

**Предложения по формулировке научной
проблемы исследований состояния
атмосферно-ионосферного взаимодействия,
решаемой университетской группировкой
наноспутников**

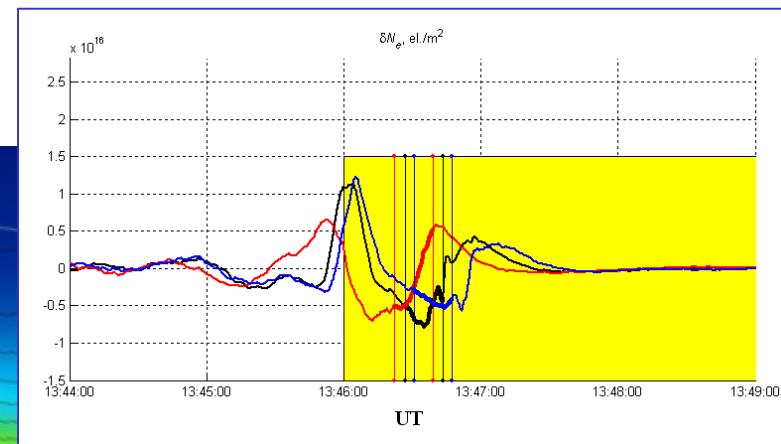
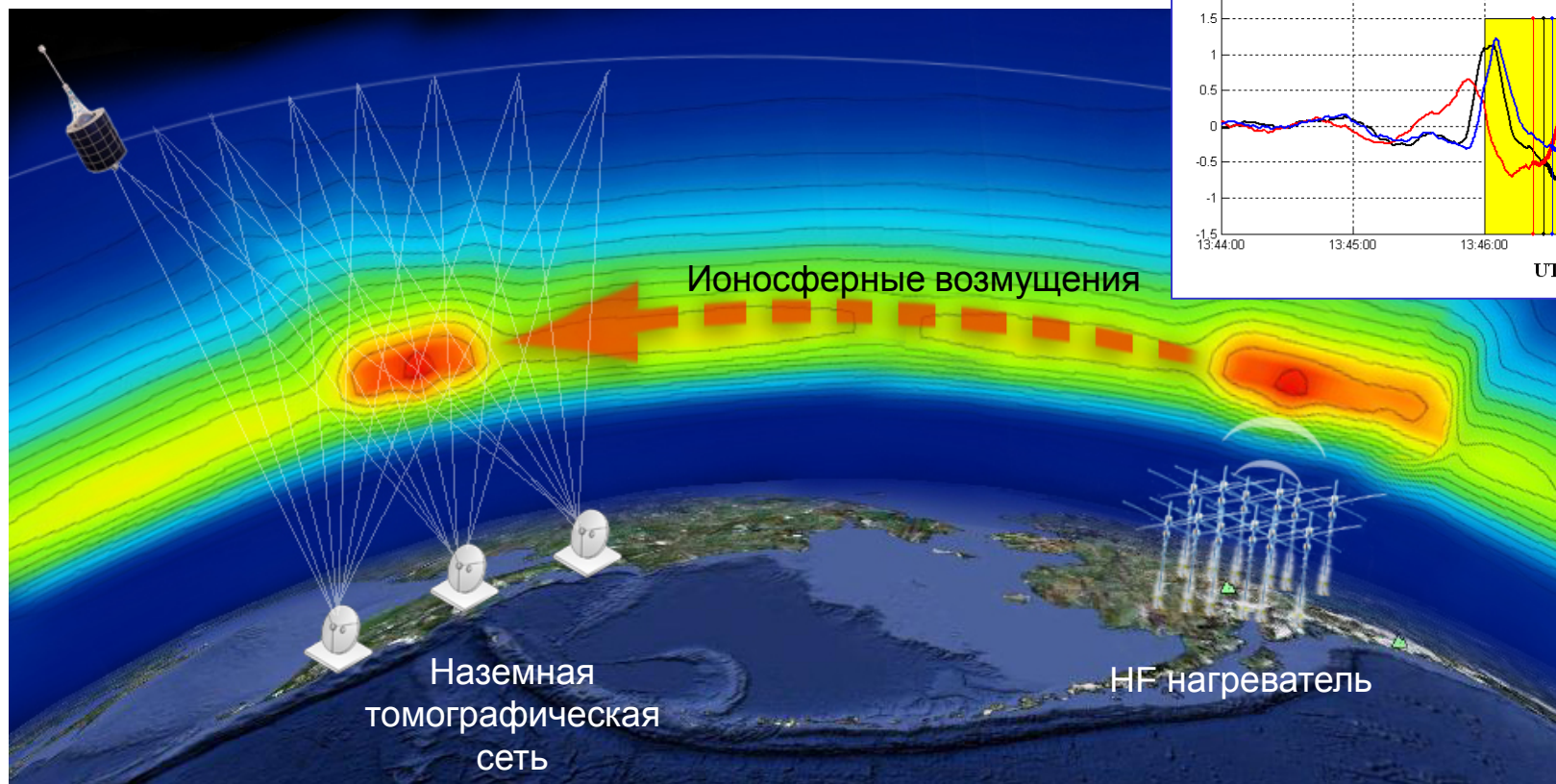
*А.А. Романов – заместитель генерального директора по
науке, д.т.н., профессор*

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«РОССИЙСКАЯ КОРПОРАЦИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ»

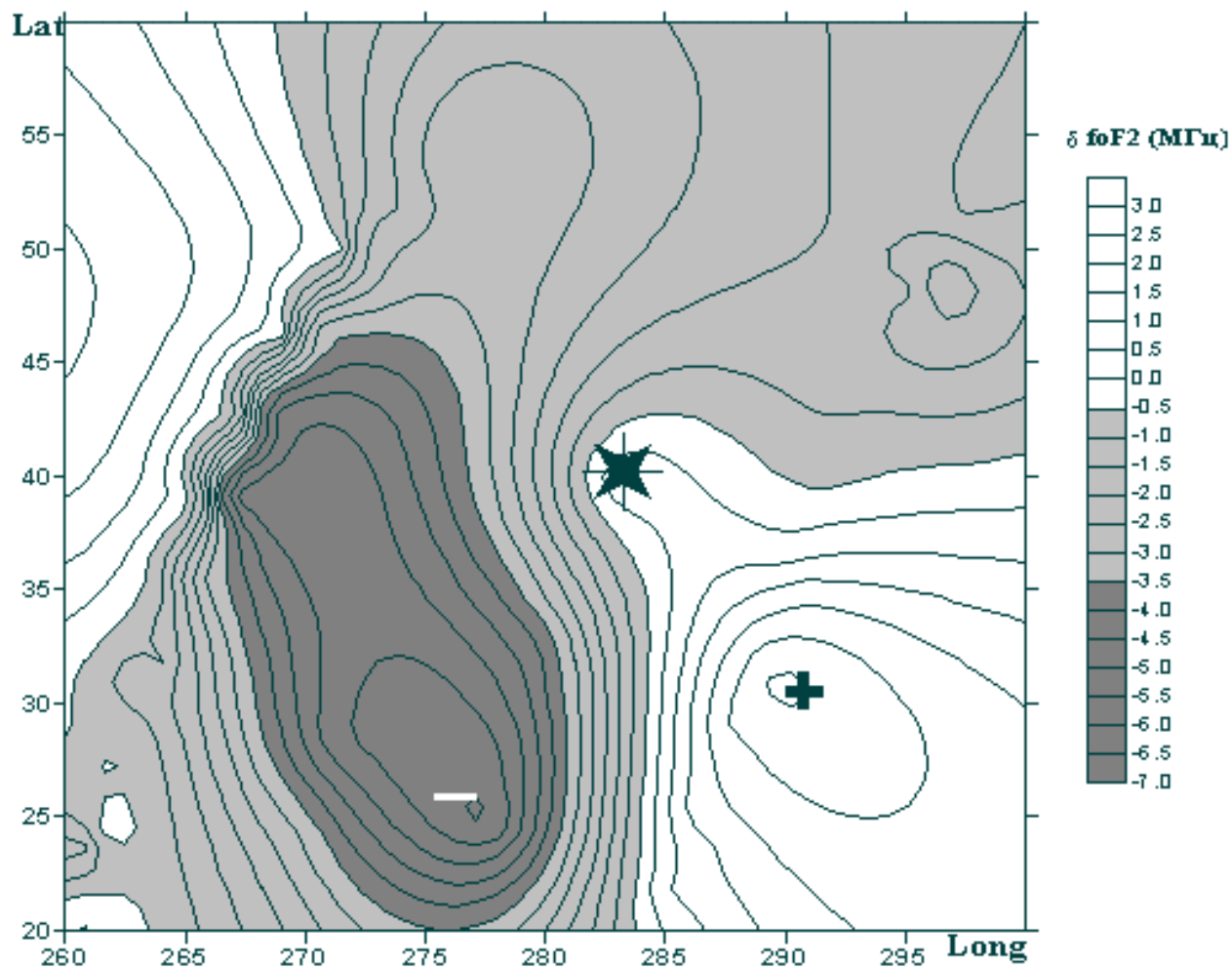
- Проблемные вопросы спутниковых исследований состояния атмосферы и ионосферы
- Методические проблемы спутниковых измерений электрофизических параметров модели литосферно-атмосферно-ионосферного взаимодействия
- Автоматизированная технология восстановления ПЭС ионосферы по данным спутниковой фазоразностной радиотомографии
- Международное сотрудничество: проект PRE-EARTHQUAKES, реализованный в рамках 7 рамочной программы ЕС
- Предложения по созданию кластера наноспутников для непрерывного глобально мониторинга состояния ионосферной плазмы и диагностирования электромагнитных предвестников землетрясений
- Основные публикации результатов исследований АО РКС в 2006-2016 гг.



