

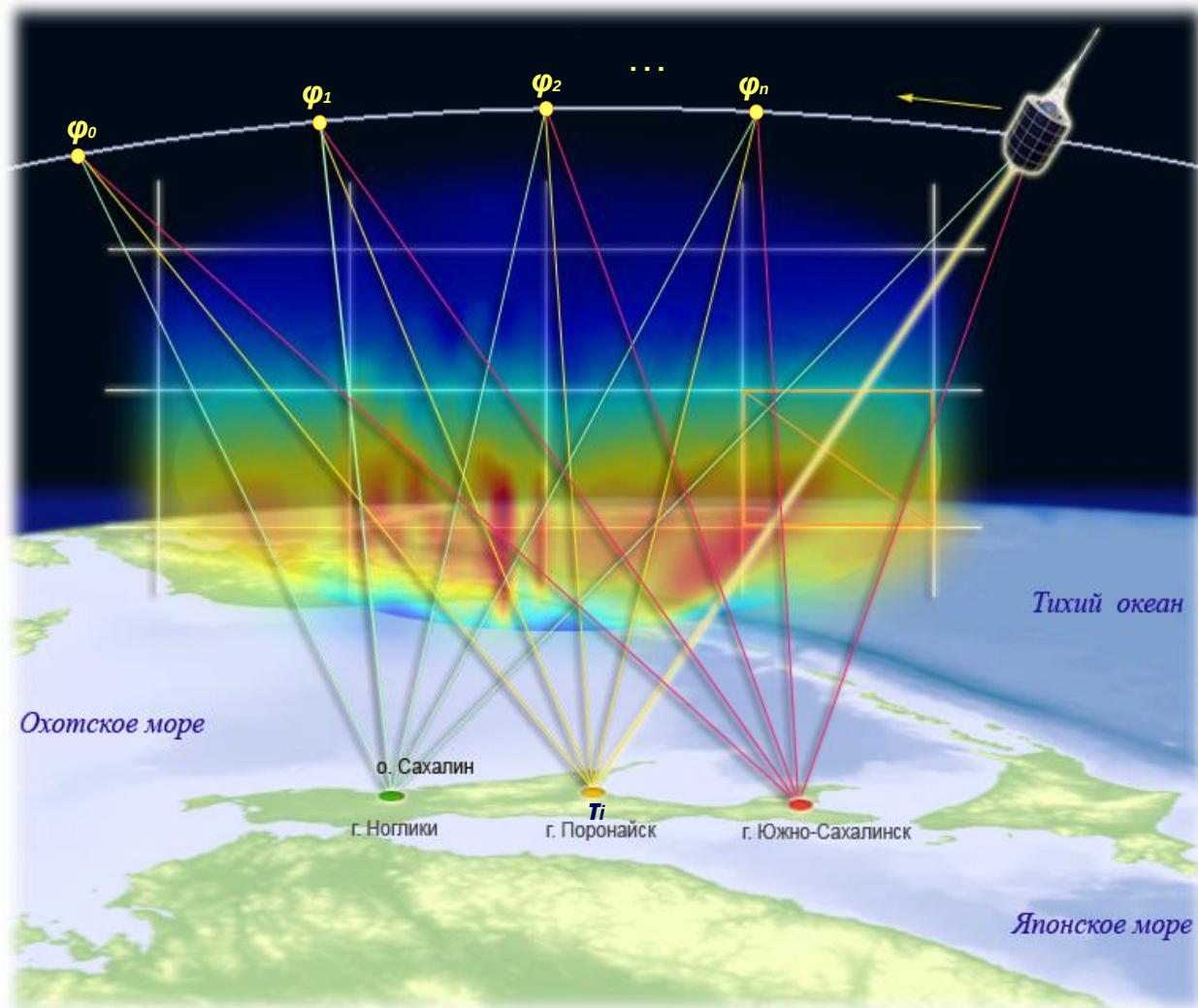


Исследование перемещающихся ионосферных возмущений по данным мониторинга ионосферы методом низкоорбитальной радиотомографии

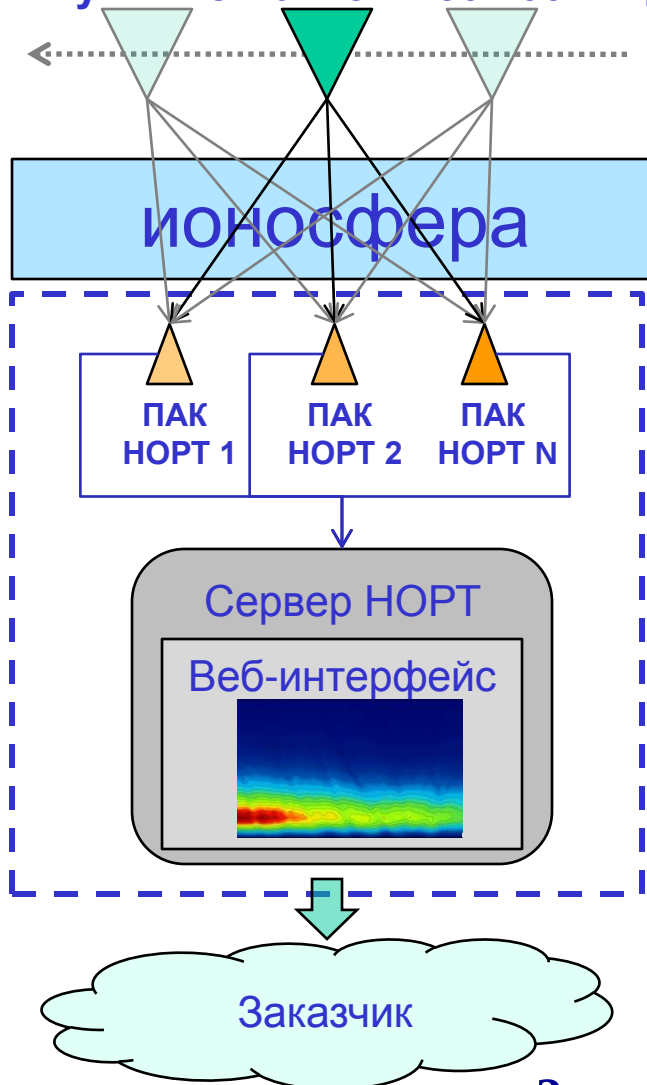
Барaboшкин О.И., Трусов С.В., Романов А.А.
ОАО «Российские космические системы»



Общие принципы низкоорбитальной радиотомографии ионосферы (НОРТ)



