



**Пилотный проект по
комплексному диагностированию
предвестников землетрясений на базе
космического и
гео-гелиофизического мониторинга**

Романов А.А., Романов А.А., Пулинец С.А., Тронин А.А.

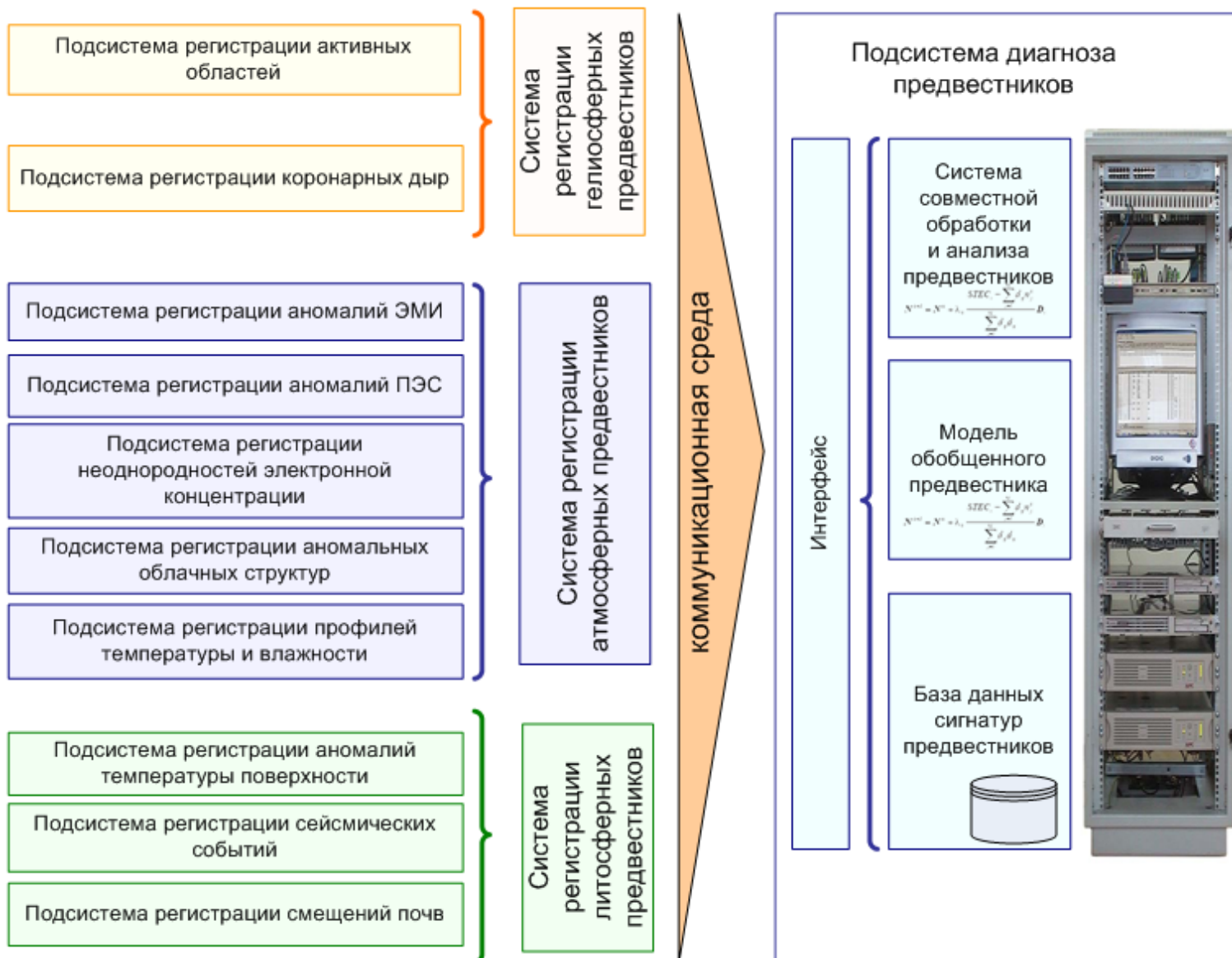
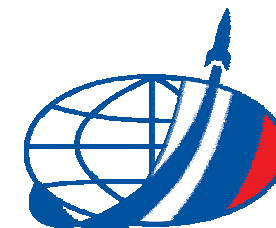
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ**

**«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»**



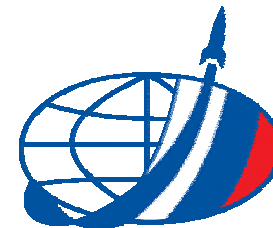


Структурная схема системы регистрации предвестников землетрясений





Параметры для мониторинга системы «гелиосфера-атмосфера-литосфера»



Гелиосфера

- индекс солнечной активности
- площадь и количество корональных дыр

Атмосфера

- полная электронная концентрация в ионосфере
- высотное распределение электронной концентрации в ионосфере
- УНЧ/ОНЧ излучение в ионосфере
- длина и расположение определенных облачных структур в нижней атмосфере
- высотные профили и распределения температуры и влажности

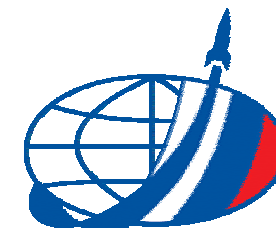
Литосфера

- температура подстилающей поверхности
- деформация поверхности
- статистические параметры поля линеаментов
- концентрация радона
- сейсмометрическая информация о произошедших событиях для дальнейшего комплексного анализа



РОС

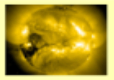
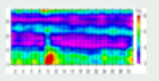
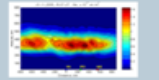
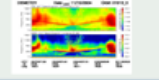
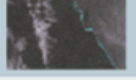
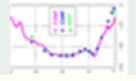
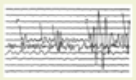
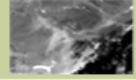
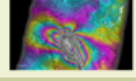
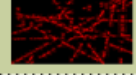
Спутниковая и наземная приборная база, предназначенная для измерения параметров предвестников



Гелиосфера

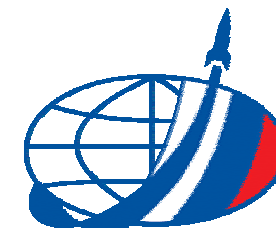
Атмосфера

Литосфера

Среда	Параметр	Пример измерений	Прибор	Спутник / Обсерватория
Солнечная корона	Корональные дыры		Ультрафиолетовый телескоп (EIT)	SOHO, КОРОНАС-Ф STEREO
Солнце	Аномалии индекса 10.7 (излучение солнца, длина волны – 10.7 см)		Радиотелескоп (Flux Monitor)	Обсерватория, Канада
Ионосфера	Полное электронное содержание		Навигационный приемник систем ГЛОНАСС/GPS	ГЛОНАСС GPS
Ионосфера	Электронное содержание		Навигационный приемник	Transit COSMIC, Компас (эксп.)
Ионосфера	Электромагнитное излучение от земли в ионосфере		3-х компонентный детектор электрических полей 3-х компонентный магнитометр	Demeter Вулкан
Тропосфера	Аномальные облачные структуры		AVHRR/MODIS	NOAA Terra Aqua
Тропосфера	Профиль Температура/ Влажность		Навигационный приемник ГЛОНАСС/GPS	ГЛОНАСС/GPS COSMIC, CHAMP
Земная кора	Форшок		Сейсмограф	Сейсмостанция
Поверхность	Температура поверхности		AVHRR/MODIS Микроволновый радиометр	NOAA/Terra/ Aqua, Метеор
Поверхность	Деформация поверхности		SAR интерферометрия	ERS/ENVISAT/ JERS, RADARSAT
Поверхность	Статистические параметры линеаментов		Оптические, Инфракрасные, Радиолокационные датчики	Spot, Landsat, Монитор-Э, RADARSAT



Потенциальная кооперация исполнителей



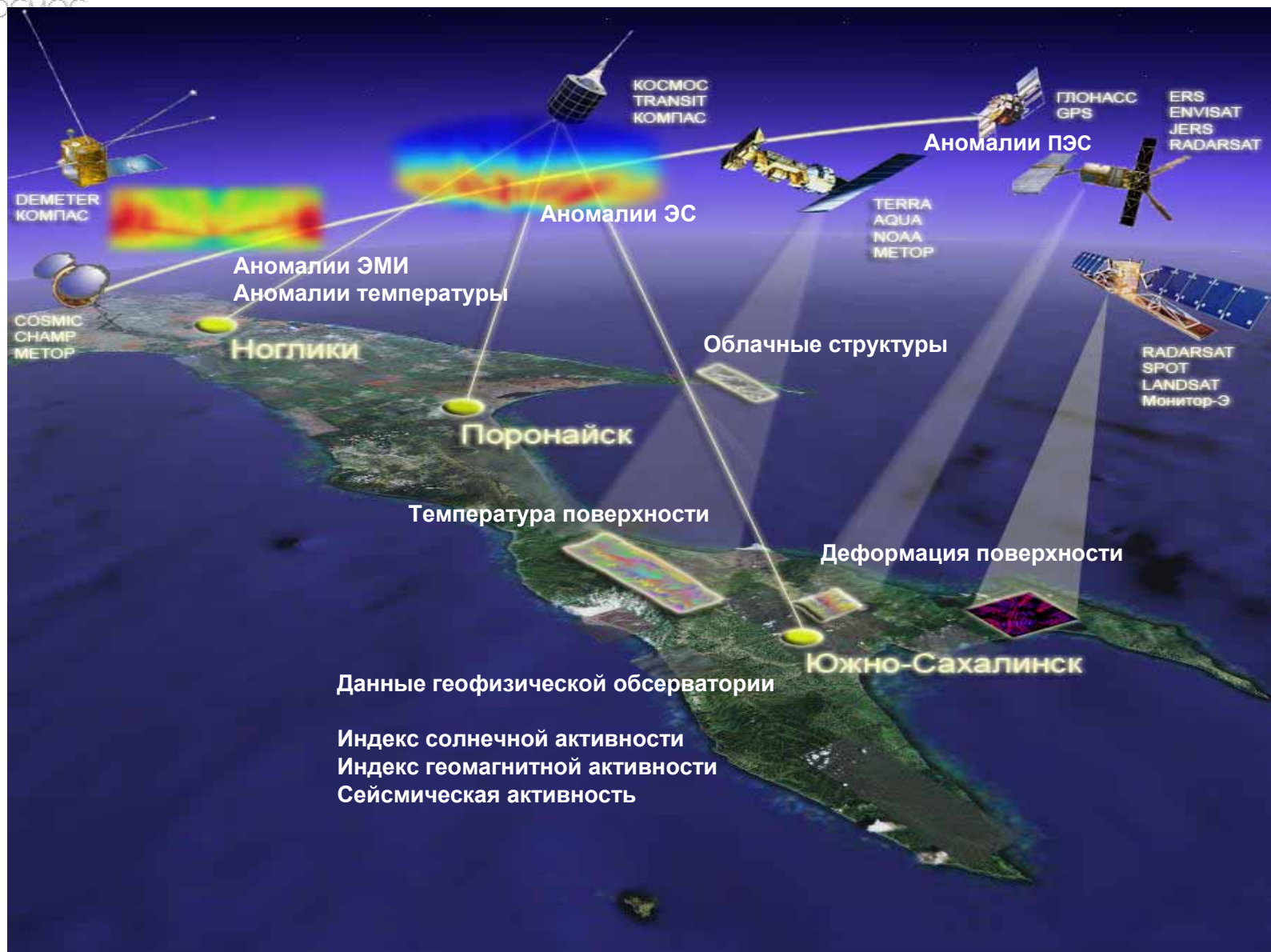
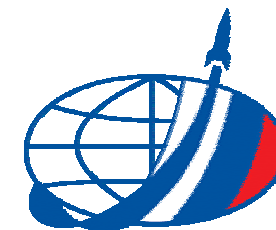
РОС