Множество современных технологий подвержены влиянию космической погоды: высокоэнергетичные частицы могут повредить электронику космических аппаратов и высотных самолетов, ионосферные возмущения ухудшают качество навигационных сигналов ГНСС и дальней радиосвязи, магнитные бури индуцируют токи в кабельных системах передачи энергии, трубопроводах и подводных кабелях



Искусственное воздействие коротковолнового излучения на ионосферу Земли вызывает разогрев ионосферы на различных высотах, что приводит к появлению аномальных участков повышенной электронной концентрации, вызывающих значительные флуктуации и помехи работе навигационных и связных спутниковых систем



Boyarchuk K.A. et al. Impact of Radioactive Contamination on Electric Characteristic of the Atmosphere. New Remote Monitoring Technique, Physics/Supplement Physics of Vibrations, 61, #4, 1997, pp.260-266



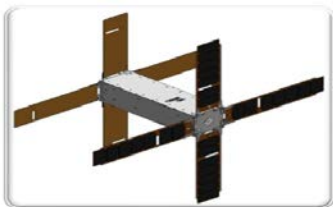
OLR – уходящее длинноволновое излучение, которое представляет собой суммарное инфракрасное излучение Земли, измеряемое на верхней границе атмосферы в диапазоне 5 – 100 мкм

- Радиационная температура подстилающей поверхности
- Характеристики уходящего от Земли длинноволнового излучения (энергетический баланс)
- Профили температуры и влажности атмосферы
- Газовый состав атмосферы
- Аномальная облачность
- Полное электронное содержание ионосферной плазмы
- Напряженность атмосферно - ионосферного электрического поля

- **Фундаментальная проблема** – получение электрофизических и энергетических характеристик пространственно-временной изменчивости состояния атмосферы и ионосферы Земли по данным спутниковых измерений
 - **Решаемые задачи:**
 - Разработка и реализация методических подходов к решению задач зондирования атмосферы и спутниковой томографии ионосферы
 - Разработка и создание наземной измерительной сети
 - Разработка прототипов перспективной спутниковой и наземной аппаратуры
 - Проработка облика перспективной космической системы на основе кластера малоразмерных космических аппаратов
 - **Области исследований специальности «Электрофизика»**
9. Исследование электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в различных средах для нужд электронной, приборостроительной, электротехнической промышленности, средств вычислительной техники и связи.

- Ни масса ни размеры КА не пригодны для определения рассматриваемых спутников
 - “Малый спутник” неподходящий термин
- Спутник должен определяться философией разработки, производства, миссией, управлением программой и т.д.
- В течение мозгового штурма на семинаре было предложено множество идей по определению смысла малых спутников
 - Дешевый спутник
 - Экспериментальный спутник
 - Быстро адаптируемый спутник
 - Малоразмерный спутник
 - Компактный спутник
 - др.
- В конечном итоге согласились с термином «Lean спутник», описывающим спутник, использующий нетрадиционные рискованные подходы при разработке, обеспечивающие малую стоимость и быструю поставку малым числом сотрудников

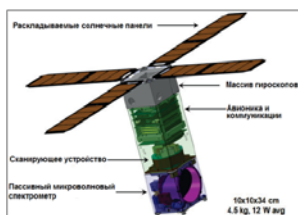
- **Назначение миссий университетских спутников в основном сводится к решению следующих трех задач:**
 1. Демонстрация возможностей новых миссий на основе спутников lean.
 2. Демонстрация новых космических технологий, применимых на любых классах спутников.
 3. Обучение студентов.
- **В настоящее время миссии на lean спутниках смещаются от задач 1 и 3 к задаче 2 или к практическому применению lean спутников, когда необходимо обеспечить успех миссии даже на lean спутниках.**
- **Соответственно, настало время сфокусироваться в большей степени на разработке полезных нагрузок, вместо разработки собственными силами компонентов спутниковой платформы.**
- **Таким образом, университетские спутники требуются теперь не столько для поддержания традиций и культуры разработки, сколько для повышения надежности.**



USASMD/ARSTRAT - армейская программа демонстрации технологий наноспутников тактической связи. Развитие программы – КА SNaP: трехосевой стабилизированный маневрирующий наноспутник стандарта кубсат весом 5 кг.



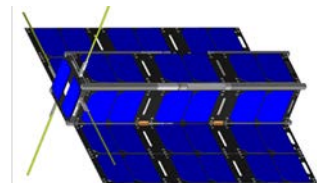
Наноспутник Д33 Kestrel Eye: блок KE-2 (45 кг). Обеспечивает получение и передачу jpeg изображений с пространственным разрешением 1,5 м по площади кадра 5,8x3,8 км² с частотой 2 кадра/с.



MicroMAS 3U кубсат - наноспутник для микроволнового атмосферного зондирования с полезной нагрузкой из микроволнового сканирующего пассивного спектрометра.