Спутник с маяком 150/400МГц

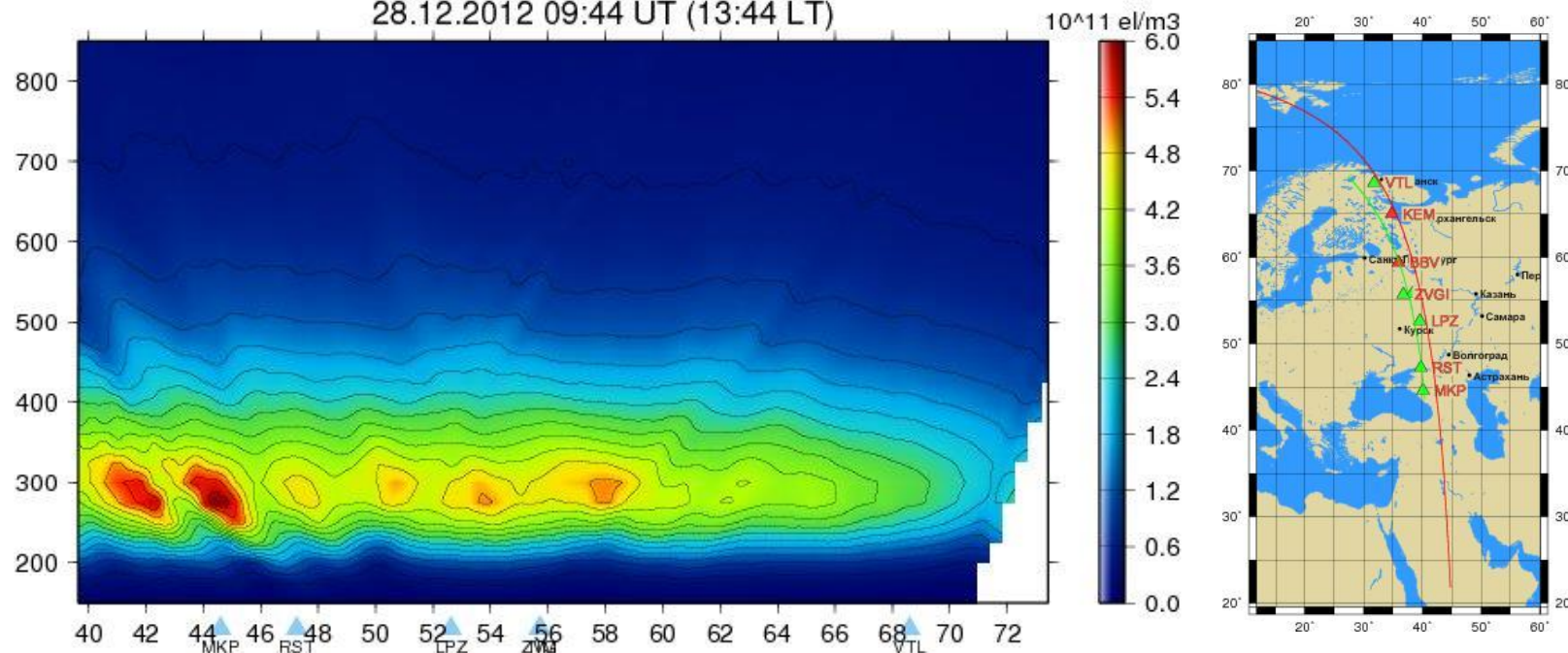




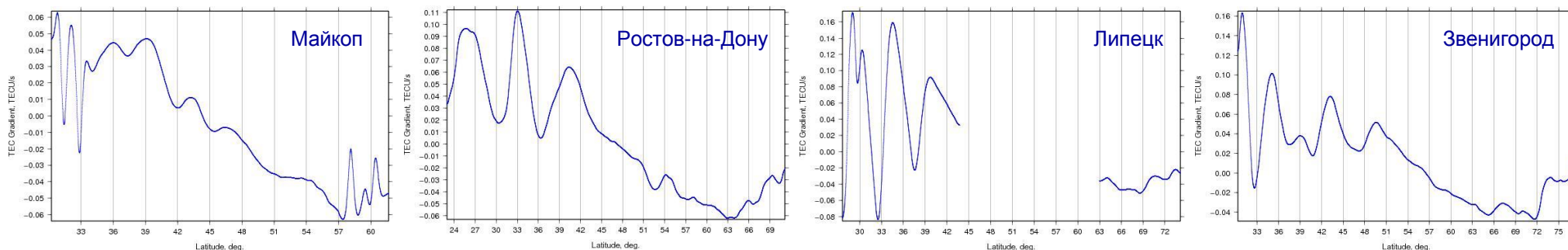
Перемещающиеся ионосферные возмущения



28.12.2012 09:44 UT (13:44 LT)

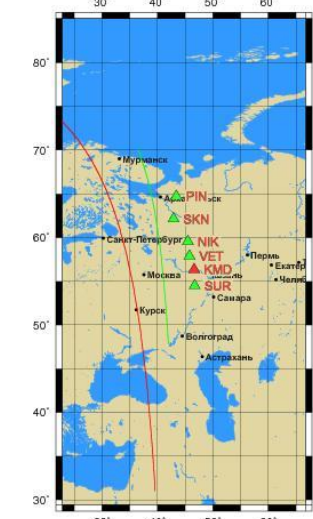
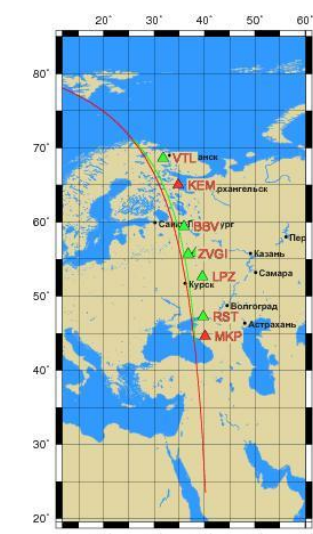
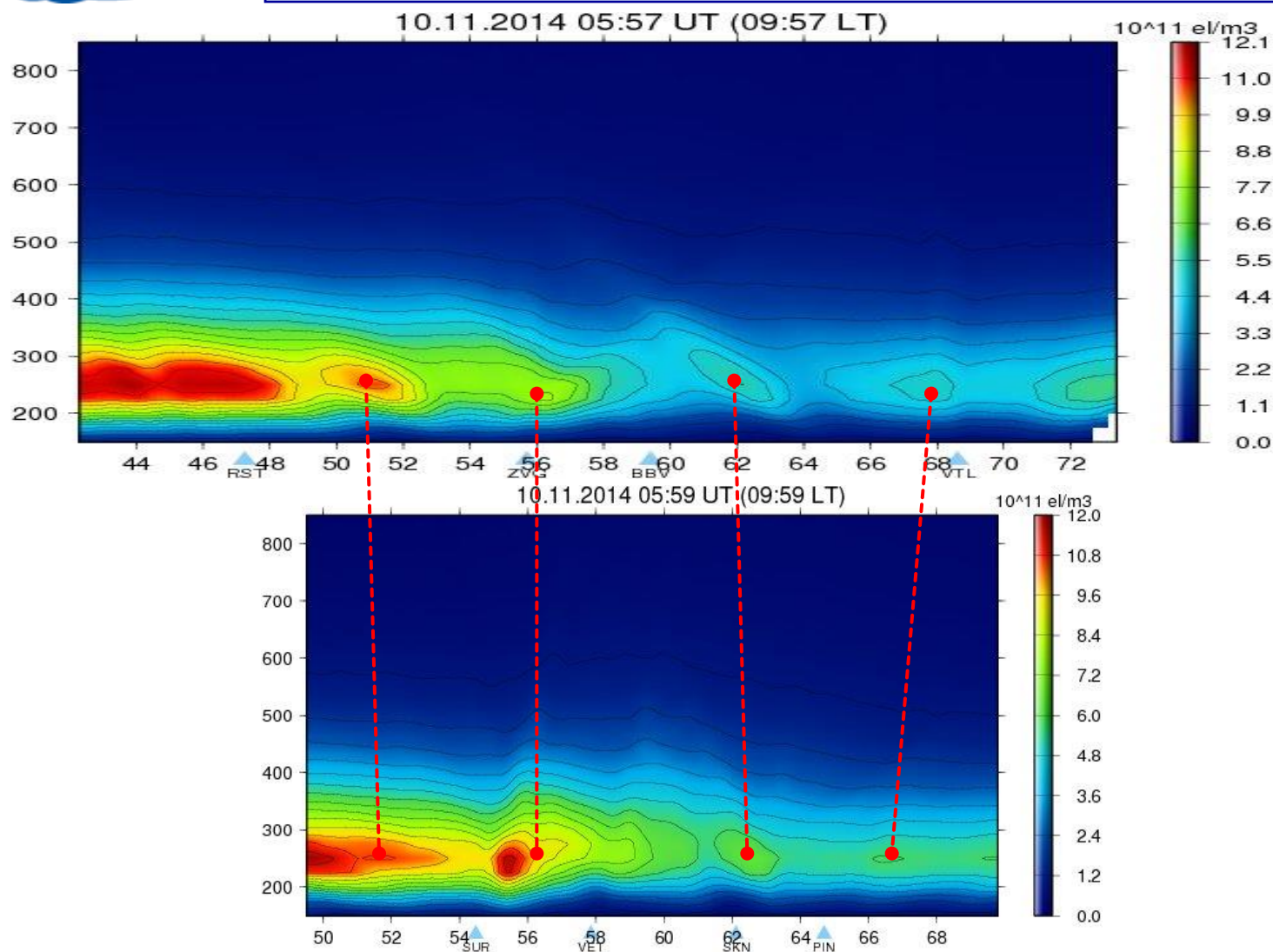