Полное наименование	Сокращенное наименование	Ведомственная принадлежность	Местонахождение
ФГУП «Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения»	ФГУП «РНИИ КП»	Роскосмос	г. Москва
Конструкторское бюро (Государственный ракетный центр) им. академика Макеева	КБ им. Академика Макеева	Роскосмос	г. Миасс (Челябинская обл.)
Центральная аэрологическая обсерватория Российского гидрометеорологического центра	ЦАО Росгидромет	Росгидромет	г. Додопрудный (Московская обл.)
Институт прикладной геофизики им. академика Е.К.Федорова	ИПГ	Росгидромет	г.Москва
Полярный геофизический институт Российской Академии Наук	ПГИ РАН	Российская Академия Наук	г. Мурманск
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Пушкова Российской Академии Наук	ИЗМИРАН	Российская Академия Наук	г. Троицк (Московская обл.)
Институт динамики геосфер Российской Академии Наук	ИДГ РАН	Российская Академия Наук	г. Москва
Институт космических исследований Российской Академии Наук	ИКИ РАН	Российская Академия Наук	г. Москва
Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской Академии Наук	ИСЗФ СО РАН	Российская Академия Наук	г. Иркутск
Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской Академии Наук	ИМГиГ ДВО РАН	Российская Академия Наук	г. Южно-Сахалинск
Научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской Академии Наук	НИЦЭБ РАН	Российская Академия Наук	г. Санкт-Петербург
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова	МГУ им. Ломоносова	Министерство образования и науки	г. Москва
Московский физико-технический институт (Государственный университет)	МФТИ	Министерство образования и науки	г. Москва



РОСКОСМОС

Информационное обеспечение комплексного
диагностирования предвестников землетрясений
(о. Сахалин) на базе спутникового мониторинга





Цели пилотного проекта



- Экспериментальное подтверждение в сейсмоактивном регионе (Дальневосточный федеральный округ) научных принципов комплексного диагноза предвестников землетрясений, методик и алгоритмов сбора, обработки и распространения мониторинговой информации, основанной на данных существующих российских и зарубежных ИСЗ навигационного, метеорологического и природноресурсного назначения, а также гелиогеофизических данных
- Создание регионального прототипа автоматизированной системы комплексного космического мониторинга предвестников землетрясений



Задачи пилотного проекта



- сбор комплексной информации о состоянии системы «гелиосфера-атмосфера-литосфера»;
- осуществление комплексного исследования полученных экспериментальных характеристик системы «гелиосфера-атмосфера-литосфера» и выделение аномалий, соответствующих сейсмической активности;
- адаптация существующих и разработка специализированных методик и алгоритмов обработки данных о состоянии среды;
- создание базы знаний сигнатур предвестников землетрясений в регионе исследований по данным комплексного эксперимента и возможной ретроспективы;
- создание методики диагностирования предвестников землетрясений на основе комплексного анализа и совместной обработки данных с сейсмометрической информацией, а также базы знаний сигнатур предвестниковых явлений;
- оценка возможностей существующих измерительных средств космического и наземного базирования, формирование требований к перспективным техническим средствам, а также разработка предложений по созданию перспективной системы комплексного мониторинга предвестников землетрясений



Ожидаемые результаты пилотного проекта



- База знаний сигнатур предвестниковых явлений в регионе исследования
- Методика диагностирования предвестников землетрясений на основе комплексной обработки собираемых данных и базы знаний сигнатур аномальных явлений
- Исходные данные на разработку бортовых средств измерения характеристик предвестников землетрясений на перспективных космических аппаратах, а также наземных комплексов сбора, обработки и распространения полученных данных
- Техническое задание на разработку и создание системы комплексного мониторинга предвестников землетрясений космическими средствами по результатам проведенного пилотного проекта



Почему о. Сахалин?



- Постоянная сейсмическая активность различной интенсивности
- Меридиональная ориентация острова
- Развернута и функционирует линейка приемных станций для радиотомографии ионосферы
- Имеется станция сети международной геофизической службы (IGS)
- Имеется сеть сейсмометрических датчиков и проводятся регулярные исследования цунами
- Возможность организации международного сотрудничества путем продления линейки на Японию



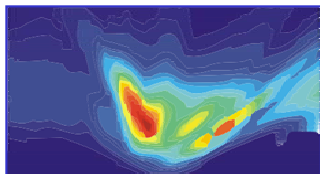
РОСКОСМОС

Ближайшая перспектива

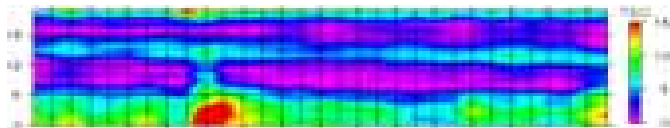
Сейсмометрическая информация

Полное электронное содержание в ионосфере

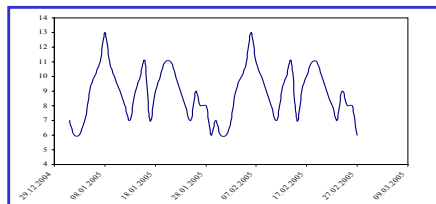
Распределение электронного содержания в ионосфере



Временные ряды полного электронного содержания по данным ГЛОНАСС/GPS



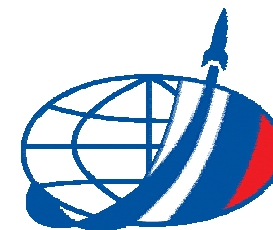
Солнечная активность и магнитная возмущенность



Проведение комплексного эксперимента
Уточнение параметров предвестниковых явлений

2007

© ФГУП «РНИИ КП»



Этапы выполнения пилотного проекта

Дальнейшая перспектива

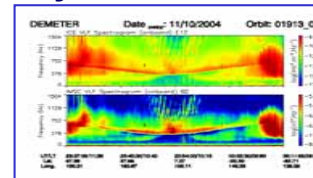
Сейсмометрическая информация

Полное электронное содержание в ионосфере

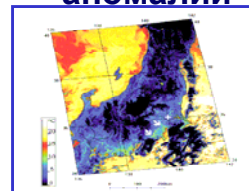
Распределение электронного содержания в ионосфере

Солнечная активность и геомагнитная возмущенность

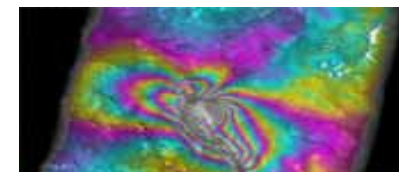
Данные со спутников
Вулкан и Demeter



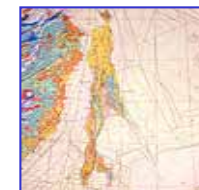
Температурные
аномалии



Данные SAR интерферометрии
о подвижках почв



Геологическая и
тектоническая информация

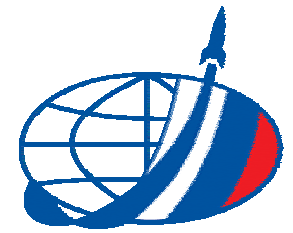


Создание модели комплексного предвестника
Автоматизированный диагноз явлений
Разработка ТЗ на систему космического мониторинга

2008 - 2010



Параметры системы «гелиосфера-атмосфера-литосфера», используемые в пилотном проекте



Гелиосфера

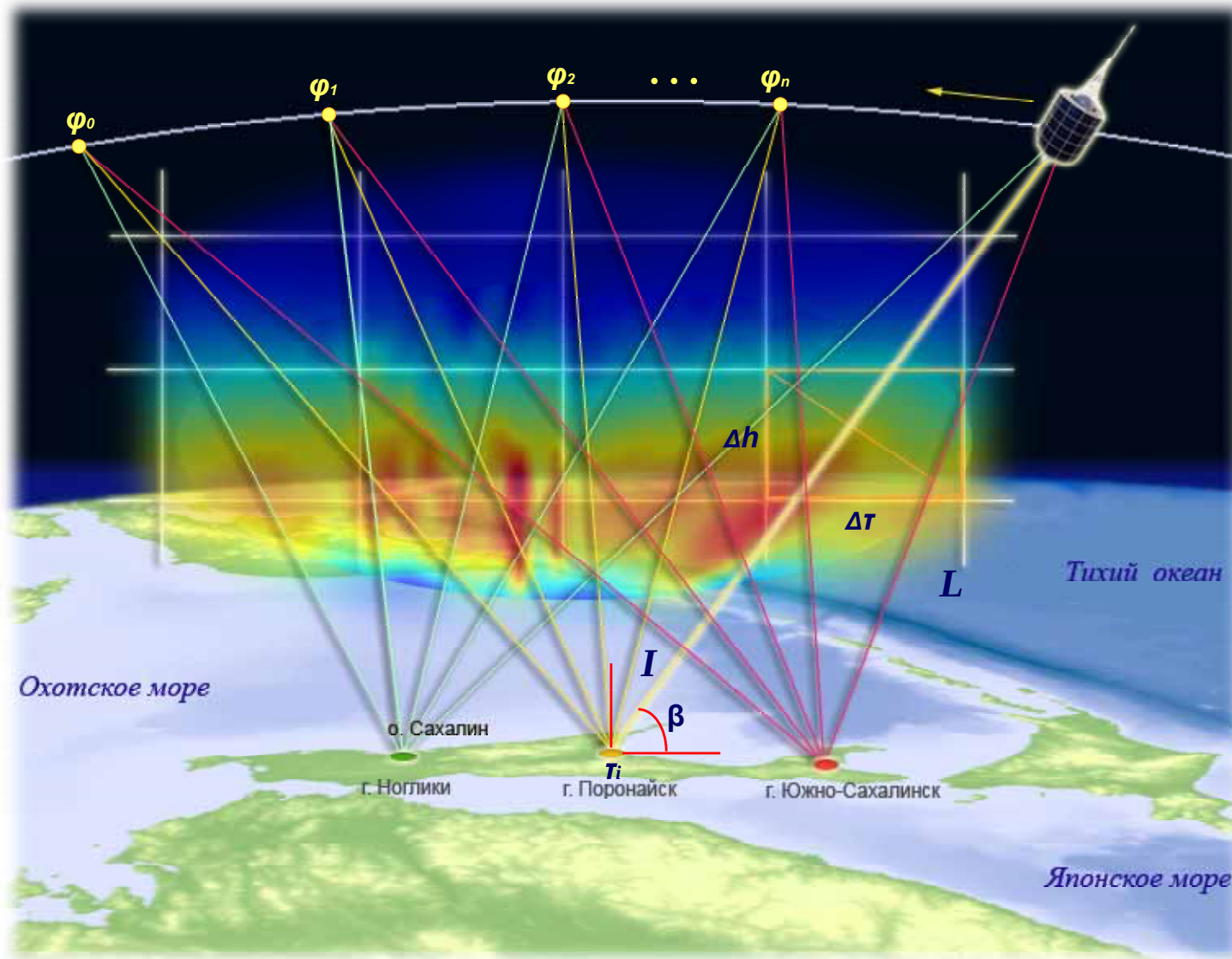
- индекс солнечной активности

Атмосфера

- полная электронная концентрация в ионосфере
- высотное распределение электронной концентрации в ионосфере