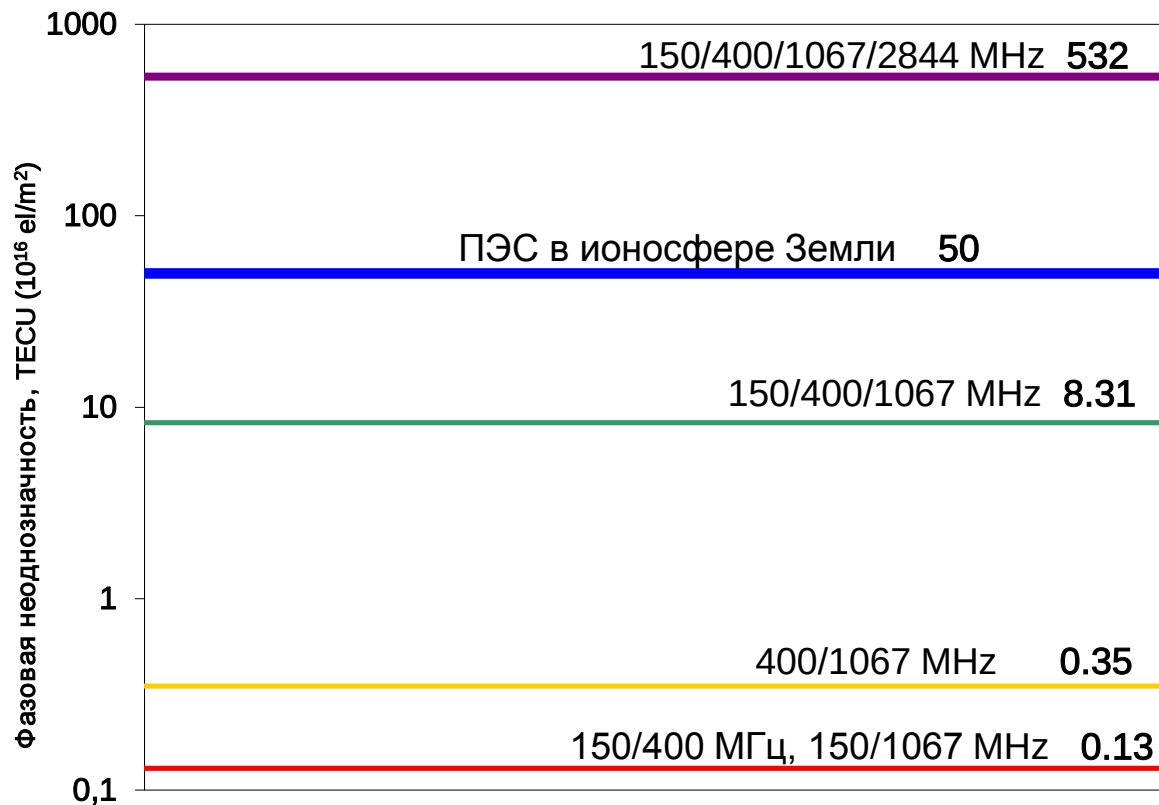


Кубсат АЗН-В обеспечивает точность ориентации лучше 2° как для надирных, так и для зенитных целей, что позволяет принимать сигналы самолетных передатчиков АЗН-В, судовых АИС, а также оценивать качество сигналов в лучах телекоммуникационных спутников на геостационарной орбите.



3U Кубсат с двухчастотным передатчиком когерентных частот 150 МГц и 400 МГц для томографии ионосферы. Может использоваться совместно с наноспутником ИК Д33.

Использ. частоты	Фазовая неоднозначность, в TECU	Погрешность определения, в TECU
150/400 МГц	0.12	0.002
150/400/1067 МГц	8.31	0.02
150/400/1067/2844 МГц	512	0.2
1.2/1.6 ГГц	0.004	3



Использование многочастотного подхода позволяет перейти к абсолютным измерениям ПЭС



UNIVERSITA DEGLI STUDI
DELLA BASILICATA (UNIBAS) Italy



Geospazio Italia s.r.l. (GSI) Italy



JSC "RUSSIAN SPACE
SYSTEMS" (RSS)
Russian Federation



DEUTSCHES ZENTRUM
FUER LUFT UND
RAUMFAHRT EV
(DLR) Germany



TUBITAK Marmara
Research Center
(TUBITAK MAM)
Turkey



STATE INSTITUTION INSTITUTE OF
APPLIED GEOPHYSICS NAMED
AFTER ACADEMICIAN E. K. FIODOROV
(FIAG) Russian Federation



INSTITUTE OF TERRESTRIAL MAGNETISM,
IONOSPHERE AND RADIO WAVE PROPAGATION
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
(WD IZMIRAN) Russian Federation

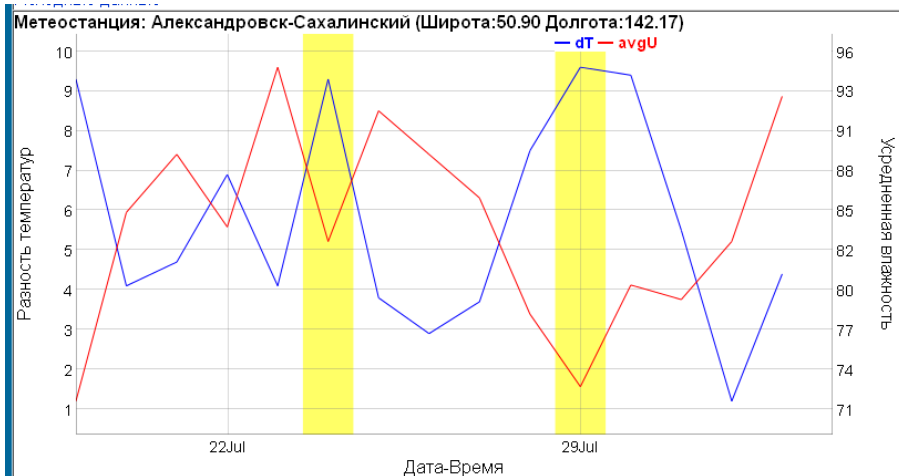
Цель проекта PRE-EARTHQUAKES (2010-2012) состояла в объединении европейских и российских исследователей для интеграции разнородных результатов наблюдений и улучшения, посредством кросс-валидации, методологии их обработки в плане выделения аномалий – потенциальных предвестников землетрясений

Основной **целью** проекта являлось исследование и демонстрация преимуществ многопараметрического подхода, использующего объединение независимых измерений, приводящих к повышению существующих возможностей краткосрочного прогноза землетрясений, по сравнению с методиками, использующими только один параметр.

Задачи

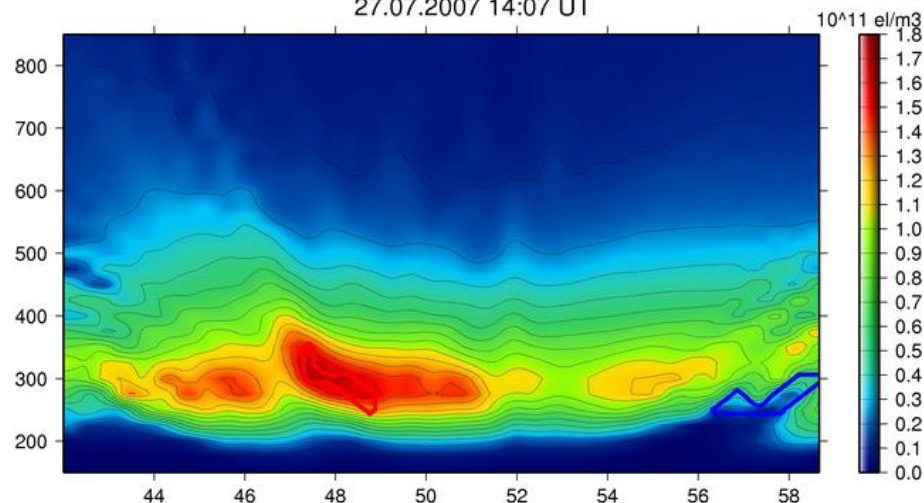
- **улучшить наши знания** о фазах подготовки землетрясений и их возможных предвестниках
- **предоставить созданную Earthquake Observation System (EQuOS)** в качестве составляющей части GEOSS (Global Earth Observation System of Systems)
- **предложить** научному сообществу **интеграционную платформу** для объединения независимых наблюдений предвестников землетрясений в различных регионах

