

УДК 550.388.22+521.37

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ СВЕРХНИЗКОЧАСТОТНОГО РАДИОИМПУЛЬСА, СВЯЗАННОГО С ГАММА-ВСПЫШКОЙ 27 ДЕКАБРЯ 2004 ГОДА

*А. П. Николаенко*¹, *А. Ю. Щекотов*²

¹ Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАНУ, г. Харьков, Украина

² Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Сравниваются расчётная и экспериментально наблюдаемая формы электромагнитного импульса, связанного с резким изменением высоты промежутка Земля—ионосфера, вызванного интенсивной гамма-вспышкой космического излучения 27 декабря 2004 года. Исследуются его поляризационные и спектральные характеристики. Показано, что экспериментально наблюдаемый импульс сверхнизкочастотного радиоизлучения превышает уровень регулярного фонового сигнала шумановского резонанса в несколько раз и имеет форму, близкую к расчётной. Угол прихода радиоволны близок к направлению на эпицентр ионосферного возмущения. Время регистрации вступления радиоимпульса в обсерватории Карымшино (52,83° с. ш., 158,13° в. д.) примерно на 0,16 с опережает момент регистрации гамма-вспышки.

ВВЕДЕНИЕ

Импульс космического гамма-излучения от источника SGR 1806–20, пришедший 27 декабря 2004 года в 21:30:26,5 UT [1, 2], уменьшил высоту нижней ионосферы над дневным полушарием примерно на 20 км [1]. Ионосферные данные были получены по радиосигналам нескольких далёких сверхдлинноволновых станций на транстихоокеанских трассах, причём регистрация велась на антарктической станции «Палмер». Эпицентр ионосферного возмущения, вызванного гамма-вспышкой, находился в Тихом океане, в точке 146,2° з. д. и 20,4° ю. ш., удалённой от центра дневной полусферы примерно на 450 км.

В теоретических работах [3–5] было показано, что модификация нижней ионосферы должна приводить к эффектам двух типов. Изменение высоты резонатора Земля—ионосфера должно модифицировать параметры глобального электромагнитного (шумановского) резонанса [6, 7]. Поскольку ионосфера положительно заряжена относительно Земли [8], её резкое снижение должно вызвать импульс тока, который служит источником «параметрического радиоимпульса». Заряд ионосферы обуславливает электростатическое поле между нижней ионосферой и поверхностью Земли, называемое полем хорошей погоды [6–8]. Потенциал «верхней обкладки» конденсатора Земля—ионосфера составляет около 250 кВ относительно Земли, это поле поддерживается глобальной грозовой активностью [8]. В настоящей работе мы представим результаты экспериментального обнаружения параметрического сверхнизкочастотного импульса.

Резкое падение высоты ионосферы скачком изменяет поле хорошей погоды, что порождает радиоимпульс, амплитуда которого заметно превосходит обычный электромагнитный фон на сверхнизких частотах. Имеется ряд особенностей параметрического импульса [3], которые позволяют выделить его на фоне обычных всплесков сверхнизкочастотных излучений, приходящих от сверхмощных грозовых разрядов несколько раз в минуту. Во-первых, время появления известно — импульс должен возникнуть одновременно с гамма-всплеском, т. е. в 21:30:26,5 UT 27 декабря 2004 года. Во-вторых, азимут источника сверхнизкочастотного всплеска должен совпадать с направлением на эпицентр ионосферного возмущения. В-третьих, поскольку ионосфера несёт положительный потенциал и её высота падает, источник поля имеет «положительную поляризацию».

Это означает, что импульс в вертикальной электрической компоненте поля должен начинаться отрицательной полуволной. К сожалению, последнее свойство не могло быть использовано в описываемом эксперименте, поскольку электрическое поле в Карымшино не регистрируется. В-четвёртых, в спектре импульса должен наблюдаться только самый низкий тип (мод) резонансных колебаний [3], что обусловлено большим размером источника поля. Надо отметить, что моделирование снижения ионосферы над всем дневным полушарием показало, что в спектре сигнала должен присутствовать мощный широкий максимум в районе 60 Гц. Однако этот пик существенно ослабевает, если «параметрический» источник поля занимает область меньшего размера [3]. Кроме того, даже если изменение высоты во времени происходит скачком, то оно описывается ступенчатой функцией, поэтому высокие частоты в спектре источника будут ослаблены, источник окажется «красным», что уменьшит амплитуду в окрестности 60 Гц спектрального пика. Конечная скорость движения нижней границы ионосферы дополнительно уменьшит амплитуду этого пика. Таким образом, в спектре источника будут преобладать низкие частоты, а максимум вблизи 60 Гц будет ослаблен или исчезнет совсем.

1. ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ОПИСАНИЕ АППАРАТУРЫ

Для обнаружения импульсного отклика резонатора Земля—ионосфера на вспышку гамма-излучения мы воспользовались записями горизонтальных компонент магнитного поля, выполненными 27 декабря 2004 года в обсерватории Карымшино ($52,83^\circ$ с. ш. и $158,13^\circ$ в. д.), которая находится приблизительно в 40 км к юго-западу от Петропавловска-Камчатского. Здесь установлен трёхкомпонентный индукционный магнитометр. Его частотный диапазон составляет $0,003 \div 40$ Гц, пороговая чувствительность (уровень шумов, приведённых к напряжённости поля) в зависимости от частоты F достаточно точно описывается зависимостью $0,13[\text{мкА}/(\text{м} \cdot \text{Гц}^{1/2})]/F[\text{Гц}]$. Функция преобразования магнитного поля в выходное напряжение датчика на частотах ниже 4 Гц линейна и равна $0,5[\text{В} \cdot \text{м}/\text{мА}]F[\text{Гц}]$, а на частотах $4 \div 40$ Гц становится плоской и равной $2 \text{ В} \cdot \text{м}/\text{мА}$. Относительная погрешность модуля функции преобразования отдельных датчиков поля не превышает 3%; абсолютная погрешность фазы — 2° во всём диапазоне частот. Эти ошибки могут быть уменьшены калибровкой аналогового тракта системы сбора данных.

Выходные сигналы датчиков поступают на 24-разрядную систему сбора с частотой оцифровки 150 Гц. Временная привязка данных к мировому времени обеспечивается приёмником GPS, её погрешность не превышает 5 мс.

Датчики горизонтальных компонент H и D ориентированы вдоль магнитного меридиана и перпендикулярно ему соответственно. Магнитное склонение в районе обсерватории равно $6,5^\circ$ к западу.

Для уменьшения влияния ветровых, сейсмических и акустических помех все датчики поля вместе с вертикальным датчиком размещены в бетонном боксе, заполненном сухим песком. Чтобы уменьшить влияние местных электромагнитных помех, магнитные индукционные антенны вынесены на расстояние около 100 м от блока аналого-цифрового преобразования и 400 м от компьютера системы сбора. Источником помехи силовой сети с частотой 50 Гц и напряжённостью поля $50 \div 100$ мкА/м является воздушная линия электропередачи с рабочим напряжением 220 кВ между Верхне-Мутновской геотермальной электростанцией с мощностью 12 МВт и Петропавловском-Камчатским, проходящая примерно в 3 км к востоку от обсерватории.