Литосфера

- сейсмометрическая информация о произошедших событиях для дальнейшего комплексного анализа



Основные соотношения:

Постановка задачи

$$\varphi = I = \lambda r_e \int N(h, \tau) dh$$

$$I(\beta, \tau_i) = \int_0^{h_0} \frac{F(h, \tau)(R + h)}{\sqrt{R^2 \sin^2 \beta + 2Rh + h^2}} dh$$

Решение обратной задачи

Формирование системы линейных алгебраических уравнений

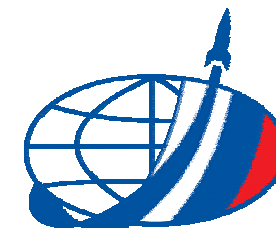
$$A_{JM} F_M = D_J,$$

$$D_J = \frac{\Delta I_J}{\Delta \beta} \quad A_{JM} = \frac{\Delta L_M}{\Delta \beta}$$

Итерационный метод решения системы уравнений ART

$$f^{k+1} = f^k + \frac{d_i - \langle a^i, f^k \rangle}{\langle a^i, a^i \rangle} a^i$$

Специализированные космические аппараты для мониторинга характеристик атмосферы



Космос

Transit/NIMS

Компас-2 (эксп.)

COSMIC

CHAMP



Использование

Томография ионосферы
150/400 МГц

Томография ионосферы 150/400 МГц,
Лимбовое зондирование: профили ПЭС,
температуры, влажности

Высота орбиты, км

1000

1000

600

800

450

Наклонение орбиты,°

83

89

79

72

87

Количество
спутников
в группировке

4

4

1

6

1

Частота появления над
районом мониторинга,
раз/сутки

6-10

6-10

1-2

10-12

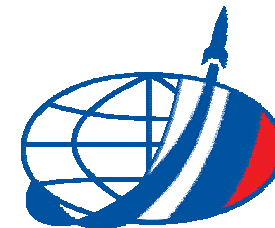
1-2



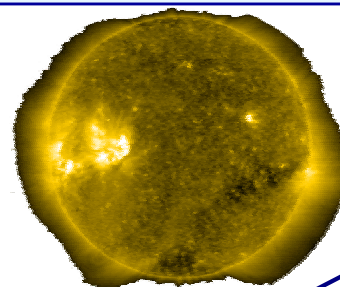
Состав томографического комплекса

- Томографический приемник
- Антенно-фидерное устройство
- Персональный компьютер
- Блок сопряжения томографического приемника с компьютером
- Программный комплекс управления приемником

Методика регистрации солнечной активности



Мягкое рентгеновское и
ультрафиолетовое излучение
солнца ($\sim 100 \text{ \AA}$)



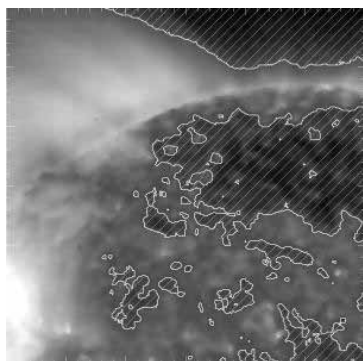
Радиоизлучение солнца
длиной волны 10.7 см



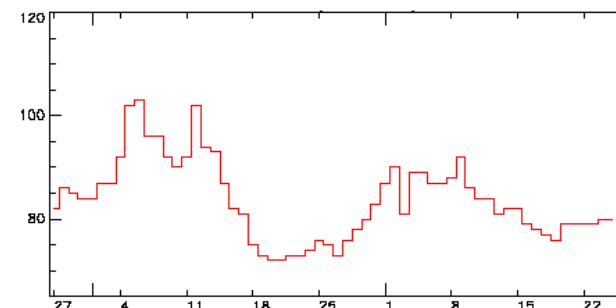
Спутник – лаборатория для
исследования солнца
(SOHO, КОРОНАС, STEREO)



Радиотелескоп – регистрация потока
излучения от Солнца на частоте 2800 МГц

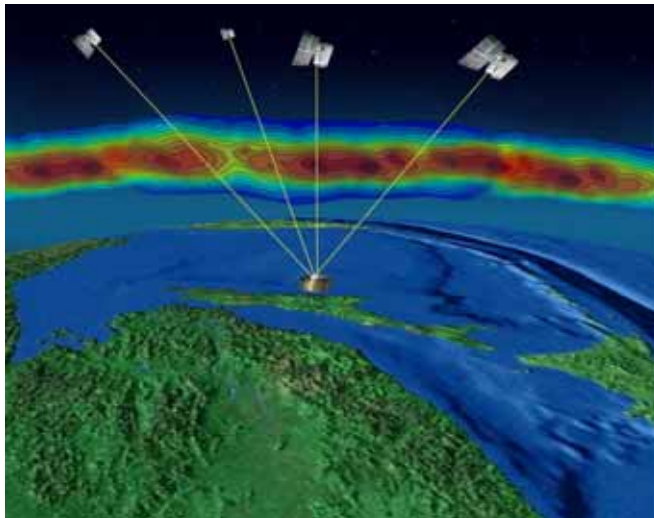


Регистрация корональной дыры
(области с потоком излучения
менее 35 DN Вт/м^2) и расчет ее площади



Индекс 10.7 (Оттава, Канада)

Данные ККС ГЛОНАСС/GPS



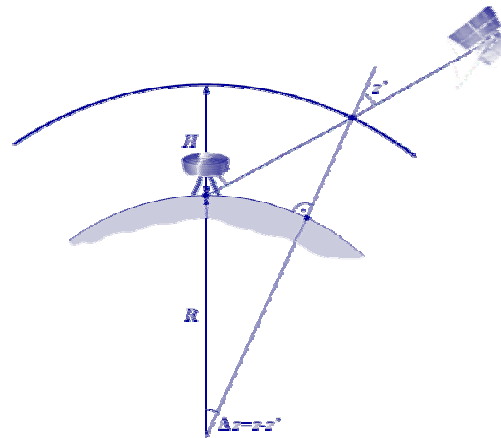
$$\text{TEC}_{\text{slant}} = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} (P_2 - P_1)$$

где

P_1 – псевдодальность, измеренная на частоте f_1 ;

P_2 – псевдодальность, измеренная на частоте f_2 ;

Учёт проекционной функции



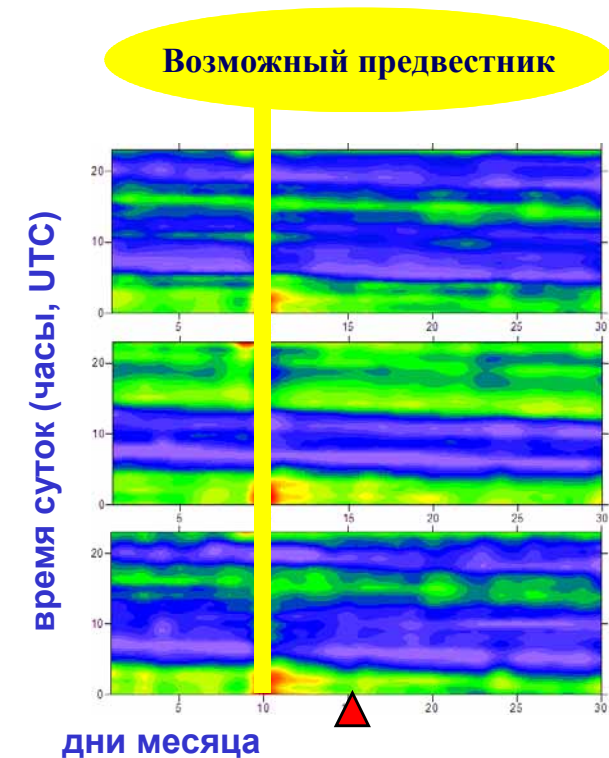
$$\text{TEC}_{\text{vertical}} = F(z) \text{TEC}_{\text{slant}}$$

Проекционная функция

$$\sin z' = \frac{R}{R + H} \sin z$$

$$F(z) = \cos z' = \sqrt{1 - \sin^2 z'}$$

Визуальное представление



$$\overline{\text{TEC}}(t) = \sum_i \text{TEC}_{\text{vertical}}^i$$



РОСКОСМОС

Методика определения параметров интенсивности землетрясения по сейсмометрическим данным

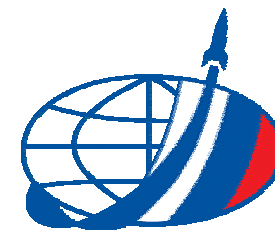
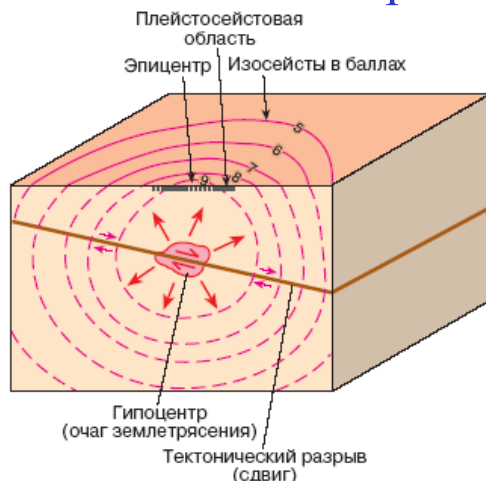
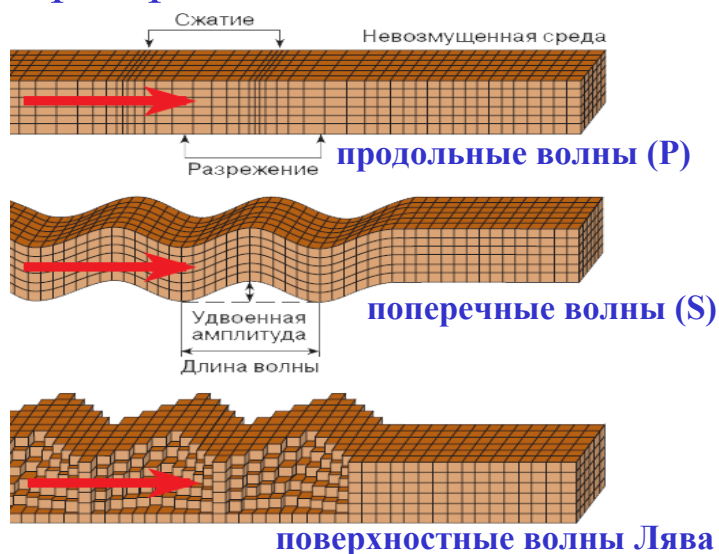


