочтительным, поскольку, как было замечено, это добавление улучшает качество согласования кривых с наблюдаемому фону и увеличивает точность определения спектральных параметров, необходимых для составления карты. Следует особенно подчеркнуть, что параметры  $a$ ,  $b$  и индекс  $\alpha$  определяются, но для составления карты не используются.

25 В результате использования процедуры согласования происходит параметризация спектра, которая осуществляется в блоках параметризации Param<sub>x</sub> 391 и Param<sub>y</sub> 392. Каждому спектру  $S_x$  и  $S_y$  для каждой  $k$ -й моды текущего наблюдения приписываются параметры  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$ , для определения которых проводилась параметризация. На следующей стадии четыре параметра наблюдения  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$  каждого из сигналов  $U_x$  и  $U_y$  сравниваются в компараторе 396 с наборами базовых параметров  $p_{ok}$ ,  $f_{ok}$ ,  $\gamma_{ok}$  и  $e_{ok}$ , которые хранятся в базе данных модели В 390, созданной на основе знаний о распространении КНЧ-волн в полости Земля-ионосфера. Задачей компаратора 396 является выбор набора базовых параметров  $p_{ok}$ ,  $f_{ok}$ ,  $\gamma_{ok}$  и  $e_{ok}$ , значения которых наиболее близки значениям набора параметров наблюдения  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$ . С этой целью применяется одна из процедур минимизации отклонения параметров  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$  от  $p_{ok}$ ,  $f_{ok}$ ,  $\gamma_{ok}$  и  $e_{ok}$ . База данных 390 создается на основе знаний о распространении КНЧ-волн в полости Земля-ионосфера, полученных в результате многолетних наблюдений. Поскольку для каждого расстояния между наблюдателем и источником, а также для каждой интенсивности разряда существует характерный набор параметров, присвоение параметрам наблюдения  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$  значений базовых параметров  $p_{ok}$ ,  $f_{ok}$ ,  $\gamma_{ok}$  и  $e_{ok}$  позволяет воссоздать местоположение источника и его интенсивность. Иными словами, параметры наблюдения  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$  сравниваются с набором базовых параметров  $p_{ok}$ ,  $f_{ok}$ ,  $\gamma_{ok}$  и  $e_{ok}$ , которые являются параметрами базы данных модели В. Набор базовых параметров, выбранный как наилучшее приближение к набору параметров наблюдения  $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$ , воссоздает местоположение и интенсивность искровых электрических разрядов, или источников разряда и/или центров штормовых циклонов. В предпочтительном примере электронный модуль обработки программируется для реализации алгоритмов

спектрального анализа КНЧ-сигнала и определения характеристик, зависящих от расстояния и активности грозового разряда, которые хорошо известны из множества статей, посвященных спектральному анализу, с использованием преобразования Фурье.

5 На следующей стадии составляется карта источников  $M_{(x,y)}$ . Иными словами, в блоке генерирования 395 составляется карта источников  $M_{(x,y)}$ , отображающая распределение и интенсивность центров грозовых циклонов на поверхности Земли. Разрешение полученной карты напрямую зависит от количества спектральных  
10 параметров распределения, полученных на стадии разложения сигнала, а также от уровня шумов при осуществлении измерения. Неопределенности карты зависят от формы базовых групп распределения поля, т.е. они являются производными от принятой модели распространения.

15 Набор параметров наблюдения  $p_k, f_k, \gamma_k$  и  $e_k$ , подтвержденный другими источниками и/или другими методами мониторинга грозовой активности на поверхности Земли, может быть добавлен в базу данных модели В 390 и, таким образом, является дополнением набора базовых параметров  $p_{0k}, f_{0k}, \gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$  для последующих воссозданий положения и интенсивности источников разряда или  
20 центров грозовых циклонов.

В случае, когда используется множество приемных устройств, что значительно увеличивает разрешающую способность в отношении определения местоположения и интенсивности центра штормового циклона на карте поверхности Земли, данные  
25 могут через спутник или Интернет пересылаться в центр сбора данных, где осуществляется их анализ в вычислительном модуле.

Решение, соответствующее настоящему изобретению, представлено на избранных примерах. Однако эти примеры не ограничивают изобретение. Очевидно, что  
30 возможно внесение усовершенствований без изменения сущности решения. Приведенные примеры не являются единственными возможностями реализации решения согласно изобретению.