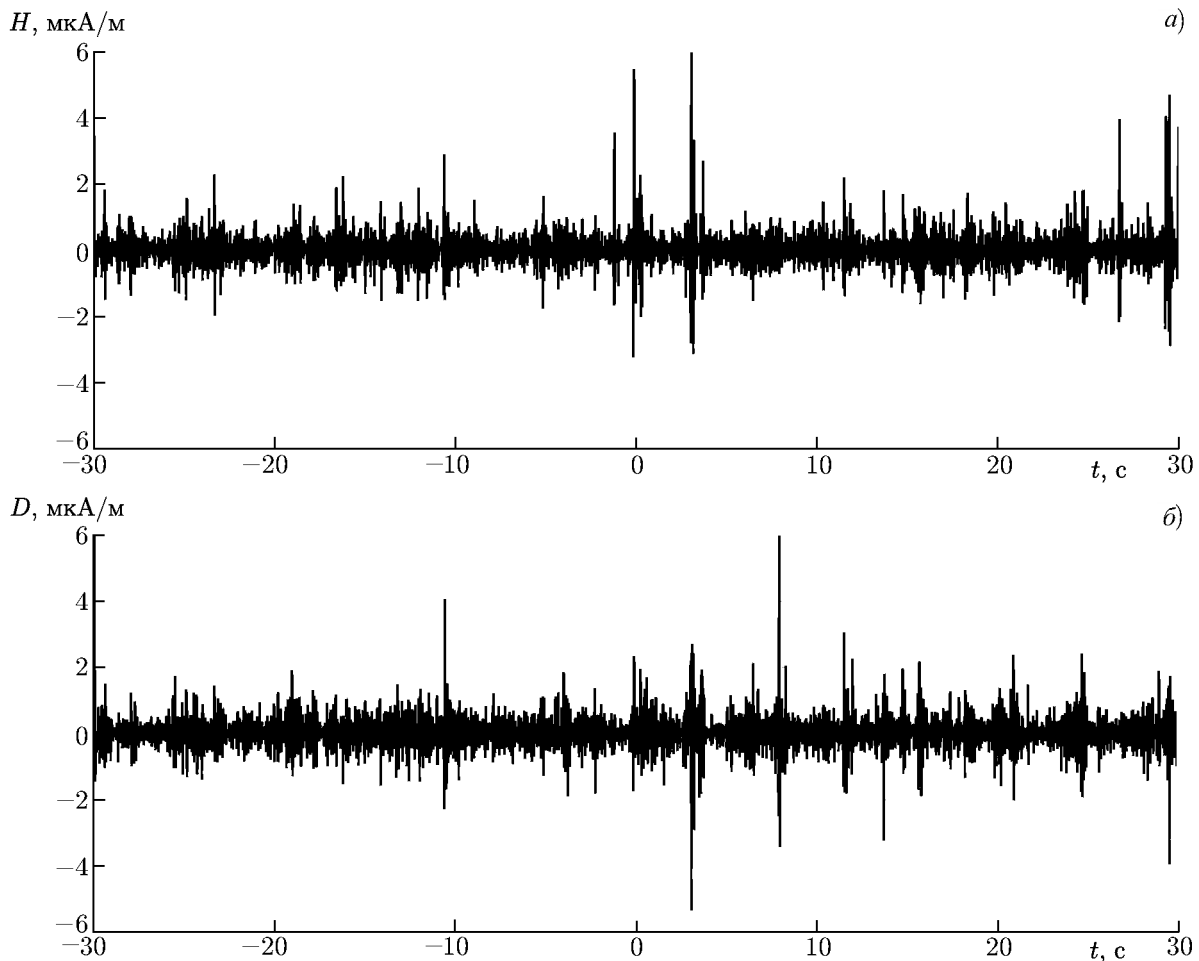


Рис. 1. Запись вариаций горизонтальных компонент магнитного поля H (а) и D (б) в окрестности момента прихода гамма-вспышки

2. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ СОПОСТАВЛЕНИЕ С МОДЕЛЬНЫМИ РАСЧЁТАМИ

Успех обнаружения сигнала во многом зависит от полноты априорных сведений о его параметрах. В данном случае нам известны: ожидаемое время прихода импульса, его поляризация и положение источника. Из сферической тригонометрии легко рассчитать расстояние до центра возмущения $D_S = 9,7$ Мм и его азимут $A_z = 129,3^\circ$. Рассчитаны также ожидаемый спектр импульса и его волновая форма. Возможным характерным максимумом в окрестности 60 Гц мы не могли воспользоваться, т. к. эти частоты находятся за пределами полосы пропускания магнитометра и сигналы на них существенно ослаблены; кроме того, при спектральном анализе коротких нестационарных сигналов, ввиду слабого частотного разрешения, трудно избежать влияния помехи от основной гармоники силовой сети. Рассмотрим соответствие ожидаемых характеристик и экспериментальных данных, представленных на графиках рис. 1–4.

На рис. 1 показано поведение компонент поля в 30-секундной окрестности момента вспышки (момент вспышки соответствует нулю на шкале времени). Верхний график показывает вариации компоненты H магнитного поля, а нижний — компоненты D . Видно, что наиболее подходящим претендентом на ожидаемый сигнал, является максимальный импульс вблизи времени вспышки