Аномалии в нижней атмосфере

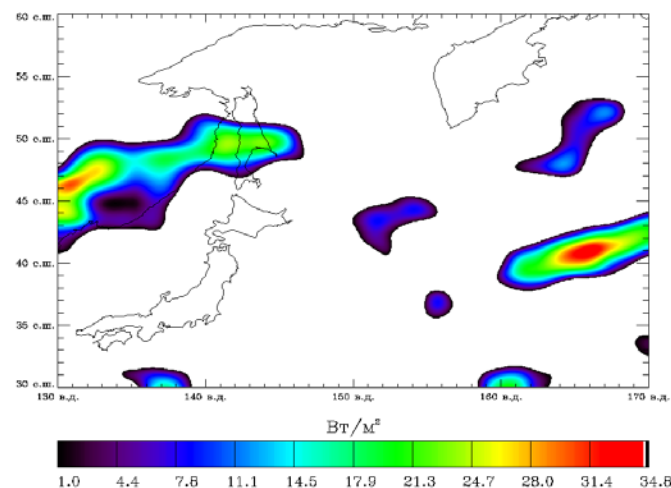


Аномалии в ионосфере

27.07.2007 14:07 UT



Аномалии в верхней атмосфере

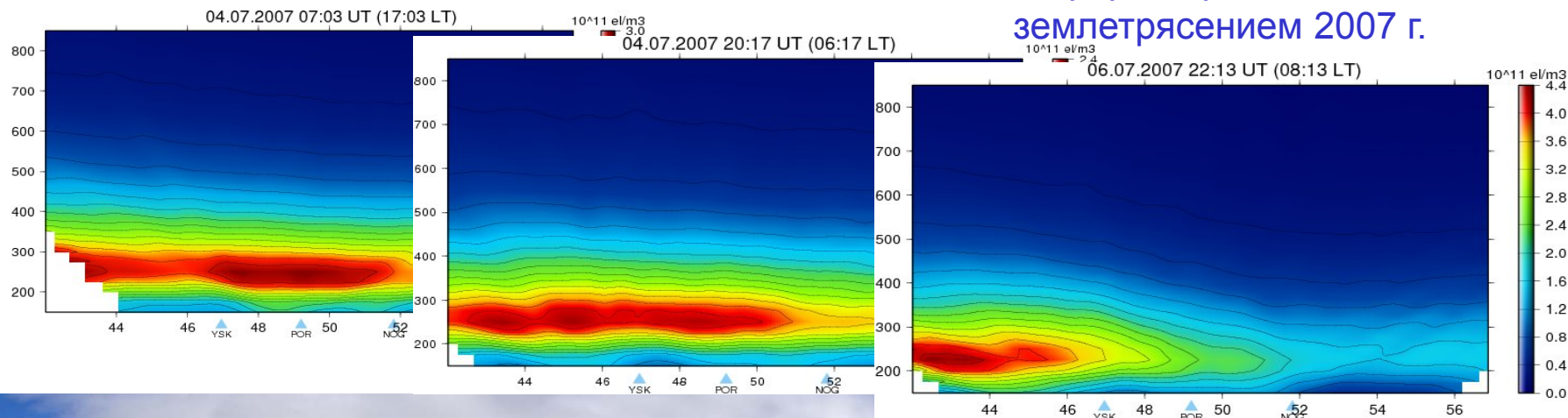


Было обработано и передано в обменные папки геопортала PEG:

148 файлов для **ВАЛИДАЦИИ**

70 файлов для **ПОДТВЕРЖДЕНИЯ**

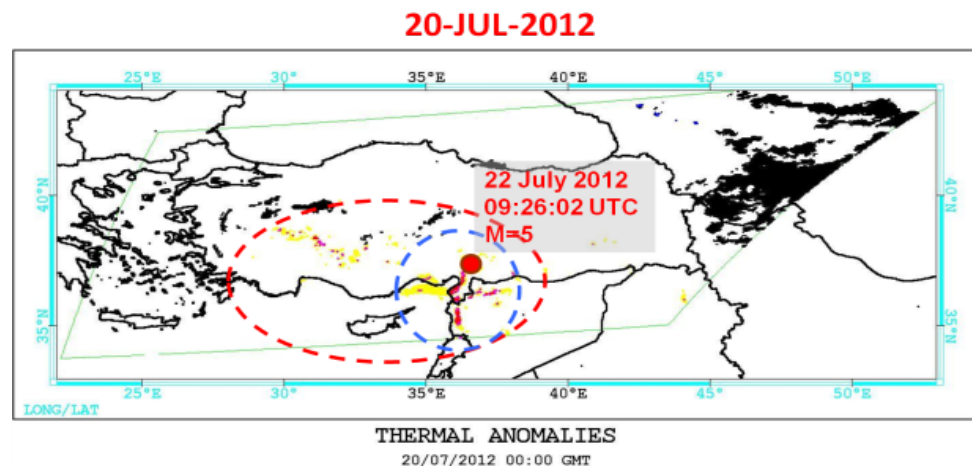
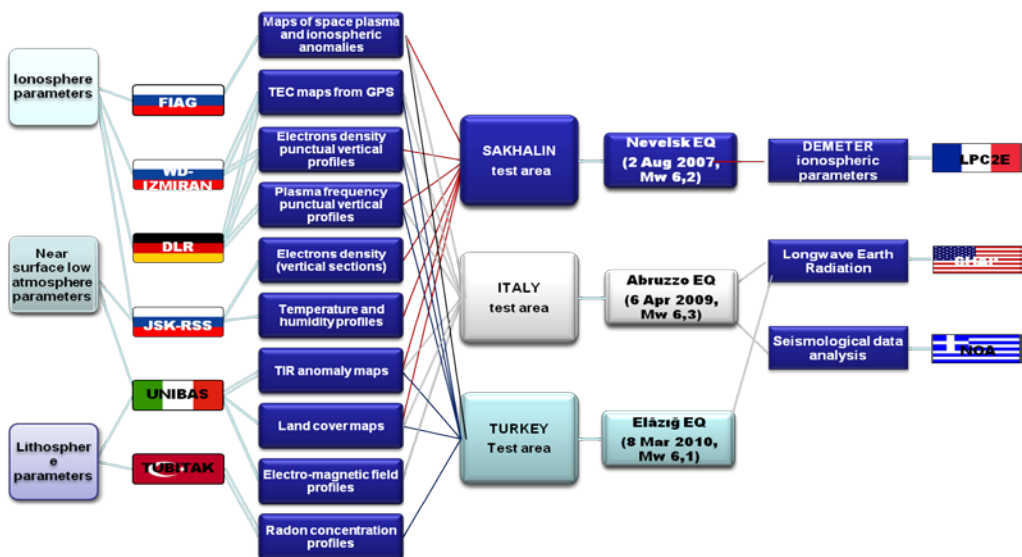
Распределение электронной концентрации в
ионосфере перед Невельским
землетрясением 2007 г.



Снимок ландшафта района Невельского землетрясения – выход морского дна на поверхность

Научные

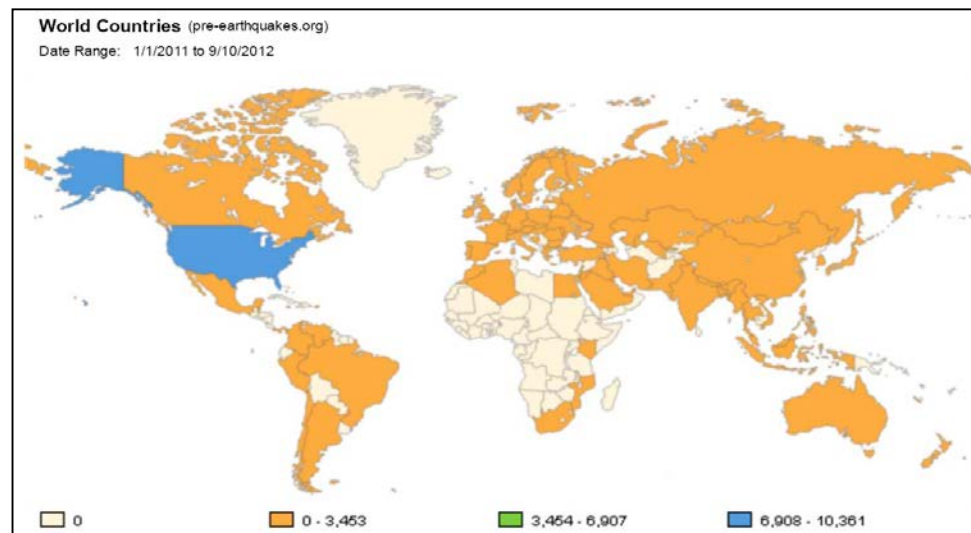
- Около 3000 различных параметров/алгоритмов/технологий использовано при более чем 2000 различных способах совмещения данных
- Несколько удачных совмещений данных + демонстрация предупреждения о землетрясении (более 5 в течении эксперимента PRIME)
- Созданы новые и модернизированы существующие алгоритмы и технологии обработки данных
- Разработаны и апробированы процедуры DASR (Dynamic Assessment of Seismic Risk) с вовлечением конечных пользователей из научных и образовательных структур.



