

УДК 550.348.4

ОРБИТАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ИОНОСФЕРЫ И АНОМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА МАЛОМ СПУТНИКЕ “ВУЛКАН-КОМПАС-2”

© 2011 г. В. Д. Кузнецов¹, Л. Боднар², Г. К. Гарипов³, В. А. Данилкин⁴, В. Г. Дегтярь⁴, В. С. Докукин¹, Т. А. Иванова³, О. В. Капустина¹, В. Е. Корепанов⁵, Ю. М. Михайлов¹, Н. Н. Павлов³, М. И. Панасюк³, И. С. Прутенский¹, И. А. Рубинштейн³, Ю. Я. Ружин¹, В. М. Синельников¹, В. И. Тулупов³, Ч. Ференц², А. В. Широков³, И. В. Яшин³

¹Учреждение РАН Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова г. Троицк (Московская обл.)

²Space Research Group Etwos University, Budapest, Hungary

³Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета, Москва

⁴ОАО “Государственный ракетный центр им. акад. В.П. Макеева” г. Миасс (Челябинская обл.)

⁵Center of Cosmic Investigation of NANU and NCAU, Lvov, Ukraine

e-mail: kvd@izmiran.ru

Поступила в редакцию 25.05.2010 г.

После доработки 21.09.2010 г.

Природные катастрофы, процессы их зарождения, крупномасштабные техногенные катастрофы сопровождаются аномальными физическими явлениями в околоземном космическом пространстве. Для обнаружения таких явлений, их регистрации и исследований необходим комплексный мониторинг ОКП с помощью специализированного состава научной аппаратуры, размещенного на борту низкоорбитального космического аппарата. В работе представлены результаты летных испытаний малого космического аппарата “Вулкан-Компас-2” с комплексом научной аппаратуры, созданным специально для орбитального мониторинга ионосферы и поиска аномальных явлений, обусловленных крупномасштабными катастрофами различной природы.

1. ВВЕДЕНИЕ

Актуальной задачей орбитального мониторинга околоземного космического пространства (ОКП) является поиск аномальных физических явлений, связанных как с природными катастрофами, их подготовкой и возможными предвестниками, так и являющихся следствием техногенных катастроф.

К настоящему времени, на фоне известных вариаций параметров ОКП, обусловленных взаимодействием солнечной радиации и солнечного ветра с магнитосферой, ионосферой, атмосферой, магнитным полем и поверхностью Земли, обнаружен и выделен ряд аномальных физических явлений в литосфере, атмосфере, ионосфере и магнитосфере Земли, возникающих в результате катастрофических событий на Земле, включая землетрясения, тропические циклоны, торнадо, ядерные испытания и аварии на атомных электростанциях и др. [Липеровский и др., 1992; Oraevsky et al., 1994; Oraevsky et al., 1995; Ruzhin and Depueva, 1996; Бучаченко и др., 1996; Ruzhin and Larkina, 1996; Фукс и Шубова, 1994; Ruzhin et al., 1995; Исаев и др., 2002; Sorokin et al., 2005; Oraevsky et al., 1995; Calais and Minster, 1996; Нагорский, 1998; Афраймович и др., 2002; Rapoport et al., 2004; Ruzhin and Depueva, 1995; Dokukin et al., 2000; Ружин и Кузнецов, 2005]. Не-

смотря на то, что в последние годы активно и небезуспешно обсуждаются физические модели и механизмы, позволяющие объяснить некоторые особенности обнаруженных явлений, пока нет ясности в целом. Особый интерес представляют вариации параметров ОКП ассоциируемые с сейсмической активностью в фазе подготовки мощных землетрясений. Имеющийся ряд наблюдений демонстрирует перспективность исследований в этом направлении с целью создания, в дальнейшем, практической системы мониторинга ОКП и диагностики процессов подготовки землетрясений, однако, материалы наблюдений носят случайный характер, в основном, ретроспективно используются архивы и базы данных. Дальнейший прогресс в этих исследованиях возможен только благодаря организации целевых программ мониторинга ОКП, созданию специального комплекса научной аппаратуры и соответствующего программно-математического обеспечения.

По инициативе ИЗМИРАН, в рамках Федеральной космической программы России был разработан и реализован в 2006–2007 гг. проект “Вулкан-Компас-2”, включивший в себя разработку новой космической платформы – малого космического аппарата “Вулкан-Компас-2” и специального комплекса научной аппаратуры, предназначенного для

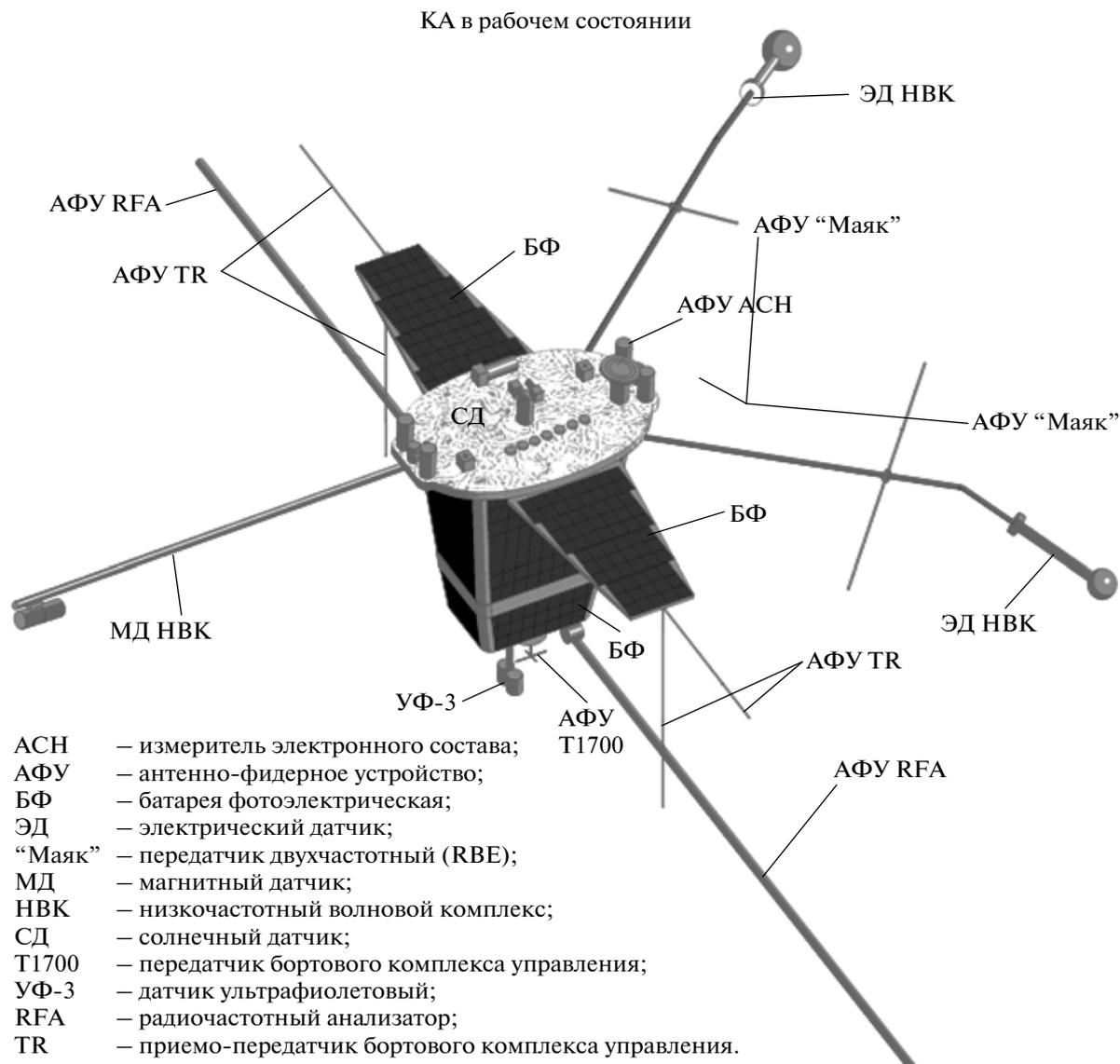


Рис. 1. Общий вид МКА “Вулкан-Компас-2”.

мониторинга ионосферы и поиска аномальных физических явлений, связанных с природными и техногенными катастрофами, в том числе и с процессами подготовки сильных землетрясений.