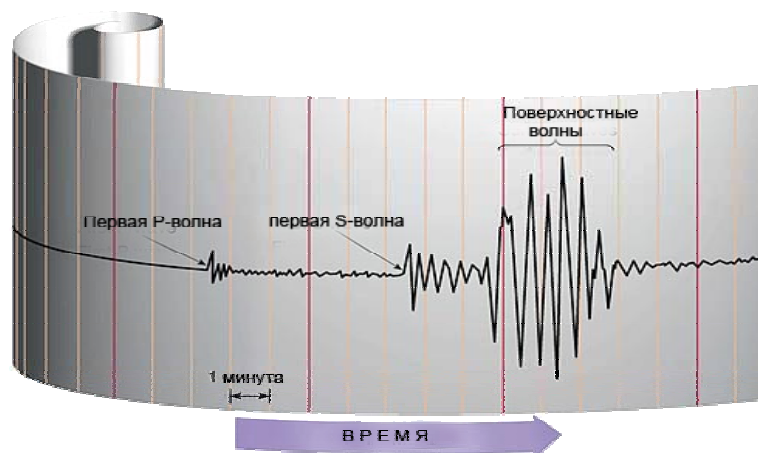
Схема очага землетрясения



Распространение сейсмических волн



Колебания грунта регистрируются сейсмографами на сейсмограммах



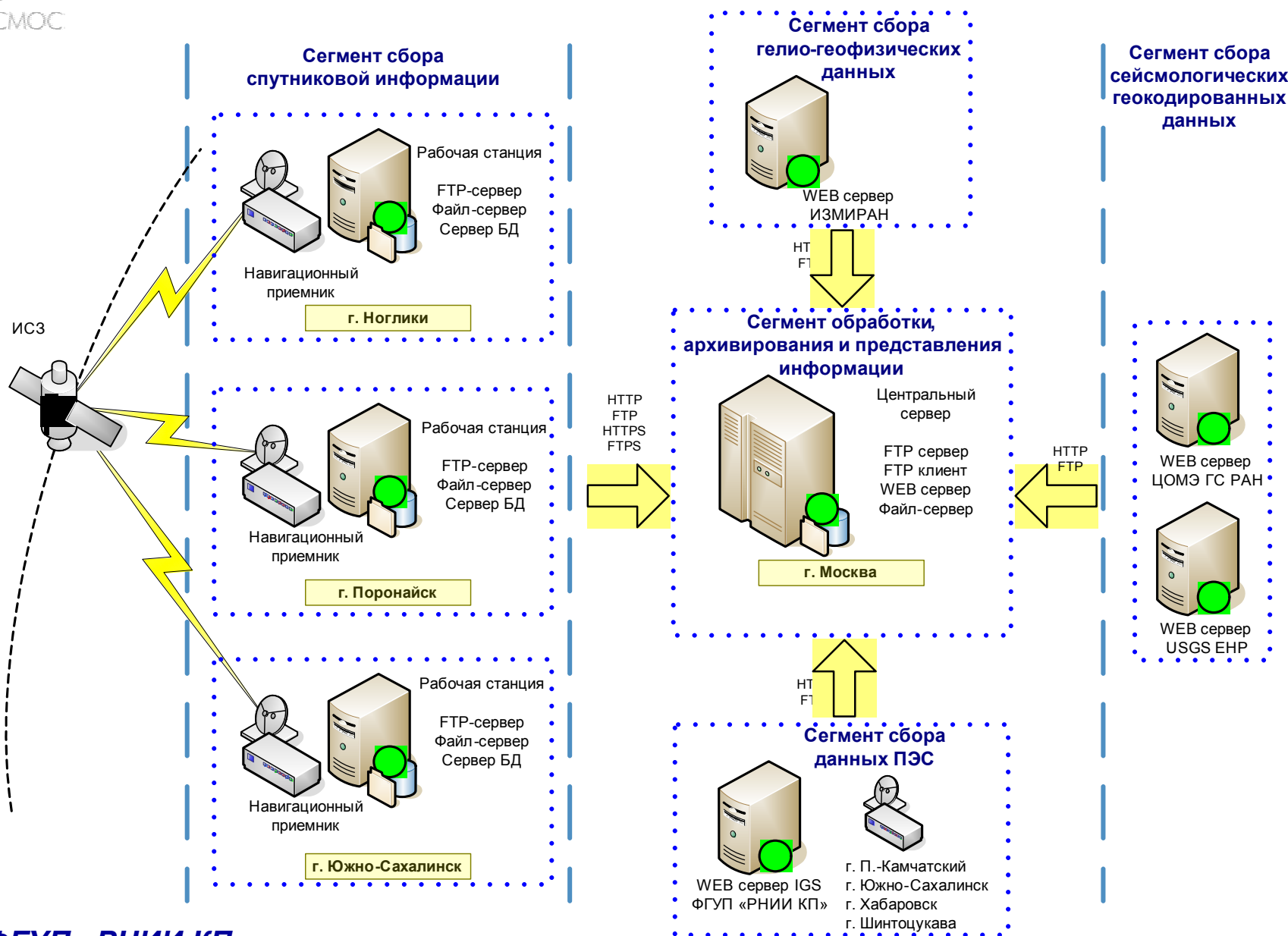
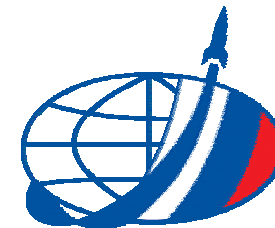
В результате обработки сейсмограмм рассчитываются магнитуда (M) и интенсивность (I_0) землетрясения

$$M = \log \frac{A}{A_x}$$

$$I_0 = aM - b \log H + c$$

A, A_x – максимальные амплитуды сейсмических волн данного (A) и некоторого стандартного (A_x) землетрясений; H – глубина гипоцентра, a, b, c – эмпирические региональные коэффициенты

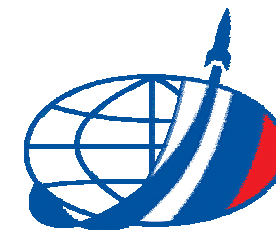
Схема функциональной структуры сбора данных в рамках пилотного проекта





РОСКОСМОС

Веб-интерфейс системы: расчет трассы спутника, экспериментальные данные и сейсмометрические измерения

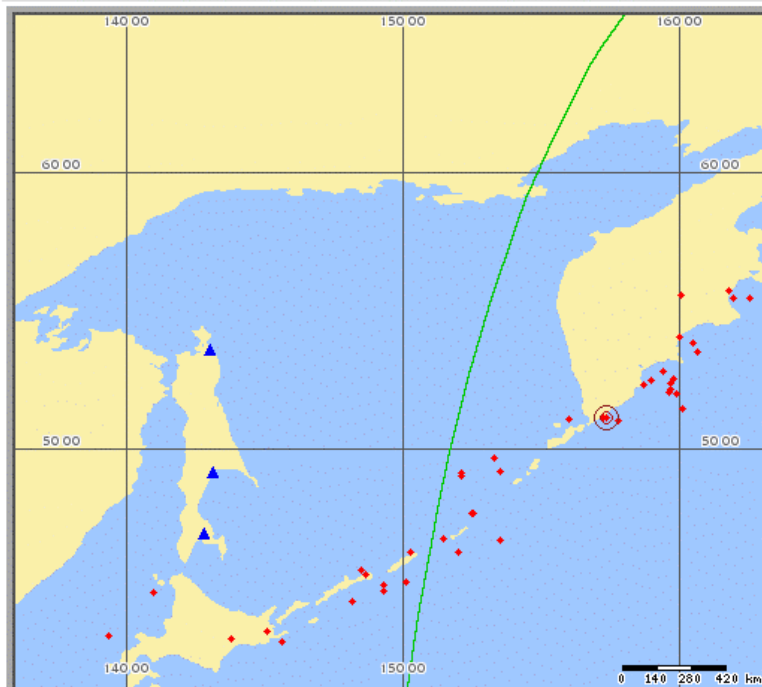


Адрес: <http://eq.smou.ru/aspz/index.php?pass=1300&eq=4987&ap=864>

Переход Links

[Главная страница](#) | [Просмотр данных](#) | [Исследование предвестников](#) | [Журнал](#)

Тест



Направление пролета ↑

Землетрясения

Дата, время	Координаты	Глубина	Инт-сть	Магнитуда	Расстояние
2006-01-24 15:56:34	51.12,157.33	85	-	4.3	1035
2006-01-19 03:51:41	55.42,162.49	70	-	4.7	1482
2006-01-18 11:10:53	49.04,152.11	250	-	4.6	658
2006-01-14 02:39:33	52,159.85	50	3.5	5.1	1220
2006-01-13 13:25:56	52.03,159.62	50	2.5	4.7	1205

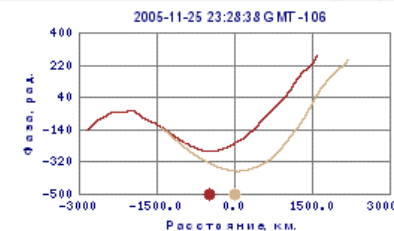
Пролеты спутников

Сейчас 2006-02-02 14:31:19 GMT

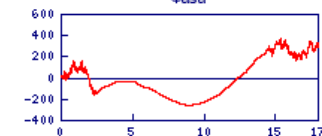
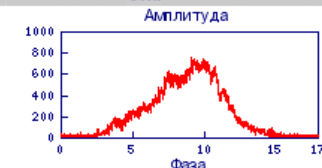
Начало пролета

2006-02-02 19:37:18	102	Трасса
2006-02-02 17:21:51	104	Трасса
2006-02-02 15:56:04	106	Трасса
2006-02-02 14:10:12	106	Трасса
2006-02-02 10:07:05	104	Трасса
2006-02-02 07:45:58	102	Трасса
2006-02-02 05:32:45	104	Трасса
2006-02-02 05:03:22	106	Трасса
2006-02-02 03:17:59	106	Трасса
2006-02-01 23:20:52	104	Трасса
2006-02-01 20:52:20	102	Трасса
2006-02-01 18:40:45	104	Трасса
2006-02-01 15:27:18	106	Трасса
2006-02-01 11:37:41	104	Трасса
2006-02-01 09:52:53	104	Трасса
2006-02-01 07:15:20	102	Трасса
2006-02-01 05:06:17	104	Трасса
2006-02-01 04:34:14	106	Трасса
2006-02-01 00:51:47	104	Трасса
2006-01-31 23:07:07	104	Трасса
2006-01-31 20:21:35	102	Трасса
2006-01-31 18:14:08	104	Трасса
2006-01-31 14:58:34	106	Трасса
2006-01-31 11:23:27	104	Трасса
2006-01-31 08:30:43	102	Трасса