ANDIRIN – KHARANMANMARA event occurred
(first anomaly observed July 18,
OLR anomalies confirmed, alert given July 19,

Развитие проекта

- >20 институтов изъявили желание участвовать в качестве участников сообщества (3 уже включены)
- >25,000 посетило сайт www.pre-earthquakes.org из > 90 стран, > 800 городов
- >20 презентаций Проекта на наиболее значимых международных конференциях (EGU, AGU, AOGS, AARSE, GEORISK, IGARSS, IAF, EMSEV) в Европе, Африке, Азии, Америке
- >10 статей опубликовано в журналах ISI и трудах международных конференций
- Инициировано сотрудничество со смежными проектами в Италии (DPC-INGV-S3), России (IGMASS), Тайване (ISTEP-3), Европе FP7 (SEMEP)



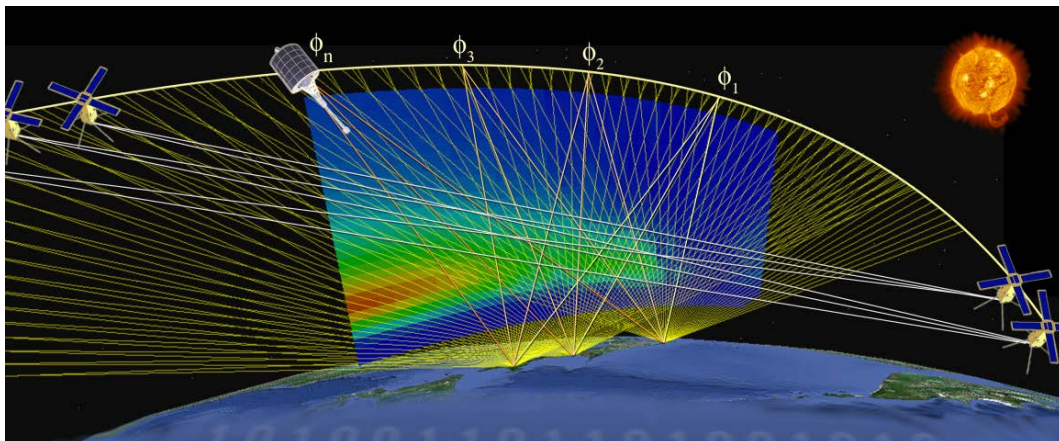
- К моменту завершения проекта подход к решению только наметился, но он - многообещающий.
 - Были развернуты и протестированы технологические цепочки формирования продуктов наблюдений, интеграционные и сетевые инструменты.
 - Проект был одобрен как наилучшая реализация комплексного анализа наблюдений за предвестниками землетрясений (в частности, Итальянским государственным агентством по краткосрочному предсказанию землетрясений).
- Недостаток времени и ресурсов не позволил в полной мере воспользоваться результатами и большим потенциалом проекта.

Перспективы

- В марте 2018 г. совместно с университетом Басиликата (UNIBAS) подана заявка на новый проект по краткосрочному предсказанию землетрясений EQ-FReE в рамках Horizon 2020.

Исследования выполнялись при финансовой поддержке 7-й Рамочной программы Евросоюза - *European Union Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013), grant agreement №263502.*

Традиционная система томографии ионосферы с использованием сети наземных станций приема обеспечивает только региональный мониторинг



Перенос сегмента приема зондирующих сигналов в космос позволит осуществлять глобальный мониторинг состояния ионосферы и полностью отказаться от наземной сети

Облик КА для томографии ионосферы:

- платформа nano-класса (структура платформы, БЦВМ, система управления электропитанием, блок аккумуляторов, солнечные панели, приемопередатчик УВЧ, система ориентации-стабилизации, антенные системы приемопередатчика и полезной нагрузки);
- система коррекции орбиты для КА в составе кластера;
- передатчик (приемник) когерентных сигналов 150-400 МГц;

Требуемые характеристики перспективного многочастотного передатчика когерентного излучения

Наименование	Значение	
Частота, МГц	150	400
Выходная мощность, Вт	0.5	1.0
Мощность потребления, Вт	4.5	
Нестабильность генератора	1.5×10^{-6}	
Питающее напряжение, В	3.3; 5	
Рабочий диапазон температур, °C	от минус 40 до плюс 85	

Требуемые характеристики перспективного многочастотного приемника

Наименование	Значение	
Частота, МГц	150	400
Чувствительность, дБмВт	минус 130	минус 136
Ширина полосы, МГц	1	
Мощность потребления, Вт	4.2	
Питающее напряжение, В	5	
Рабочий диапазон температур, °C	от минус 40 до плюс 85	

Требования к платформе КА nano-класса:

Обеспечение энергетикой полезную нагрузку мощностью 5 Вт, на протяжении всего витка КА
(дополнительный блок аккумуляторных батарей, развертываемые солнечные батареи);
Скорость передачи информации не менее 9600 бит/сек;
Стабилизация с точностью не менее 5°, наличие системы коррекции орбиты для КА в составе кластера.

Структура КА nano-класса с приемником



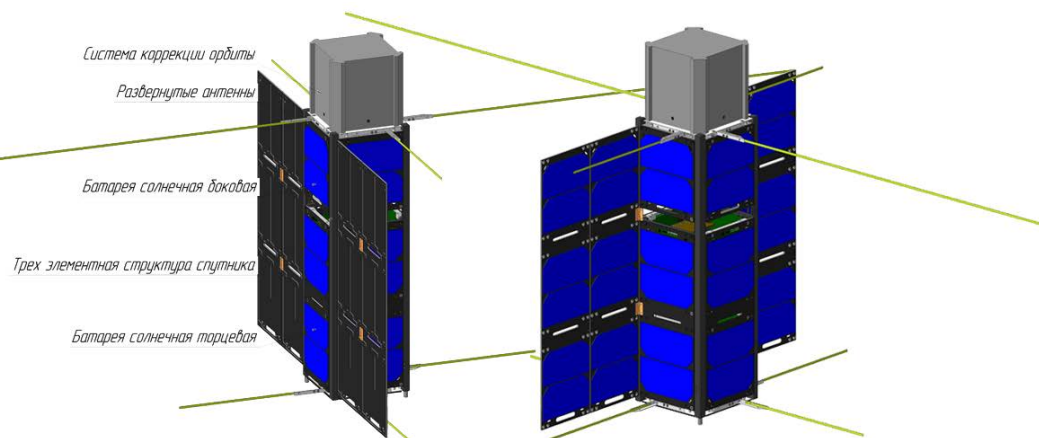
Характеристики КА nano-класса с приемником/передатчиком

- Платформа CubeSat (3U);
- БЦВМ «GomSpace NanoMind A712» (40 МГц);
- Приемопередатчик УВЧ (команды, телеметрия, данные) «GomSpace NanoCom U482C» (передача 9600 бит/сек, прием 2400 бит/сек, модуляция (MSK), кодирование (CCSDS, CRC32), диапазон частот 435-437 МГц, мощность сигнала 27-33 дБм с шагом 3 дБ, чувствительность приемника до -125 дБм).
- Система ориентации, стабилизации «ISIS iMTQ» (точность стабилизации 5°).
- Система коррекции орбиты «Microsystems» (создаваемый импульс от 100 мкН до 10 мН).
- СЭП «GomSpace P31u» (емкость 2600 мАч, напряжение 3.3, 5 В), дополнительный блок аккумуляторов (5200 мАч).
- Солнечные панели «GOMspace NanoPower Solar 100» (выходная мощность 11 Вт).
- Полезная нагрузка передатчик (выходная мощность 150 МГц – 0.2 Вт, 400 МГц – 0.4 Вт) или приемник (чувствительность 150 МГц – минус 137 дБм, 400 МГц – минус 143 дБм).