Основной целью запуска микроспутника “Вулкан-Компас-2” были летные испытания и отработка всех основных элементов системы в интересах создания космической системы для мониторинга природных и техногенных катастроф.

2. МАЛЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ (МКА) “ВУЛКАН-КОМПАС-2”

Экспериментальный малый космический аппарат МКА “Вулкан-Компас-2” (рис. 1) был выведен 26 мая 2006 г. на околоземную орбиту с наклони-

ем 78.90° , апогеем 519.0 км, перигеем 412.3 км и периодом обращения 93.59 мин. Общая масса МКА — 80 кг (в т. ч. масса научной аппаратуры — 20 кг).

В процессе реализации этого пилотного проекта должна была быть испытана вновь разработанная целевая научная аппаратура, режимы ее работы и характеристики, методика сбора, обработки и анализа информации в режиме реального времени, а также новые служебные системы микроспутника — центральный бортовой процессор, аппаратура радиоканалов телеметрии и радиопередачи, система ориентации, система обеспечения теплового режима и система электроснабжения.

В реализации проекта принимали участие: “Государственный ракетный центр КБ им. акад. В.П. Макеева” — в части создания ракетно-космического

Таблица. Основные параметры научной аппаратуры комплекса “Компас-2”

№№	Прибор	Вес, кг	Потребление, Вт	Информационный поток, Мбайт/сут	Диапазон измерений
1	Радиочастотный анализатор РЧА	1.8	3.4	21	50кГц÷18МГц
2	Низкочастотный волновой анализатор ОНЧ/КНЧ	3	5	50	0.1 Гц÷20кГц
3	Двухчастотный передатчик 150/400 “Маяк”	2	6	0	150/400МГц
4	GPS-приемник аппаратуры спутниковой навигации (АСН)	2	3	25	1.2ГГц/1.5 ГГц
5	Детектор радиации и ультрафиолета ДРФ	4.5	3	4	$E_e \geq 40 \text{кэВ}; 300\text{--}600 \text{кэВ};$ $\geq 0.7\text{--}0.9 \text{МэВ}$ $E_p \geq 7\text{--}16 \text{МэВ}; 14\text{--}60 \text{МэВ};$ $\geq 110 \text{МэВ}$ $E_\alpha \geq 400 \text{МэВ}$ $\lambda = 200\text{--}350 \text{нм}$

комплекса (спутниковая платформа “Компас-2” (рис. 1) и конверсионная ракета РСМ-54 (“Штиль”) и обеспечения запуска КА с подводной лодки из акватории Баренцева моря); Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова (ИЗМИРАН) Российской академии наук – в части научно-методической разработки проекта и поставки бортовой научной аппаратуры с участием Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ) и международной кооперации (Украина, Венгрия, Польша, Швеция).

Управление спутником “Компас-2” осуществляли ЦУП ЦНИИМАШ (г. Королев), передвижной и стационарный ЦУПы ГРЦ им. акад. В.П. Макеева (г. Миасс) и ИЗМИРАН (г. Троицк).

3. КОМПЛЕКС НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ

Комплекс научной аппаратуры МКА “Вулкан-Компас-2” включал в себя пять научных приборов, предназначенных для измерения высотных профилей и вариации параметров ионосферы; электромагнитных излучений и вариаций параметров и потоков энергичных частиц:

– Приборы ионосферного комплекса:

- двухчастотный (1.2 и 1.5 ГГц) GPS-приемник аппаратуры спутниковой навигации (АСН), предназначенный для глобального мониторинга ионосферы–атмосферы методом радиозатменного просвечивания;

- двухчастотный передатчик РВЕ 150/400 “Маяк”, предназначенный для проведения радиотомо-

графической реконструкции ионосферы и локальных аномалий ионосферы.

– Приемники-анализаторы электромагнитных излучений:

- радиочастотный анализатор в диапазоне частот (50 кГц–18 МГц) РЧА (RFA), предназначенный для регистрации плазменных излучений в ионосфере, которые позволяют определить основные параметры плазмы в окрестности КА, включая локальную плазменную частоту на высоте спутника;

- низкочастотный волновой анализатор ОНЧ/КНЧ в диапазоне частот 0.1–20 кГц, предназначенный для регистрации и анализа аномальных низкочастотных шумов в ОКП, связанных с сейсмической активностью.

– Детектор энергичных частиц:

- детектор радиации и ультрафиолета ДРФ “DRF”, предназначенный для регистрации электронов и протонов радиационных поясов Земли и космических лучей, а также ультрафиолетового излучения верхней атмосферы Земли.

Основные параметры научной аппаратуры комплекса представлены в таблице.

4. НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В процессе летных испытаний платформы МКА “Компас-2” были выявлены проблемы и ограничения ее опытной эксплуатации, связанные с нештатным функционированием служебных систем МКА – канала радиуправления и системы энергообеспечения.

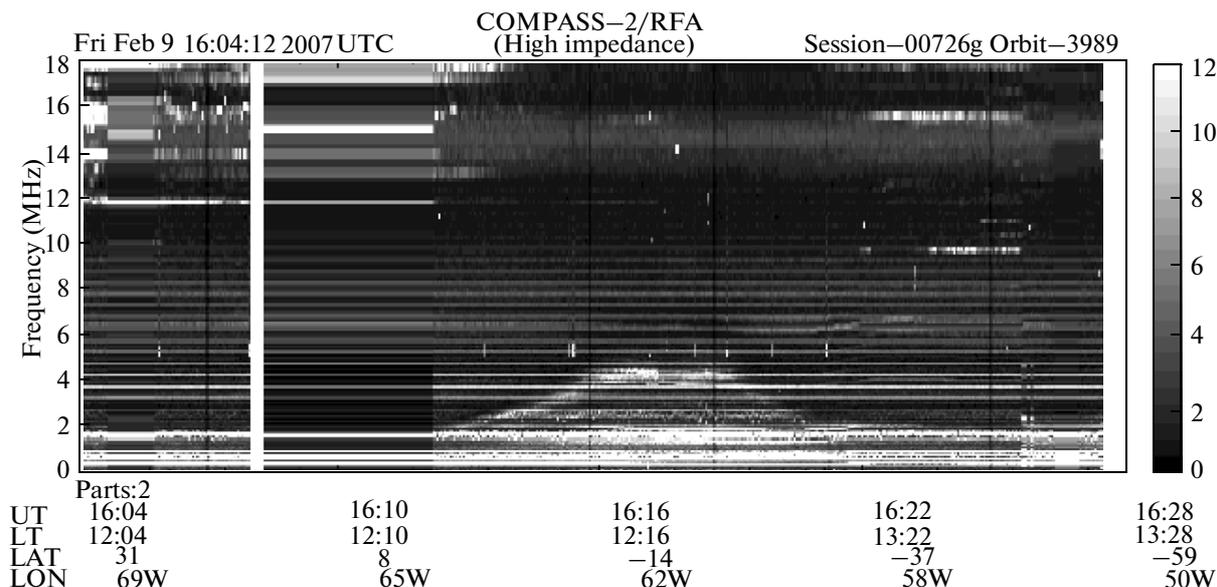


Рис. 2. Пример динамического спектра, зарегистрированного прибором РЧА при пролете над областью экваториальной аномалии 9 февраля 2007 г. при высоком входном импедансе антенны. Слева представлен частотный диапазон прибора, справа – палитра интенсивности принимаемого сигнала в ТМ единицах, снизу приведены орбитальные данные: универсальное время, местное время, широта, западная долгота.

Несмотря на эти ограничения, основные задачи отработки приборов комплекса научной аппаратуры в рамках летных испытаний экспериментально-го МКА были решены.

Были проверены и подтверждены основные характеристики научных приборов. Выполнено несколько циклов измерений и мониторинга параметров околоземного космического пространства над сейсмоактивными регионами.

В процессе летных испытаний и опытной эксплуатации приборов комплекса научной аппаратуры МКА были получены данные измерений фонового состояния ионосферы, зарегистрированы явления мощной грозовой активности в верхней атмосфере, в околоземном космическом пространстве зарегистрированы потоки ускоренных протонов и электронов, связанные с солнечной активностью во время крупной геомагнитной бури 15 декабря 2006 г., выполнено позиционирование МКА с помощью прибора АСН по сигналам системы *GPS*, продемонстрирована практическая возможность использования прибора АСН для расчетов орбитальных данных КА и временной привязки данных измерений с высокой точностью при проведении уникальных синхронных экспериментов с наземными и орбитальными средствами в единой системе времени, осуществлена регистрация свистящих атмосфериков (СА), зарегистрированы прохождение СА от поверхности Земли к спутнику по короткому пути (частично-диспергированные СА), уширение спектра СДВ-станций, сигналы атмосфериков, сопутствующие сейсмоактивным процессам.

