

Комплексные сейсмоионосферные исследования от «Интеркосмос-19» к «Компас 2»

Михайлов Ю.М.¹, Кузнецов В.Д.¹, Ференц Ш.²,

Боднар Л.², Корепанов В.Е.³, Михайлова Г.А.¹,

Корсунова Л.П.¹, Хегай В.В.¹, Смирнов С.Э.⁴, Капустина О.В.¹

1 - ИЗМИРАН

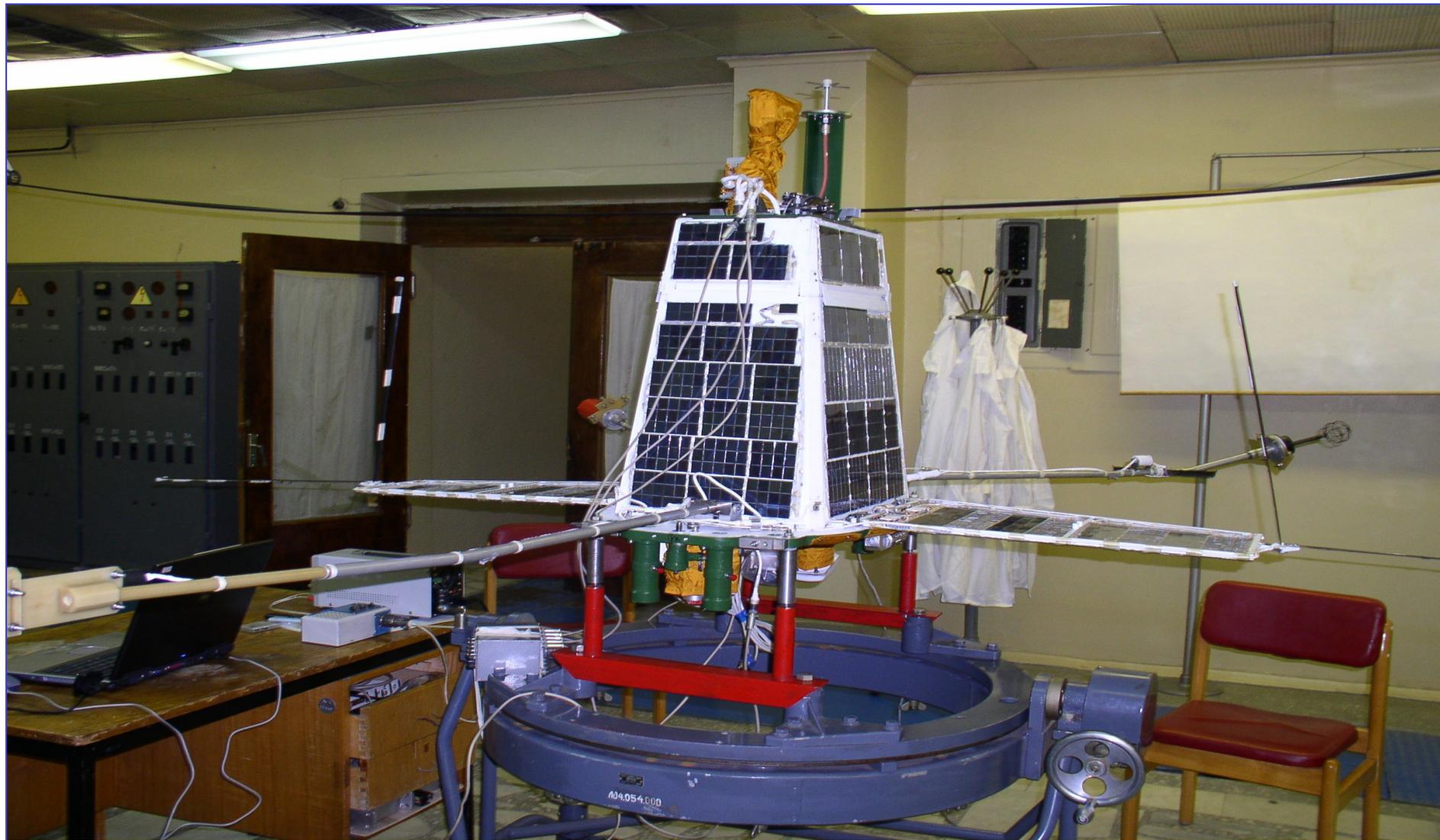
2 - Университет Этваша, Будапешт, Венгрия

3 - ЦКИ НАНУ, Львов, Украина

4 - ИКИР ДВО РАН, Паратунка Камчатской обл.

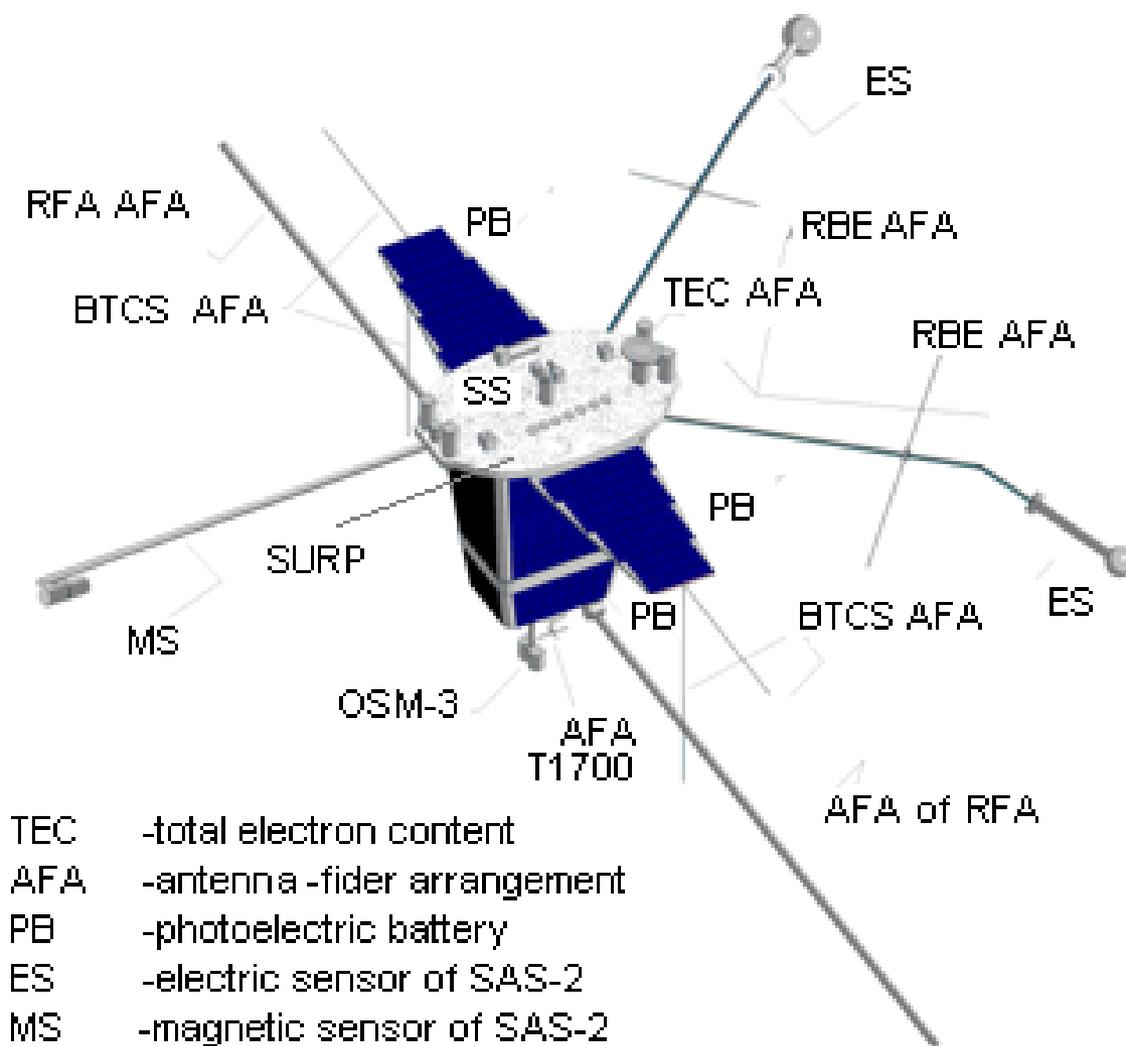
Сейсмоионосферные исследования в 1979-2009г.