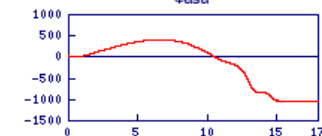
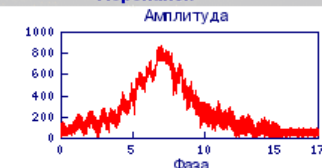
Данные пролета 2005-11-25 23:28:40



Оха El. 58°

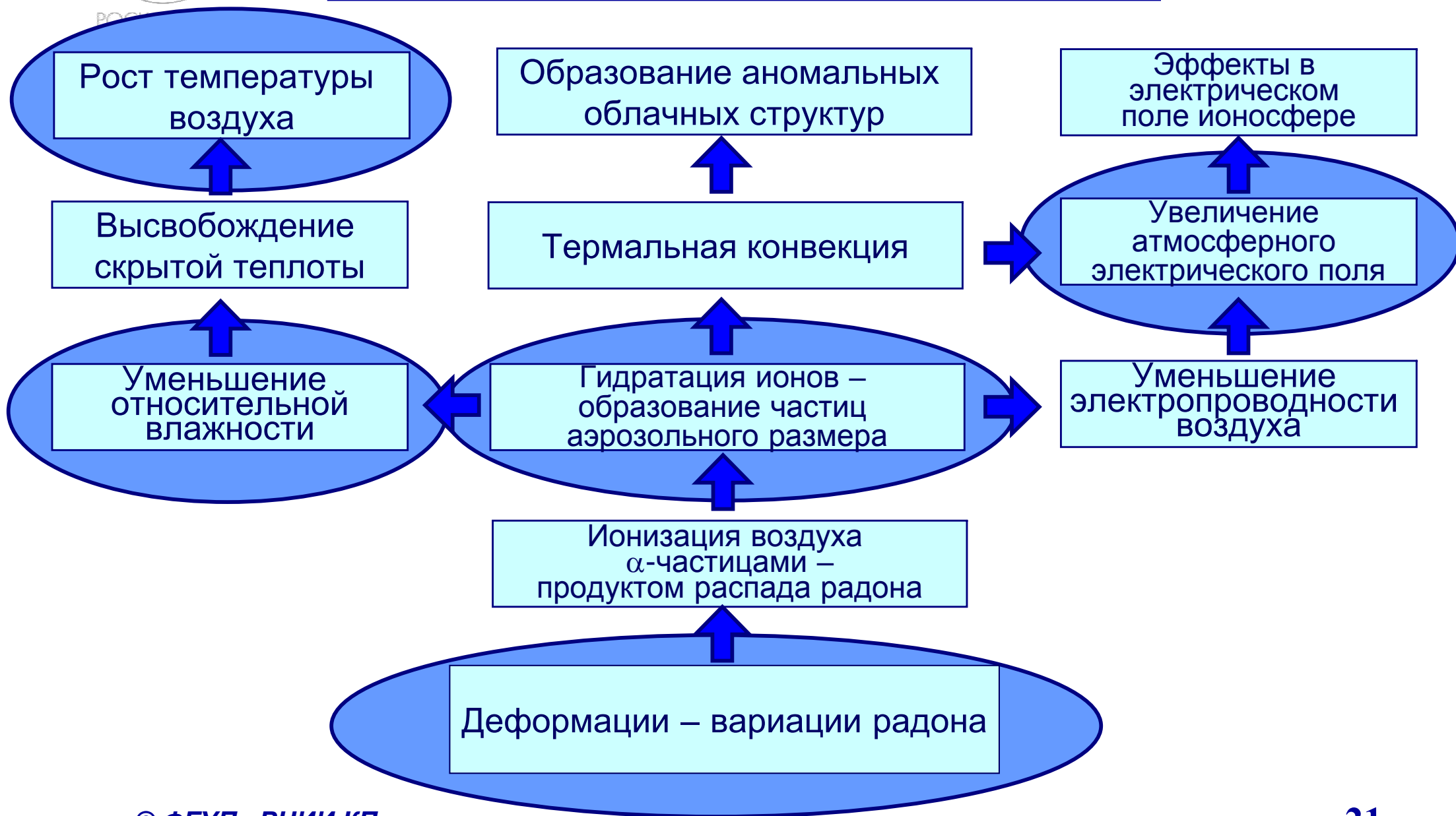
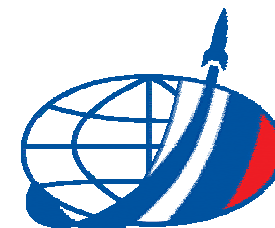


Поронайск El. 61°

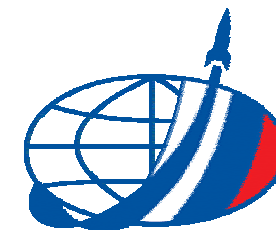




Модель литосферно-атмосферно-ионосферного взаимодействия,
предложена д.ф.-м.н, профессором С.А. Пуленцом



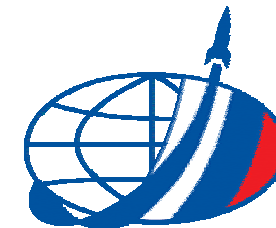
Аномальные явления в различных средах за
период 21.07.2007 по 03.08.2007



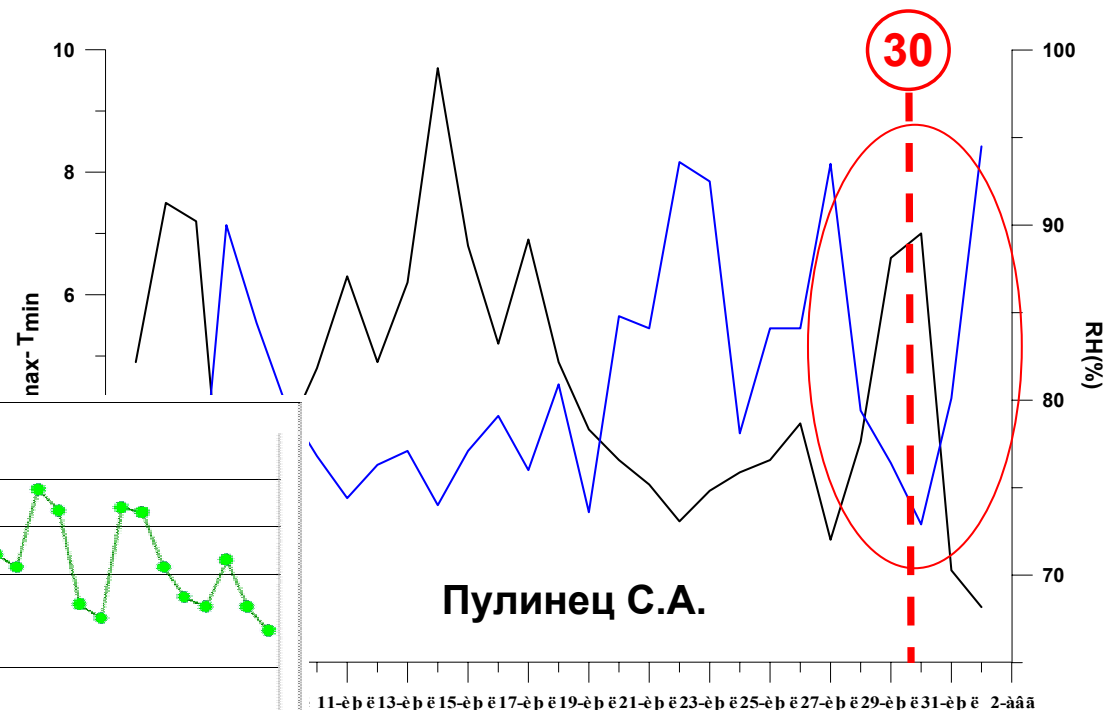
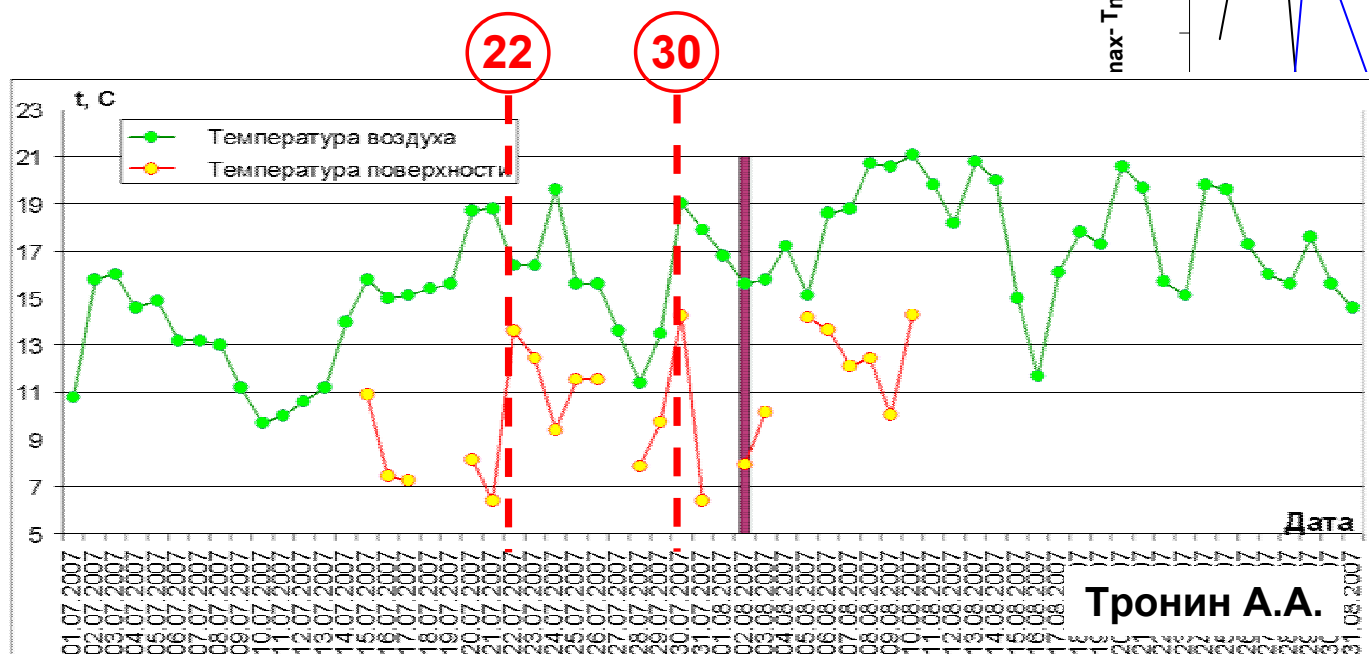
	22.07.2007	30.07.2007
Аномалии температуры воздуха	не выявлены	выявлены
Аномалии относительной влажности воздуха	не выявлены	выявлены
Аномалии температуры поверхности воды	выявлены	выявлены
Аномалии температуры поверхности суши	выявлены	выявлены
Аномалии полной электронной концентрации	не выявлены	выявлены
Аномалии электронной концентрации	выявлены	выявлены

Вариации исследуемых параметров предшествовали землетрясению 02.08.2007 02:37 UTC с эпицентром в точке 46.68°с.ш., 141.77°в.д. и интенсивностью 7-8 баллов.