На рисунке 2 представлен пример динамического спектра, зарегистрированного прибором РЧА при пролете над областью экваториальной аномалии 9 февраля 2007 г. при высоком входном импедансе антенны.

Датчик радиации и ультрафиолета ДРФ регистрировал энергичные частицы и атмосферные свечения различной природы. Проводимые этим прибором измерения позволяли контролировать геофизическую обстановку на орбите спутника, что весьма важно для интерпретации данных и выделения фоновых и аномальных событий.

На рисунках 3–5 приведены примеры результатов измерений потоков энергичных частиц. Представленные измерения выполнены в ночь с 14 на 15 декабря 2006 г. Этот период был насыщен событиями в магнитосфере Земли и в межпланетном пространстве [Тверская и др., 2008]. В солнечных космических лучах (СКЛ) наблюдался спад интенсивности протонной компоненты, инжектированной в межпланетное пространство вспышкой 13-го декабря, а затем к Земле стали приходить частицы от новой солнечной вспышки, произошедшей в 22:14 UT 14-го декабря. В солнечном ветре с 14:14 UT по 23:00 14-го декабря регистрировалось прохождение через орбиту Земли высокоскоростного струя плазмы *CME* (coronal mass ejection). В геомагнитной обстановке около 23:00 UT зафиксировано начало магнитной бури с максимальным $|Dst| = 146$ нТл, достигнутым 15-го декабря в 08:00 UT.

Из рисунка 3 видны: заполненность полярной шапки протонами СКЛ с $E_p = 7–15$ МэВ (платооб-

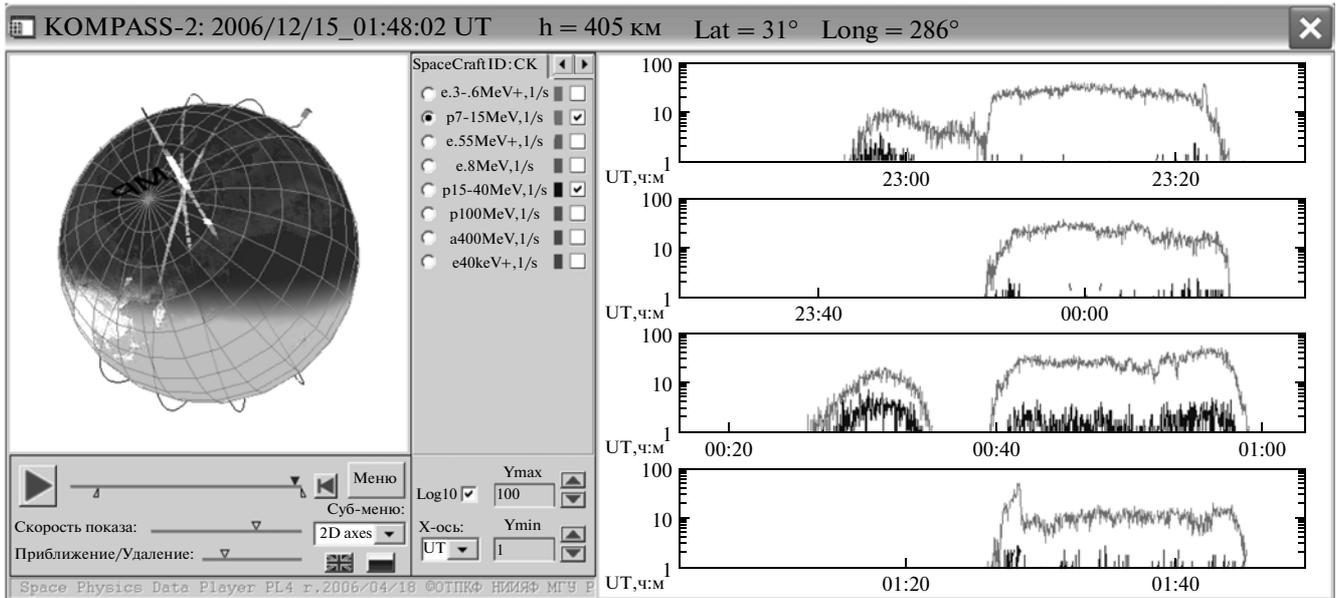


Рис. 3. Данные ДРФ о потоках протонов в период с 2006/12/14 22:45 UT по 2006/12/15 01:48 UT. Справа: временной ход скорости счета протонов 7–15 МэВ (светло-серая линия) и 15–40 МэВ (темная линия) при пролете южного (первая и третья панели) и северного (вторая и четвертая панели) полушарий. Слева: вид северной полярной шапки Земли с подсветкой орбиты спутника данными из канала протонов 7–15 МэВ (чем светлее и толще линия, тем выше скорость счета) и указанием положения магнитного полюса (MP).

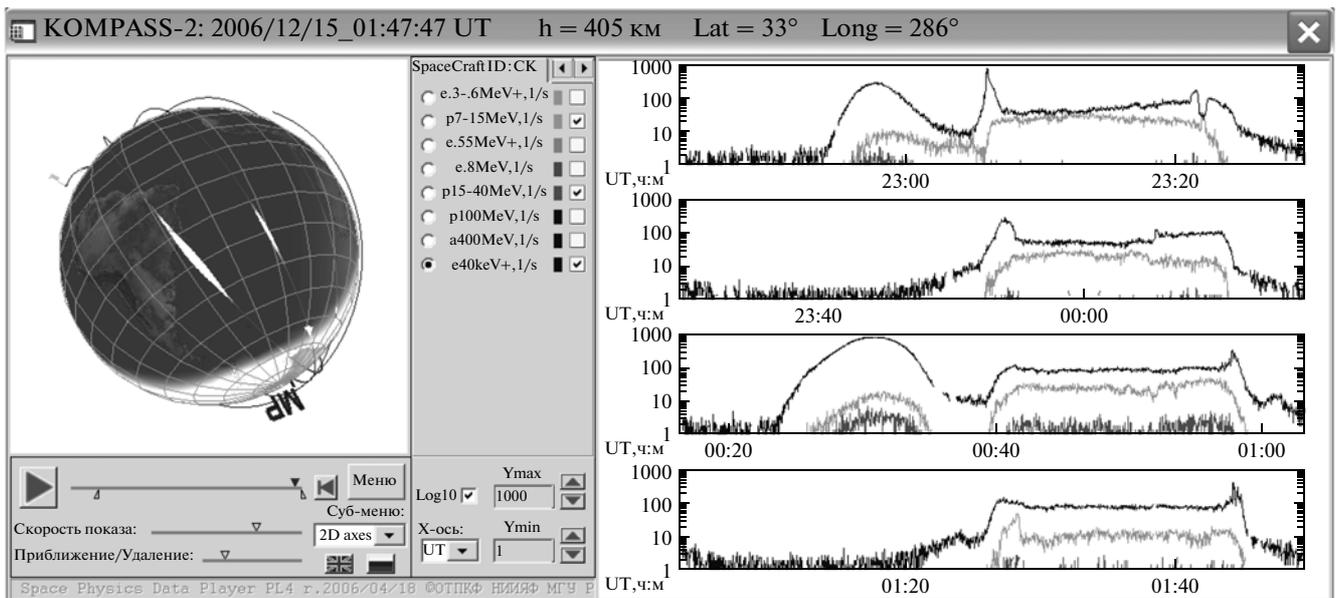


Рис. 4. То же, что на рис. 3, но: справа – добавлен канал газоразрядного счетчика (самая темная линия), а слева – на данных этого детектора показано прохождение спутником Южно-Атлантической аномалии.