Спутник, год запуска	Основные результаты	Характеристика аппаратуры				
		Магнитные датчики	Электрич. Датчики	Приемники:	ТМ	Субспутники
Интеркосмос-18 1979	Поиск сейсмоионосферных эффектов (СИЭ)	ИЗМИРАН	ЕКА	АНЧ-2МЕ:	ЕТМС:	Магион –1
Интеркосмос-19 1979	Обнаружение сейсмoeлектромагнитных эффектов	Геофизич. Инст. ЧССР	ИЗМИРАН	АНЧ-2МЕ: ОКБ МЭИ, ИЗМИРАН	ЕТМС: ИКИ РАН, ЧССР	
Болгария 1300 1981	Регистрация СИЭ в квазистатических, электрических полях	ИКИ БАН, ИЗМИРАН	ИКИ БАН, ИЗМИРАН	ИКИ БАН, ИЗМИРАН	ЕТМС	
Аркад, 1981	Контролируемый эксперимент по наземному взрыву «Масса»	ЦНРС Франция	ЦНРС Франция	АНЧ-2МЕ	ЕТМС	
Космос-1809, 1986	ОНЧ-эффекты при пролете над зоной Спитакского землетрясения	Геоф.Инст. ЧССР	ИЗМИРАН	АНЧ-2МЕ	ЕТМС	
ИК-24- Активный, 1989	1. Наблюдение сейсмических сигналов in situ в широкой полосе частот. 2. Обнаружение изменений спектра ЧД атмосфериков в период сейсмической активности. 3. Корреляция ОНЧ-шумов с всплесками эманации радона на поверхности Земли.	ЦКИ НАНУ Украина	ИКИ БАН	АНЧ-2МЕ	ЕТМС	Магион 3, Геоф.ин-т АН ЧССР
ИК-25-АПЭКС, 1990	Наблюдение эффектов ПЯВ в широкой полосе частот	ЦКИ НАНУ Украина	ИКИ БАН	АНЧ-2МЕ	ЕТМС	Магион 4
Компас-2, 2006	Регистрация ОНЧ-эффектов в сейсмически активном регионе	ЦКИ НАНУ Украина	ЦКИ НАНУ Украина	ШАШ Венгрия	ОКБ МЭИ ИЗМИРАН	



Спутник КОМПАС-2 в процессе подготовки к полету

The sketch of the COMPASS-2

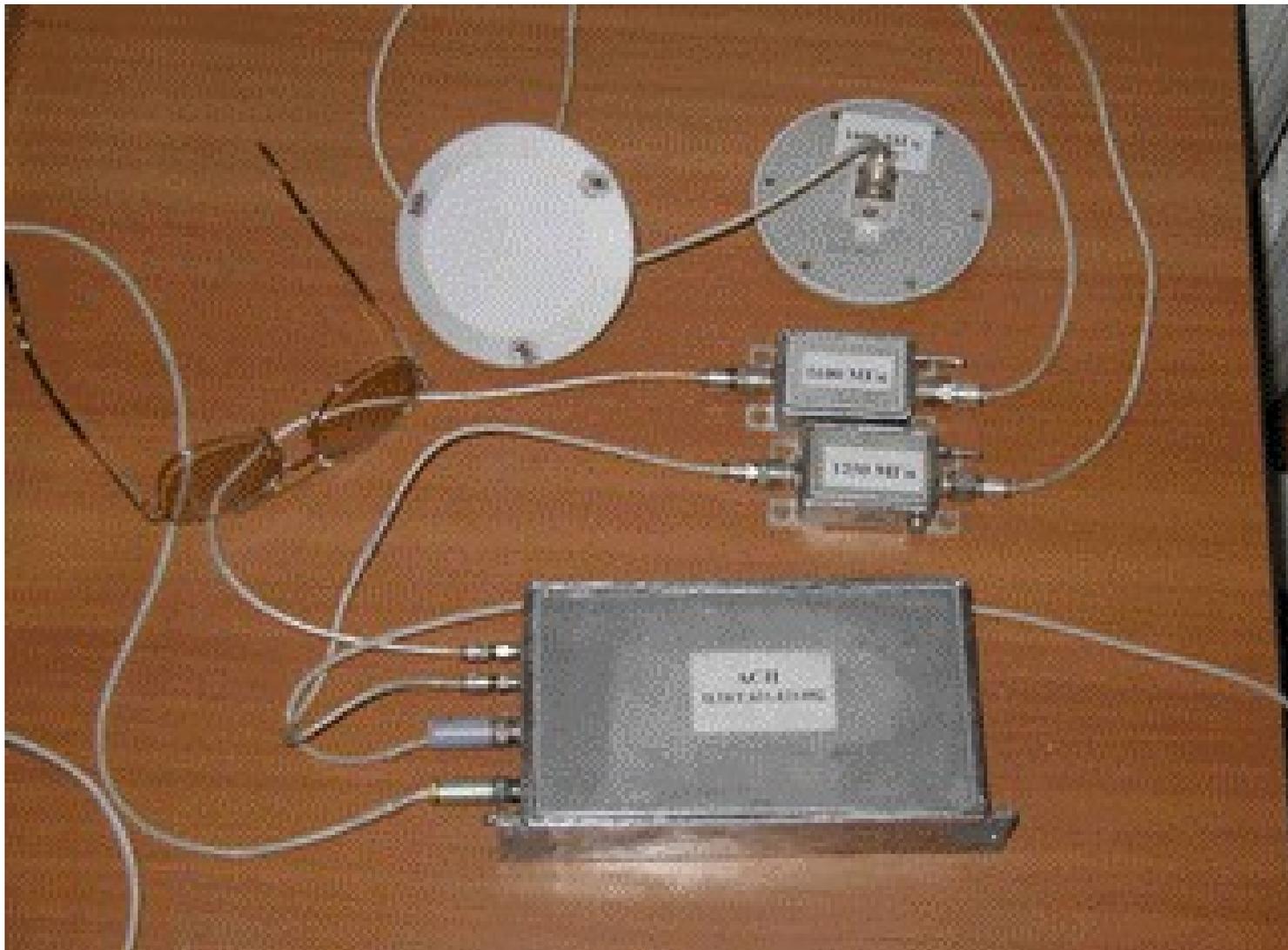


- TEC -total electron content
- AFA -antenna-fider arrangement
- PB -photoelectric battery
- ES -electric sensor of SAS-2
- MS -magnetic sensor of SAS-2
- SAS-2 -SAS2-VLF complex
- RBE -radio beacon experiment
- SS -solar sensor
- T1700 -TM-transmitter
- OSM-3 -orientation system magnet
- RFA -radio frequency analyser
- BTCS -board transmitter of command system
- SURP -sensor of ultraviolet radiation and particles

Спутник был запущен 26 мая 2006 на околоземную орбиту с апогеем 519 км, перигеем 412 км и наклоном 79°.