Производная фазы сигнала



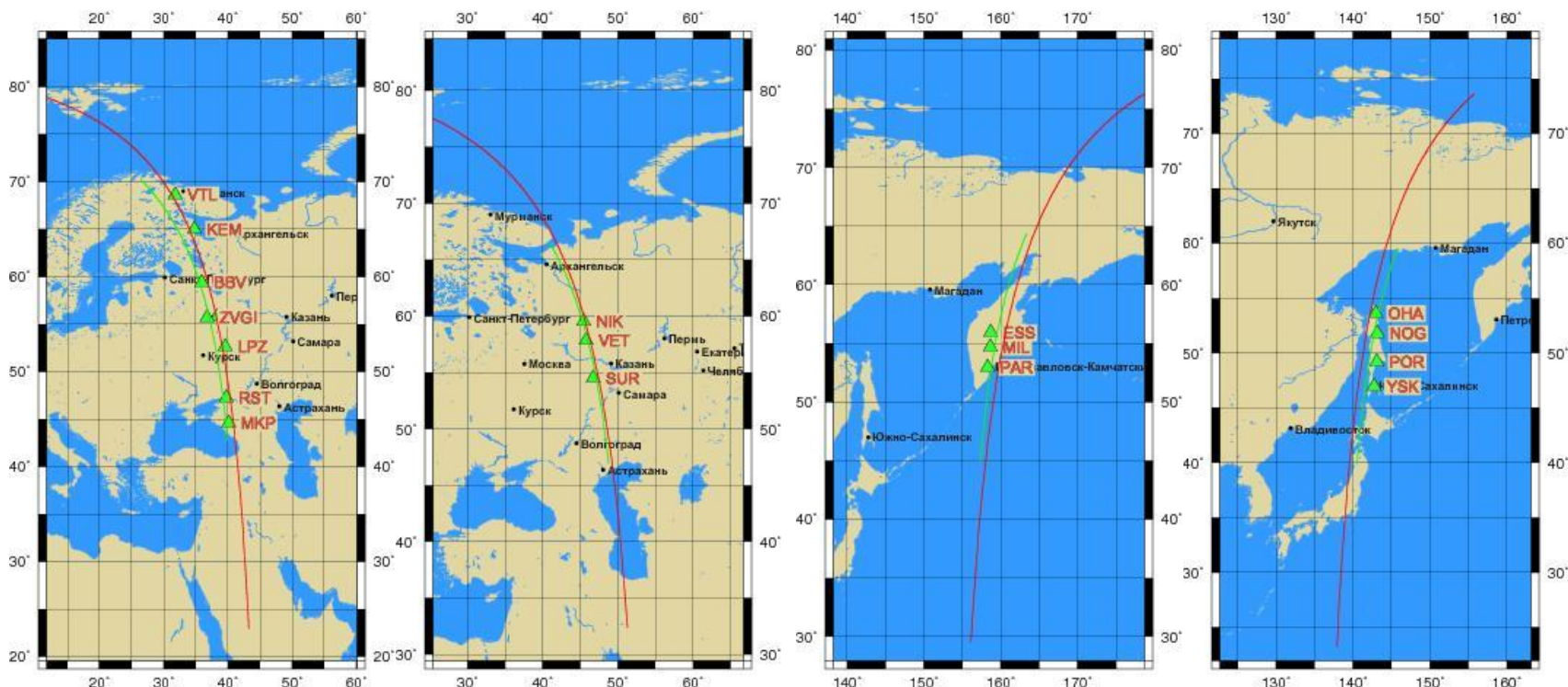


Перемещающиеся ионосферные возмущения





Расположение томографических цепочек и сбор данных в 2011-2014 гг.



Цепочка	Верхнетуломский-Майкоп	Никольск-Сурское	Эссо-Паратунка	Оха-Южно-Сахалинск
Период эксплуатации	декабрь 2011 – ноябрь 2014	декабрь 2012 – ноябрь 2014	август 2011 - февраль 2012	август 2011 - февраль 2012
Количество томограмм	3184	2308	1182	1181