#### Формула изобретения

35 1. Способ мониторинга грозовой активности на поверхности Земли в реальном времени путем анализа электромагнитных сигналов, индуцируемых искровыми электрическими разрядами в атмосфере в ливневых очагах, отличающийся тем, что сигналы КНЧ-электромагнитного поля, генерируемые в резонаторе Земля-ионосфера, регистрируют, подвергают спектральному анализу на основе параметризованных  
40 моделей распространения резонансов КНЧ-поля в резонаторе Земля-ионосфера магнитного компонента КНЧ-поля, в которых набор характеристик, зависящих от расстояния и интенсивности искровых электрических разрядов, отделяют от параметров модели анализируемого сигнала и сравнивают с базовыми параметрами, содержащимися в базе данных параметров модели, при этом для составления карты  
45 местоположений и интенсивности искровых электрических разрядов используют базовые параметры, выбранные как наилучшее приближение к характеристикам, зависящим от расстояния и интенсивности искровых электрических разрядов.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что характеристики, зависящие от расстояния  
50 и интенсивности искровых электрических разрядов, представляют собой параметры наблюдения ( $p_k, f_k, \gamma_k$  и  $e_k$ ), которые сравнивают с базовыми параметрами ( $p_{0k}, f_{0k}, \gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ), хранящимися в базе данных параметров модели, которые воссоздают местоположение и интенсивность искровых электрических разрядов и образуют

основу для составления карт грозových источников ( $M_{(x,y)}$ ).

3. Способ по одному из пп.1 и 2, отличающийся тем, что сигналы КНЧ-электрического поля, индуцируемые искровыми электрическими разрядами, регистрируют в области Земли, свободной от локальных источников электрических полей, при помощи двух активных магнитных индукционных антенн ( $H_x, H_y$ ), расположенных горизонтально и предпочтительно перпендикулярно друг другу на поверхности Земли или вблизи поверхности под землей вдоль направлений север-юг и запад-восток; затем эти сигналы усиливают, фильтруют, преобразуют на частоте дискретизации 180 Гц в цифровые сигналы наблюдения ( $U_x, U_y$ ) и передают по радио в электронный модуль обработки данных, где впоследствии подвергают спектральному анализу с образованием энергетических спектров ( $S_x, S_y$ ), согласовываемых с резонансными кривыми, при этом параметризация этих спектров приводит к нахождению набора параметров наблюдения ( $p_k, f_k, \gamma_k$  и  $e_k$ ), после чего параметры наблюдения ( $p_k, f_k, \gamma_k$  и  $e_k$ ) сравнивают с базовыми параметрами ( $p_{0k}, f_{0k}, \gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ), которые хранятся в базе данных параметров модели, созданной на основе знаний о модели распространения КНЧ-волн в полости Земля-ионосфера, после чего с применением процедуры минимизации в отношении отклонения параметров наблюдения ( $p_k, f_k, \gamma_k$  и  $e_k$ ) от базовых параметров ( $p_{0k}, f_{0k}, \gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ), выбирают набор базовых параметров ( $p_{0k}, f_{0k}, \gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ), значения которых дают наилучшее приближение к параметрам наблюдения ( $p_k, f_k, \gamma_k$  и  $e_k$ ), а данный набор базовых параметров ( $p_{0k}, f_{0k}, \gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ) воссоздает местоположение и интенсивность искровых электрических разрядов, а также создает основу для составления карты грозových источников ( $M_{(x,y)}$ ).

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что после регистрации сигналов КНЧ-электромагнитного поля, индуцированных в резонаторе Земля-ионосфера, сигналы КНЧ-электромагнитного поля подвергают спектральному анализу на основе моделей распространения резонансов КНЧ-поля в резонаторе Земля-ионосфера, из характеристик которых выделяют зависимости от расстояния до источника и его интенсивности, сравнить их с базовыми параметрами ( $p_{0k}, f_{0k}, \gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ), хранящимися в базе данных параметров модели, при этом базовые параметры ( $p_{0k}, f_{0k}, \gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ), выбранные как наилучшее приближение ( $p_{0k}, f_{0k}, \gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ) к параметрам наблюдения ( $p_k, f_k, \gamma_k$  и  $e_k$ ) воссоздают местоположение и интенсивность искровых электрических разрядов.