В состав научной аппаратуры входили:

а) двухчастотный GPS приемник аппаратуры спутниковой навигации (АСН), предназначенный для глобального мониторинга ионосферы-атмосферы методом радиозатменного просвечивания;



б) двухчастотный передатчик РВЕ 150/400 2Маяк”, предназначенный для проведения радиотомографической реконструкции ионосферы и локальных аномалий ионосферы



в) радиочастотный анализатор в диапазоне частот 0-15 МГц РЧА (RFA), предназначенный для регистрации плазменных частот в ионосфере, через которые определяются основные параметры локальной плазмы в окрестностях КА



Магнитный датчик

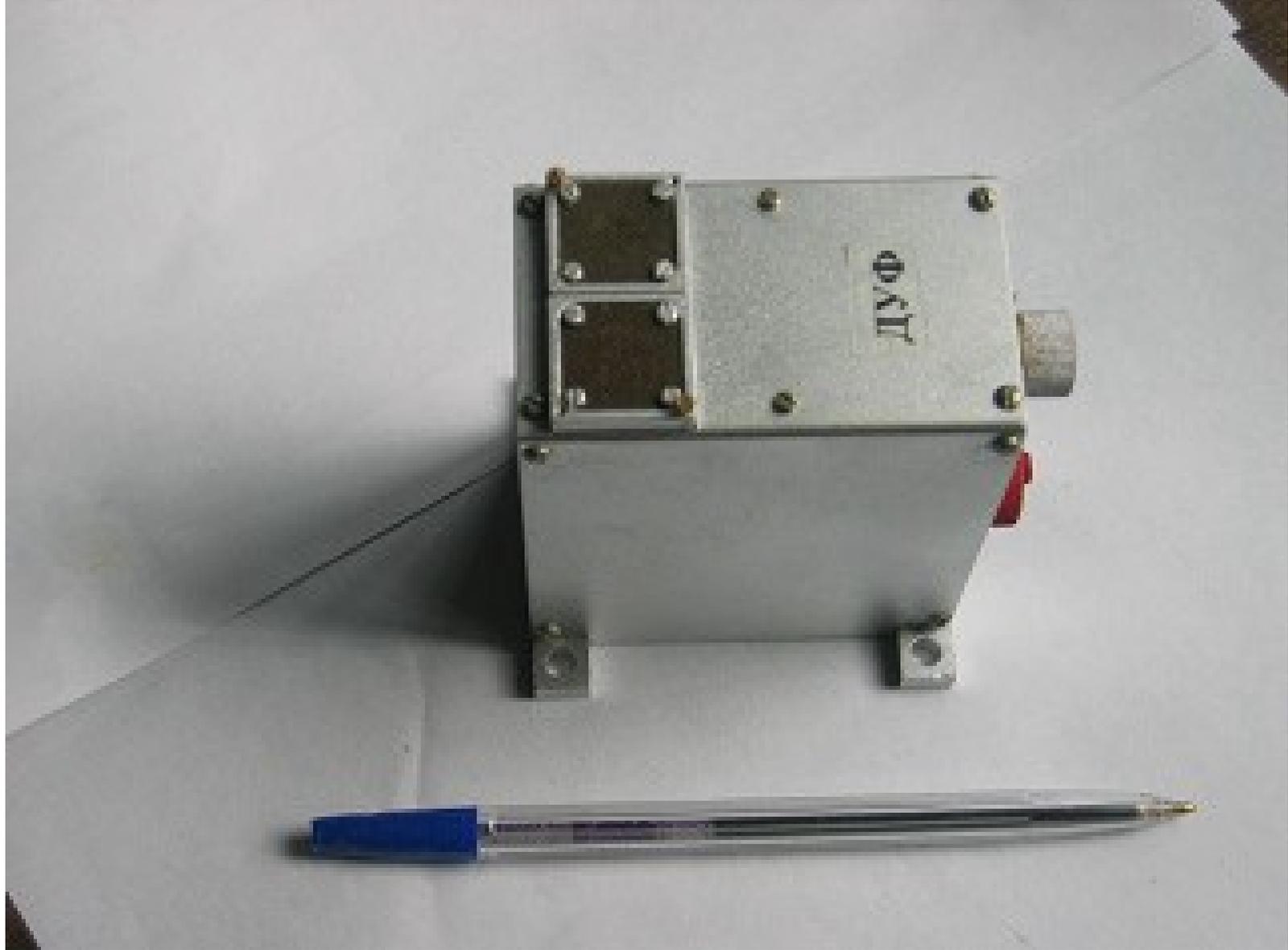


Электрический датчик

г) 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



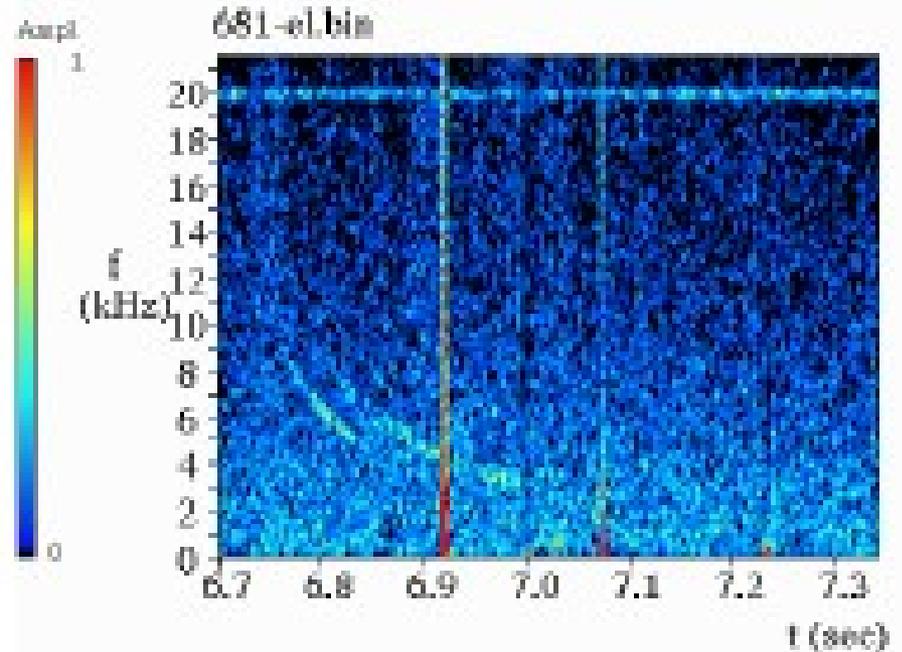
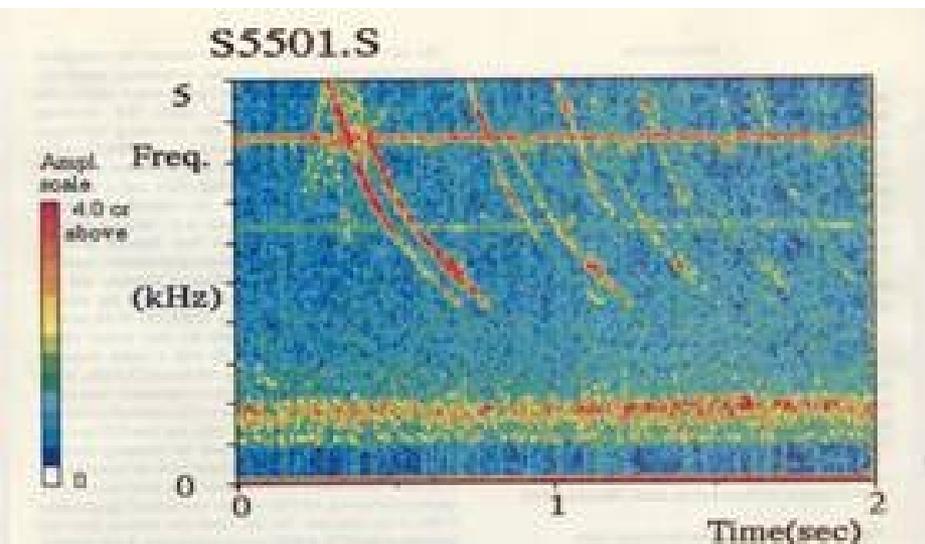
д) детектор радиации, предназначенный для измерений электронов и протонов радиационных поясов Земли и космических лучей



е) детектор ультрафиолета ДРФ «DRF», предназначенный для измерений ультрафиолетового излучения верхней атмосферы Земли.