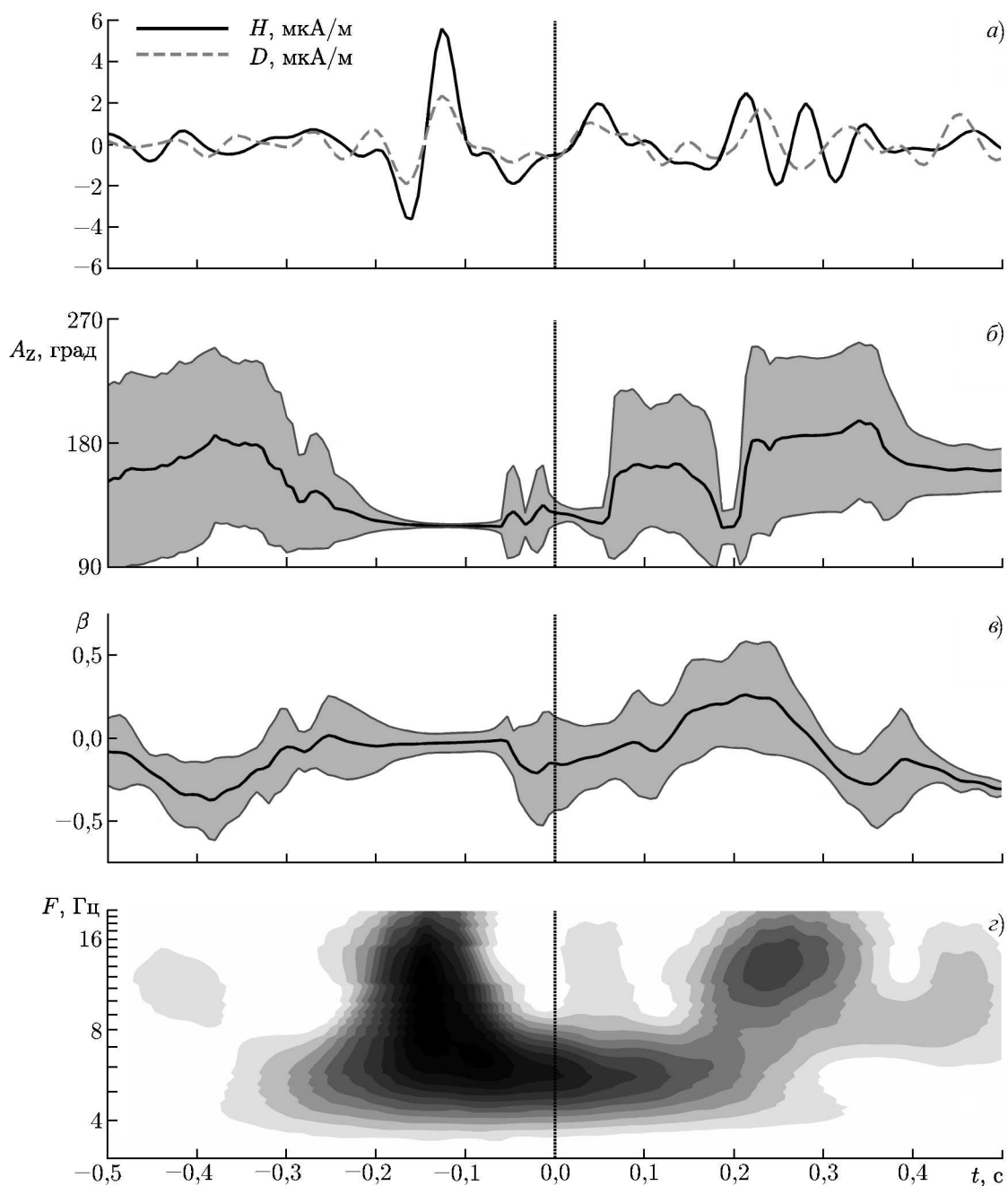


Рис. 2. Эволюция сигнала от $-0,5$ с до $0,5$ с: вариации компонент поля (а), азимут источника A_z (б), эллиптичность β (в), динамический спектр полного поля (г)

с амплитудой около 6 мкА/м в компоненте H . В компоненте D его амплитуда примерно в 3 раза меньше.

Проанализируем, в какой степени свойства этого импульса соответствуют ожиданиям. На рис. 2 структура сигнала представлена во временном интервале от $-0,5$ с до $0,5$ с. Здесь на рис. 2а приведены волновые формы компонент поля, на рис. 2б, в жирными линиями показаны эволюция азимута источника регистрируемого излучения и эллиптичности поля, соответственно. Стандартным отклонениям соответствуют серые области снизу и сверху от средних значений.

Азимут определялся как угол между направлением на север и перпендикуляром к главной оси эллипса поляризации, отсчитываемый по часовой стрелке. Его значение увеличено на величину магнитного склонения $6,5^\circ$. Значения эллиптичности и положения главной оси эллипса поляризации рассчитывались через элементы матрицы когерентности [9], выраженные через спектральные плотности компонент поля. Последние рассчитывались из коэффициентов вейвлет-разложения сигнала по комплексному гауссову вейвлету 3-го порядка. Оценки положения главной оси для каждого отсчёта импульсов усреднялись по их частотным компонентам в полосе $3 \div 20$ Гц, по ним же оценивались и стандартные отклонения этих параметров [10]. На рис. 2г показан нормированный суммарный спектр. По вертикальной оси отложена «частота» вейвлета в логарифмическом масштабе. Шкала частот соответствует центральным частотам материнского вейвлета, связанным с масштабом вейвлет-преобразования.

Рисунок 2 показывает, что импульс состоит из трёх участков, занимающих интервалы от $-0,2$ до $-0,1$ с, от 0 до $0,1$ с и от $0,15$ до $0,35$ с. На первом участке сигнал характеризуется широкой полосой, линейной поляризацией с азимутом порядка 120° . Сигнал на втором участке также линейно поляризован, но стабильный азимут в 120° наблюдается только в его начальной части, далее этот азимут появляется только в начале третьего участка. Видно, что во вторых частях интервалов 2 и 3 регистрируется сигнал с нестационарным азимутом в районе $150^\circ \div 190^\circ$. В спектре, который до этого имел максимум в районе 6 Гц, появляется компонента с частотой примерно равной частоте второго шумановского резонанса $14 \div 15$ Гц. Причина таких особенностей спектра отслеживается во временной области. Так, например, расстояние между первым и вторым и вторым и началом третьего импульса равно $150 \div 170$ мс, что и определило спектральную составляющую порядка 6 Гц. На части указанных интервалов сигналы имеют примерно линейную поляризацию и совпадающий азимут источника, а поэтому, возможно, относятся к одной и той же волне, идущей из одной области волновода. Можно принять, что первый из рассмотренных фрагментов — это головная часть «параметрического» сверхнизкочастотного всплеска. Тогда второй фрагмент отвечает «антиподной волне», т. е. волне, приходящей к наблюдателю со стороны антипода источника. Поскольку расстояние от наблюдателя до центра возмущения известно ($D_S = 9,7$ Мм), то разность хода антиподной и прямой волн равна 20,6 Мм. Учитывая, что первая пиковая частота головной части параметрического импульса составляет порядка 6 Гц, мы можем оценить ожидаемое запаздывание антиподной волны относительно прямой как $166[\text{мс}] \cdot 20,6[\text{Мм}]/20[\text{Мм}] = 172$ мс, что хорошо согласуется с опытными данными, показанными на рис. 2. Третий фрагмент записи включает импульс, «сопутствующий» параметрическому. Здесь мы можем ожидать прихода первой «кругосветной» волны.