разные возрастания), рост потоков протонов с $E_p = 15\text{--}40$ МэВ в пролете шапки 00:40–01:00 UT, возрастания, связанные с Южно-Атлантической магнитной аномалией (выросты слева от плато, наблюдаемые в южном полушарии). Рисунок 4 позволяет рассмотреть географическую локализацию Южно-Атлантической аномалии; для ее индикации используется добавленный в рис. 4 канал газоразрядного счетчика. На рисунке 5 представлены данные изме-

рений потоков энергичных электронов: видны Южно-Атлантическая аномалия; радиационные пояса; полярное плато (из-за учета протонов СКЛ с $E_p > 7$ МэВ в канале I); разномасштабные вариации потоков и в шапках, и в поясах; асимметрии север–юг и день–ночь; снижение широты авроральной зоны; наполнение области в районе внутреннего пояса электронами с $E_e = 300\text{--}600$ кэВ с их сдвигом вглубь

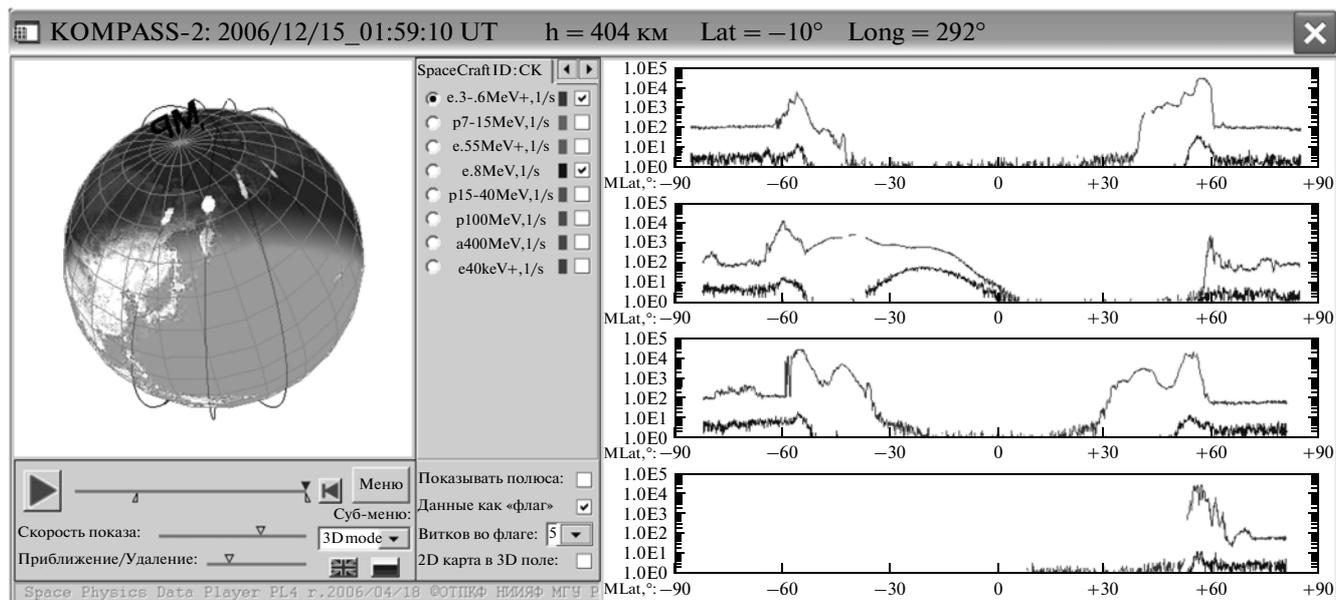


Рис. 5. Технологические данные ДРФ с детекторов, регистрирующих электроны, за тот же период, что на рис. 3–4. Справа: скорость счета в каналах с пороговыми энергиями (1) $E_e = 300\text{--}600$ кэВ + $E_p > 7$ МэВ (светло-серая линия) и (4) $E_e > 800$ кэВ (темная линия); по оси X приведена магнитная широта. Слева: вид северной полярной шапки с подсветкой орбиты спутника данными канала (1).

7 S 36 E 21:04:41 02.12.2006 MET

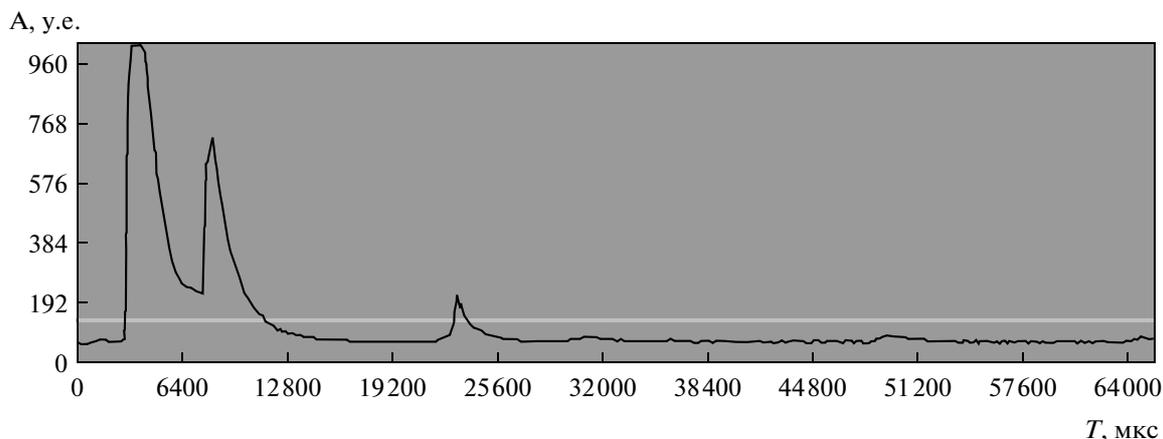


Рис. 6. На осциллограмме — мощное грозное явление над Кенией, зарегистрированное на ночной стороне Земли с помощью датчика ультрафиолета в 21:04:41 UT 02.12.2006 г. Двойной начальный импульс, по-видимому, два почти одновременных разряда.

магнитосферы на дневной стороне в период вблизи локального минимума Dst .

На рисунках 6–7 показаны осциллограммы, зарегистрированные на ночной стороне Земли с помощью датчика ультрафиолета ДРФ.

Наиболее результативными и интересными представляются результаты регистрации низкочастотных электромагнитных сигналов низкочастотным волновым анализатором ОНЧ/КНЧ [Лихтер и др., 1988; Михайлов и др., 2004; Dowden et al., 2004; Ferencz et al., 2009; Ferencz et al., 2008; Lichtenberger et al.,

2009; Mikhailov et al., 2008]. Значительное внимание было уделено исследованиям различных видов свистовых сигналов.

В наблюдениях были зарегистрированы следующие явления.

1) Частично-диспергированные свисты над Индонезией.

На спектрограмме (рис. 8) приведены следы дискретных сигналов, частота которых плавно уменьшается со временем. Это генерируемые молниевыми разрядами частично-диспергированные

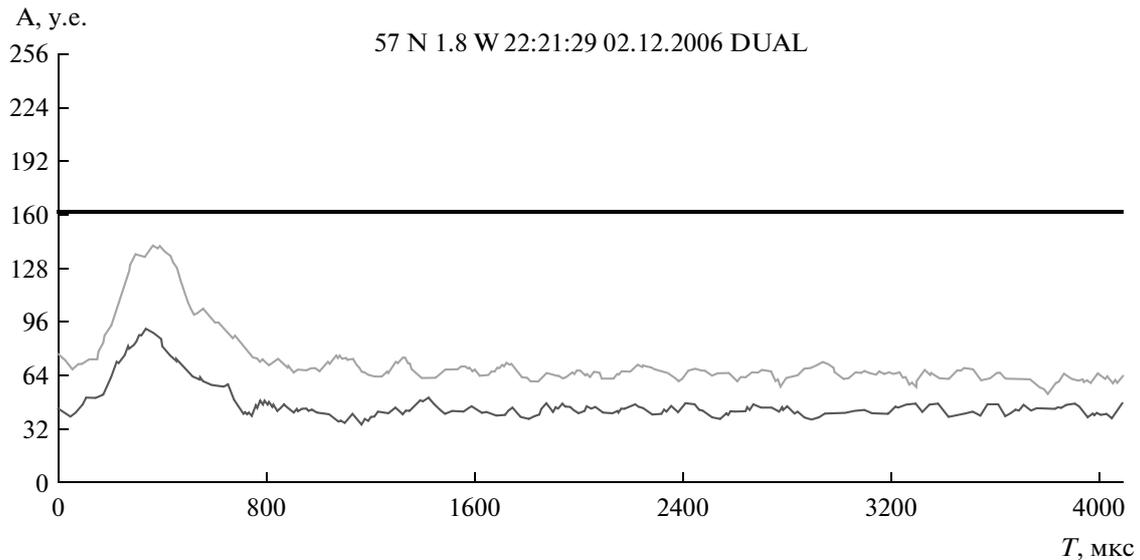


Рис. 7. Оциллограммы излучений, зарегистрированных на ночной стороне Земли с помощью датчика ультрафиолета ДРФ в 22:21:29 UT 02.12.2006 г. На оциллограмме показаны измерения в каналах ультрафиолета (светлая кривая) и красного диапазона длин волн (темная кривая) — быстрое оптическое явление, зарегистрированное над Шотландией в 22:21:29 UT 02.12.2006 г.