5. Способ по одному из пп.1 и 2, отличающийся тем, что сигналы КНЧ-электромагнитного поля регистрируют в области Земли, свободной от локальных электрических полей при помощи, по меньшей мере, двух горизонтальных антенн, предпочтительно перпендикулярных одна другой и расположенных на земной поверхности или близко к ее поверхности под землей; сигналы КНЧ-электромагнитного поля после усиления, фильтрации и обработки на определенной частоте дискретизации превращают в цифровые сигналы наблюдения, передают по радио в электронный модуль обработки, где последовательно подвергают спектральному анализу с образованием их спектров и согласованию с резонансными кривыми, а также параметризации этих спектров для определения набора параметров наблюдения ( $p_k, f_k, \gamma_k$  и  $e_k$ ) для каждой k-й моды, для которой выполняется параметризация, с последующим сравнением набора параметров наблюдения ( $p_k, f_k, \gamma_k$  и  $e_k$ ) с набором базовых параметров ( $p_{0k}, f_{0k}, \gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ), которые хранятся в базе данных параметров модели, созданной на основе знаний о модели распространения

КНЧ-волн в полости Земля-ионосфера, затем отклонение параметров наблюдения ( $p_k$ ,  $f_k$ ,  $\gamma_k$  и  $e_k$ ) от базовых параметров ( $p_{0k}$ ,  $f_{0k}$ ,  $\gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ) минимизируют и выбирают базовые параметры ( $p_{0k}$ ,  $f_{0k}$ ,  $\gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ), значения которых максимально возможно близки к параметрам наблюдения ( $p_{0k}$ ,  $f_{0k}$ ,  $\gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ), при этом выбранный набор базовых параметров ( $p_{0k}$ ,  $f_{0k}$ ,  $\gamma_{0k}$  и  $e_{0k}$ ) воссоздает местоположение и интенсивность грозовых электрических разрядов, а также позволяет составить карту источников.

6. Способ по одному из пп.1 и 2, отличающийся тем, что каждый из энергетических спектров ( $S_x$ ,  $S_y$ ) согласовывают с резонансными кривыми, которые описываются формулой:

$$S(\omega) = b + \frac{a}{\omega^\alpha} + \sum_{k=1}^K \frac{p_k \cdot [1 + e_k \cdot (\omega_k - \omega)]}{(\omega_k - \omega)^2 + (\Gamma_k)^2},$$

где  $S(\omega)$  - согласованный энергетический спектр;

$a$  - параметр, описывающий фоновые цветовые шумы;

$b$  - параметр, описывающий фоновые широкополосные шумы;

$\alpha$  - спектральный индекс цветковых шумов;

$\omega$  - интенсивность (пульсация);

$p_k$  - максимальный уровень энергии  $k$ -го резонансного пика;

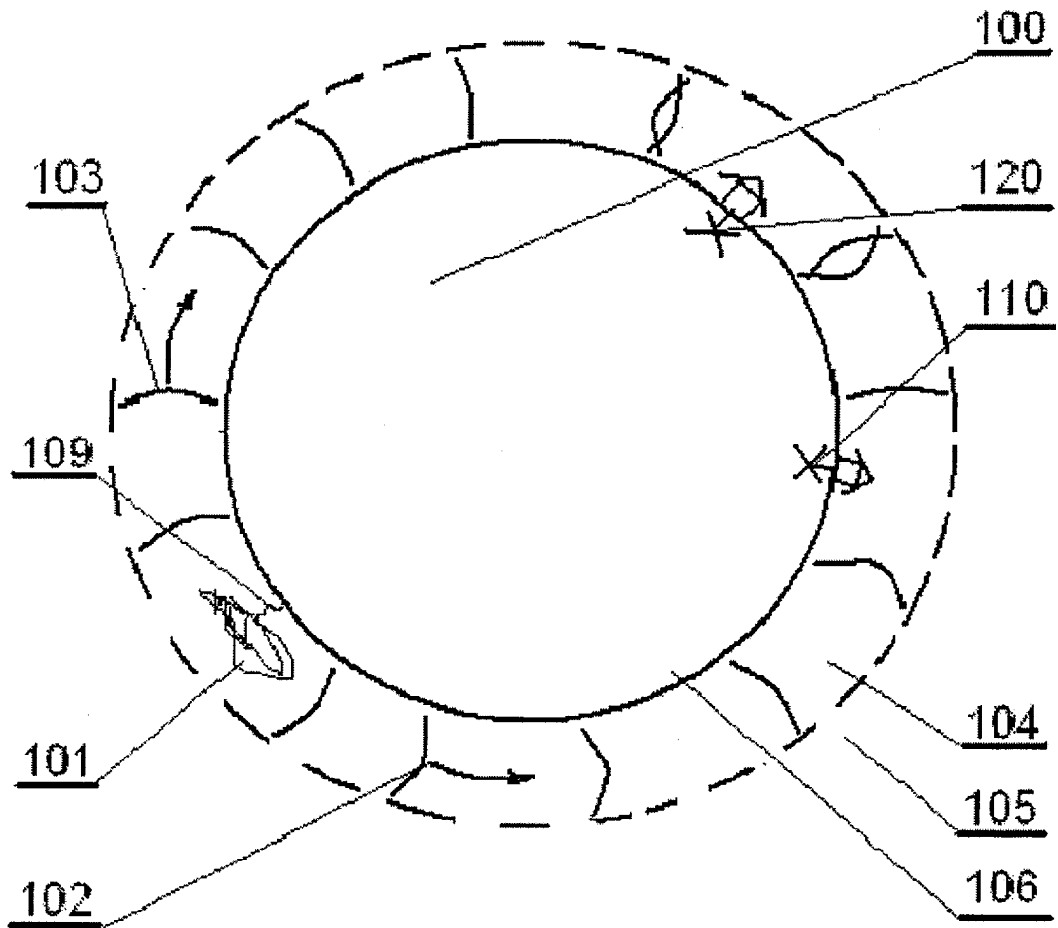
$e_k$  - параметр асимметрии  $k$ -го резонансного пика;