На рис. 3 показаны азимутальные распределения источников сигналов для каждого из временных интервалов. На панелях (а) и (б) приводятся волновые формы компонент поля, на которых отмечены характерные участки записи. Интервалы выделены на рис. 3 вертикальными пунктирными линиями и отмечены серыми горизонтальными отрезками над осью времени на панели (б). На панели (в) приведены три круговые диаграммы, показывающие проекцию глобуса и эволюцию азимутальных распределений в указанных интервалах. Для их построения вся совокупность значений азимутов для элемента импульса распределялась по 10-градусным секторам, а затем подсчитывалось количество значений, попавших в каждый сектор. Полученное таким образом распределение наносилось в виде лепестковой гистограммы на карту, построенную в эквидистантной азимутальной проекции с центром в точке наблюдения [10]. Длина и степень затемнения каждого лепестка пропорциональны количеству значений, попавших в данный сектор. Видно, что на угловых диаграммах 1 и 2, соответствующих первым двум участкам записи, основной лепесток направлен почти точно на эпицентр вспышки, показанный звёздочкой, тогда как на диаграмме 3 пеленг источника «сопутствующего» импульса смещён как целое к восточному

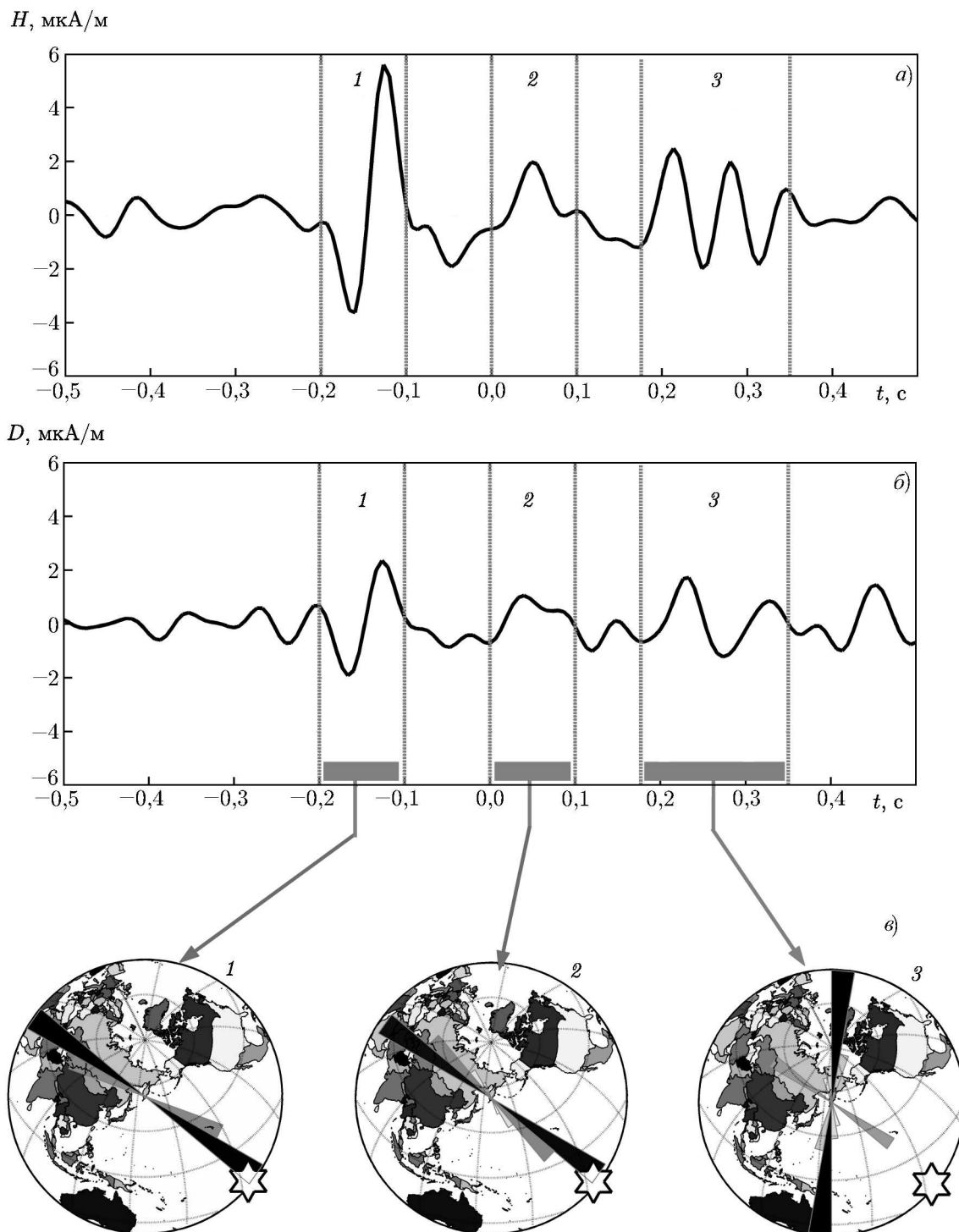


Рис. 3. Углы прихода радиоволн для различных фрагментов записи. Звездой показано положение эпицентра «параметрического» источника поля — области возмущения нижней ионосферы

побережью Австралии. Одновременно с этим, в третьем интервале записи всё ещё присутствует мода, по-прежнему указывающая на эпицентр вспышки (светло-серый сектор). Как будет показано ниже, этому сигналу соответствует начало третьего интервала.