СА, распространяющиеся по короткому пути из волновода Земля–ионосфера до высот спутника. На верхнем фрагменте представлена спектрограмма электрической компоненты, на нижнем — магнитной. Шкала интенсивностей изображена слева. Анализ распределения молниевых разрядов [Dowden et al., 2004], выполненный для 29.11.2006 г. 05:00:00 UT показал наличие большого числа молний в зоне Индонезии. Для частично-диспергированных свистов дисперсия $D \sim 5$, максимум в спектре находится на частоте 2500 Гц.

2) Дуплеты свистов.

Хотя дуплеты, или парные свисты, наблюдаются на спутниках очень давно, вопрос о механизме их распространения остается не вполне ясным. На рисунке 9 приведены результаты измерения дуплетов свистов на спутниках “Интеркосмос-24” (слева) и “Компас-2” (справа). Регистрация дуплетов на малых высотах указывает на возможность их возникновения при распространении по близким дактам, в то же время вероятность их возникновения вследствие отражения от ионосферы является маловероятной.

3) Многотраекторные ветвистые свисты.

Одним из интересных результатов, полученных на спутнике “Вулкан-Компас-2”, было обнаружение необычного характера частотной зависимости многотраекторных ветвистых свистов в области 0–100 Гц. Эта часть спектра на спутнике была свободна от помех, что позволило проследить зависимость частота–время $f(t)$ с большей точностью. Обычно считается, что при $t \rightarrow \infty$ кривая $f(t)$ асимптотически стремится к нулю, не достигая его. Однако, в последнее время работами Группы исследования космоса при университете Этваша (Будапешт,

Венгрия) [Ferencz et al., 2009] было высказано предположение о возможности распространения в дактах мод высоких порядков. Это предположение было подтверждено на основании расчетов распространения свистов с учетом полного волнового уравнения. Рассматривалась замагниченная плазма, в которой распределение электронной плотности образует вокруг H_x -компоненты магнитного поля концентрический волновод, в котором возможно распространение мод более высоких порядков — “луковичная структура”. На рисунке 10 дано модельное представление частотно-временных характеристик электрической и магнитной компонент свиста, распространяющегося в подобной структуре в форме моды 3-го порядка. Там же приведены характеристики электрической и магнитной компонент свиста, зарегистрированного 28.02.2007 г. на МКА “Вулкан-Компас-2”, хотя пространственная ориентация компонент не была идентифицирована. Из рисунка видно, что характеристика $f(t)$ достигает нулевого значения за конечный промежуток времени. Это позволяет предположить, что имело место распространение свиста в форме моды 3-го порядка в концентрическом волноводе. К сожалению, наблюдения на МКА “Вулкан-Компас-2” не позволили получить полной статистической картины явления, что, по-видимому, будет результатом последующих экспериментов.

4) Шумовой всплеск над Центральной Европой.

Во время пролета спутника над Центральной Европой на сонограмме записи наблюдался необычный сигнал (рис. 11) с высоким уровнем в узком диапазоне частот 500–2000 Гц, который напоминает низкочастотный частотно-диспергированный (ч.д.) СА с последующим шумовым излучением на частоте

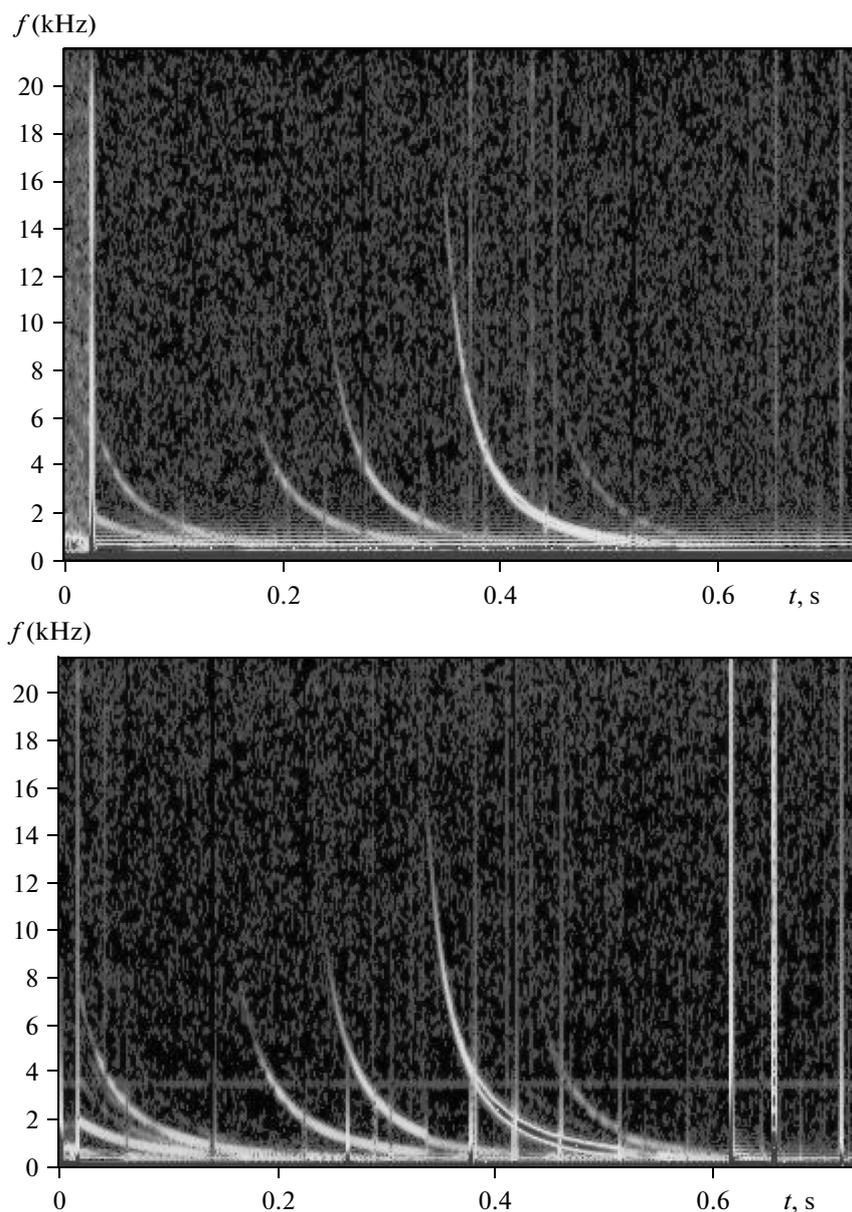


Рис. 8. Частотно диспергированные свисты, регистрировавшиеся над Индонезией.

те максимума в спектре ч.д. СА или же это серия почти не разделяемых ч.д. СА. Система TOGA [Dowden et al., 2004] в это время локализовала несколько атмосфериков в Средиземноморье.

5) Уширение сигналов СДВ-передатчиков.

При взаимодействии монохроматических волн с магнитосферной плазмой возникают триггерные излучения или уширение частотного спектра этих сигналов (рис. 12).

Триггерные излучения, по-видимому, связаны с резонансным взаимодействием ОНЧ-волн с электронами радиационных поясов в неоднородном магнитном поле. Эффекты уширения частотного

спектра могут быть обусловлены магнитосферным взаимодействием свистовых волн с частицами.

б) Сигналы в сейсмоактивном регионе.