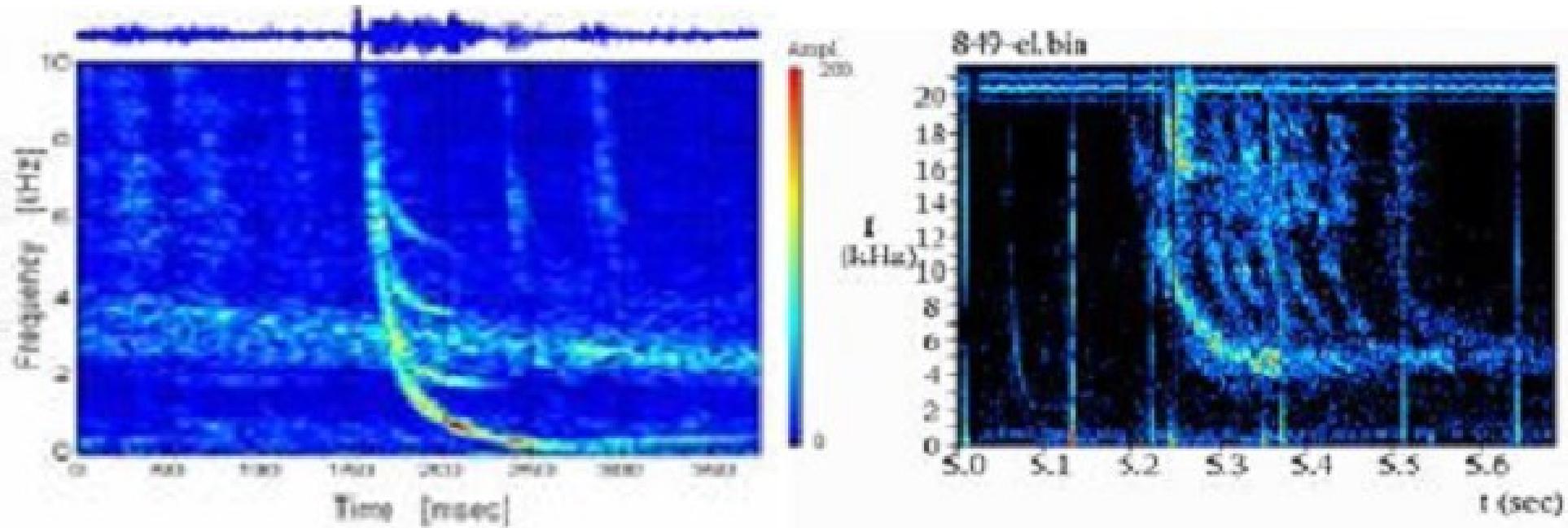
Экспериментальные результаты, полученные с помощью НВК

а) дублеты свистов регистрировались на спутнике ИК-24 (слева) 14.12.1990 и на Компас-2 (справа) 27.01.2007



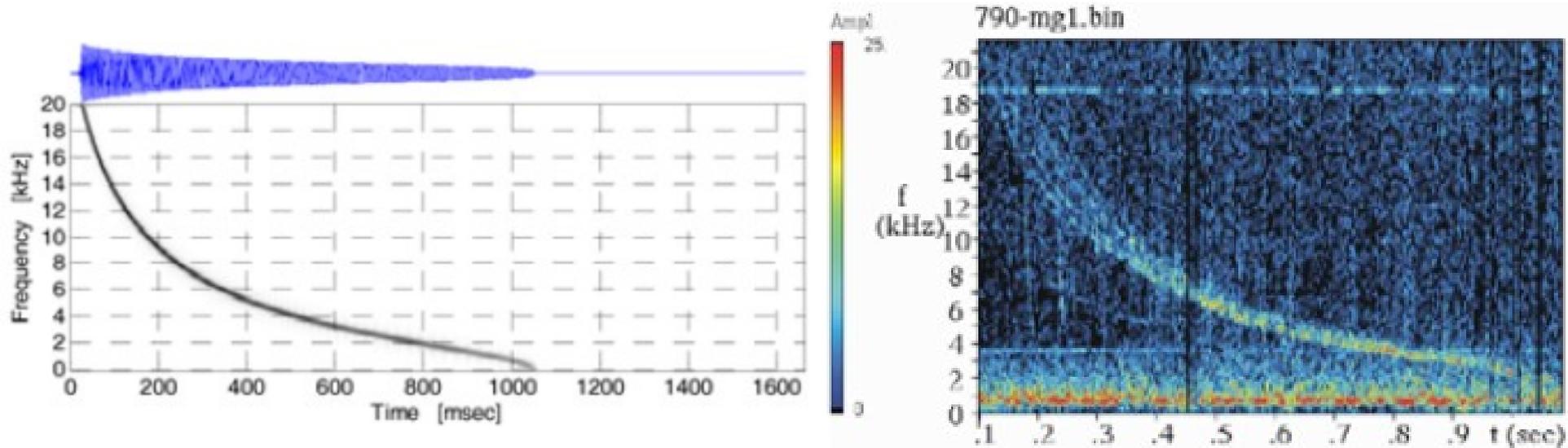
Регистрация дуплетов на малых высотах указывает на возможность их возникновения при распространении по близким дактам, в то же время вероятность их возникновения вследствие отражения от ионосферы делается маловероятной

б) спайки свистов, зарегистрированные на спутниках Деметер (слева) и Компас-2 (справа) 16.03.1007