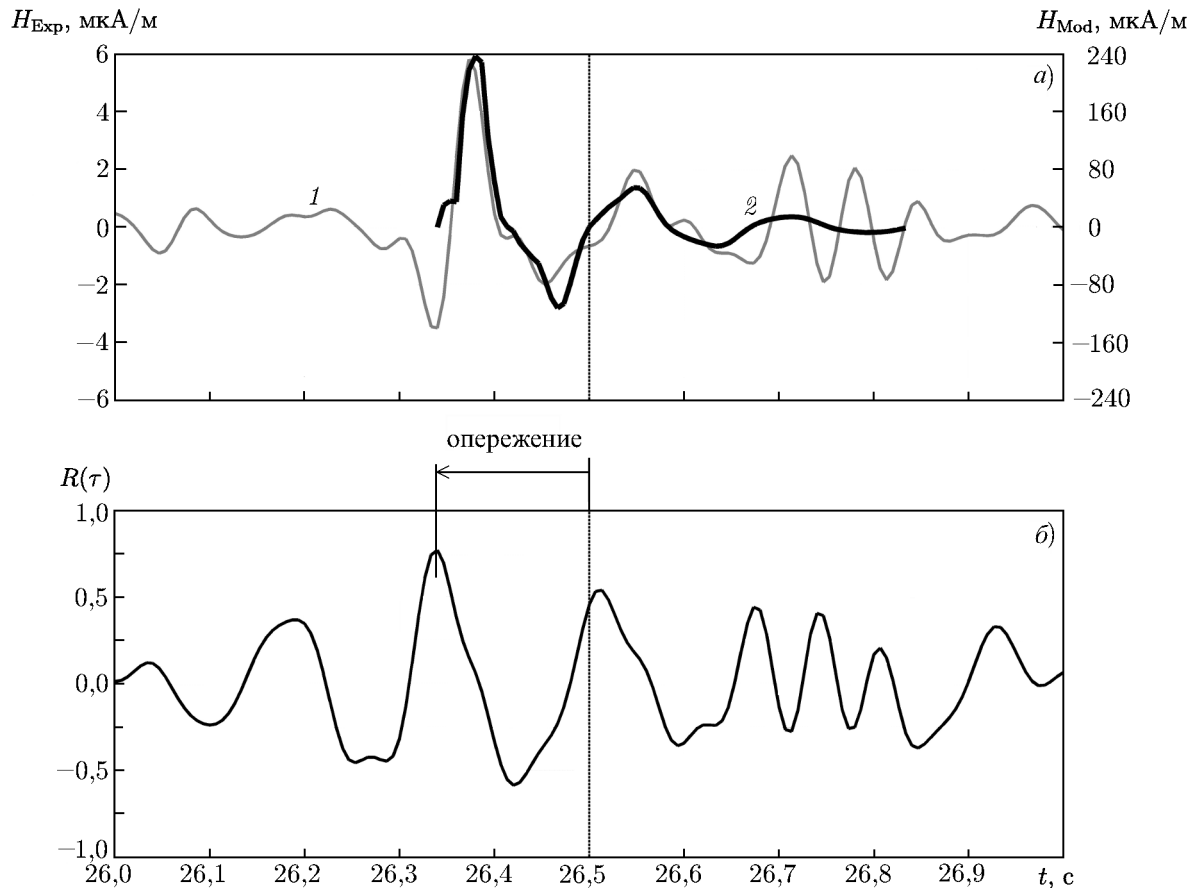


Рис. 4. Сопоставление экспериментальных (H_{Exp} , кривая 1) и расчётных (модельных H_{Mod} , кривая 2) значений вариаций компоненты магнитного поля H (а) и их функция кросскорреляции $R(\tau)$ (б) в 21:30:00 UT 27.12.2004. Положение максимума функции кросскорреляции соответствует смещению сигнала к предыстории вспышки

На рис. 4 демонстрируется соответствие расчётных волновых форм и экспериментальных импульсов. Экспериментальный (серая кривая) и модельный (чёрная кривая) сигналы для компоненты поля H показаны на рис. 4а. Расчёт выполнялся в предположении, что «параметрический источник» охватывает область радиусом 60° , что соответствует сверхдлинноволновым наблюдениям [1]. Амплитуда расчётного импульса отложена на правой ординате; видно, что ожидаемый импульс на два порядка превосходит расчётный. Однако при этом экспериментальная и расчётная формы импульса оказались очень похожи.

Мерой близости форм служит коэффициент взаимной корреляции, показанный на рис. 4б. Положение максимума этой функции определяет время прихода импульса в пункт наблюдения. Видно, что максимум коэффициента кросскорреляции равен примерно 0,75 и смещён в отрицательную область (к предыстории события) на 0,16 с. Мы обсудим эту особенность ниже, а здесь подчеркнём, что волновые формы реального и модельного сигналов хорошо согласуются в обеих компонентах поля.