Вариации температуры и влажности приповерхностного воздуха

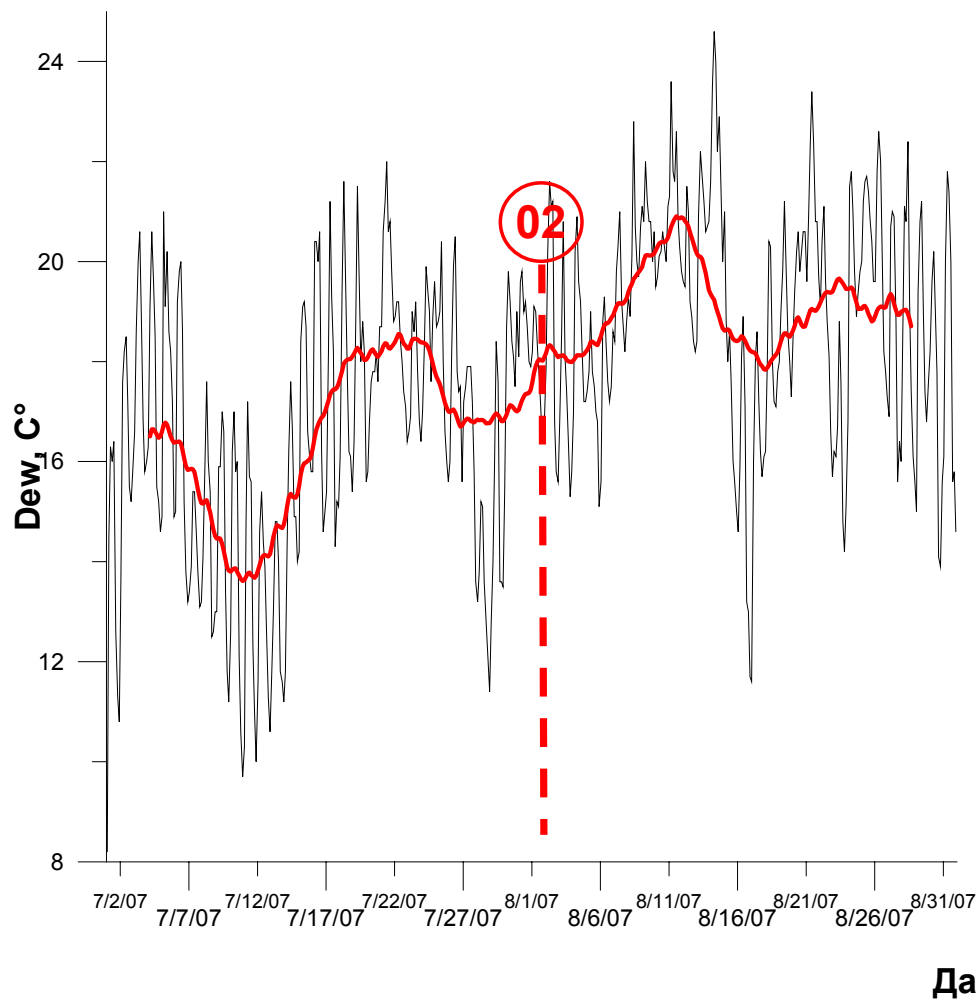
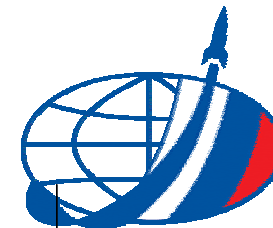


**Температура воздуха на метеостанции Холмск
(около 50 км от эпицентра)
и температура поверхности суши.**

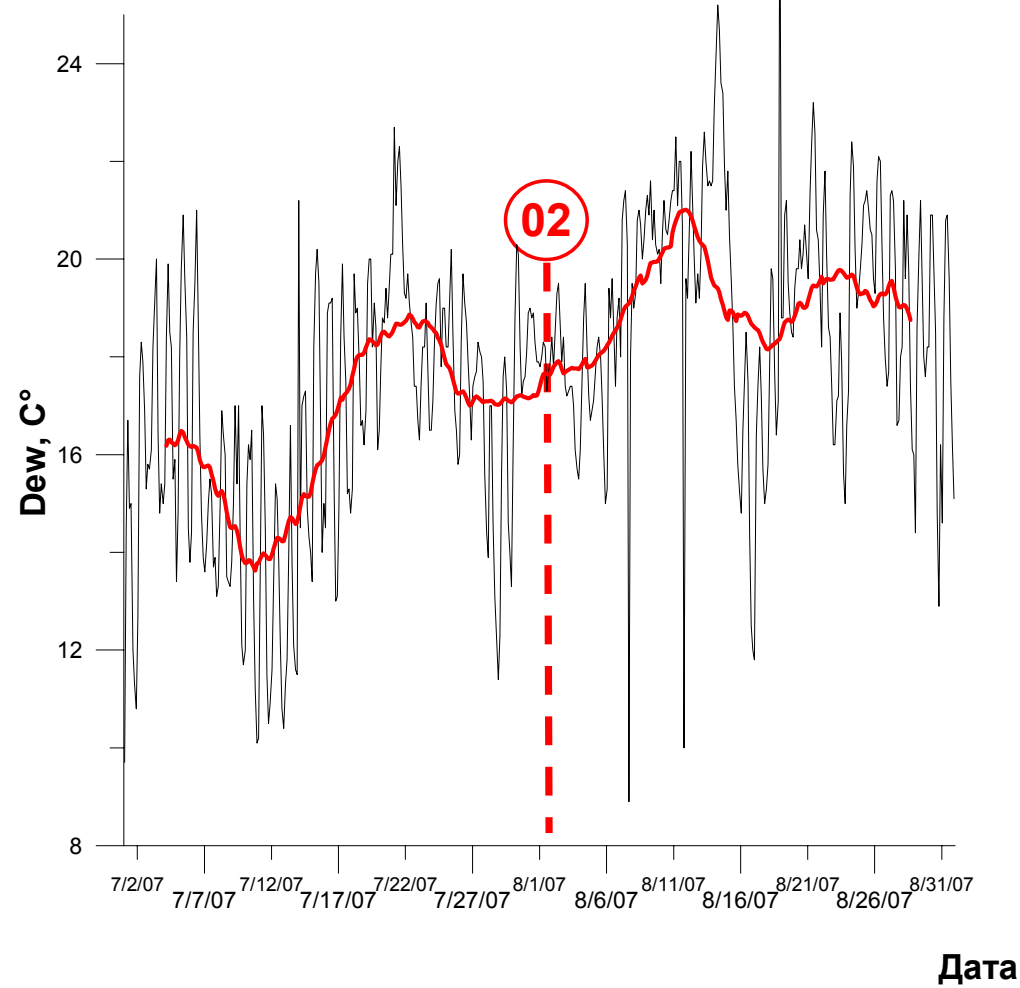


**Температура воздуха и
относительная влажность
на метеостанции Невельск.
Черная кривая – температура.
Синяя кривая – влажность.**

Вариации температуры точки росы

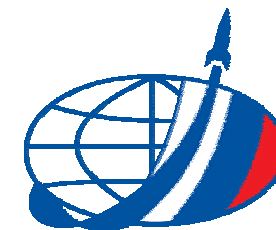


Метеостанция Невельск.



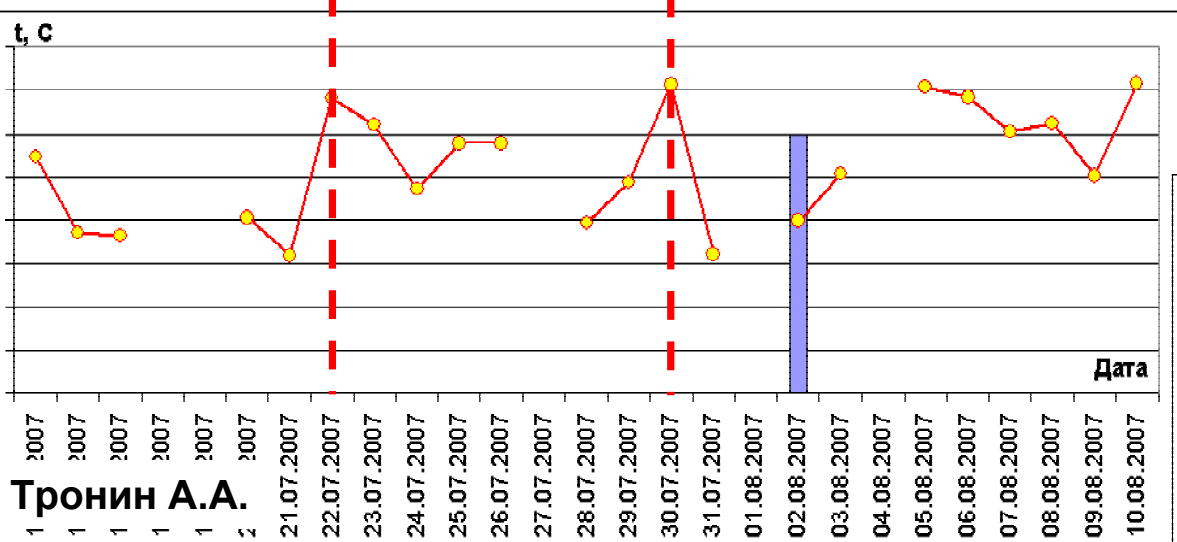
Метеостанция Холмск.