В настоящее время весьма актуальной является задача о прохождении сильных электромагнитных сигналов через нижнюю ионосферу. Нами сделана попытка в этой связи рассмотреть прохождение сигналов сильных атмосфериков, которые могли быть предвестниками землетрясений. На рисунке 13 приведен динамический спектр низкочастотного волнового ОНЧ/КНЧ излучения, полученный при пролете над Камчаткой 27.02.2007 г. в 21:35:49. (см. рис. 14). Обнаруженные аномальные сигналы ("А" в левой части рис. 13), возможно связаны с подготовкой земле-

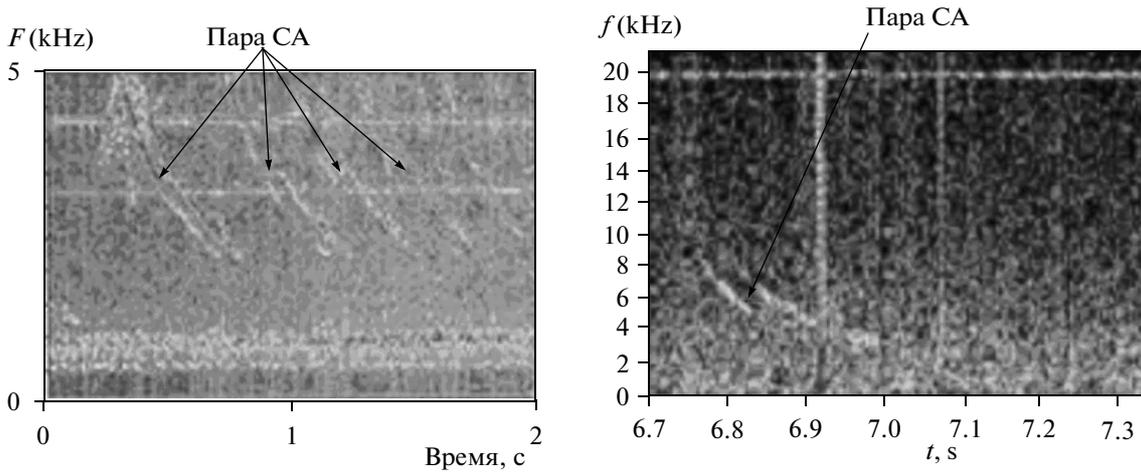


Рис. 9. Дуплеты свистов. Регистрация на спутниках “Интеркосмос-24” (слева, 14.12.1990 г.) и “Компас-2” 27.01.2007 г. (справа).

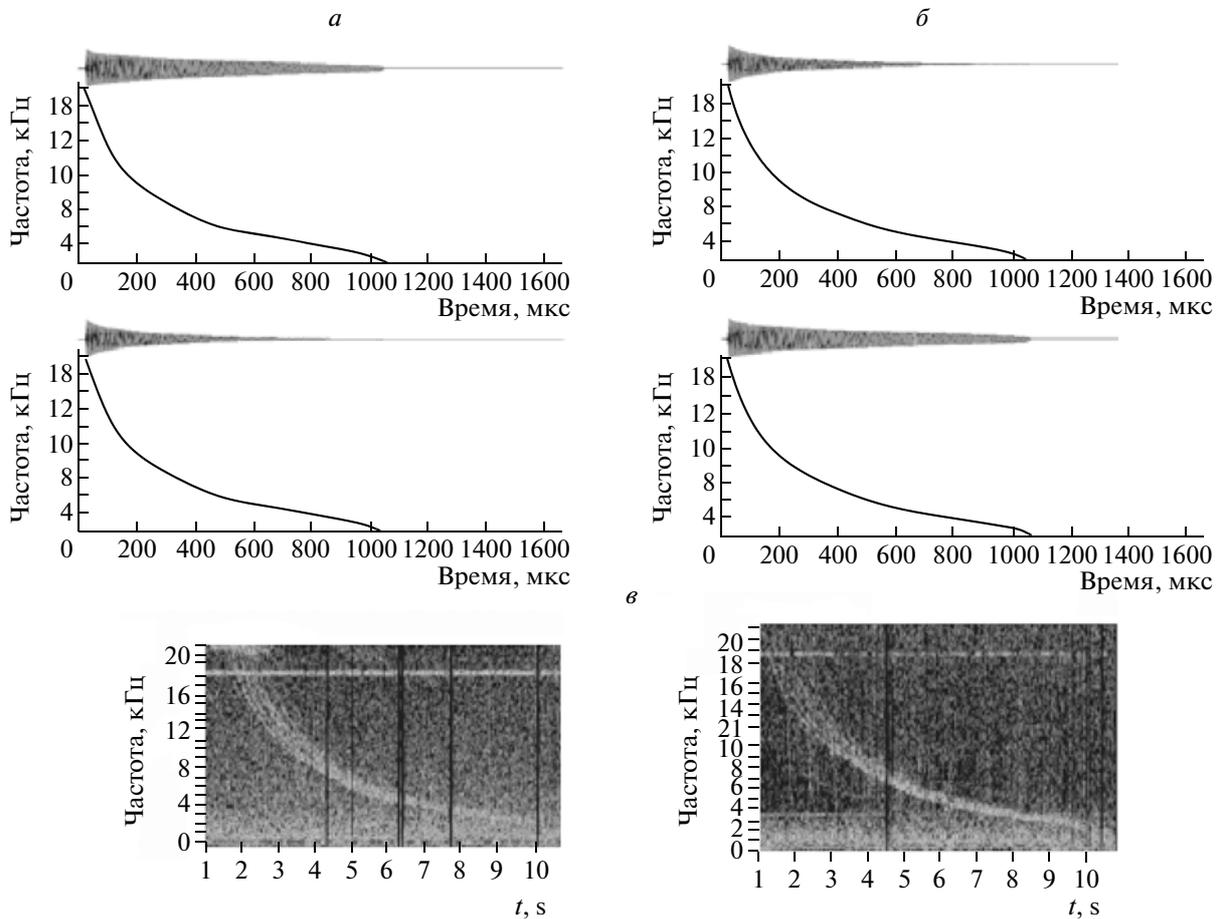


Рис. 10. Сравнение результатов модельных вычислений частотно-временных характеристик свистов, распространяющихся в замагниченной плазме в форме моды 3-го порядка с экспериментальными результатами: *а* – модельные расчеты E_y (вверху) и E_z (внизу), *б* – модельные расчеты H_y (вверху) и H_z (внизу), *в* – регистрация электрической (слева) и магнитной (справа) компонент на спутнике “Вулкан-Компас-2” 28.02.2007 г.

трясения, которое произошло в районе Камчатки 28.02.2007 г. и имело магнитуду 4.2 (рис. 14). В первой половине кадра хорошо виден частотно диспергированный СА с максимумом в спектре ~ 5 кГц, что ука-

зывает на то, что это может быть результат прихода на спутник атмосферика с расстояния $\sim 1000-1500$ км. На рисунке 13 также наблюдается серия следов СА (“СА” в правой части), дисперсию одного из них уда-