Таким образом, соответствие наблюдается как в форме импульсов (одномодовый спектр шумановского резонанса), так и в угле прихода радиоволны в точку наблюдения (направление на центр ионосферного возмущения). Два из предсказанных теоретически признака наблюдаются экспериментально, а третий (время прихода) оказывается близким к ожидаемому, но по какой-то причине опережает гамма-всплеск.

3. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Основная проблема, связанная с экспериментально обнаруженным импульсом сверхнизкочастотного излучения, состоит в его «преждевременном» приходе. Здесь возможны различные варианты объяснений, и мы попытаемся перечислить все из них.

1) Первое и самое простое объяснение состоит в том, что в метках времени обсерватории содержится систематическая ошибка — GPS-часы «сбились». Полностью исключить такой вариант нельзя. Однако по данным других обсерваторий (мы надеемся, что сопоставление всех имеющихся записей составит предмет отдельной публикации) можно видеть, что сигнал Карымшино идеально согласуется с данными других станций. Приходится признать, что сбой во временных метках, если он и произошёл в действительности, присутствует во всех записях одновременно и поэтому связан не с отдельной обсерваторией, а с системой навигации GPS. Такая возможность представляется нам маловероятной.

2) Могло оказаться, что опережение импульса («предвестник» присутствует во всех упомянутых записях) никак не связано с гамма-лучами и его регистрация — это случайное совпадение времени прихода обычного сверхнизкочастотного всплеска от мощной молнии. Но тогда придётся объяснять, почему такое случайное совпадение сопровождается одновременным совпадением в следующих независимых параметрах сигнала: а) импульс пришёл из «правильного» сектора азимутов; б) спектр импульса (его волновая форма) содержит только основной мод шумановского резонанса, как и предсказано в модели; в) поляризация сигнала линейна, что в модели обусловлено большими размерами одновременного снижения дневной ионосферы. Здесь уместно упомянуть, что ток параметрического источника поля должен иметь «положительную полярированность», т. е. положительный импульсный ток направлен вертикально вниз. В записях это означает, что первая полуволна вертикального электрического поля отрицательна. К сожалению, в Карымшино отсутствуют измерения электрической компоненты; желательно было бы проверить и справедливость этого предсказания по записям станции, где регистрируется также и вертикальное электрическое поле. Совпадение трёх указанных выше признаков, вероятнее всего, говорит о том, что речь действительно идёт о параметрическом возбуждении полости Земля—ионосфера, а не о случайном совпадении.

3) Если рассматриваемый всплеск излучения связан с приходом гамма-квантов, то необходимо объяснить, как могло возникнуть опережение в 0,16 с.

Прежде всего надо отметить, что в работе [3] использована простейшая модель. В ней используются хорошо проводящие Земля и ионосфера, разделённые сферическим слоем идеально диэлектрика. Опускание половины верхней обкладки заряженного сферического конденсатора вызывает дельта-ток параметрического источника. Реальное строение глобальной электрической цепи значительно сложнее. Проводимость воздуха конечна и изменяется с высотой. Разность потенциалов между ионосферой и Землёй неравномерно распределена по высоте (см., например, [8]). Потенциал возрастает быстрее всего в области, где сосредоточена главная часть электрического сопротивления атмосферы. Эту область называют «электросферой», она примерно соответствует верхней границе тропосферы и имеет толщину несколько километров. Отсюда становится ясно, почему в опыте наблюдался импульс значительно более слабый, чем предсказано теоретически. Дело в том, что в расчёте предполагалось, что весь заряд верхней атмосферы сосредоточен на нижней кромке дневной ионосферы, и эта граница скачком опускается на 20 км, как это следует из сверхдлинноволновых наблюдений [1]. Поскольку токи и заряды глобальной электрической цепи распределены во всей толще воздуха, на электросферу приходится иной заряд, а её вертикальное смещение не может превышать нескольких километров. Очевидно, что концепция электросферы объясняет уменьшение наблюдаемой амплитуды импульсного сигнала. Кроме того, эта

область, подобно озоносфере, может оказаться чувствительной к более мягкому ионизирующему излучению, чем жёсткие гамма-кванты. Если при развитии гамма-вспышки сначала приходит более мягкое излучение, то эта не столь энергичная часть, к которой чувствительна электросфера, может остаться незамеченной космическими рентгеновскими и гамма-телескопами. Тогда, благодаря спектральной чувствительности электросферы, импульс в сверхнизкочастотном диапазоне опередит изменения, наблюдаемые на сверхдлинных волнах и связанные с более жёстким излучением. Можно предложить и более экзотическую интерпретацию.

Ионизация нижней ионосферы (область D и ниже) поддерживается галактическим фоном ионизирующего излучения. Именно поэтому при повышении солнечной активности область D не снижается, а сдвигается на ночной стороне Земли в область больших высот. Этот факт хорошо известен из наблюдений сигналов сверхдлинноволновых радиостанций. Объяснение состоит в том, что активное Солнце «выметает» галактический фон Солнечной системы, и высота ночной ионосферы возрастает.