$\omega_k$  - интенсивность резонанса  $k$ -го резонансного пика, равная  $2\pi f_k$ ;

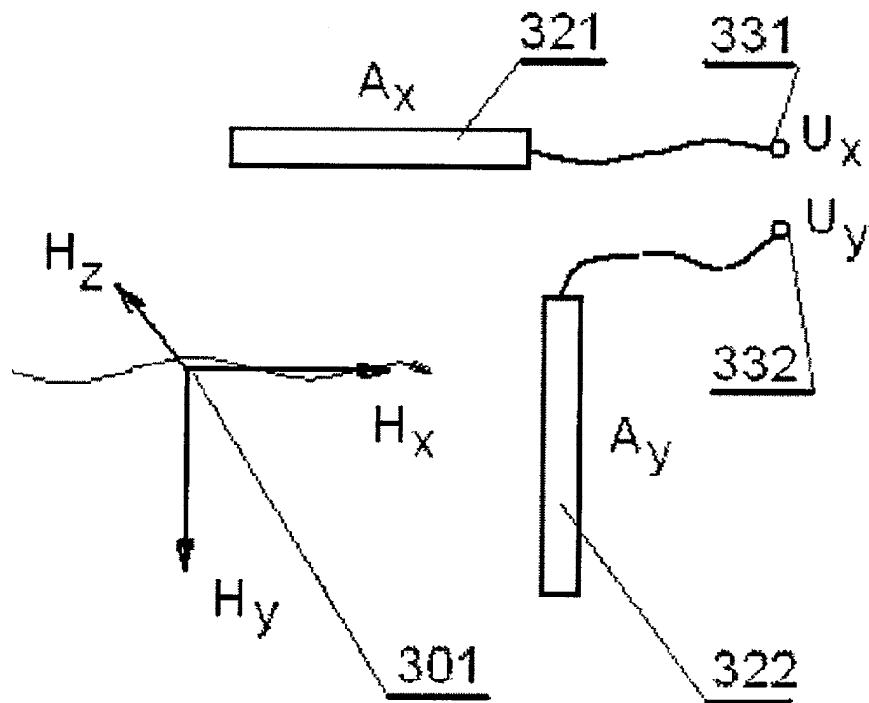
$\Gamma_k$  - полуширина  $k$ -го резонансного пика.

7. Устройство для мониторинга грозовой активности на поверхности Земли в реальном времени, включающее антенны, блок, регистрирующий сигналы наблюдения, радиопередающую систему и электронный модуль обработки данных, отличающееся тем, что антенны представляют собой две активные магнитные индукционные антенны ( $H_x$ ,  $H_y$ ), предпочтительно расположенные перпендикулярно относительно друг друга вдоль направлений север-юг и восток-запад на земной поверхности или близко к поверхности под землей, причем антенны соединены экранированными проводами с блоком, регистрирующим сигналы наблюдения ( $H_x$ ,  $H_y$ ), который имеет два идентичных тракта сигнала с усилителями ( $A_x$ ,  $A_y$ ), фильтрами ( $BPF_x$ ,  $BPF_y$ ), аналого-цифровыми преобразователями ( $A/C_x$ ,  $A/C_y$ ) и системой управления ( $\mu P$ ), часы которой синхронизированы через приемник с временем GPS, при этом электронный модуль обработки данных функционирует в соответствии с алгоритмами спектрального анализа КНЧ-сигналов и алгоритма определения характеристик, зависящих от расстояния и интенсивности источников грозовых разрядов.