Вариации температуры суши и океана по спутниковым данным

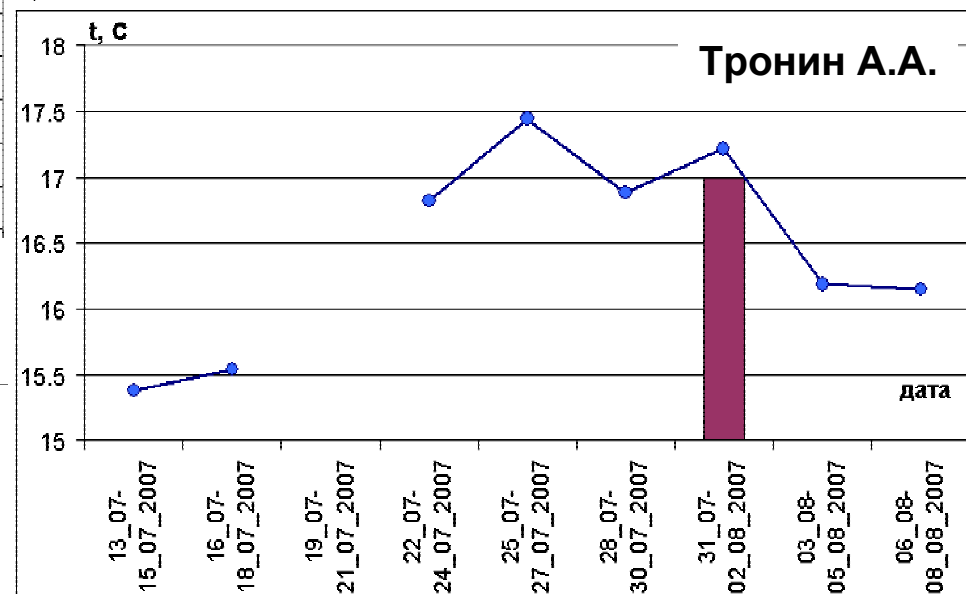


22

30

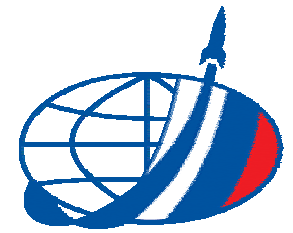


Температура поверхности суши по спутниковым данным.
Пропуски данных – облачность.
Столбик – момент землетрясения.

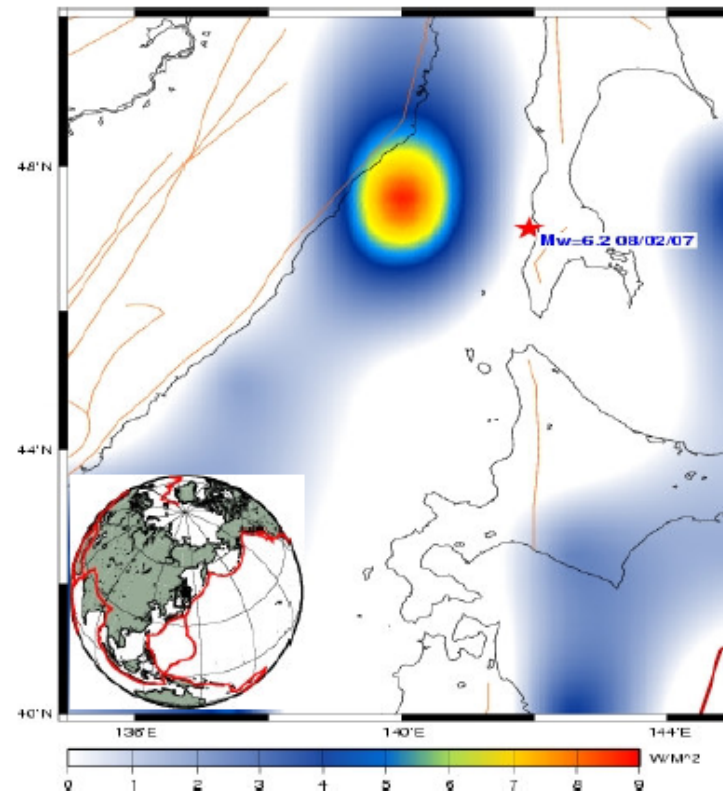


Температура поверхности воды по спутниковым данным.
Осреднённые данные по трём дням.
Пропуски данных – облачность.
Столбик – момент землетрясения.

Вариации OLR



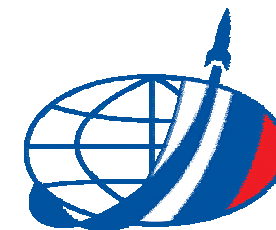
Monthly (July 2007) Earth radiation anomalies over Sakhalin, Russia
The “Anomalous” level was defined for period of 1980-2007
(tectonic plate boundaries are with red line, main tectonic faults are with brown line)



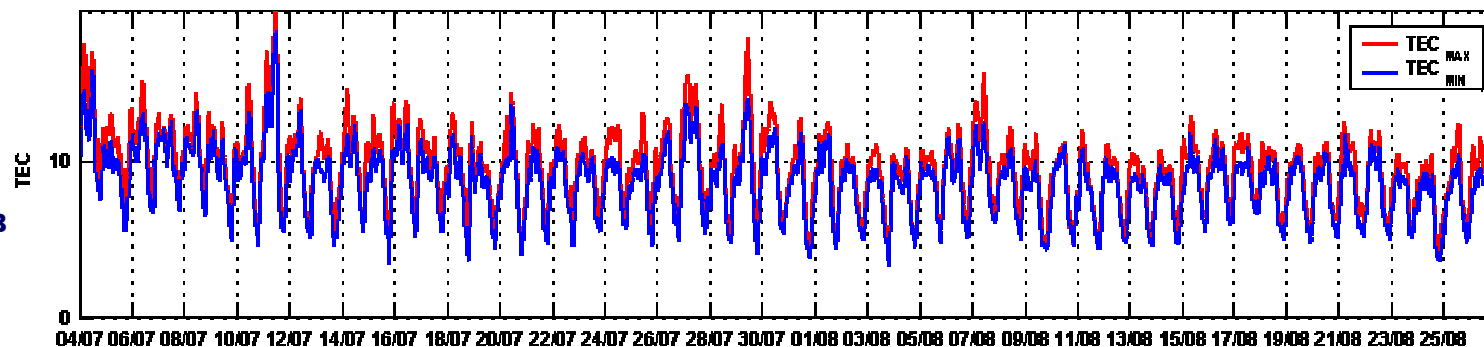
D.Ouzounov
NASA/GSFC/SSAI/GMU

OLR - Outgoing Longwave Radiation (убегающий поток длинноволнового излучения)

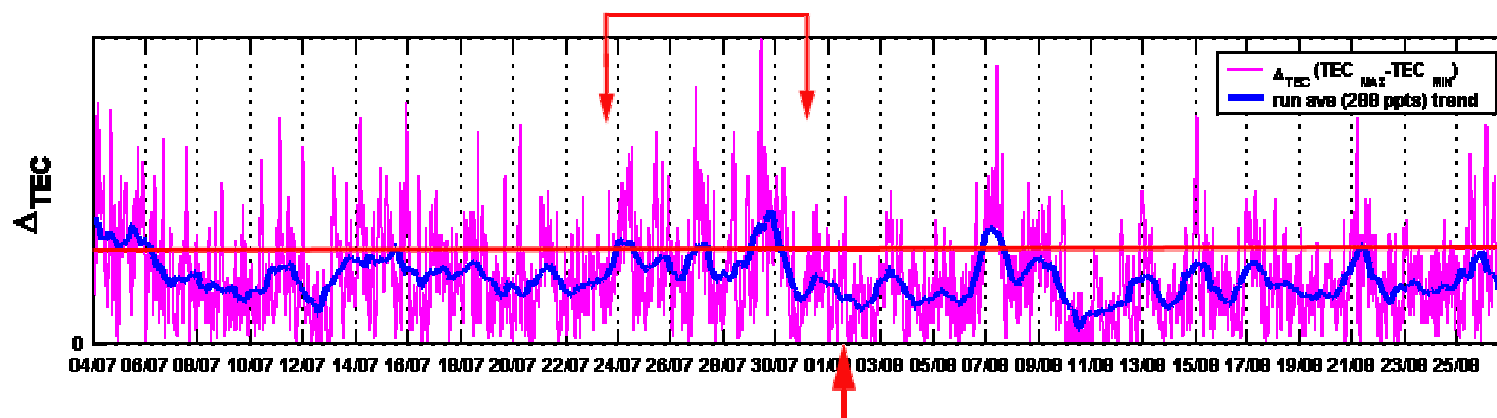
Вариации полного электронного содержания



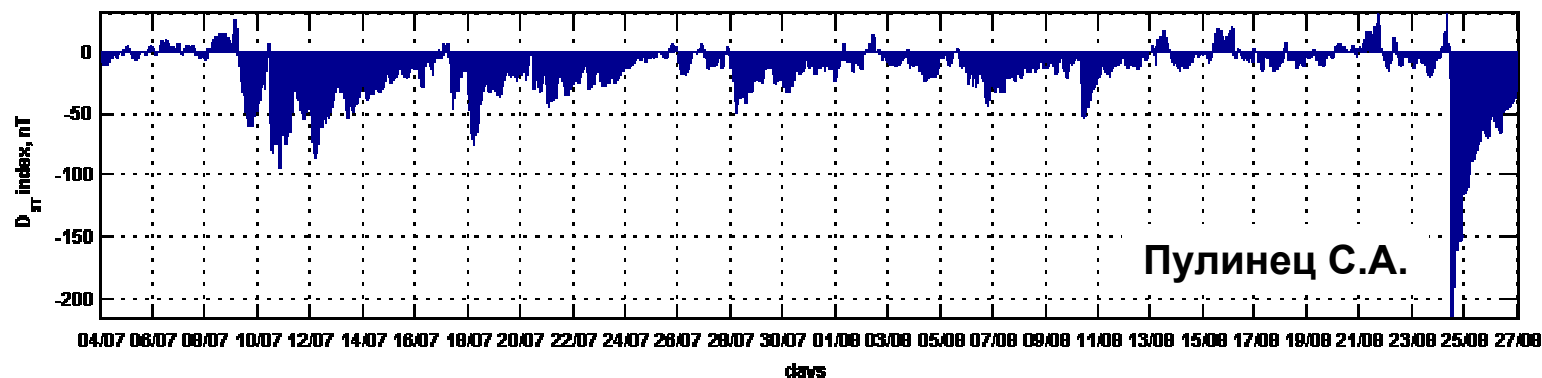
Максимальные и минимальные значения TEC для сети приемников