Галактический фон можно привлечь и к объяснению «преждевременной» регистрации параметрического импульса. Предположим, что поток гамма-квантов, проходя сквозь «сплошную среду», образованную галактическим фоном, создаёт «сгущение» ионизирующей компоненты перед фронтом гамма-лучей. Если расстояние между пиком сгущения и фронтом потока составляет порядка 50 тыс. км, то опережение параметрического импульса окажется равным примерно 0,16 с.

Из сказанного следует, что сверхнизкочастотный импульс должен «расщепиться» на две части. Его первая часть опережает приход гамма-всплеска и связана с воздействием мягкого излучения или галактического фона на электросферу. А вторая часть, вызванная непосредственно гамма-лучами, возникает с приходом гамма-частиц (или несколько запаздывает благодаря времени реакции электросферы). Нечто похожее мы видим в экспериментальной записи, представленной на рис. 2. Надо отметить при этом, что токи «вторичного» параметрического источника возникают при развитой модуляции электросферы. Поэтому само взаимодействие и возникающие токи могут обладать иными характеристиками, например, центр вторичного источника может сместиться.

Мы надеемся, что сопоставление имеющихся записей, приуроченных к событию 27 декабря 2004 года, позволит в будущем получить более полную картину вариаций сверхнизкочастотных сигналов и, в свою очередь, прольёт свет на взаимодействие атмосферы с потоком космического ионизирующего излучения.

В заключение перечислим главные результаты работы.

В непрерывных сверхнизкочастотных записях обсерватории Карымшино (Камчатка, Россия) в интервале времени, близком к моменту регистрации гамма-вспышки, обнаружен импульсный сигнал, в несколько раз превосходящий амплитуду шумановского резонансного фона.

Импульс наблюдается в обоих компонентах горизонтального магнитного поля и имеет форму, близкую к расчётной. Коэффициент взаимной корреляции расчётных и наблюдаемых в эксперименте временных форм достигает 0,75.

Направление на источник сверхнизкочастотного всплеска оказалось близким к направлению на центр ионосферного возмущения.

Обнаружено опережение сверхнизкочастотного всплеска по сравнению со временем наблюдения эффектов в сверхдлинноволновом диапазоне. Оно может указывать на генерацию электромагнитного импульса не ионосферой, а более низкими слоями атмосферы, так называемой «электросферой».

В дальнейшем желательно сопоставить результаты Карымшино с данными других обсерваторий, ведущих мониторинг шумановского резонанса, и с расчётом в рамках более реалистичной модели источника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Inan U. S., Lehtinen N. G., Moore R. C., et al. // *Geophys. Res. Lett.* 2007. V. 34. Art. no. L08103.
2. Hurley K., Boggs S. E., Smith D. M., et al. // *Nature*. 2005. V. 434. P. 1098.
3. Николаенко А. П. // *Изв. вузов. Радиофизика*. 2010. Т. 53, № 4. С. 235.
4. Николаенко А. П., Хайакава М. // *Радиофизика и электроника*. 2010. Т. 15, № 1. С. 78.
5. Nickolaenko A. P., Hayakawa M. // *J. Atmos. Electricity*. 2004. V. 30, No. 1. P. 1.
6. Блиох П. В., Николаенко А. П., Филиппов Ю. Ф. *Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земля—ионосфера*. Киев: Наукова думка, 1977. 199 с.
7. Nickolaenko A. P., Hayakawa M. *Resonances in the Earth-ionosphere cavity*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 2002. 380 p.
8. Rycroft M. J., Harrison R. G., Nicoll K. A., Mareev E. A. // *Space Sci. Rev.* 2008. V. 137. P. 83.
9. Fowler R. A., Kotick B. J., Elliot R. D. // *J. Geophys. Res.* 1967. V. 72. P. 2871.
10. Schekotov A. Y., Molchanov O. A., Hayakawa M., et al. // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2008. V. 8. P. 1237.

Поступила в редакцию 24 декабря 2010 г.; принята в печать 30 января 2011 г.

**EXPERIMENTAL DETECTION OF AN ELF TRANSIENT ASSOCIATED
WITH THE GAMMA-RAY BURST OF DECEMBER 27, 2004**

A. P. Nickolaenko and A. Yu. Schekotov

We compare the experimentally observed and model waveforms of the electromagnetic pulse associated with an abrupt change in the height of the Earth–ionosphere cavity that was caused by an intense gamma-ray burst, which arrived from the cosmic source in December 27, 2004. Polarization and spectral properties of the burst are examined. It is shown that the experimentally observed extremely low frequency (ELF) pulse exceeds the level of a regular Schumann-resonance background signal by a few times, and its waveform is close to the calculated one. The wave arrival angle is close to the direction towards the epicenter of the ionospheric disturbance. The time of pulse arrival at the Karymshino observatory (52.83°N, 158.13°E) is about 0.16 s ahead of the burst recording time.