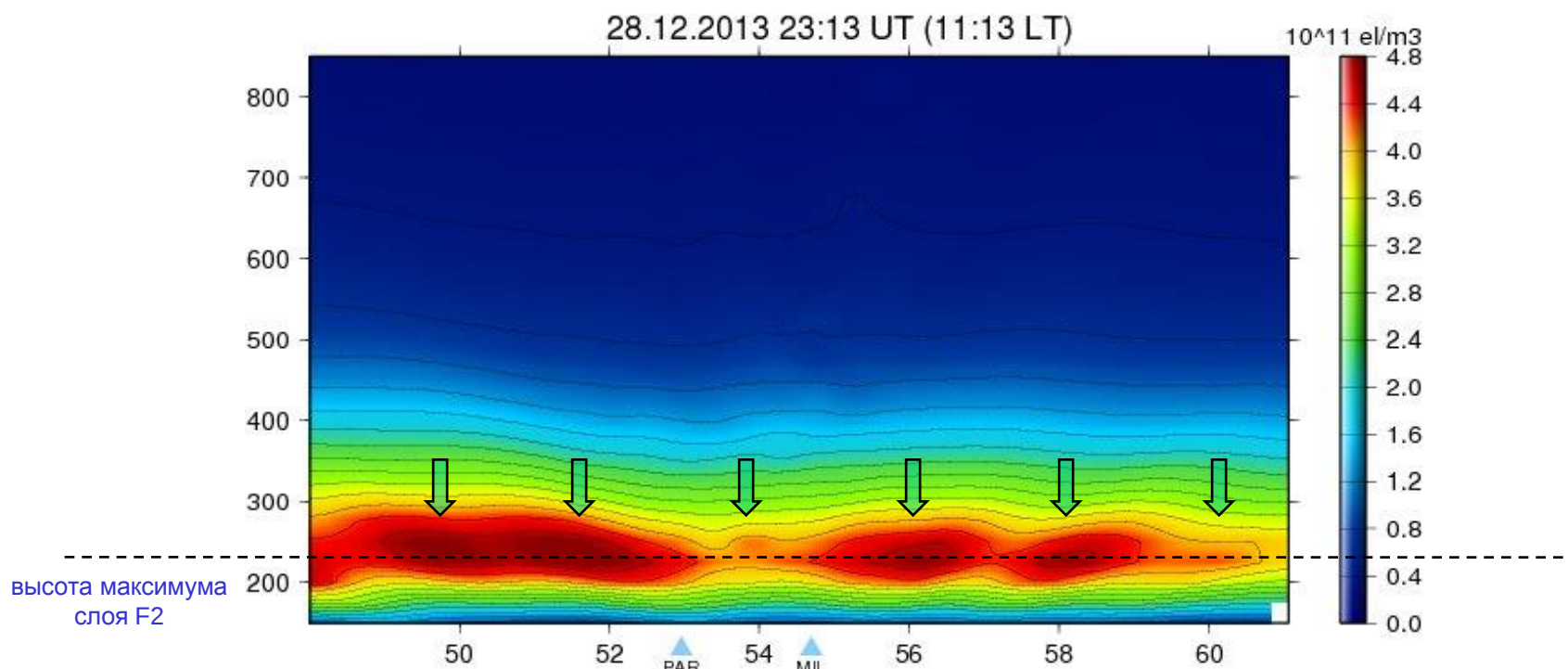
Всего: 7855 томограмм



Алгоритм обнаружения ПИВ в томограмме



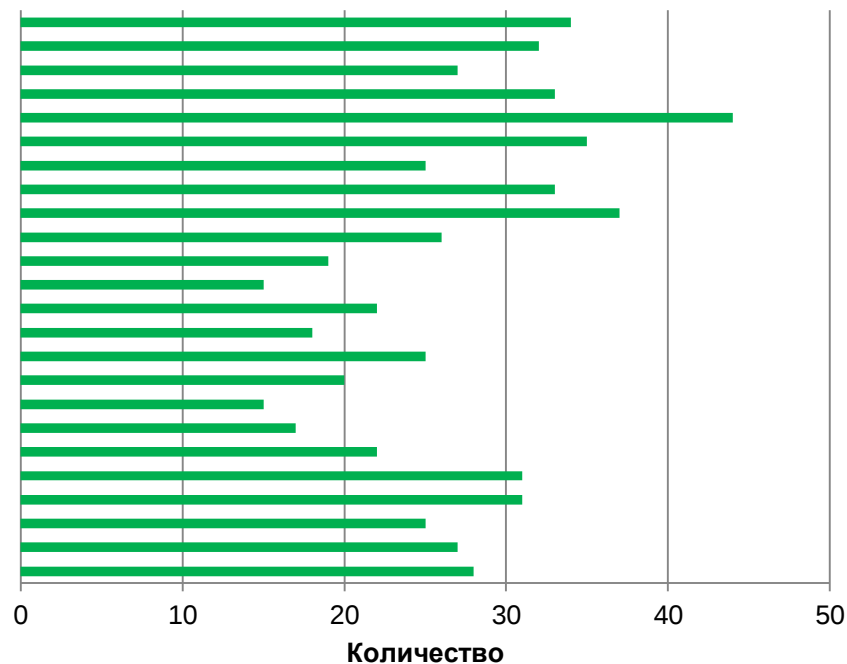
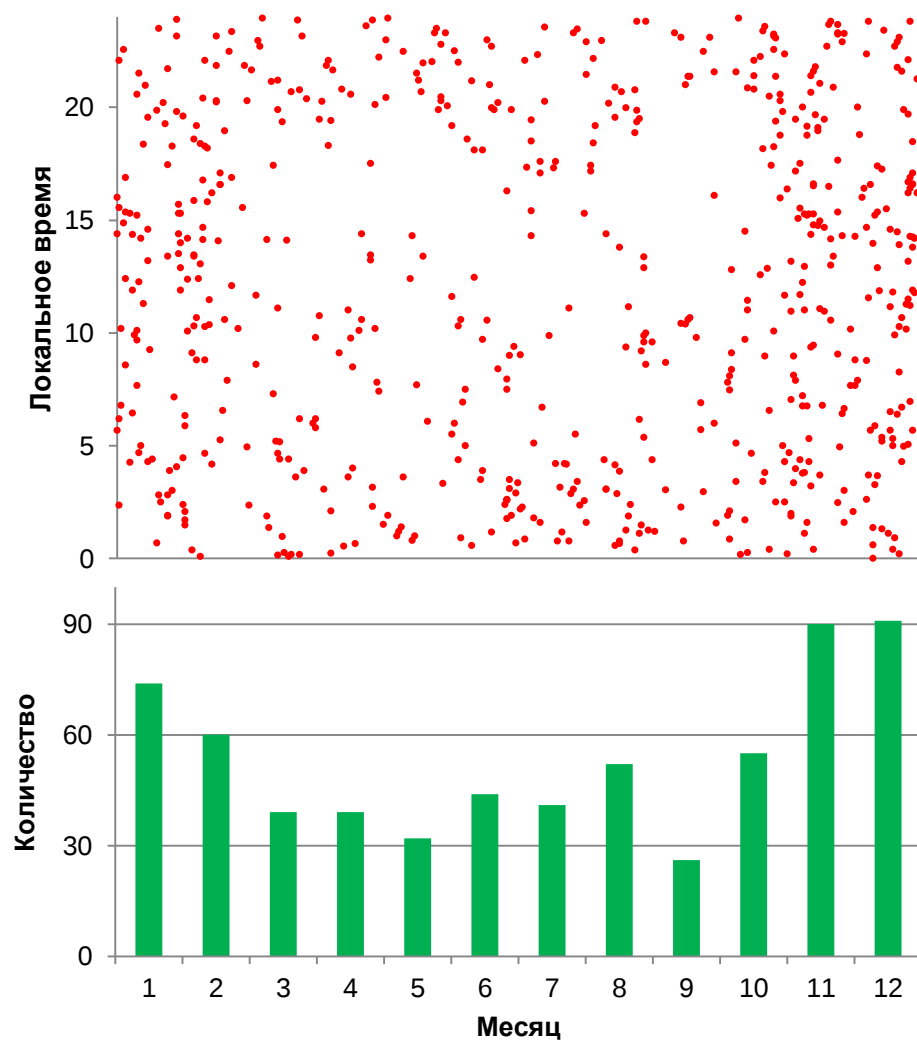
На высоте максимума слоя F2 выполняется поиск локальных максимумов. Если количество максимумов больше двух и расстояние между ними одинаковое (разность не более ширины ячейки реконструкции), то считается что на томограмме зафиксировано ПИВ.



в 643 томограммах зафиксированы среднемасштабные ПИВ, что составляет около 8% всех томограмм