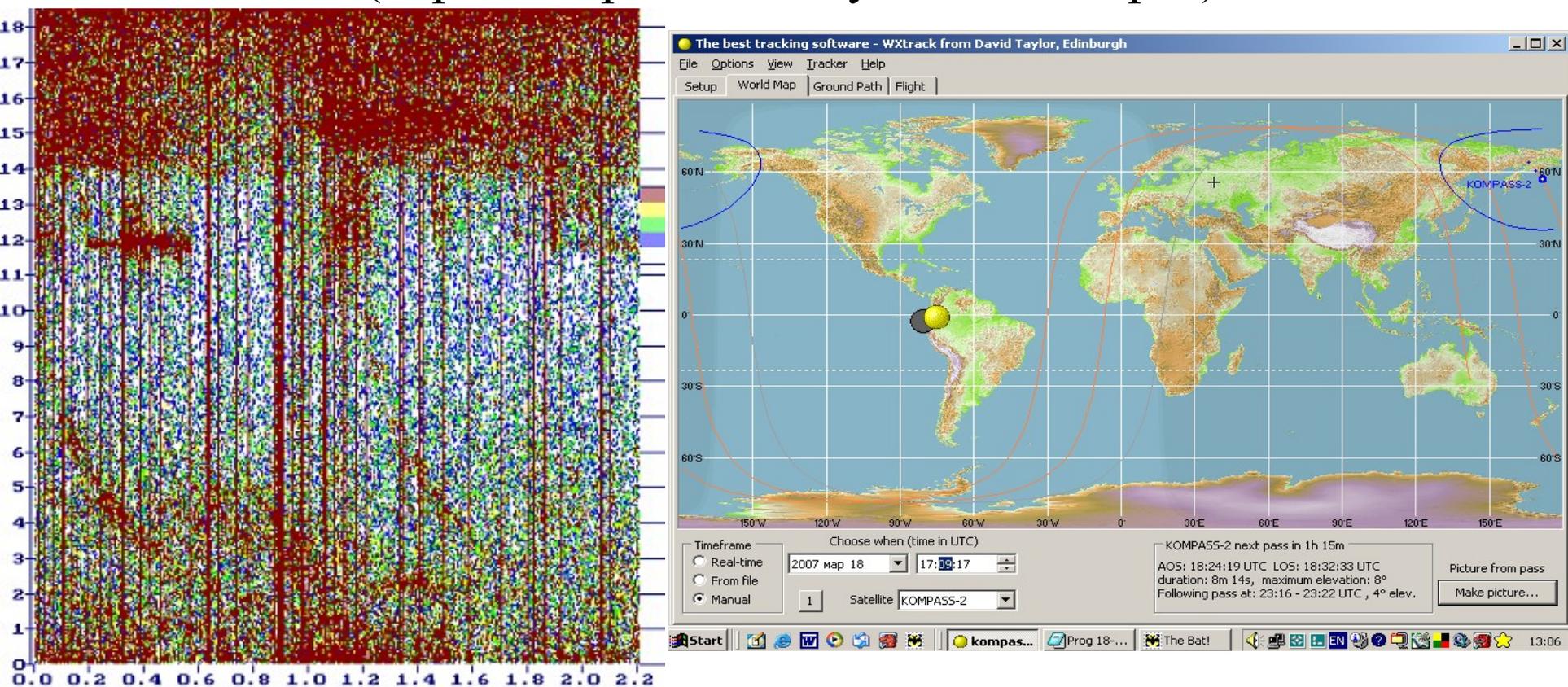
Асимптотические частоты сигналов на двух спутниках согласуются между собой

в) на спутнике Компас-2 зарегистрированы свисты (справа), подтверждающие предположение о возможности распространения в дактах модов высоких порядков (слева - модельное представление)



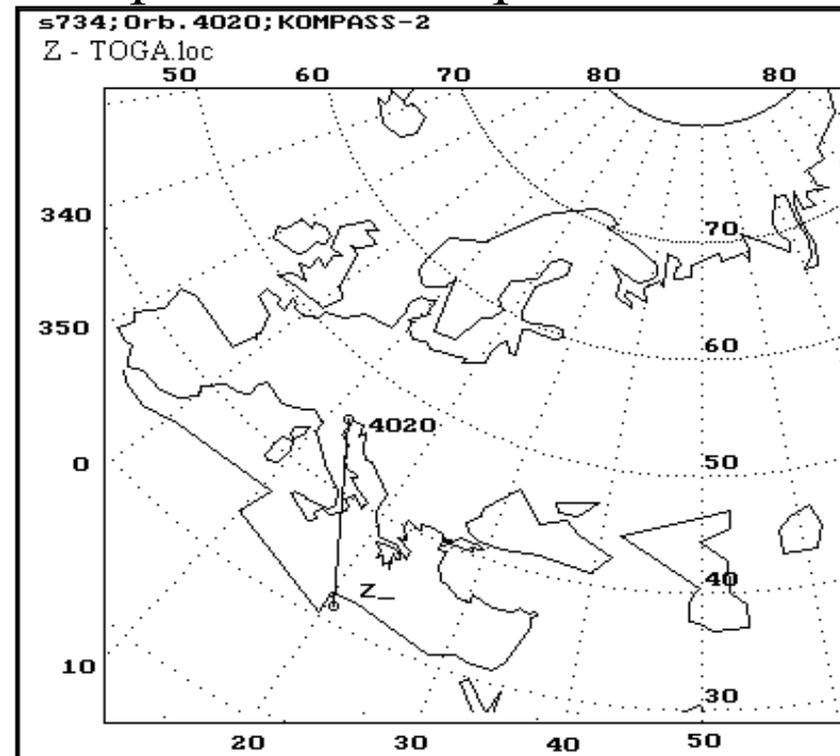
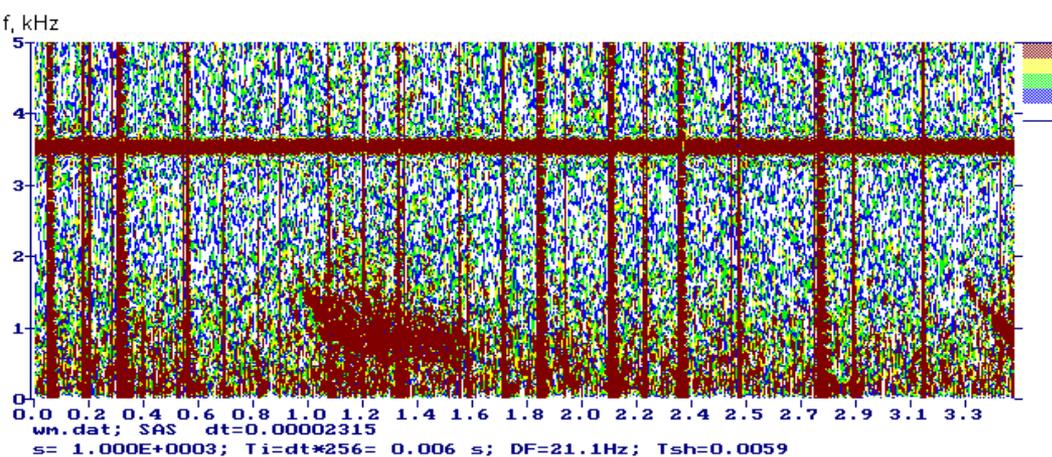
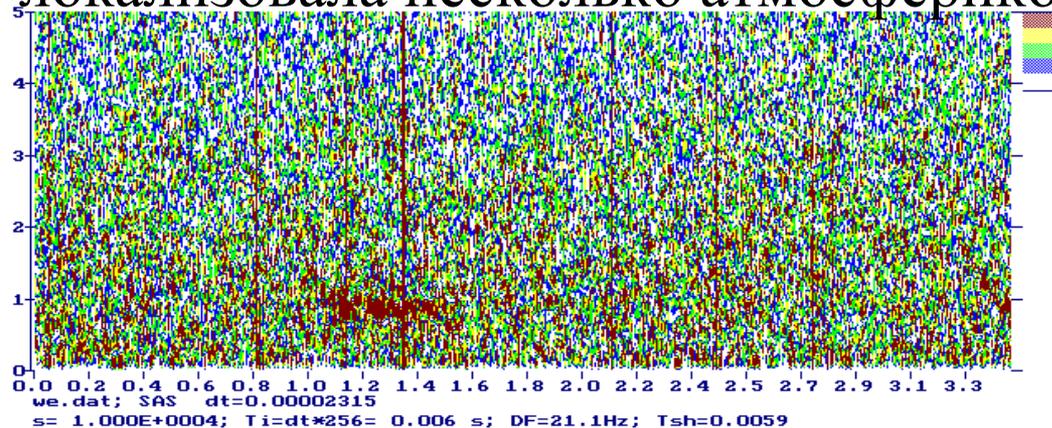
Особенность таких свистов в том, что их $f(t)$ -характеристика достигает нулевой частоты за конечный промежуток времени, в то время как в обычных сигналах частота стремится к нулю асимптотически