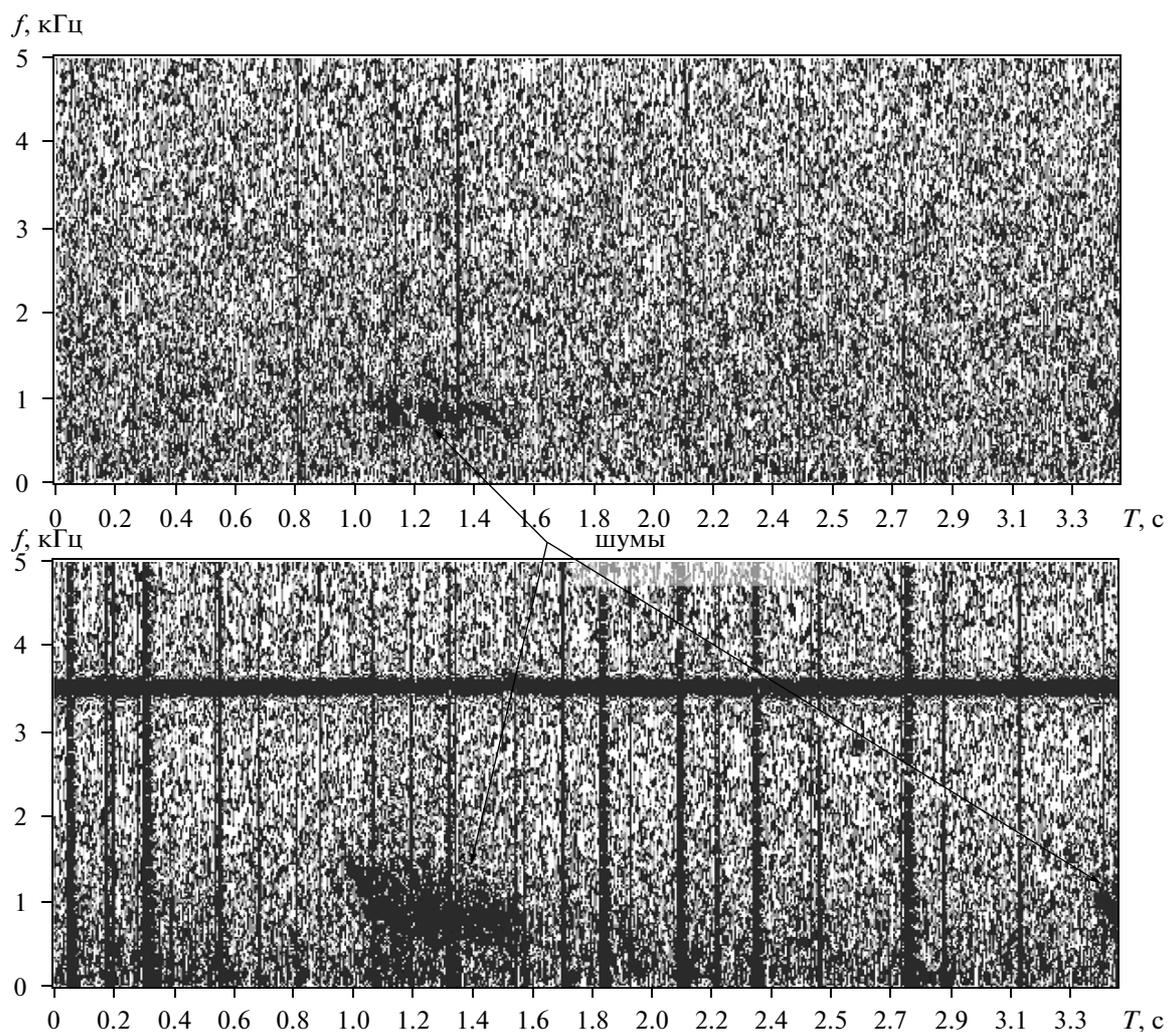


Рис. 11. Регистрация прибором ОНЧ низкочастотных шумов, вероятно связанных с высыпаниями частиц, 11.02.2007 г. в ~10:02 UT над Центральной Европой. Нулю на оси абсцисс соответствует начало события.

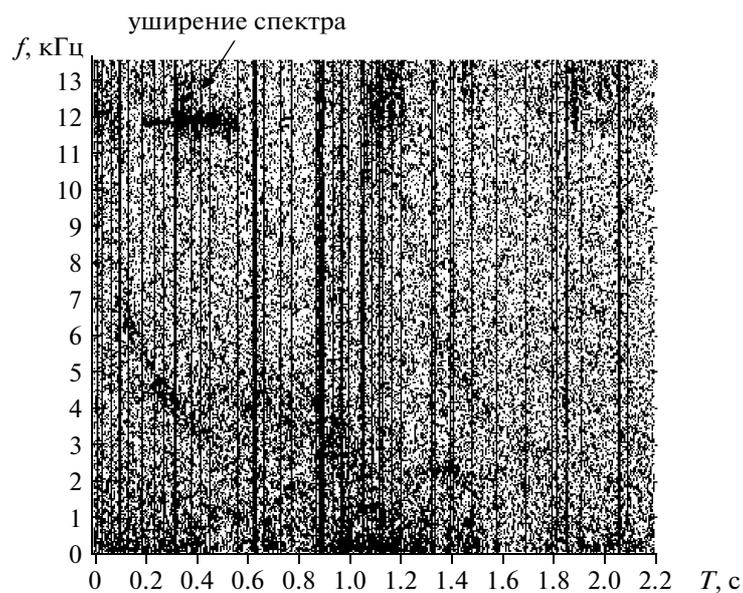


Рис. 12. Уширение частотного диапазона сигнала передатчика (17:09:17 UT 18.03.2007 г.) – электрическая компонента. Нулю на оси абсцисс соответствует начало события.

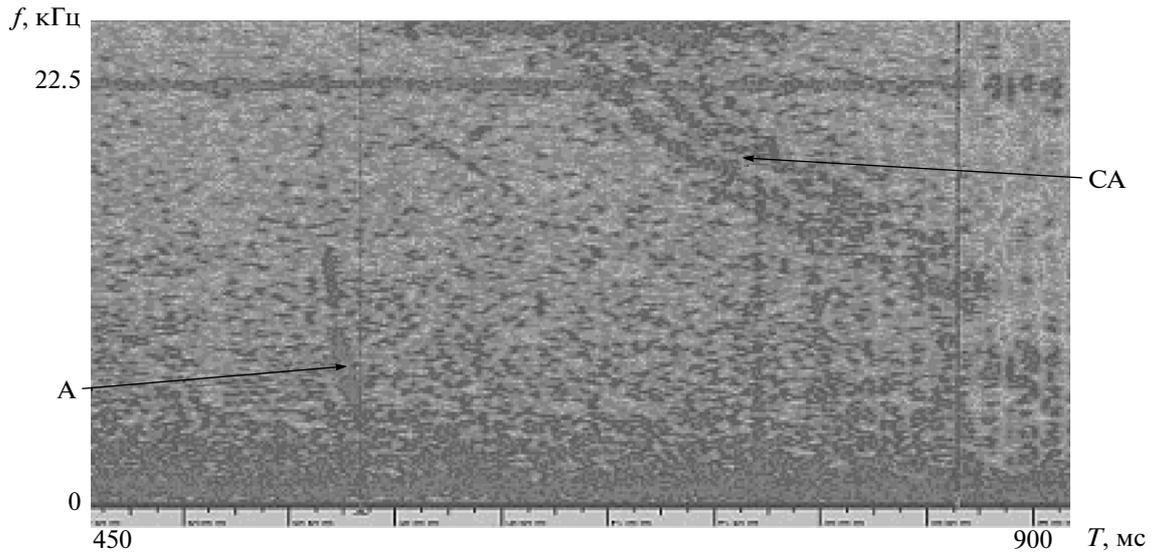


Рис. 13. Динамический спектр ОНЧ-записи, полученной при пролете спутника “Вулкан-Компас-2” над Камчаткой (см. рис. 14).

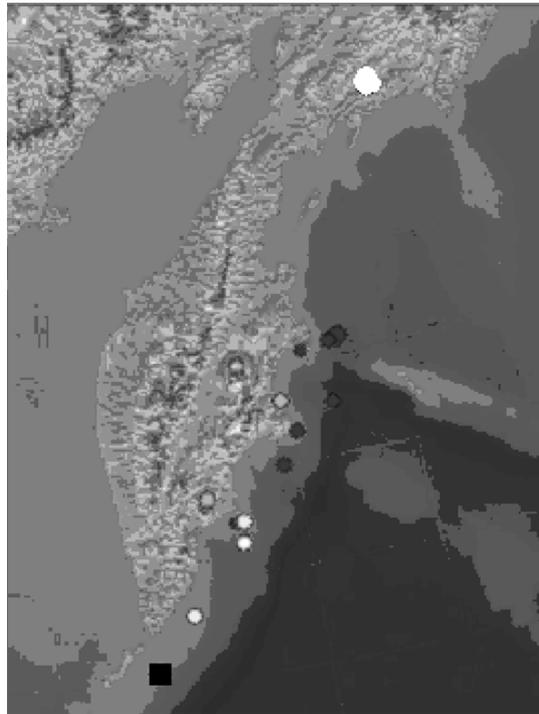


Рис. 14. Распределение землетрясений на Камчатке 28.02.2007 г. Светлый кружок в верхнем правом углу карты соответствует землетрясению класса $K = 11$ ($M \sim 4.5$), а черный квадрат внизу – положению спутника в момент регистрации ОНЧ-излучений 27.02.2007 г. в 21:35:49 UT.

лось оценить – $D \sim 72$. Можно оценить район в противоположном полушарии, откуда на спутник по силовым линиям геомагнитного поля могли пройти сигналы. Системой TOGA локализована группа сигналов на юго-востоке Австралийского континента.

Светлый кружок в верхнем правом углу карты рис. 14 соответствует землетрясению класса $K = 11$

($M \sim 4.5$), а черный квадрат внизу – положению спутника в момент регистрации.