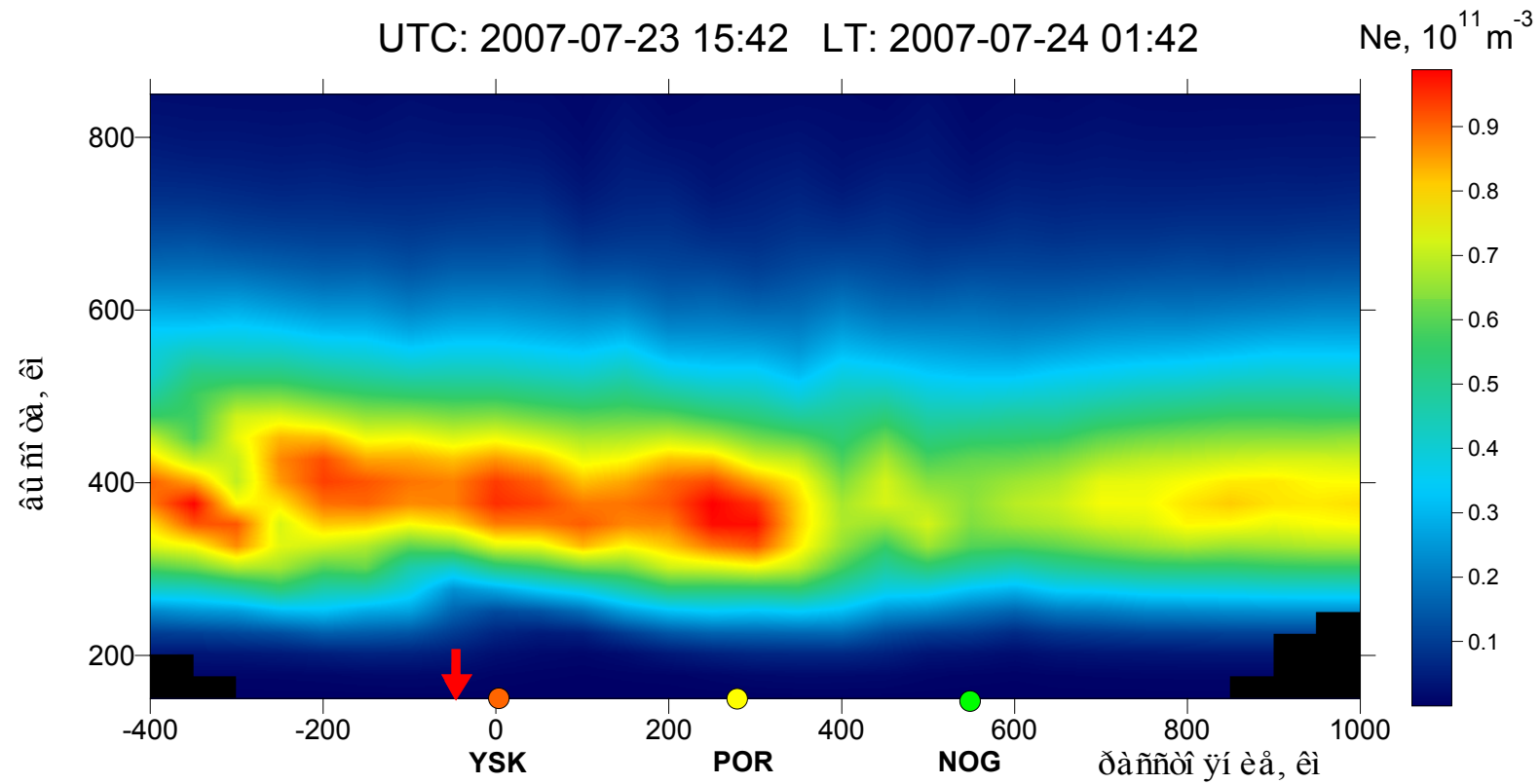


Индекс региональной ионосферной изменчивости

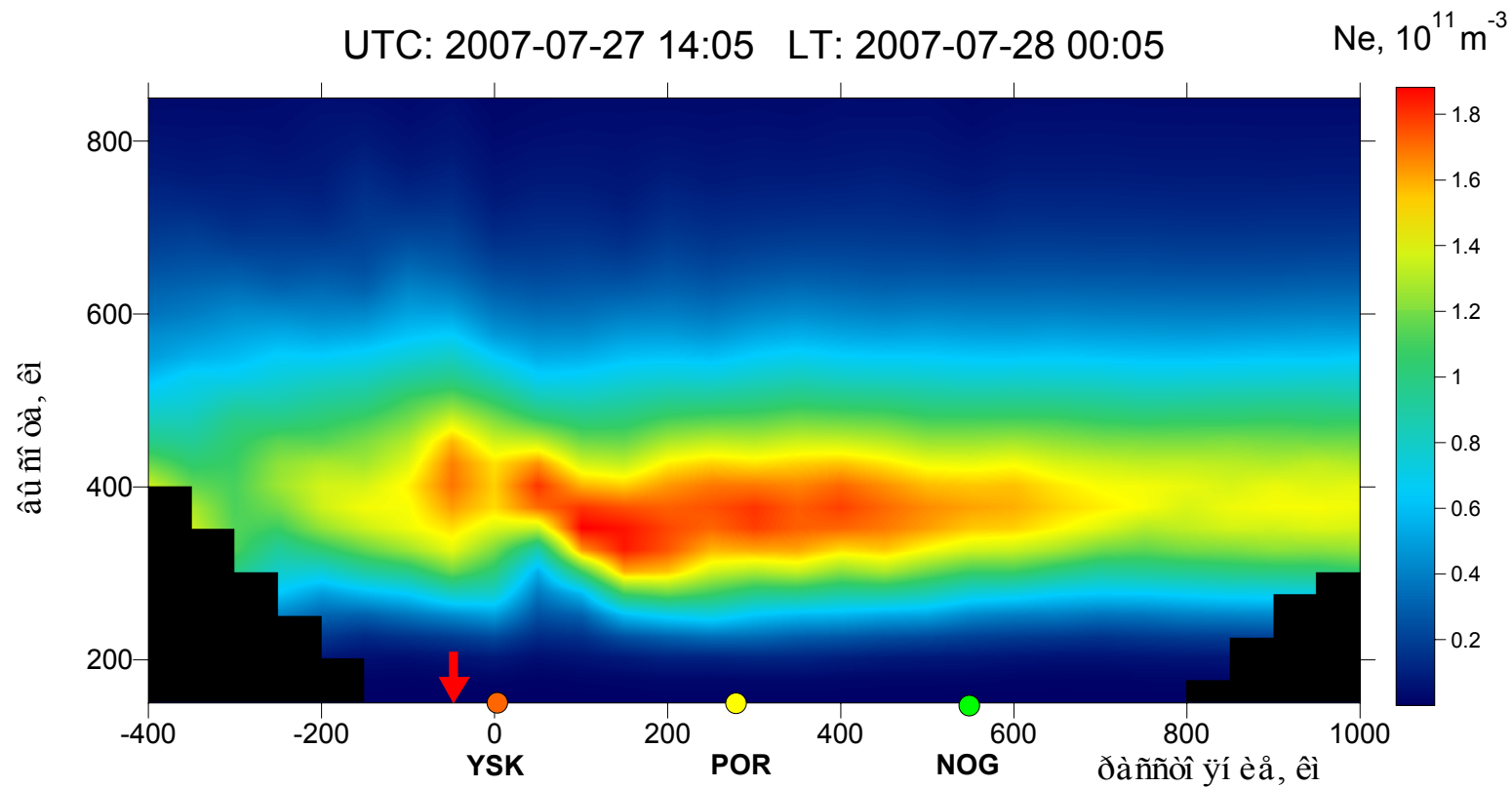


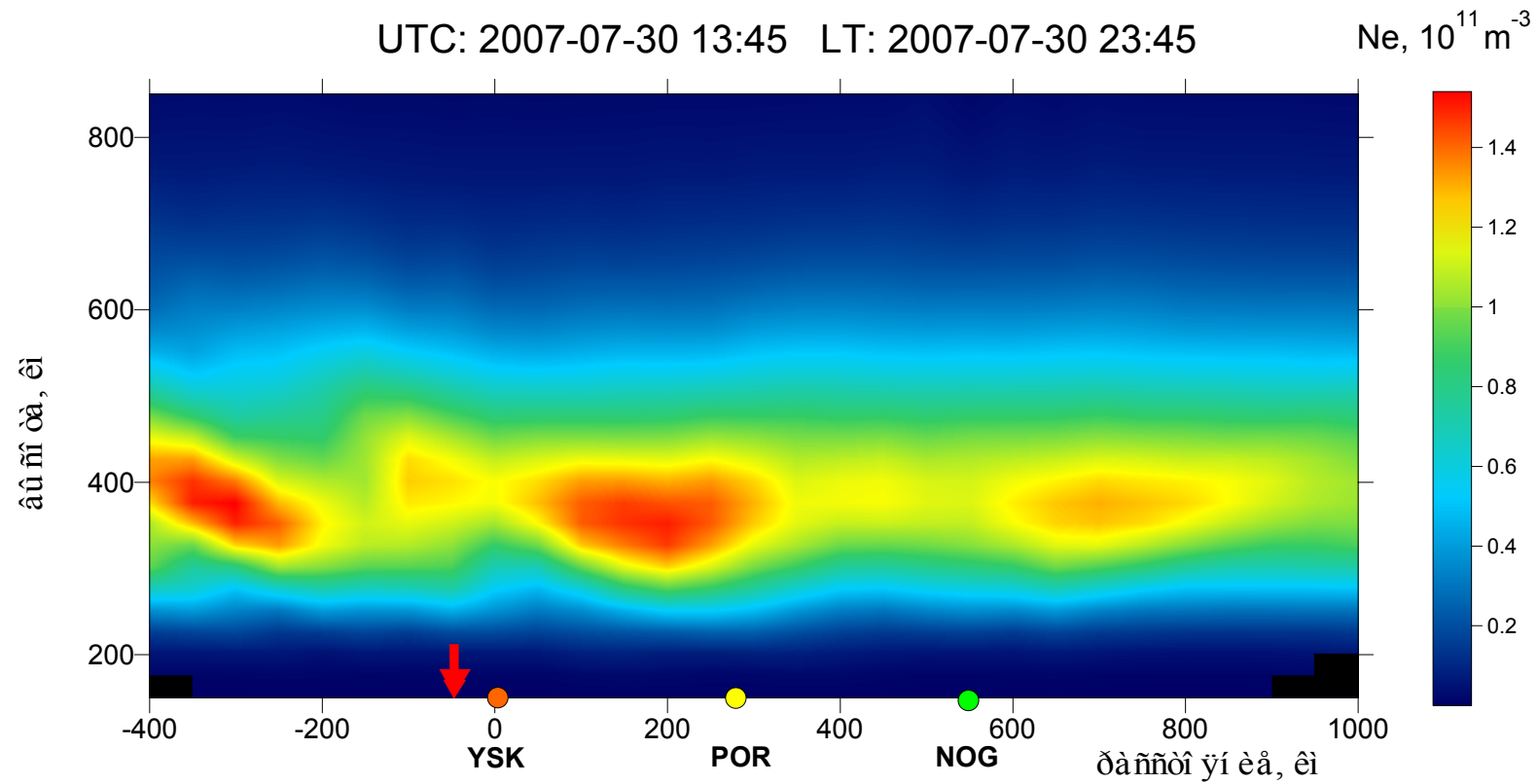
Индекс Dst





Вариации поля электронной концентрации в ионосфере
27.07.2007 14:05 UTC







Выводы



- Проведен сбор и анализ данных дистанционного зондирования о состоянии нижней и верхней атмосферы;
- Выявлены аномалии электронной концентрации ионосферы, температуры и влажности воздуха;
- Выявлена аномалия убегающего потока длинноволнового излучения;
- Амплитуда зарегистрированных вариаций как в атмосферных, так и в ионосферных параметрах довольно невелика, что, вероятно, объясняется геологией региона, которая обуславливает низкую концентрацию радона в земной коре;
- Морфология обнаруженных вариаций атмосферных и ионосферных параметров полностью соответствует признакам, обнаруженным ранее для других сильных землетрясений.



Спасибо за внимание!

