

**СИНХРОННАЯ ОБРАБОТКА
РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ СИЛЫ
ТОКА В ИСТОЧНИКЕ И КОМПОНЕНТ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В
ТОЧКАХ НАБЛЮДЕНИЙ
ЭКСПЕРИМЕНТА FENICS И
ДВУМЕРНАЯ ИНВЕРСИЯ ДАННЫХ
2014 И 2019 ГОДОВ**

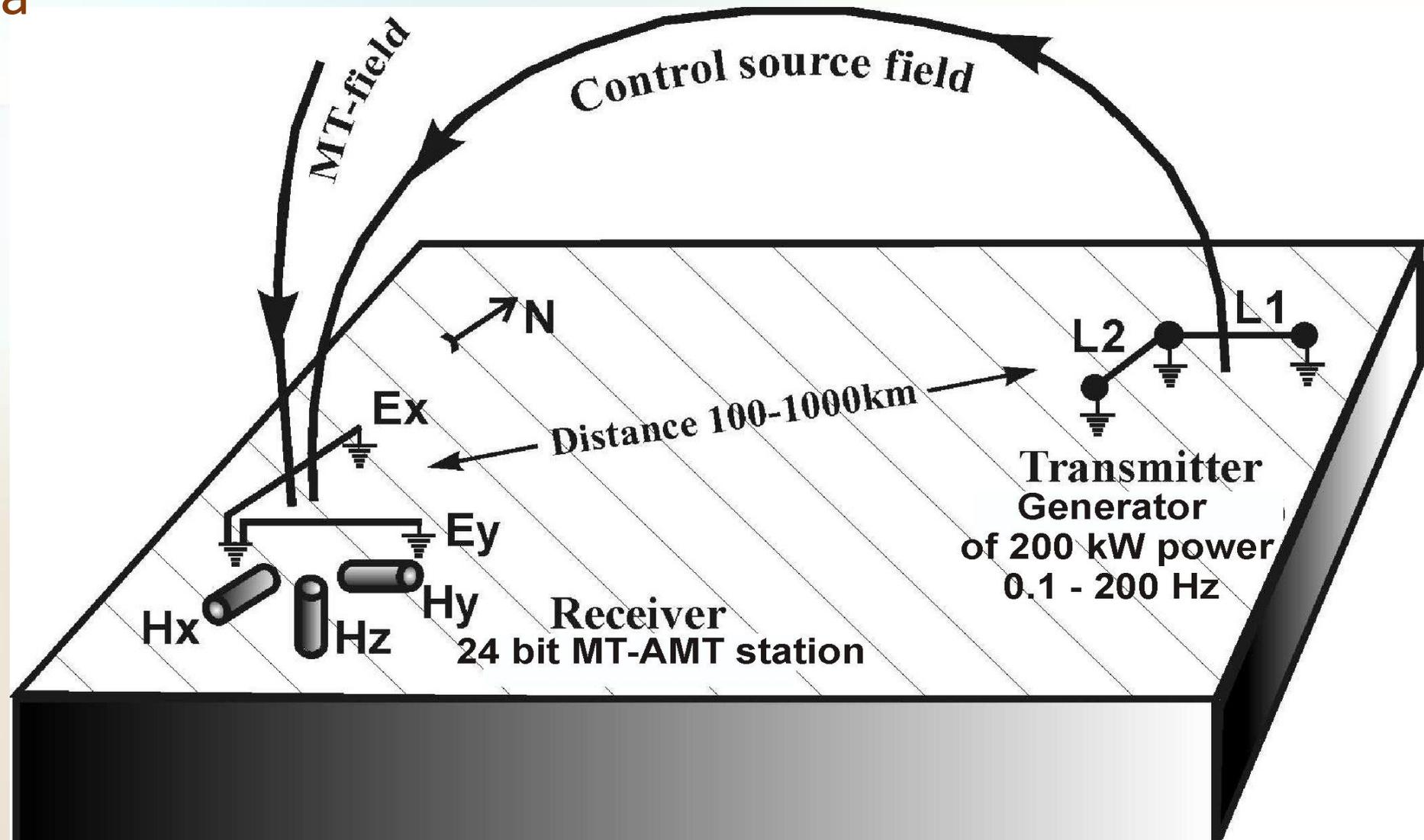
Шевцов А.Н., Ганнибал А.Е., Короткова Т.Г