г) уширение сигналов СДВ-передатчиков: на спутнике Компас-2 наблюдалось расширение частотного диапазона сигнала передатчика 18.03.2007 г в 17:09:17 UT (слева) при прохождении над Камчаткой (справа - проекция спутника на карте)

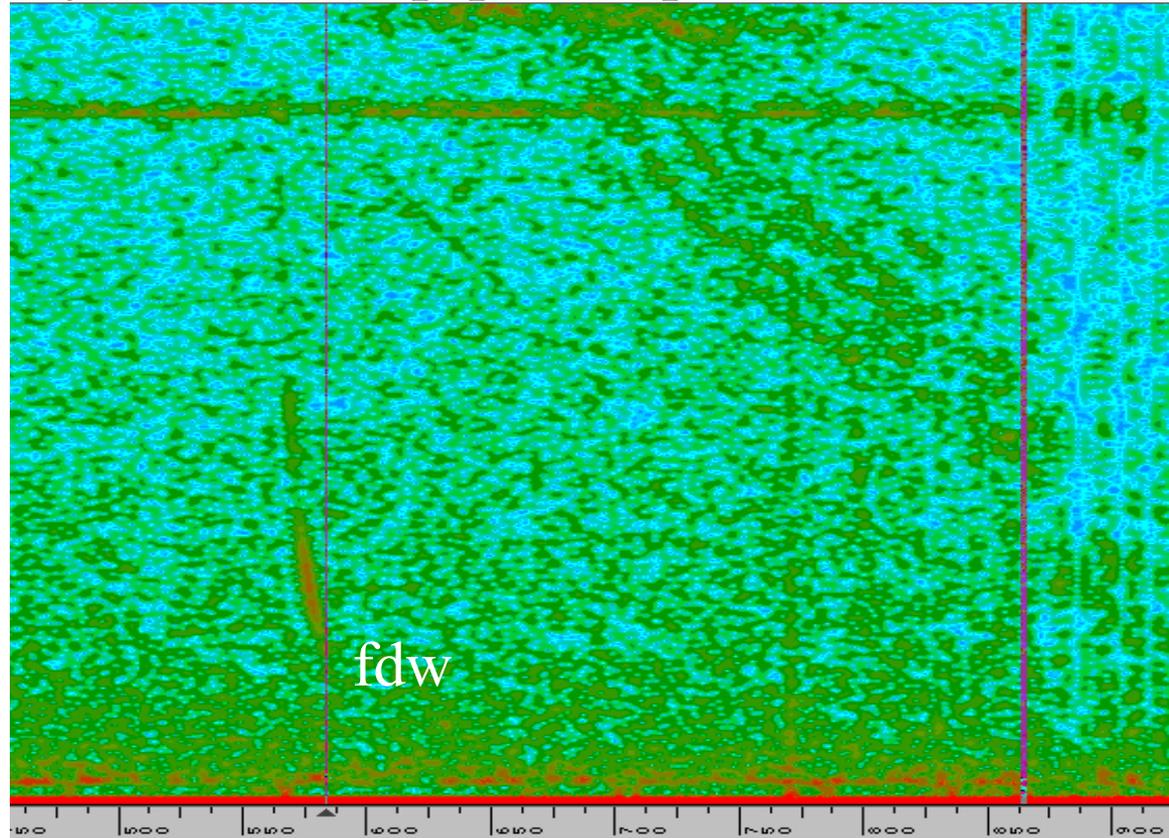
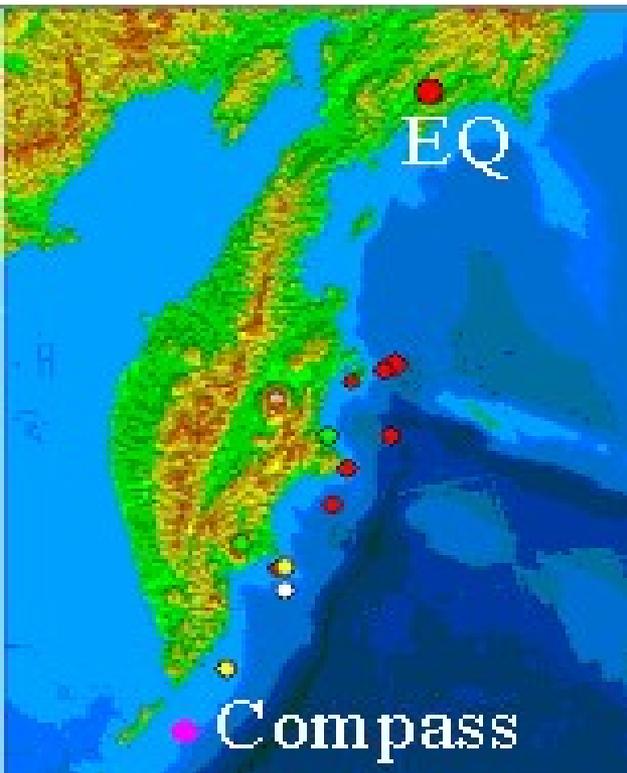


Эффекты уширения частотного спектра могут быть обусловлены магнитосферным взаимодействием свистовых волн

д) на сонограмме записи во время пролета спутника над Центральной Европой (справа) наблюдался необычный сигнал (слева) с высоким уровнем в узком диапазоне частот –500-2000 Гц, который напоминает низкочастотный ч.д. СА с последующим шумовым излучением на частоте максимума в спектре ч.д. или же это серия почти не разделяемых ч.д. Система TOGA в это время локализовала несколько атмосфериков в Средиземноморье.



е) в первой половине цифровой сонограммы (справа) хорошо виден частично диспергированный СА (fdw) с максимумом в спектре ~ 5 кГц, что указывает на то, что это может быть результат прохождения на спутник атмосферика, пришедшего с расстояния $\sim 1000-1500$ км.



Чуть позже наблюдается серия следов СА, вероятно пришедших их противоположного полушария, где системой TOGA локализована группа сигналов на юго-востоке Австралии.

Приведенные результаты опубликованы в журнале JGR №3 за 2009г. Спутник Компас-2 позволил сделать шаг вперед в сейсмоионосферных исследованиях по сравнению с Интеркосмос-19.

Возможности широкополосной регистрации на ИК-19 были ограничены зоной радиовидимости приемных пунктов, поэтому основные научные результаты были получены с использованием узкополосных записей, которые были выполнены в большом объеме.