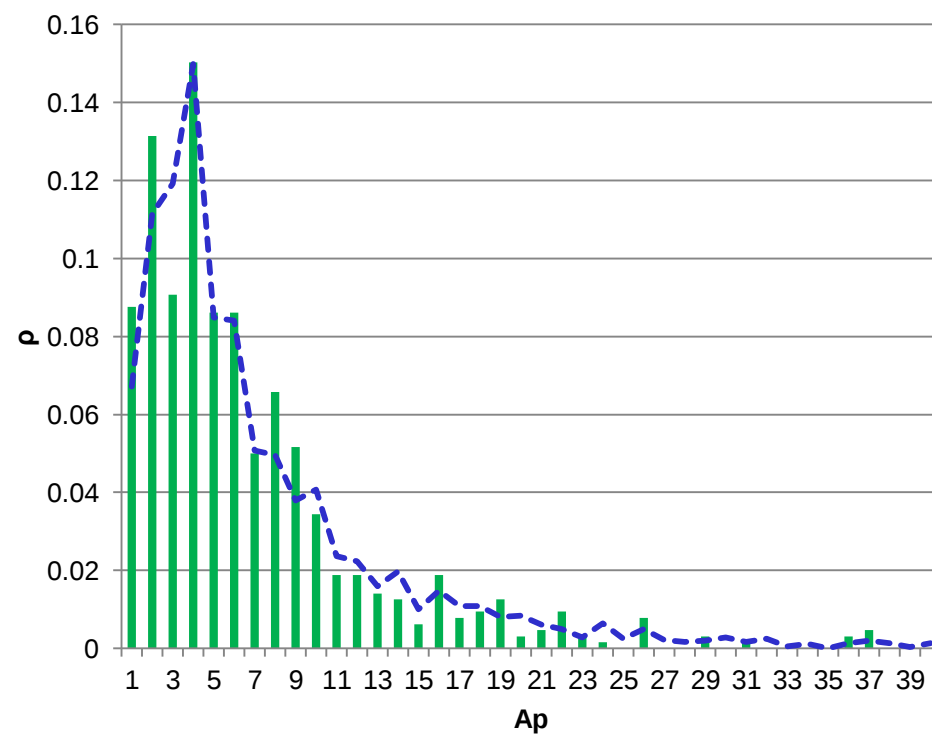
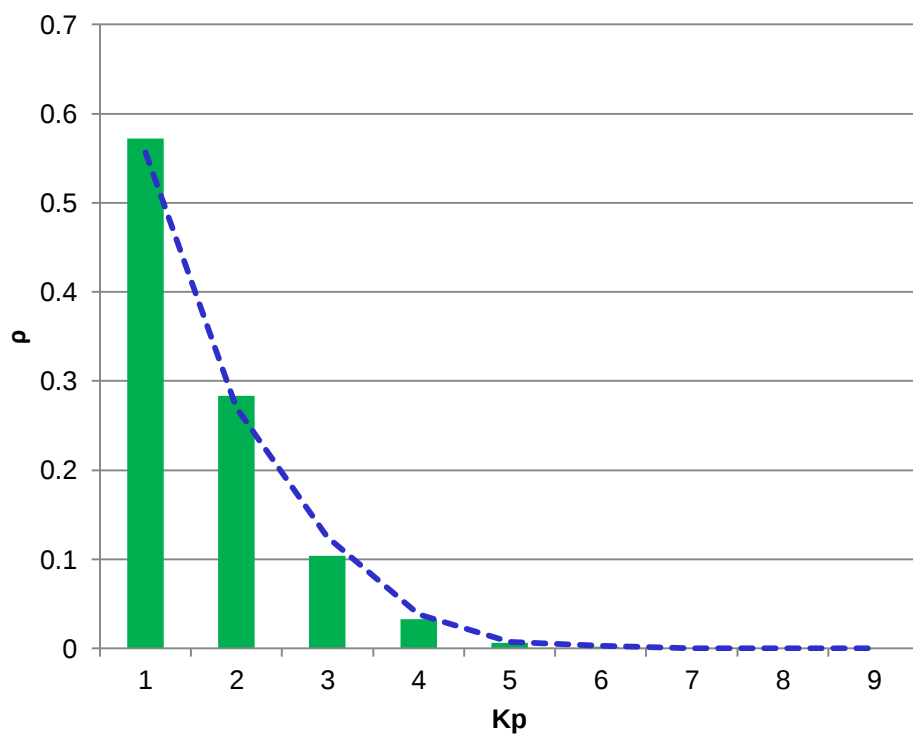
Время появления



Максимальное количество ПИВ зарегистрировано в зимние месяцы. Летом в светлое время суток вероятность появления ПИВ гораздо меньше.

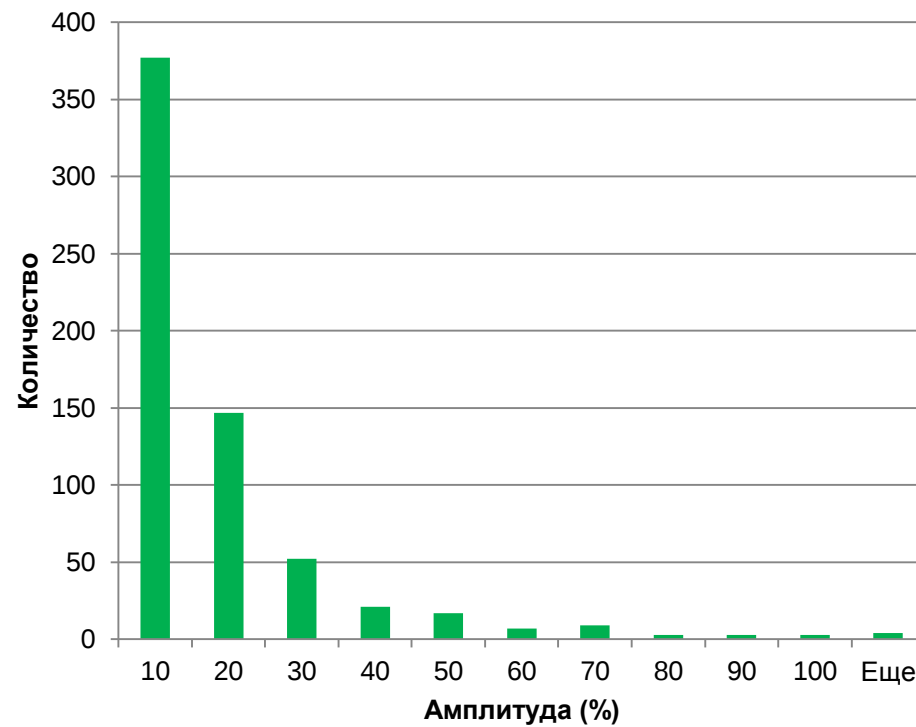
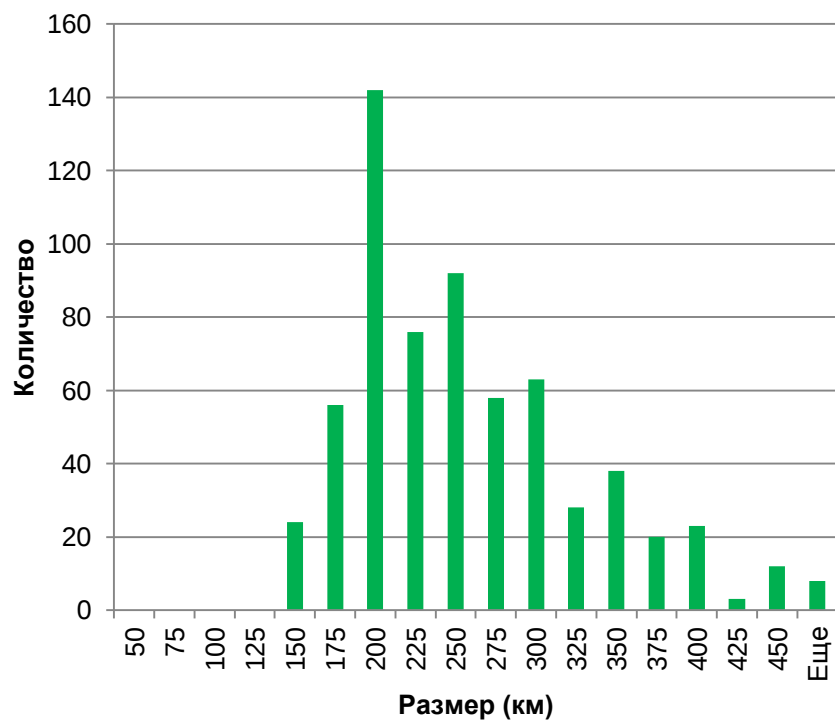