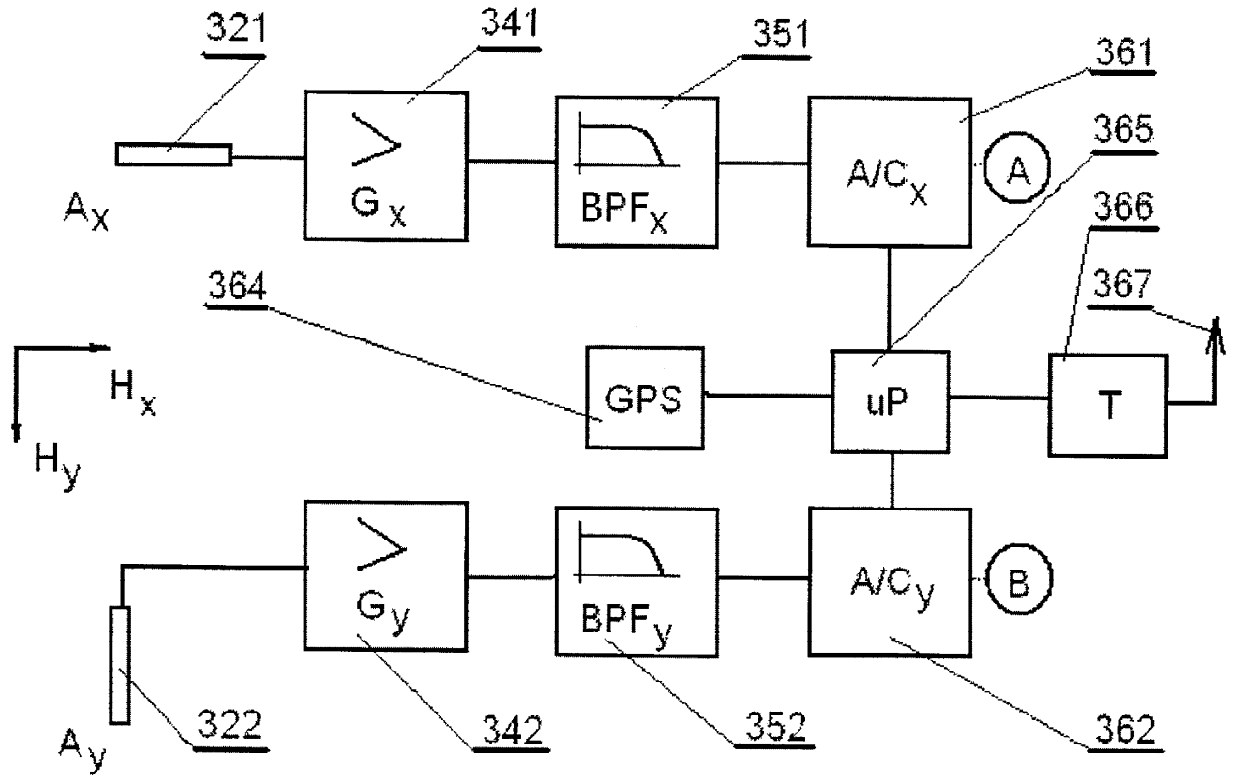
8. Устройство по п.7, отличающееся тем, что блок, регистрирующий сигналы наблюдения, соединен с передающей антенной, которая передает данные, обработанные аналого-цифровым преобразователем, тогда как вычислительный модуль соединен с приемной антенной, сообщающейся с передающей антенной, соединенной с блоком, регистрирующим сигналы наблюдения.