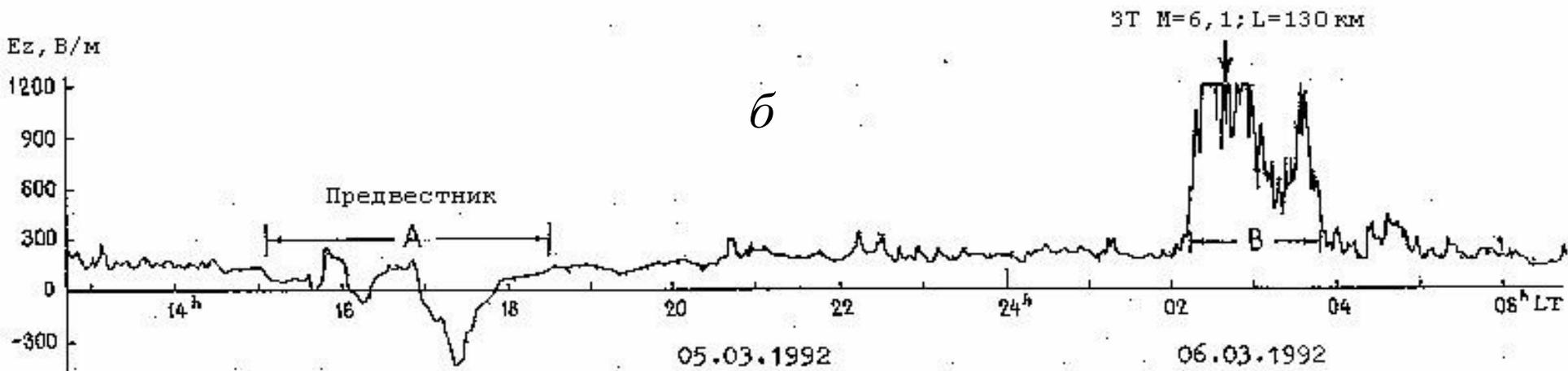
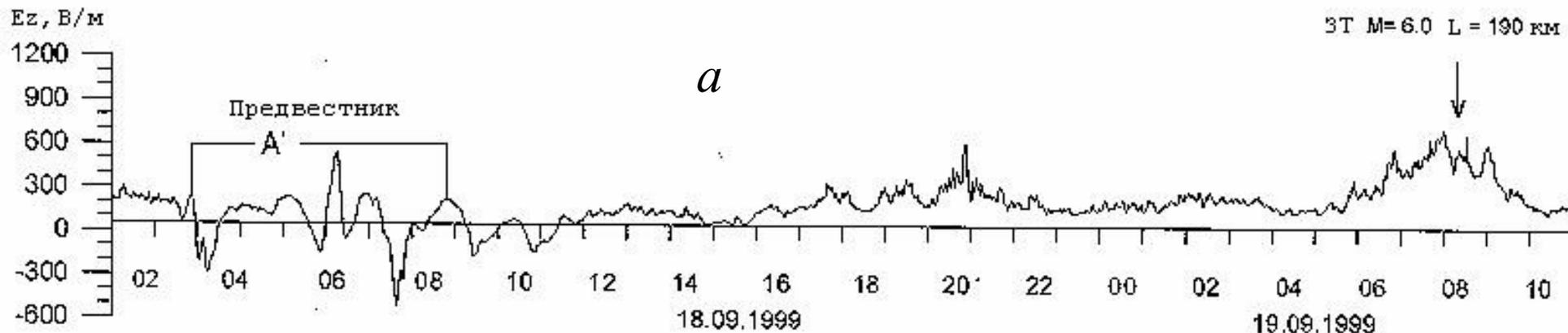
Благодаря высокой чувствительности датчиков, электромагнитной чистоте спутника и применению цифровых методов широкополосной регистрации на Компас-2 зарегистрированы тонкие ОНЧ-эффекты в разных точках земного шара, хотя полученных данных недостаточно для более подробного исследования сейсмоионосферных эффектов.

Наземные исследования

Одной из первых публикаций была работа, в которой анализировалась зависимость времени появления предвестников землетрясения (ЗТ) от эпицентрального расстояния [Сидорин, 1979]. По данным многочисленных и разнородных наблюдений предвестников ЗТ была получена эмпирическая формула $\lg(TR) = 0,72 \cdot (M - 1)$, где T - время наблюдения предвестника в сутках; R – расстояние от будущего эпицентра ЗТ до точки наблюдения в км; M - магнитуда ЗТ. В той же работе было выделено два класса предвестников: долгосрочных и краткосрочных. Вышеприведенная формула оказалась справедливой для первых, для вторых же зависимость была более сложной, и не удалось получить подходящей аппроксимирующей функции.

Целью наземных исследований лаборатории НЧ-излучений ИЗМИРАН было комплексное исследование электромагнитных параметров среды в период подготовки ЗТ на Камчатке.

Квазистатическое электрическое поле



Предвестники землетрясений (ЗТ) А и А', наблюдаемые в разные периоды в приземной атмосфере на Камчатке в ИКИР ДВО РАН (пос. Паратунка, $\varphi = 52^\circ 58.3' \text{N}$; $\lambda = 158^\circ 14.9' \text{E}$).

В период, предшествовавший ЗТ 6 марта 1992 г. с магнитудой $M=6.1$ и эпицентром в Авачинском заливе на глубине 30 км на расстоянии 130 км от пункта регистрации, наблюдалось бухтообразное понижение квазистатического поля величиной до -300 В/м (рисунок б на предыдущем слайде) [Руленко, 1992].

Аналогичное понижение величины квазистатического электрического поля наблюдалось также перед ЗТ 18 сентября 1999 г. с магнитудой $M=6.0$ и эпицентром на глубине 60 км на расстоянии 190 км от пункта регистрации (рисунок а на предыдущем слайде) [Михайлов, 2002].

Обращает на себя внимание подобие временных форм предвестников, однако время упреждения ЗТ несколько различно: в первом случае - 10 ч, во втором - 29 ч. Полагая, что разность времен зависит от скорости распространения предвестника, находим ее: $V = 0.87$ м/с [Михайлов, 2005].