Геологический институт КНЦ РАН, Мурманская обл., г. Апатиты,

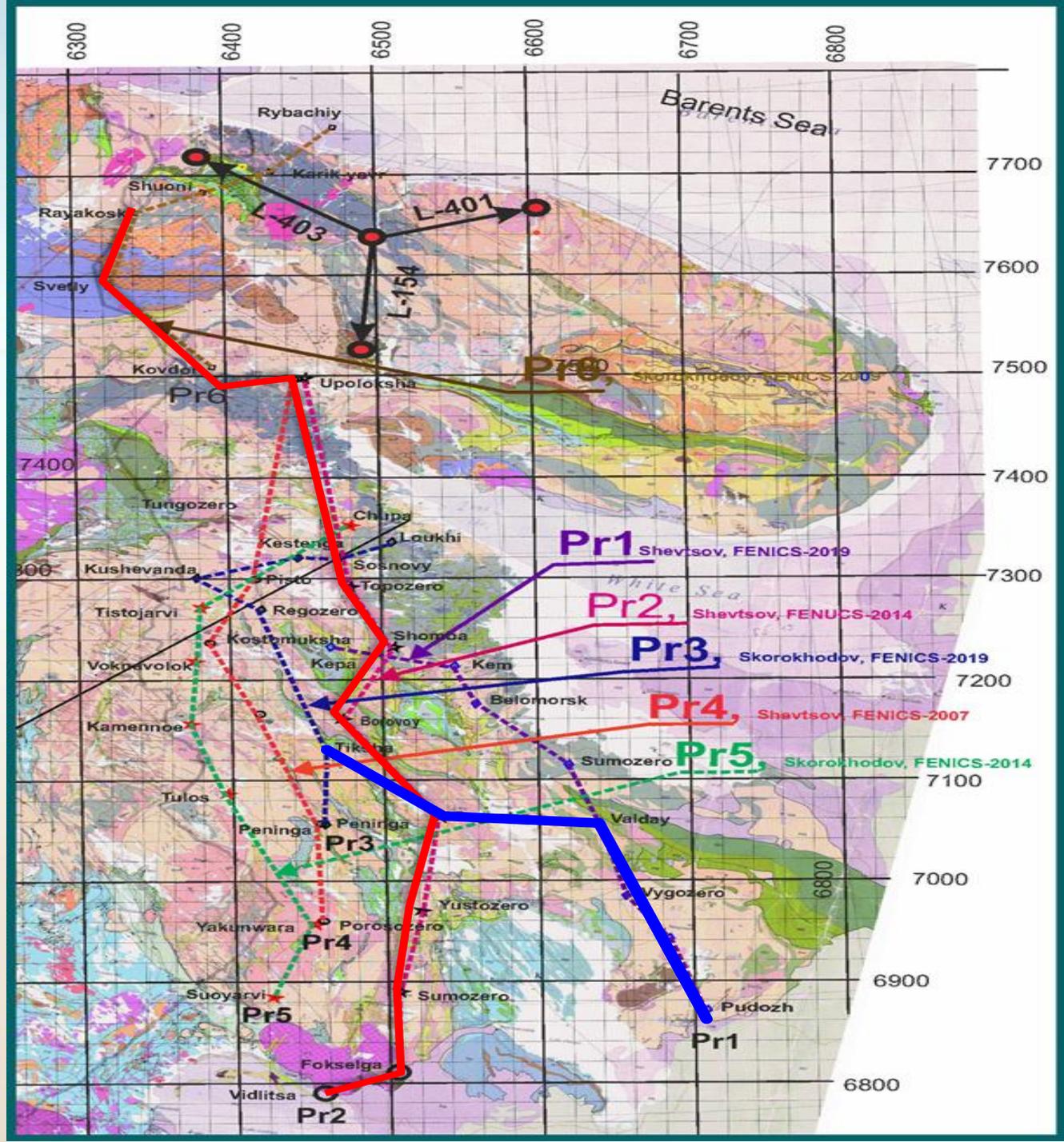