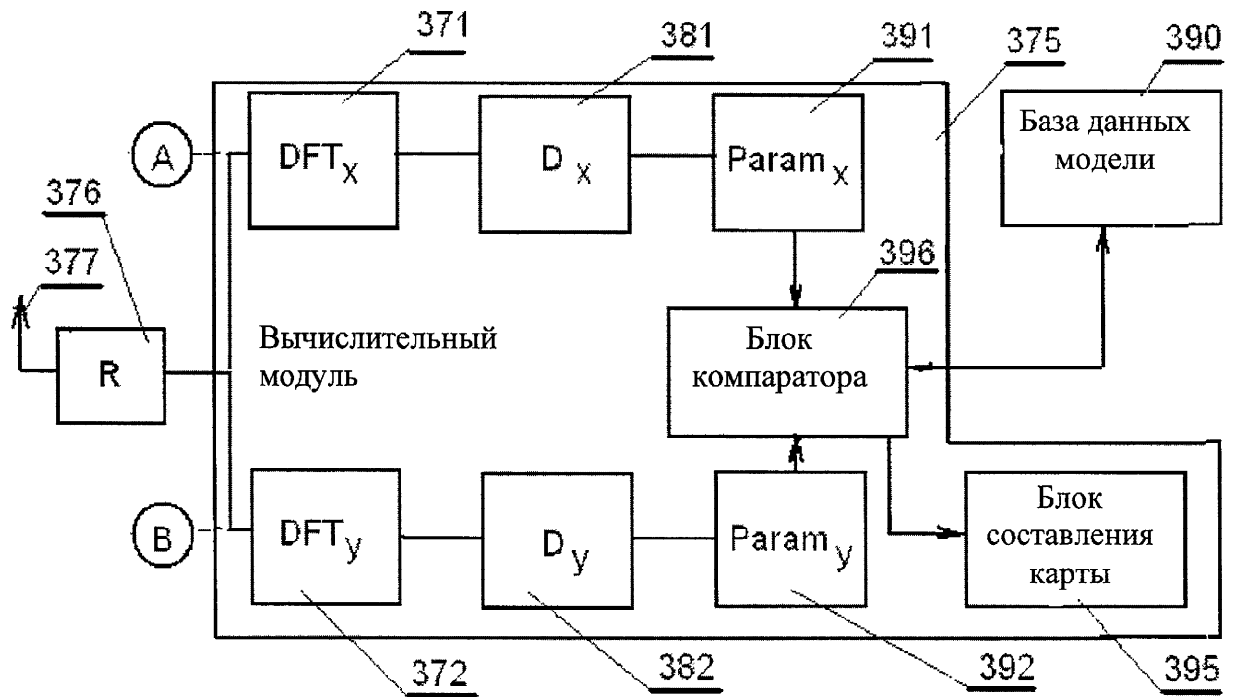
Фиг. 1



Фиг. 3А

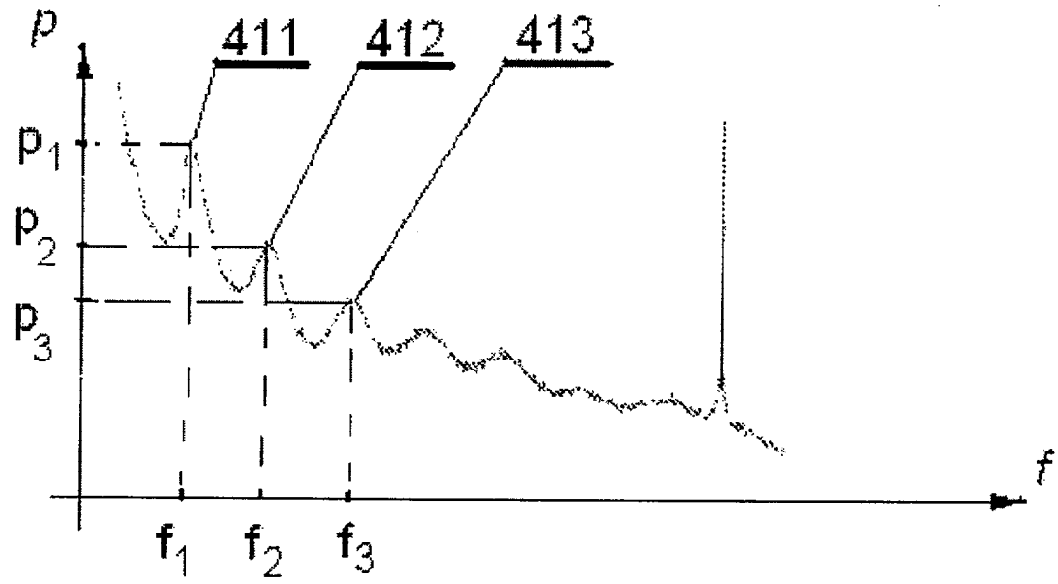


Фиг. 3В



Фиг. 3С





Фиг. 4