Индексы геомагнитной активности





Размер

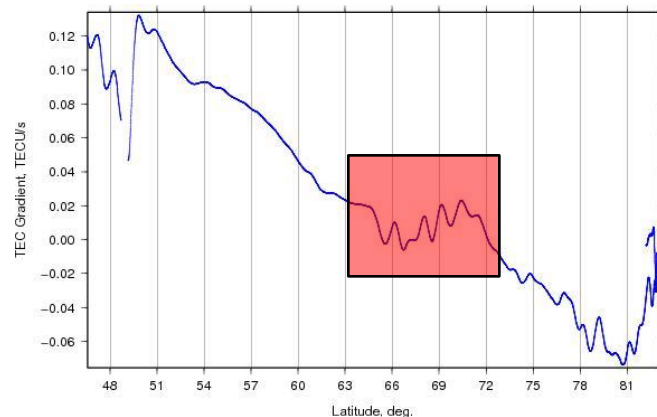




Другие возможности применения НОРТ для исследования ПИВ

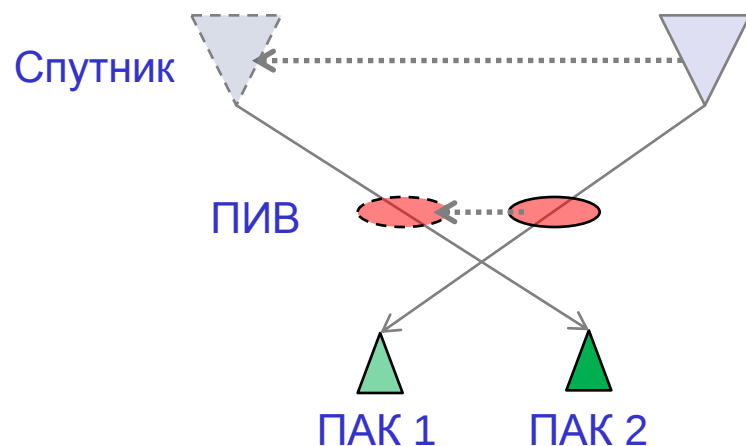


Исследование мелкомасштабных ПИВ.



Не восстанавливаются на томограммах, необходим анализ сырых данных с приемников.

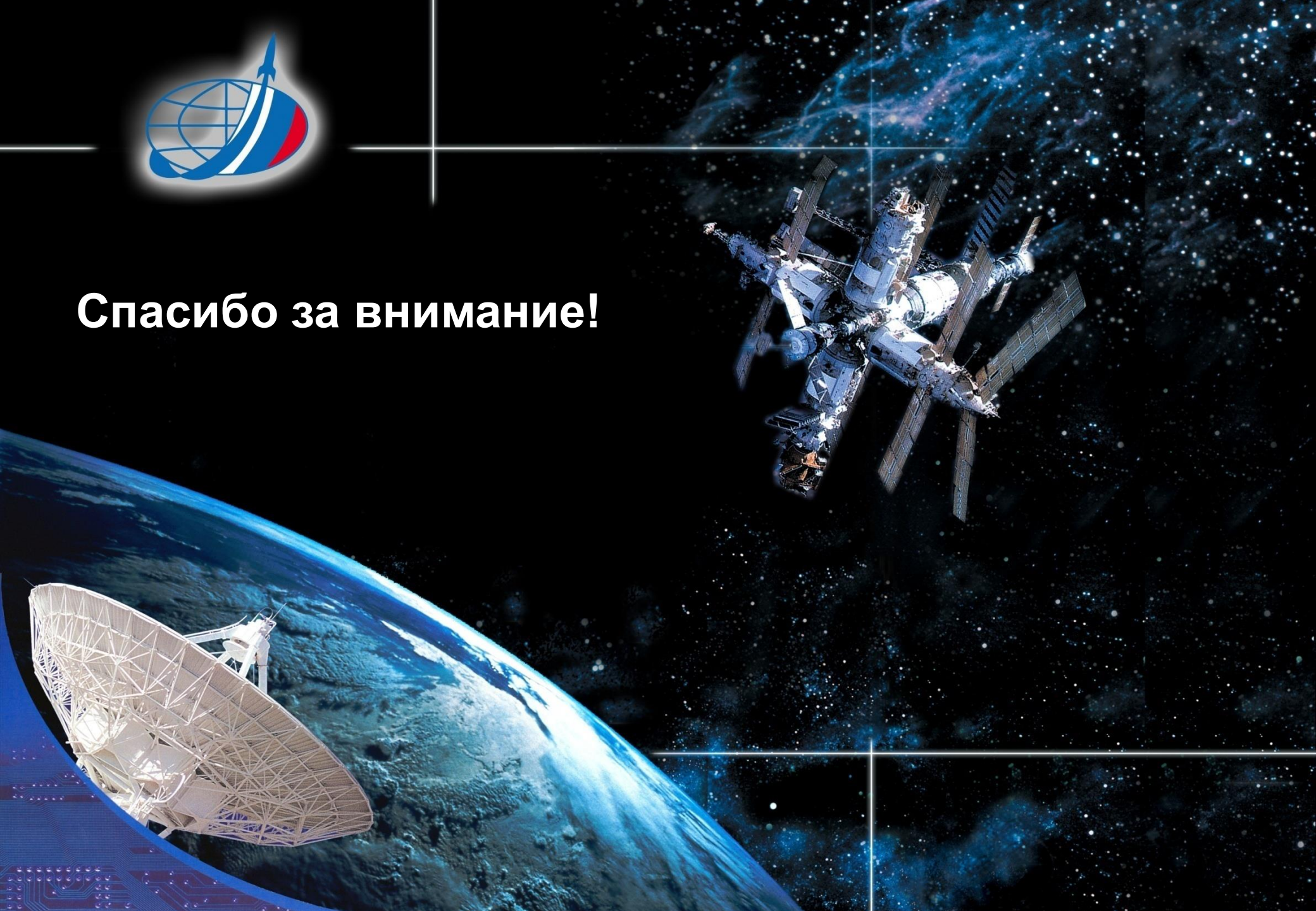
Определение скоростей ПИВ.



Совместный анализ сырых данных с двух приемников. Определение смещения одного из максимумов за время между пересечением его радиотрассами.