Наземные данные в obs. Паратунка на Камчатке показали, что в период пролета спутника над Камчаткой 27.02.07 г. в 21:35:49 наблюдалось достаточно мощное излучение с юго-западного направления и малое количество атмосфериков, пришедших с дру-

гих направлений. В аналоговой записи 27.02.07 г. в период пролета спутника над Камчаткой в 21:35:49 было понижение уровня сигнала на всех регистрируемых частотах, максимальное значение излучения наблюдалось в 19–20 ч. Плоскость рамочной антенны располагалась в направлении восток–запад.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе летных испытаний и опытной эксплуатации приборов комплекса научной аппаратуры МКА “Вулкан-Компас-2” получены данные измерений фонового состояния ионосферы, зарегистрированы явления мощной грозовой активности в верхней атмосфере, в околоземном космическом пространстве зарегистрированы потоки ускоренных протонов и электронов, связанные с солнечной активностью во время крупной геомагнитной бури 15 декабря 2006 г.; выполнено позиционирование МКА с помощью прибора АСН по сигналам системы GPS, продемонстрирована практическая возможность использования прибора АСН для расчетов орбитальных данных КА и временной привязки данных измерений с высокой точностью при проведении уникальных синхронных экспериментов с наземными и орбитальными средствами в единой системе времени, осуществлена регистрация уширения спектра СДВ-станций, свистящих атмосфериков и уровня их сигналов, сопутствующих сейсмоактивным процессам.

Опытная эксплуатация комплекса научной аппаратуры спутника “Вулкан-Компас-2” показала, что она может быть использована в качестве основы для создания научных комплексов ионосферного мониторинга в последующих проектах и системах, предназначенных для обнаружения и регистрации аномальных явлений в околоземном космическом пространстве, связанных с землетрясениями и другими природными и техногенными катастрофами. В процессе летных испытаний комплекса отработано программно-математическое обеспечение измерений и анализа данных научных приборов. Анализ технических проблем и отказов служебных систем микроспутника позволяет установить их причины и избежать их в последующих модификациях платформы “Компас”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афраймович, Э.Л., Перевалова Н.П., Плотников А.П. Регистрация ионосферных откликов на ударно-акустические волны, генерируемые при запусках ракет-носителей // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 42. № 6. С. 790–797. 2002.
- Бучаченко А.Л., Ораевский В.Н., Похотелов О.А., Стрехов В.Н., Сорокин В.М., Чмырев В.М. Ионосферные предвестники землетрясений // УФН. Т. 166. № 9. С. 1023–1029. 1996.
- Исаев Н.В., Сорокин В.М., Чмырев В.М., Серебрякова О.Н. Электрические поля в ионосфере связанные с морскими штормами и тайфунами // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 42. № 5. С. 670. 2002.
- Лихтер Я.И., Гульельми А.В., Ерухимов Л.М., Михайлова Г.А. Волновая диагностика приземной плазмы. М.: Наука. С. 86–122. 1988.
- Липеровский В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.Л. Ионосферные предвестники землетрясений. М.: Наука. 304 с. 1992.
- Михайлов Ю.М., Ференц Ш., Лихтенбергер Я., Боднар Л., Корепанов В. Измерение УНЧ-ОНЧ-электромагнитных полей в космическом эксперименте “КОМПАС-2” // Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений // Тез. докл. III международной конференции. Петропавловск-Камчатский. С. 43. 2004.
- Нагорский П.М. Неоднородная структура области F ионосферы, образованная ракетами // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 38. № 1. С. 100–106. 1998.
- Ружин Ю.Я., Кузнецов В.Д. Изучение ионосферных явлений, предшествующих землетрясениям и другим природным и техногенным катастрофам (проект “Вулкан”). “Распространение радиоволн”. Сб. докладов 21-ой Всеросс. научной конф., Йошкар-Ола, Т. 1. С. 27–38. 2005.
- Тверская Л.В., Балашов С.В., Веденькин Н.Н. и др. Возрастания солнечных протонов и динамика внешнего радиационного пояса электронов во время солнечных экстремальных событий в декабре 2006 г. // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 48. № 6. С. 751–758. 2008.
- Фукс И.М., Шубова Р.С. Аномалии в СДВ сигналах как отклик на процессы в приземной атмосфере // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 34. № 1. С. 130. 1994.
- Calais E., Minster J.B. GPS detection of ionospheric perturbations following a Space Shuttle ascent // Geophys. Res. Lett. V. 23. P. 1897–1900. 1996.
- Dokukin V.S., Oraevsky V.N., Alekseev A.V., Velichko I.I., Nikulin Yu., Sleta A.V. The general conception of the microsatellite Compass to be launched from submarine to study of the earthquakes forerunners // Acta Astronautica. V. 46. Issues 2–6. P. 351–354. 2000.
- Dowden, R.L., Brundell J.B., Rodger C.J. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 64. P. 817–830. 2004.
- Ferencz O.E., Bodnar L., Ferencz C., Hamar D., Lichtenberger J., Steinbach P., Korepanov V., Mikhailova G., Mikhailov Yu., Kuznetsov V. Ducted whistlers propagating in higher order guided mode and recorded on board of COMPASS-2 satellite by the advanced signal Analyzer and Sampler SAS2 // J. Geoph. Res. V. 114. A03213. doi: 10.1029/2008JA013542. 2009.
- Ferencz O.E. et al. Guided transient signals in space plasmas // Proc. 3-rd VERSIM Workshop 2008, Tihany, Hungary 15th–20th September. Eds. J. Lichtenberger, Cs. Ferencz and P. Steinbach. 2008.
- Lichtenberger J., Ferencz U.L., Bodnar L., Hamar D., Steinbach P. Automatic whistler detector and analyzer system: Automatic whistler detector // J. Geoph. Res. V. 113. A12201, doi: 10.1029/2008JA013467. 2009.
- Mikhailov Yu.M., Mikhailova G.A., Kapustina O.V., Druzhin G.I., Smirnov S.E., Ferencz C.H., Lichtenberger Ja., Bodnar L., Korepanov V.E. COMPASS 2 satellite and ground base VLF-experiments // Abstr. AIS-2008 “Atmo-

- sphere, Ionosphere, Safety". July 7–12, Kaliningrad, P. 31. 2008.
- *Oraevsky V.N., Ruzhin Yu., Depueva A.Kh., Kozlov E.F., Samorokin N.I.* The subauroral events generated by rocket launching // *Adv. Space Res.* V. 15. № 11. P. (11)153–(11)156. 1995.
 - *Oraevsky V.N., Ruzhin Yu., Depueva A.Kh.* Seismoionospheric Precursors and Atmospheric Electricity // *Turk. J. Phys.* V. 18. № 11. P. 1229–1234. 1994.
 - *Oraevsky V.N., Ruzhin Yu., Depueva A.Kh.* Anomalous global plasma structures as seismo ionospheric precursors // *Adv. Space Res.* V. 15. № 11. P. (11)127–(11)130. 1995.
 - *Rapoport Y., Grimalsky V., Hayakawa M., Ivchenko V., Juarez R.D., Koshevaya S., Gotynyan O.* Change of ionospheric plasma parameters under the influence of electric field which has lithospheres' origin and due to radon emanation // *Phys. Chem. Earth.* V. 29. P. 579–587. 2004.
 - *Ruzhin Yu., Depueva A.Kh.* Seismoionospheric fountain-effect as analogue of active space experiment // *Adv. Space Res.* V. 15. № 12. P. (12)151–(12)154. 1995.
 - *Ruzhin Yu., Depueva A.K.* Seismoprecursors in space as plasma and wave anomalies // *J. Atmos. Electricity.* V. 16. № 3. P. 271–288. 1996.
 - *Ruzhin Yu., Larkina V.I.* Magnetic conjugation and time coherency of seismoionosphere VLF bursts and energetic particles // *Proc. 13th Wroclaw EMC Symposium (URSI).* P. 645–648. 1996.
 - *Ruzhin Yu., Depueva A.Kh., Gorduk V.P.* Signature of atomic station injection at lower ionosphere as plasma anomalies of E layer // *Adv. Space Res.* V. 15. № 11. P. (11)157–(11)159. 1995.
 - *Sorokin V.M., Isaev N.V., Yaschenko A.K., Chmyrev V.M., Hayakawa M.* Strong DC electric field formation in the low latitude ionosphere over typhoons // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* V. 67. P. 1269–1279. 2005.