Структура КА nano-класса с передатчиком



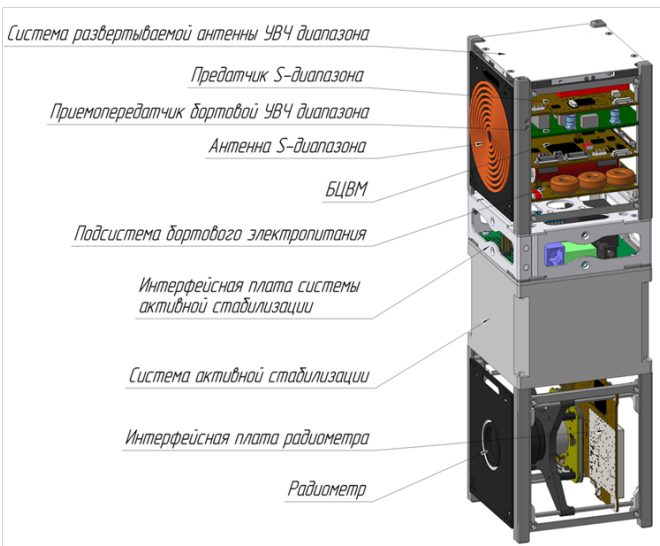
Модель сборки КА nano-класса с приемником и раскрывающимися солнечными панелями



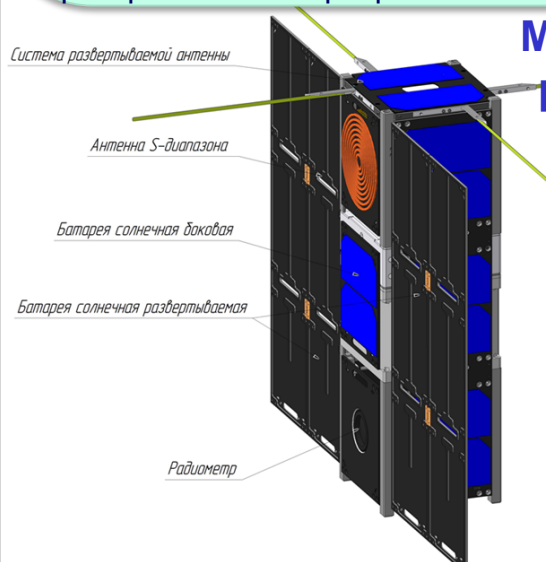
Структура КА nano-класса с ИК-радиометром

Характеристики КА nano-класса с ИК-радиометром

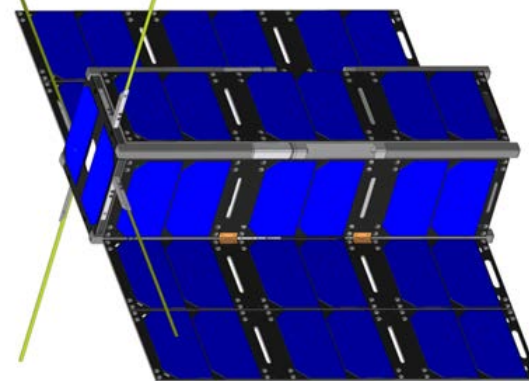
- Платформа CubeSat (3U).
- БЦВМ «GomSpace NanoMind A712» (40 МГц).
- Приемопередатчик УВЧ (команды, телеметрия) «GomSpace NanoCom U482C» (передача 9600 бит/сек, прием 2400 бит/сек, модуляция (MSK), кодирование (CCSDS, CRC32), диапазон частот 435-437 МГц, мощность сигнала 27-33 дБм с шагом 3 дБ, чувствительность приемника до -125 дБм).
- Передатчик S-диапазона «Clydespace STX» (передача данных – до 2 Мбит/с, модуляция (QPSK, OQPSK), кодирование Intelsat IES-308, диапазон частот радилюбительский 2.4-2.483 ГГц, коммерческий 2.2-2.3 ГГц).
- Система ориентации, стабилизации «Maryland Aerospace MAI-100» (точность стабилизации 1°).
- СЭП «GomSpace P31u» (емкость 2600 мАч, напряжение 3.3, 5 В), солнечные панели (выходная мощность 6.5 Вт, 12 Вт для раскрывающихся панелей).
- Полезная нагрузка радиометр (спектральный диапазон 8-14 мкм, точность 0,1-0,2 К, пространственное разрешение 3 км).



Модель сборки КА nano-класса с ИК- радиометром и солнечными панелями



Модель сборки КА nano-класса с ИК- радиометром и раскрывающимися солнечными панелями



ОПИСАНИЕ

Лабораторный образец ПРД-150/400
включает:

1. Цифровой модуль управления.
2. Выходной аналоговый модуль с каскадами усиления каналов 150 и 400 МГц.

ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Несущая частота: ПРД1 150 МГц

ПРД2 400 МГц

Литер частот: 8 с шагом 100 кГц

Диапазон рабочих температур:

- 30 °C ... + 50 °C

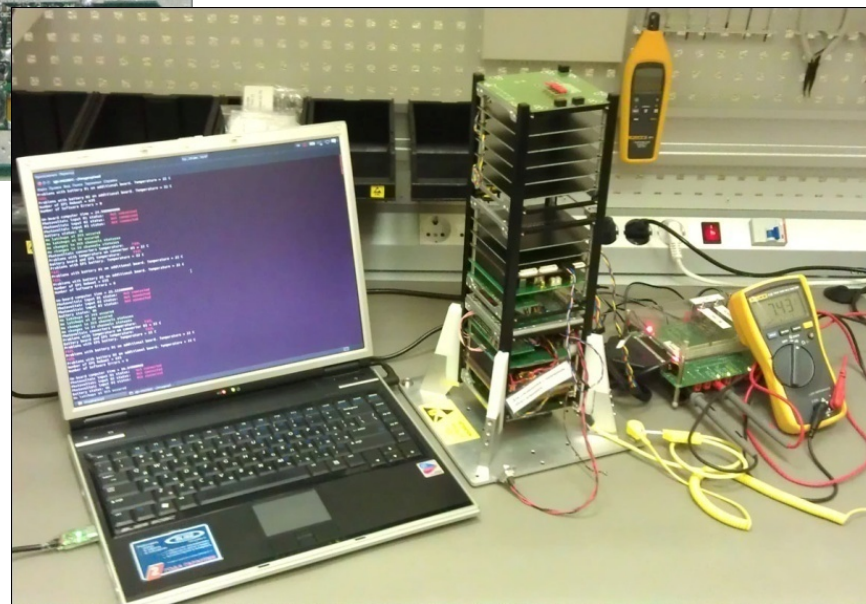
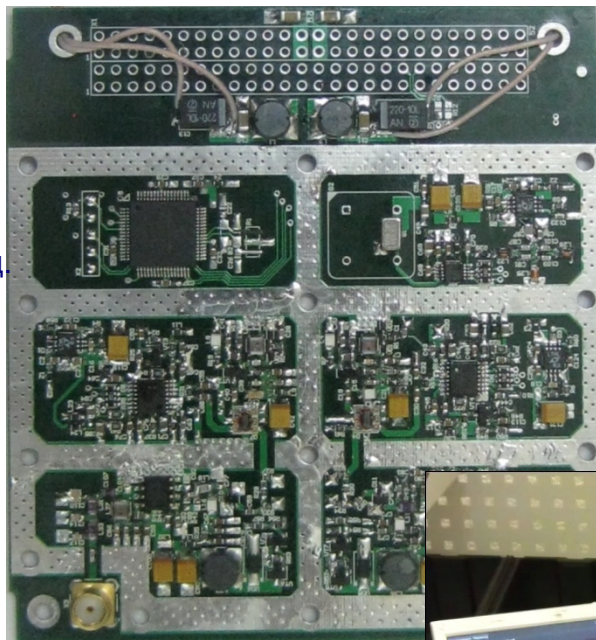
Мощность ПРД1: не менее 0.5 Вт:

Мощность ПРД2: не менее 1.5 Вт

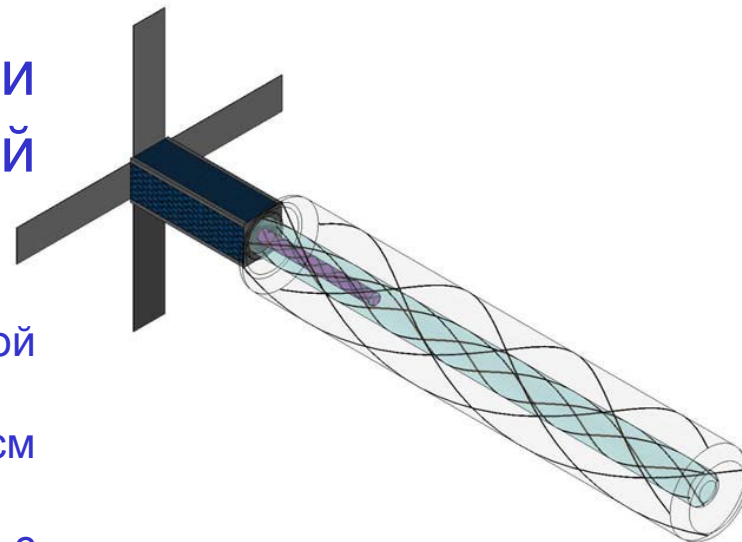
Общая потребляемая мощность: не более 5 Вт

Габаритные размеры: 100 × 100 × 10 мм

Вес: менее 300 г



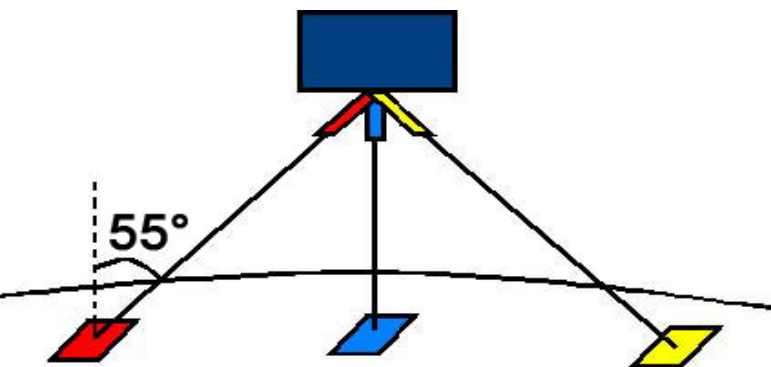
3U CubeSat с развернутыми солнечными панелями и антенной CUBEACON:



- В диапазоне VHF необходимо иметь антенну длиной 120 см и диаметром 20 см
- UHF антенна длиной 90 см и диаметром 7,5 см размещена внутри антенны VHF
- Антенна L-диапазона помещена в диаметре 7.5 см с укороченной осевой длиной
- Таким образом антенны UHF и L-диапазона вложены внутрь VHF модуля
- Целиковая антенна изготовлена на изолирующей пленке (из майлара или аналогичной)
- Антенна удерживается и разворачивается внутренними пластмассовыми полуцилиндрическими столбиками, выдвигаемыми из корпуса CubeSat
- Оцениваемый объем в сложенном состоянии 300 см³

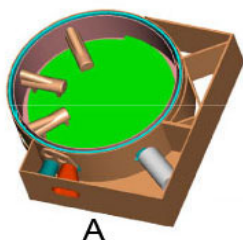
Источник: Michael Cousins, A CubeSat Radio Beacon Experiment, CubeSat Developers Workshop, April 23, 2010, San Luis Obispo, CA



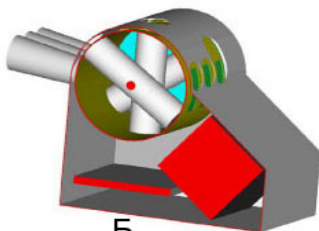


Одновременное наблюдение в трех направлениях с помощью трёх телескопов	+50°, 0°, -50°	
Два спектральных канала: Интегральный (0.2-50 мкм) Коротковолновый (0.2-4 мкм) Длинноволновый (вычисляемый)	Динамический диапазон 0-550 Вт·м ⁻² ·ср ⁻¹ 0-450 Вт·м ⁻² ·ср ⁻¹ 0-130 Вт·м ⁻² ·ср ⁻¹	Абсолютная точность 1.5 Вт·м ⁻² ·ср ⁻¹ 2.5 Вт·м ⁻² ·ср ⁻¹
Пространственное разрешение	10 км	

При этих условиях результирующая абсолютная точность определения УДР для одного элемента разрешения 10×10км² может быть не хуже 10 Вт/м².



А



Б

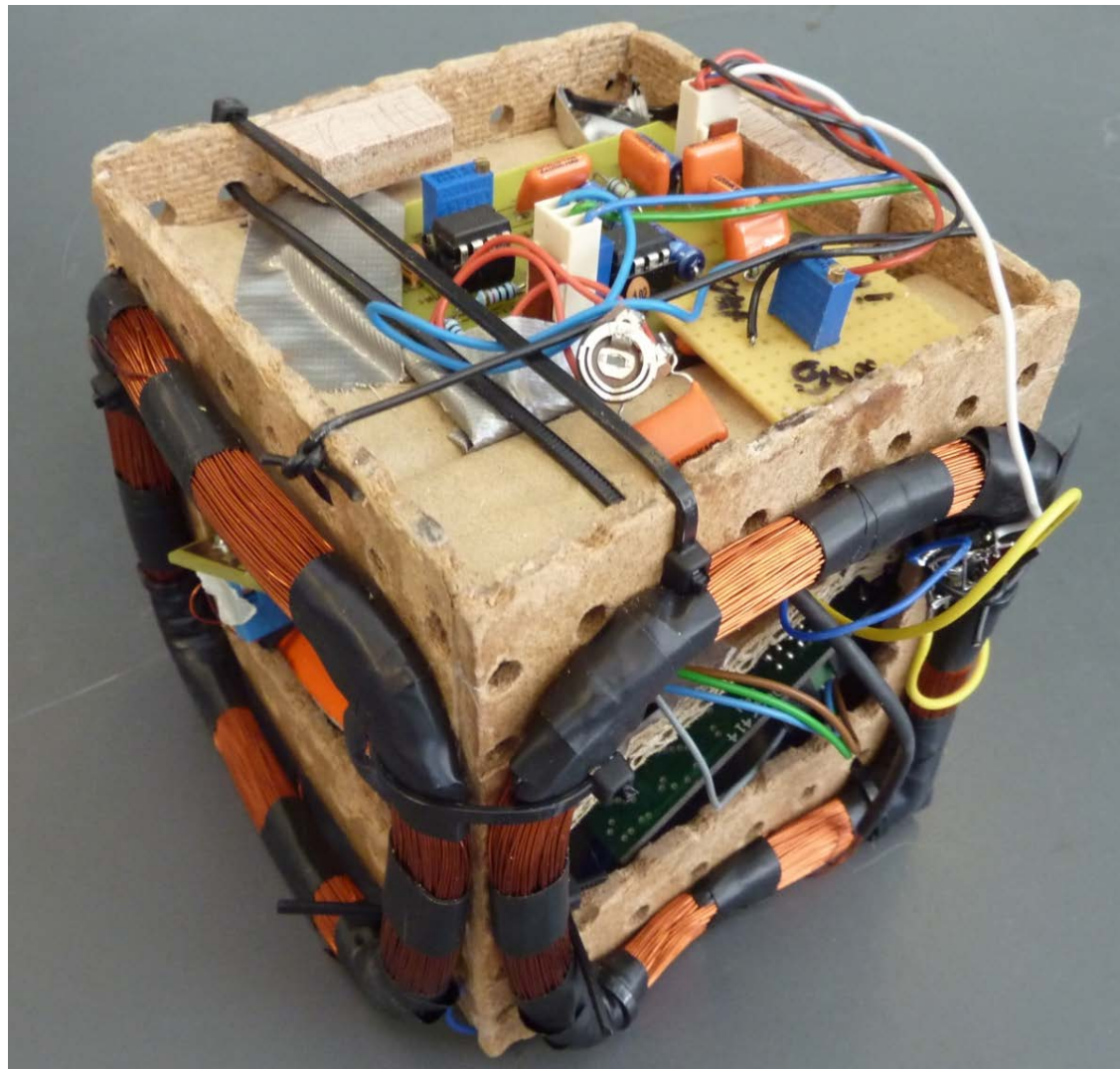
Характеристик а	Концепция	
	А	Б
Масса (кг)	27	21
Мощность (Вт)	43	36