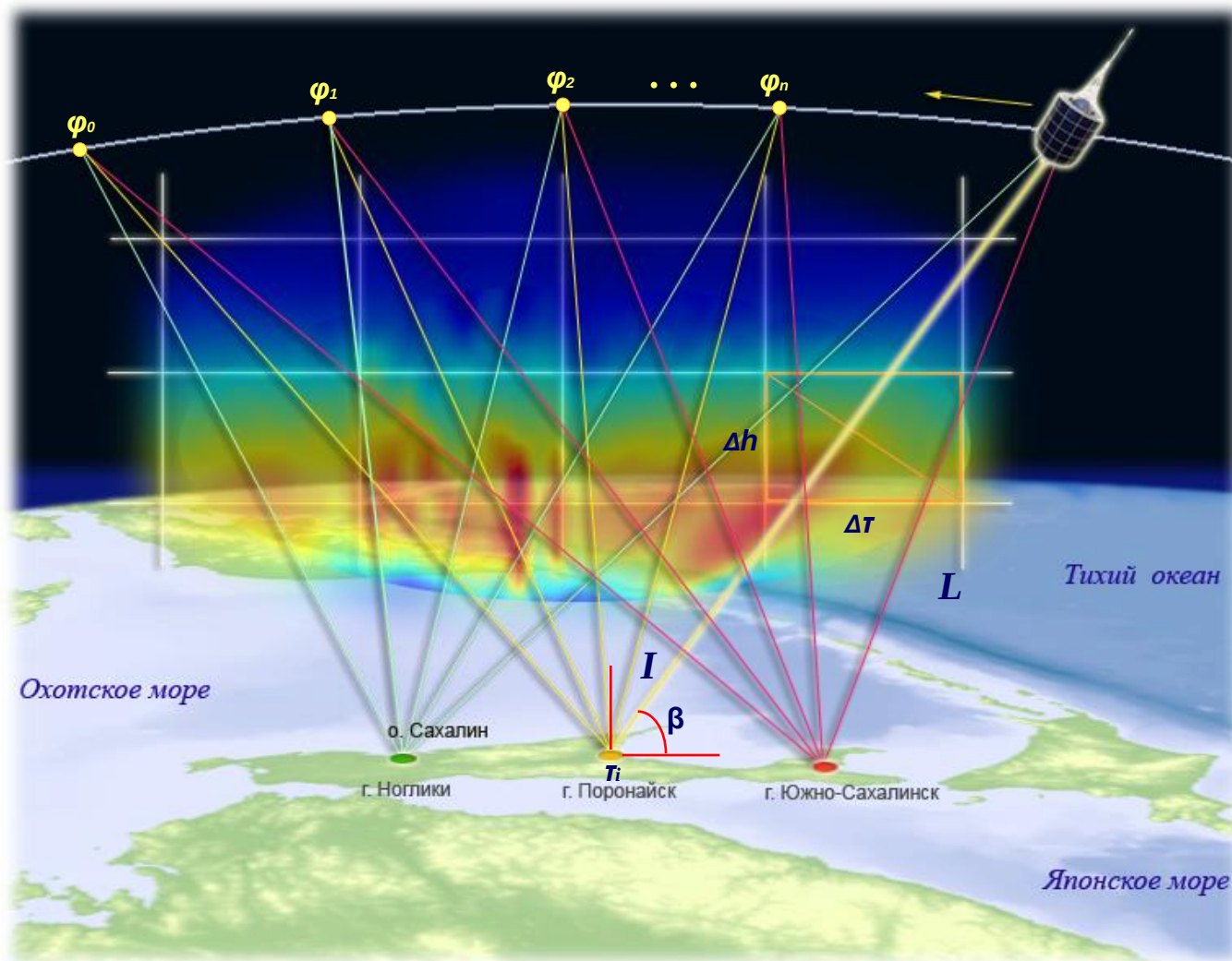


Спасибо за внимание!





Радиотомографический спутниковый подход к исследованию ионосферы (В.Е.Куницын, 1980)



Основные соотношения:

Постановка задачи

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

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

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

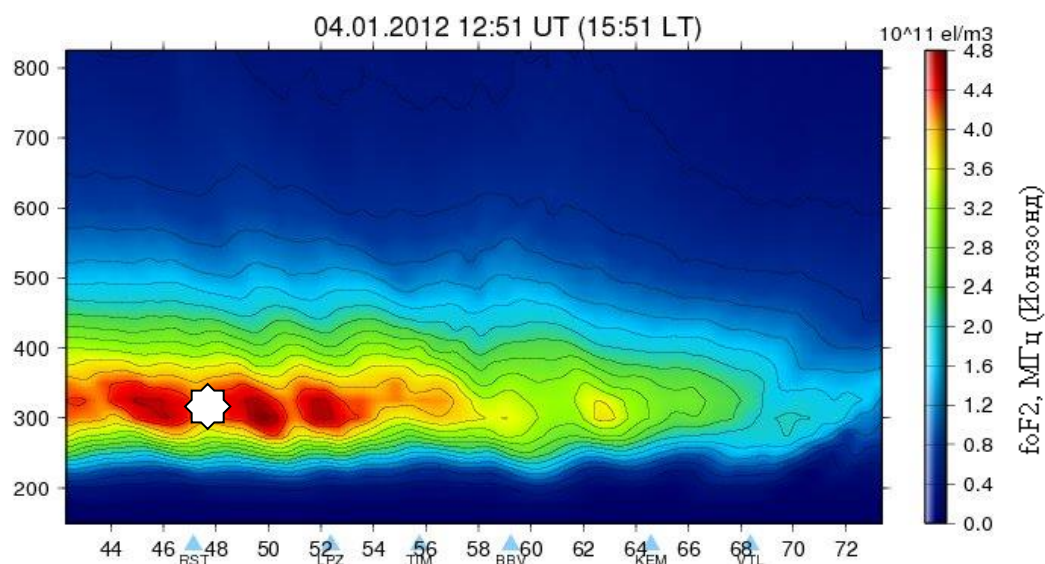
$$f^{k+1} = f^k + \frac{d_i - \langle a^i, f^k \rangle}{\langle a^i, a^i \rangle} a^i$$



Анализ f_oF2 ионосферы полученной с помощью томографии и вертикального зондирования ионосферы на средних широтах

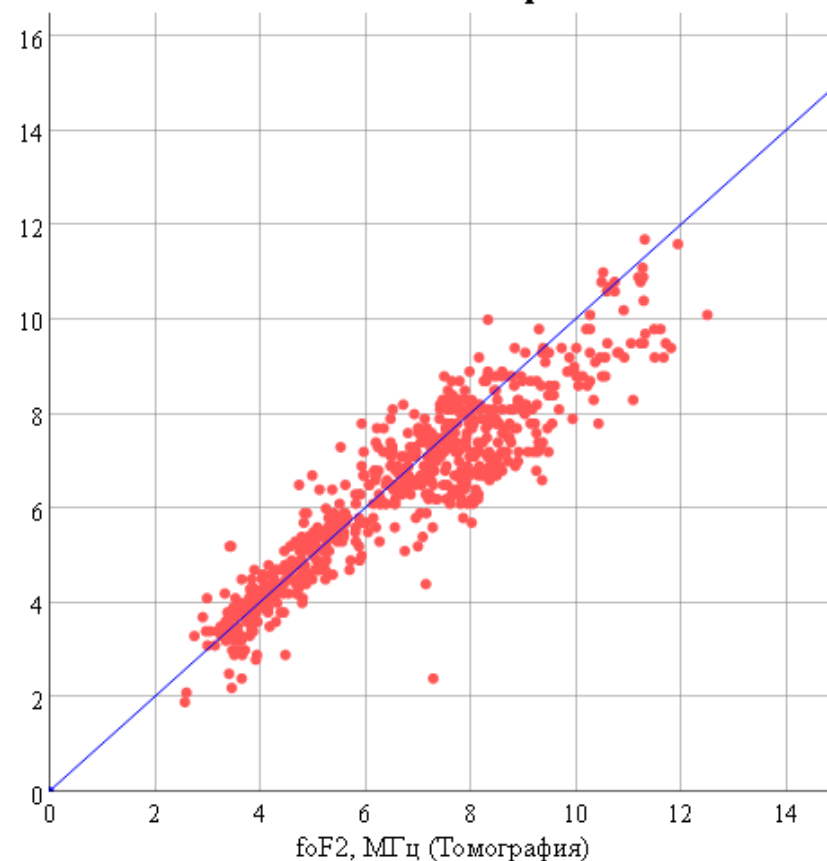


Для анализа использованы данные
станции вертикального зондирования в
Ростове-на-Дону (47.24° с.ш., 39.63° в.д.)



	РТ-ВЗ(34506)
средняя невязка	0.65 МГц
дисперсия невязки	0.35 МГц
средняя ошибка	13.3%

Сопоставление измерений f_oF2





Приемный программно-аппаратный комплекс для томографии ионосферы



Антенно-фидерное устройство



Номиналы принимаемых частот: 150, 400 МГц.