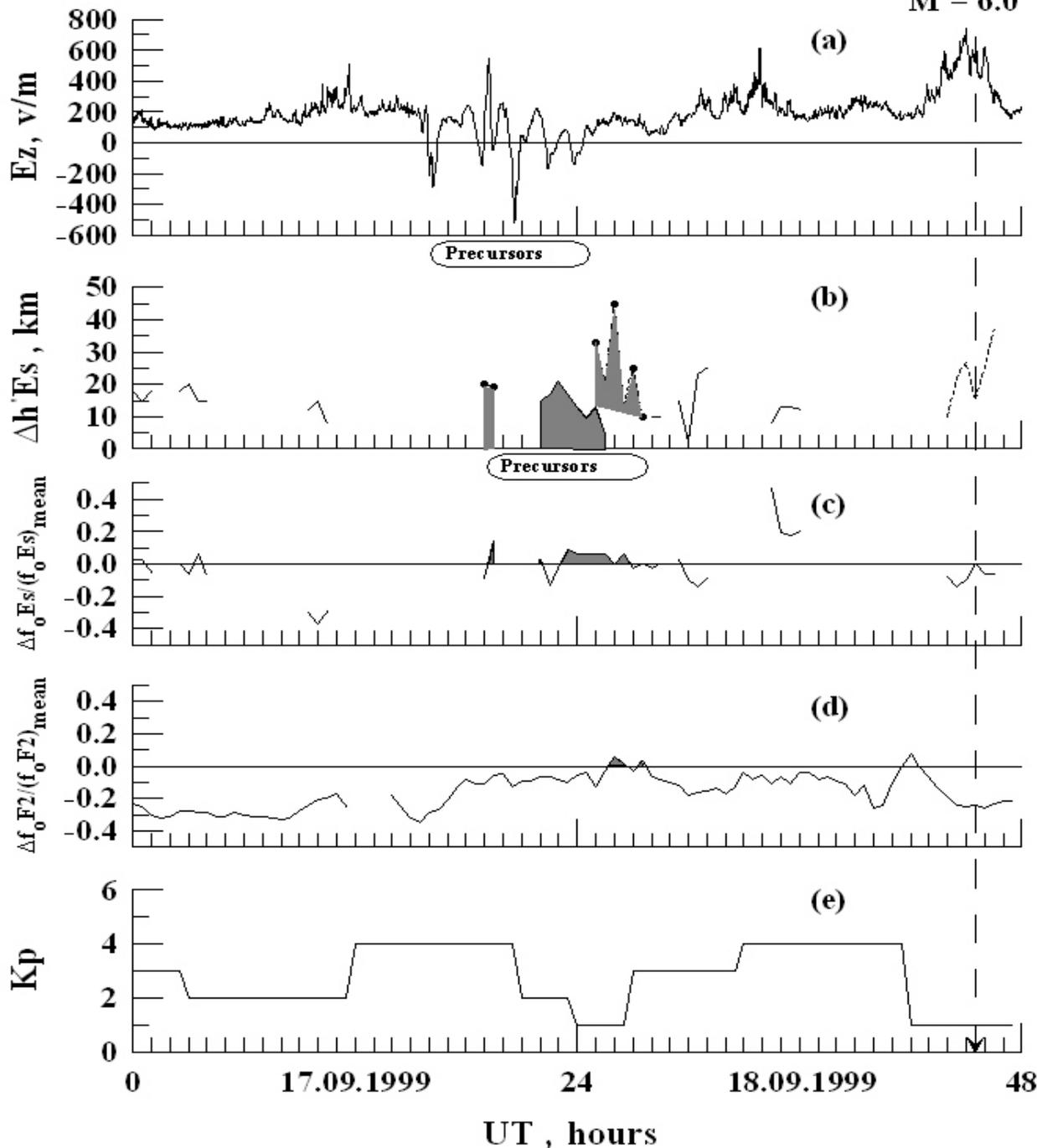
Ионосфера

В работе [Корсунова, Хегай 2005] проанализировано время появления предвестников в вариациях критических частот слоя F2 и Es ионосферы в Тихоокеанском сейсмоактивном регионе. Для сильных коровых землетрясений с глубиной эпицентров менее 50 км скорости распространения предвестников оказались порядка 1 м/с.

На следующем слайде представлены изменение Ez-компоненты электрического поля и отклонения основных ионосферных параметров с временем опроса 30 мин в период подготовки ЗТ 18.09.99 с $M = 6.0$. Время появления электрического предвестника землетрясения (ЭПЗ) определялось по моменту возникновения отрицательной бухты во временных изменениях Ez, а ионосферного предвестника землетрясения (ИПЗ) – по регистрации аномально высокого Es (тип “h” – жирный пунктир на рис.1). Зачерненные всплески в ионосферных параметрах, отвечающие указанным выше критериям, отнесены к предполагаемым предвестникам.

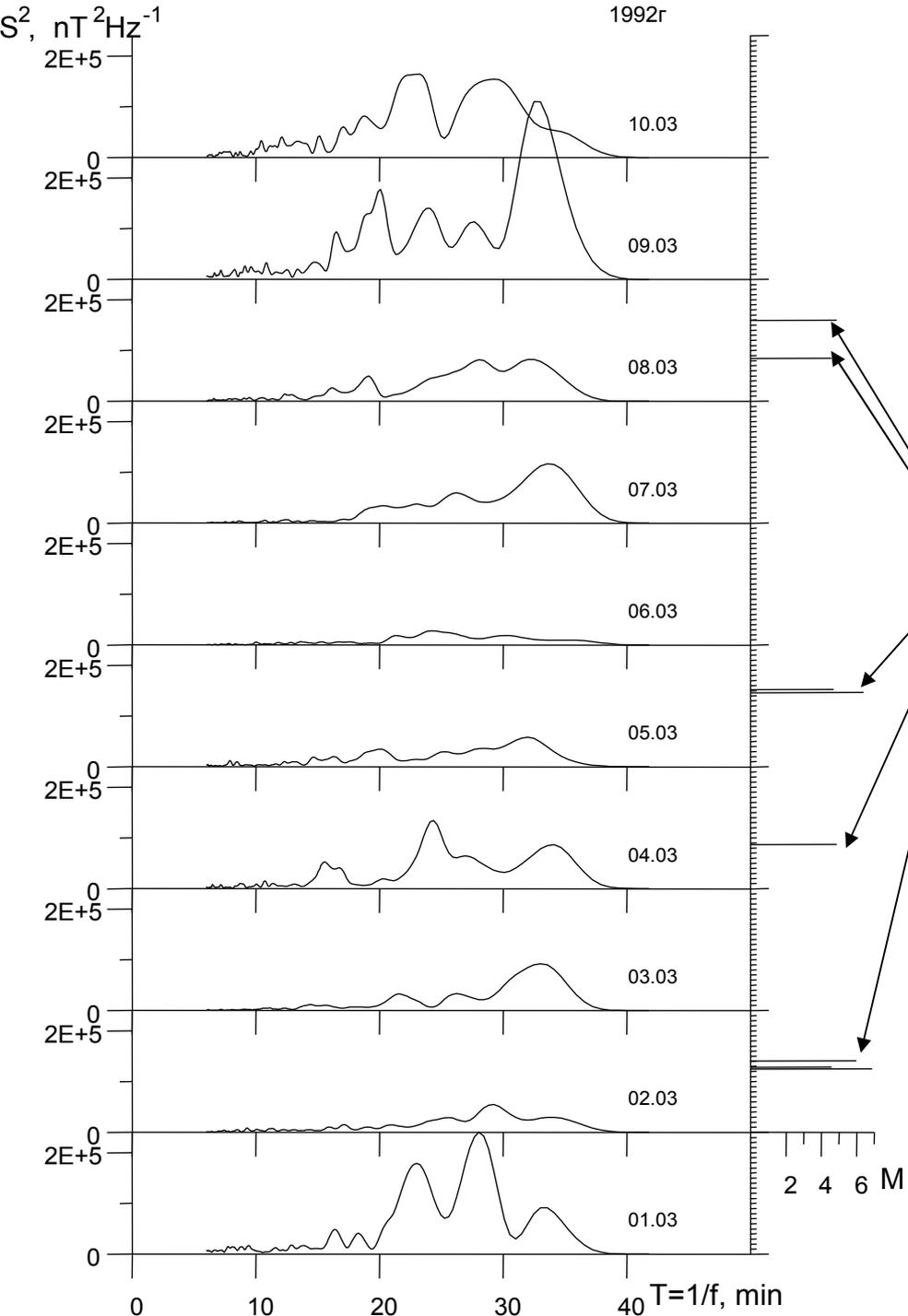
Paratunka

M = 6.0



Изменения величины вертикального градиента электрического потенциала (а), параметров ионосферы (б-г) и Кр-индекса (д) в период подготовки землетрясения 18.09.1999.

Расстояние от эпицентра ЗТ до пункта наблюдения (R) составляло 190 км. Момент удара обозначен штриховой линией со стрелкой.



Магнитное поле

Спектры мощности
горизонтальной компоненты
геомагнитного поля H 1-10
Марта 1992.

Землетрясения

Связь гармоник с
периодами $\sim 35 \text{ min}$ с
сейсмической активностью

Шкала магнитуд

Заключение

Анализ свойств предвестников землетрясений в приземной атмосфере показал следующее:

скорости распространения предвестников изменяются в интервале 0.87-1.8 м/с и зависят от глубины эпицентра;

показано, что время появления предвестников в квазистатическом электрическом поле и в ионосферных параметрах практически совпадает;

горизонтальная компонента магнитного поля содержит гармоники с периодом, равным интервалу между форшоками.