При анализе аномалий на сетке 1°×1°, каждая ячейка которой содержит ~ 100 измерений, результирующая точность оценки аномалий (после процедуры усреднения) составит ~1 Вт/м², что вполне достаточно для достоверной идентификации даже слабых аномалий.

- Спутниковая томография ионосферы является одним из немногих подходов, позволяющих получать глобальную информацию об электрофизических характеристиках ионосферной плазмы в реальном масштабе времени.
- Представлены результаты разработки методических подходов к решению задач спутниковой томографии ионосферы. Предложен перспективный метод определения абсолютного полного электронного содержания ионосферы, позволяющий получать качественно новую информацию о состоянии ионосферной плазмы на основе трехчастотной радиотомографии ионосферы.
- Показана принципиальная возможность мониторинга методом фазоразностной томографии природных и искусственных воздействий на ионосферу. Учет подобных воздействий позволяет при проектировании повысить отказоустойчивость спутниковых систем связи, навигации и дистанционного зондирования.
- Представлены результаты выполнения международного проекта PRE-EARTHQUAKES.
- Разработанный научно-технический аппарат позволяет перейти к проектированию серийной наземной и бортовой аппаратуры регистрации природных и антропогенных воздействий на ионосферу Земли. Представляется целесообразным оснащение разработанной аппаратурой существующих и перспективных отечественных экспериментальных комплексов РАН.

1. А.А.Романов, Ю.М.Урличич, А.А.Романов, С.В.Трусов; «Современные подходы к созданию автоматизированной системы регистрации ионосферных предвестников землетрясений по спутниковым данным»// **Космонавтика и ракетостроение**. – №1. – 2006.
2. Romanov Alexey A., Urlichich Y.M., Romanov Alexander A.; “The Pilot-Project on the Composite Diagnose of the Earthquake's Precursors Relying on Helio-Geophysical Remote Sensing”// **Proceedings of the International Workshop on Early Warning and Monitoring Earthquake by Using Electromagnetism Detecting Satellites**, Jakarta, Indonesia, 2007
3. А.А.Романов, А.А.Романов, С.В.Трусов, В.Г.Крючков; «Исследование ионосферных неоднородностей методом фазоразностной томографии в дальневосточном регионе России»// **Исследование Земли из космоса**. – №2. – 2008.
4. Romanov Alexey A., Romanov Alexander A., Trusov S.V.” Automated information technology for ionosphere monitoring of low-orbit navigation satellite signals”//**Proceedings of the Forth Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Areas**. – PICES Scientific Report.– №.36. – 2009.
5. С.А.Пулинец , А.А.Романов, Ю.М.Урличич, А.А.Романов, Д.Узунов; «Первые результаты пилотного проекта по комплексному диагностированию предвестников землетрясений на Сахалине»// **Геомагнетизм и аэрономия**. – №1. – 2009.
6. А.А.Романов, А.В.Новиков, А.А.Романов; «Измерение ПЭС ионосферы Земли с помощью многочастотного зондирующего сигнала»// **Вопросы электромеханики**. – Т. 111. – №4. – 2009.
7. А.А.Романов, А.В.Новиков, А.А.Романов, В.А.Селин; «Метод определения абсолютного полного электронного содержания в ионосфере на основе анализа характеристик немодулированных когерентных сигналов»// **Радиотехника и электроника**. – Т.55. – №2. – 2010.
8. Romanov A., Selivanov A., Vishnyakov V., Vinogradov A., Selin V., Pavelyev A., Yakovlev O., Matyugov S. “Space system “Radiomet” for GLONASS/GPS navigation signal radio occultation monitoring of lower atmosphere based on super small satellites”// **In the book Small Satellite Missions for Earth Observation – New Developments and Trends**, 1st Edition. – Springer, Berlin, Reidelberg, 2010.
9. А.А.Романов, А.В.Аджалова, А.В.Новиков, А.А.Романов, Ю.М.Урличич; «Способ определения абсолютной полной электронной концентрации ионосферы Земли», заявка на изобретение №2010133025/07 (046754) от 05.08.2010. **Патент на изобретение RUS №2437117**
10. А.А.Романов, А.В.Аджалова, С.В.Трусов, А.А.Романов, Ю.М.Урличич; «Способ мониторинга вертикального распределения электронной концентрации ионосферы», заявка на изобретение №2010126414/28 (037644) от 28.06.2010.. **Патент на изобретение RUS №2445652**

11. D.Ouzunov, S.Pulinets, A.Romanov, A.Romanov, K.Tsybulya, D.Davidenko, M.Kafatos, P.Taylor; Atmosphere-ionosphere response to the M9 Tohoku earthquake revealed by multiinstrument space-borne and ground observations: Preliminary results// **Earthquake Science**.– №24.– 2011
12. V.Tramutolli, C.Filizzola, S.Inan, N.Jakowsky, S.Pulinets, A.Romanov et al.; Pre-Earthquakes: Processing Russian and European Earth Observations for earthquake precursor studies//European Commission, **Let's Embrace Space**, Volume II, Luxemburg Publication Office of the European Union , 2012
13. Алпатов В.В., Куницын В.Е., Лапшин В.Б., Романов А.А., Тасенко С.В.; Опыт создания Росгидрометом сети радиотомографии для исследования и мониторинга ионосферы// **Гелиогеофизические исследования**.– М.:, ИПГ Росгидромета им. Е.К.Федорова, 2012
14. А.А.Романов, А.А.Романов; **Основы космических информационных систем**// М.: «Радиотехника», 2013, 352 с.
15. А.А.Романов, А.А.Романов, С.В.Трусов, Ю.М.Урличич; **Спутниковая радиотомография ионосферы**// М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013, 350 с.
16. Трусов С.В., Романов А.А., Романов А.А., Барабошкин О.И., Бобровский С.А.; Двумерная радиотомография ионосферы: существующие и перспективные технологии// **Вестник СибГАУ**.– № 5 (51).– 2013
17. Романов А.А., Барабошкин О.И., Трусов С.В., Романов А.А.; Наклонная двумерная фазоразностная радиотомография ионосферы// **Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса**.– Т.11.– № 3.– 2014
18. V. Tramutoli, N. Jakowski, S. Pulinets, A. Romanov et al., From PREEARTQUAKES to EQUOS: HOW to exploit multi-parametric observations within a novel system for time-dependent assessment of seismic hazard (T-DASH) in a pre-operational civil protection context// **Proceedings of Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (2ECEES)**, Turkey, 2014
19. Романов А.А., Селиванов А.С., Тюлин А.Е.; Перспективы разработки малоразмерных космических аппаратов различного целевого назначения АО „Российские космические системы“// **Изв. вузов. Приборостроение**.– Т. 59, № 6. – 2016



Спасибо за внимание!
Приглашаем к сотрудничеству!



**Романов Алексей Александрович, д.т.н., профессор,
заместитель генерального директора по науке,**

E-mail: romanov@spacecorp.ru

Tel: +7(495)6739920