Возможность приема: номинал ± 300 ppm

Синхронизация времени: по сети Интернет (NTP, HTTP)

Расчет расписания сеансов: TLE + SGP4

Интерфейс для передачи данных: Ethernet (HTTP)

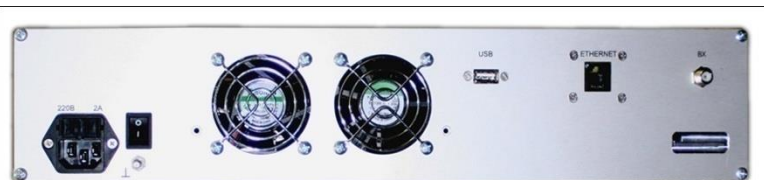
ОС управляющей ЭВМ: Linux OpenSuSe 11.1

Интерфейс управления: веб-интерфейс

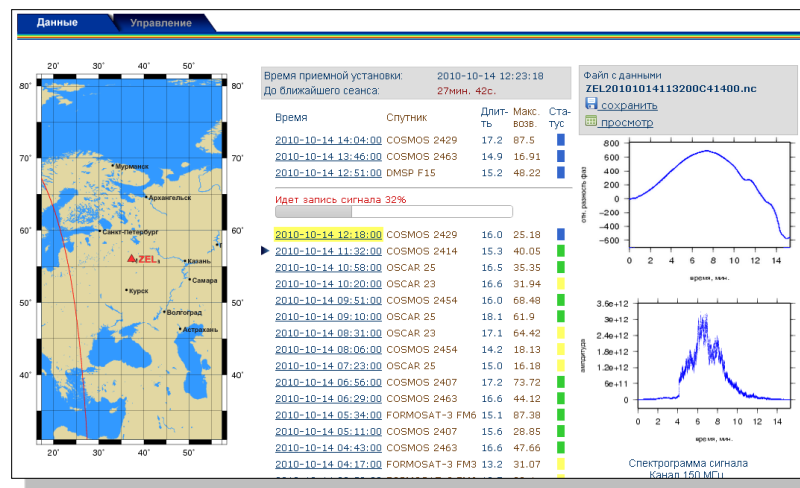
Приемник когерентных сигналов



вид спереди



вид сзади

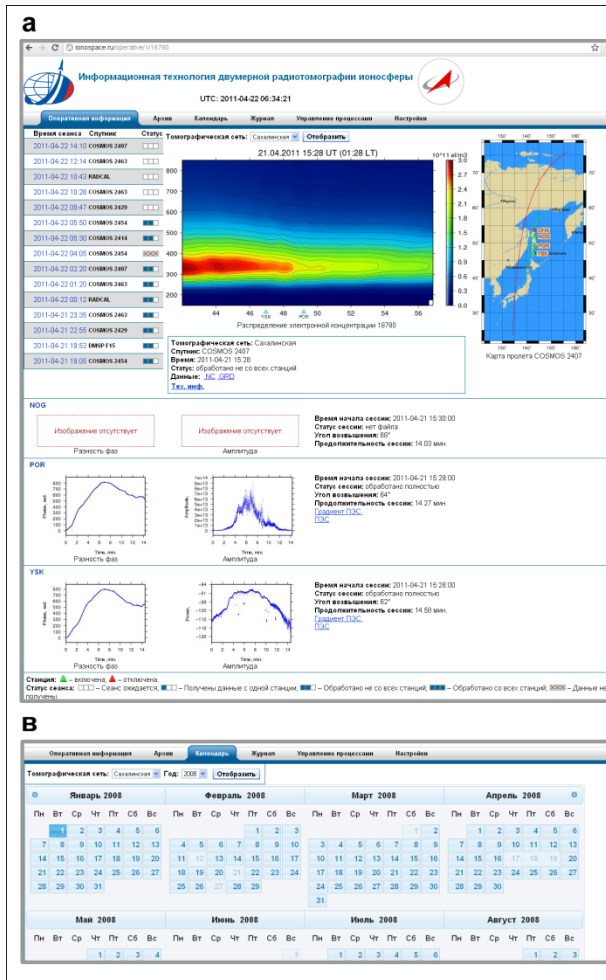


Вес приемного устройства: 7 кг

Приемное устройство, ЭВМ и ИБП выполнены в едином корпусе. Аккумулятора встроенного ИБП хватает на 25 минут работы



Фрагменты веб-интерфейсов технологии OXENGY

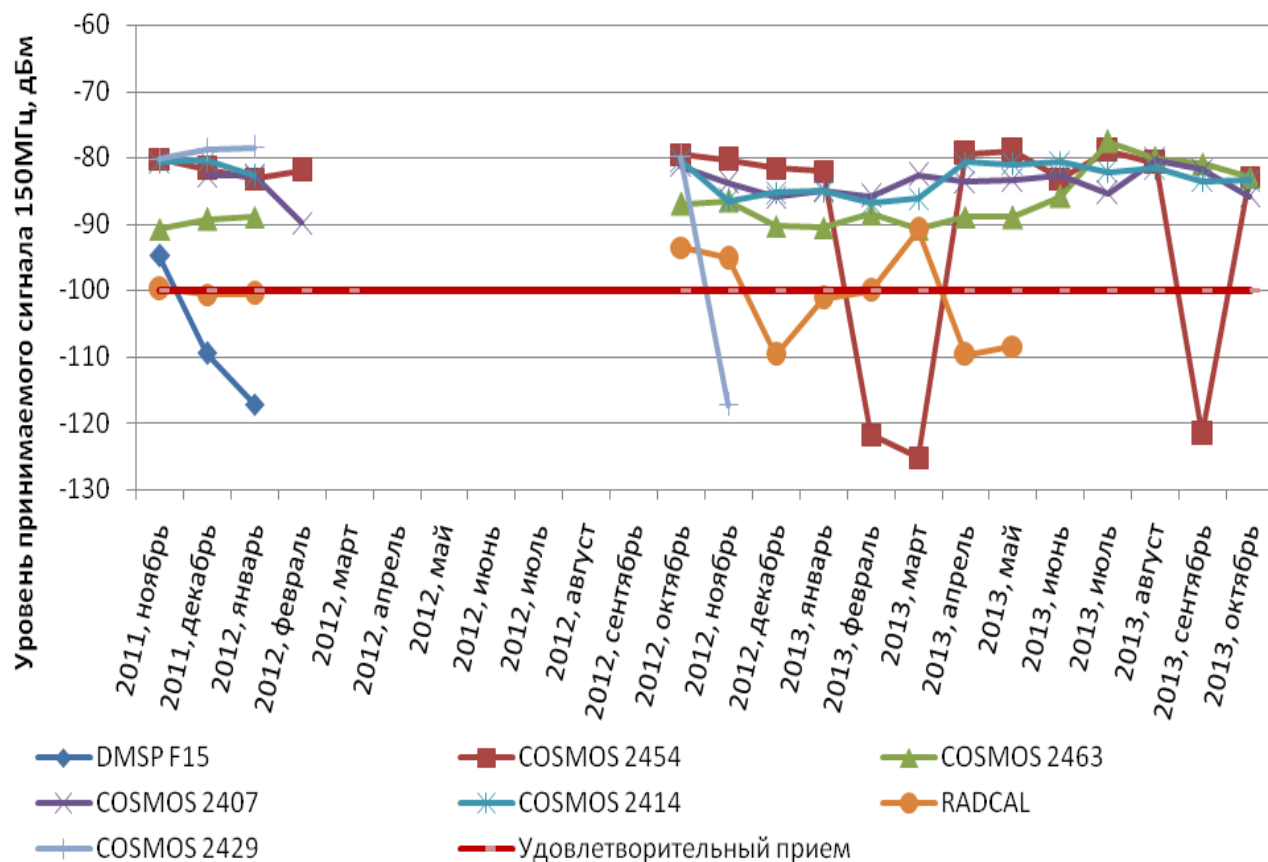


<http://ionospace.ru>

а – «Оперативная информация»;
б – «Архив»;
в – «Календарь»;
г – «Управление», раздел
«Томографические сети»;
д – «Управление», раздел
«Спутники»



Анализ временной динамики уровня сигнала целевых спутников



Спутник	Запуск	В по- лете
COSMOS 2407	2004	9
COSMOS 2414	2005	8
COSMOS 2429	2007	6
COSMOS 2454	2009	4
COSMOS 2463	2010	3
DMSP F15	1999	14
RADCAL	1993	20