anshev2019-01@mail.ru

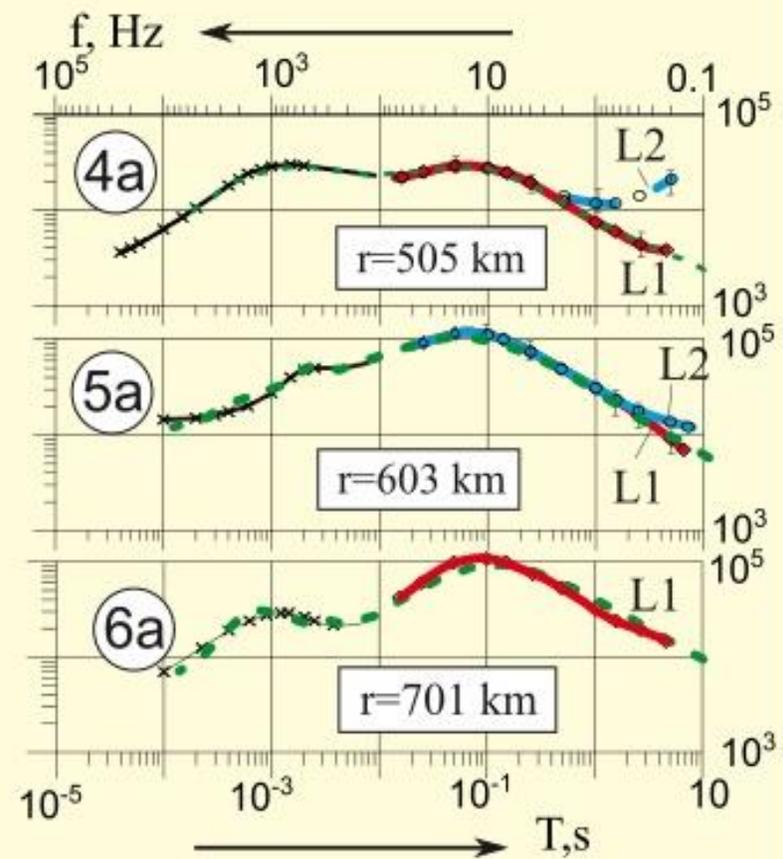
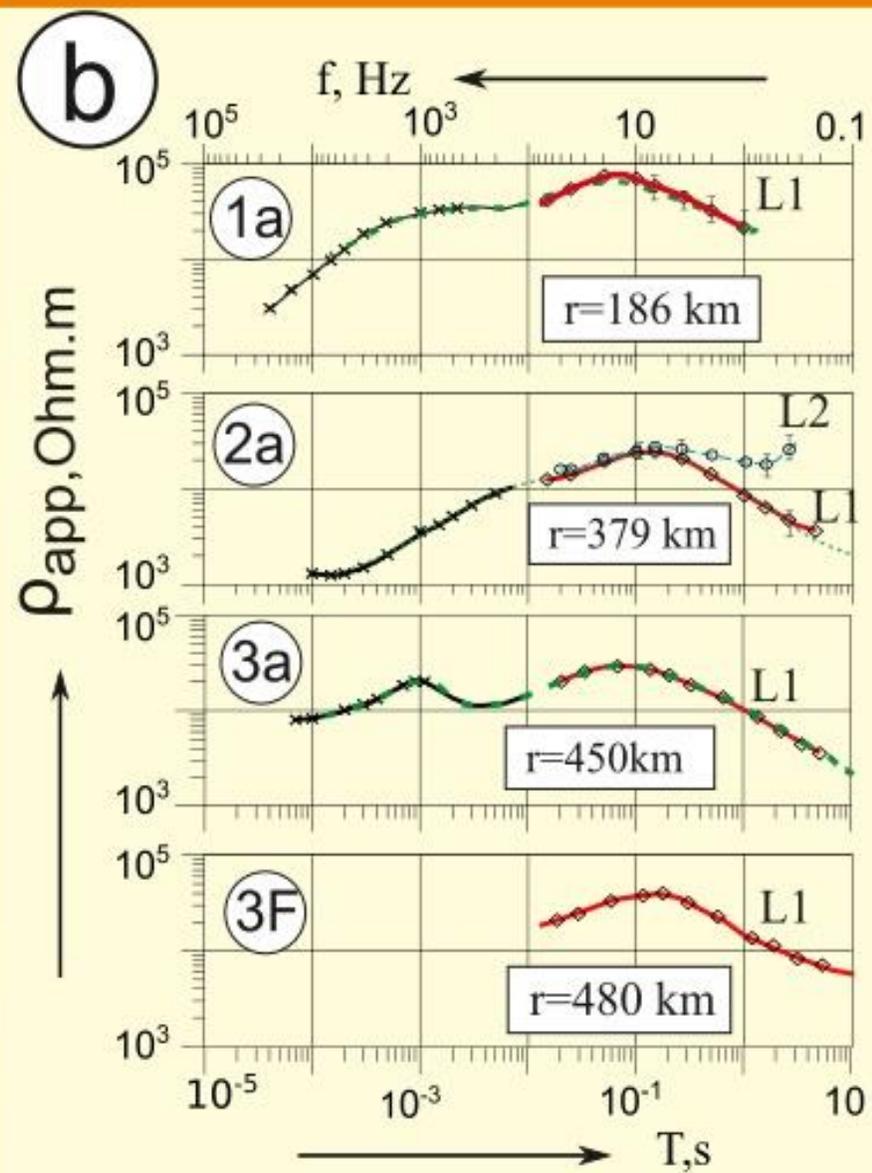
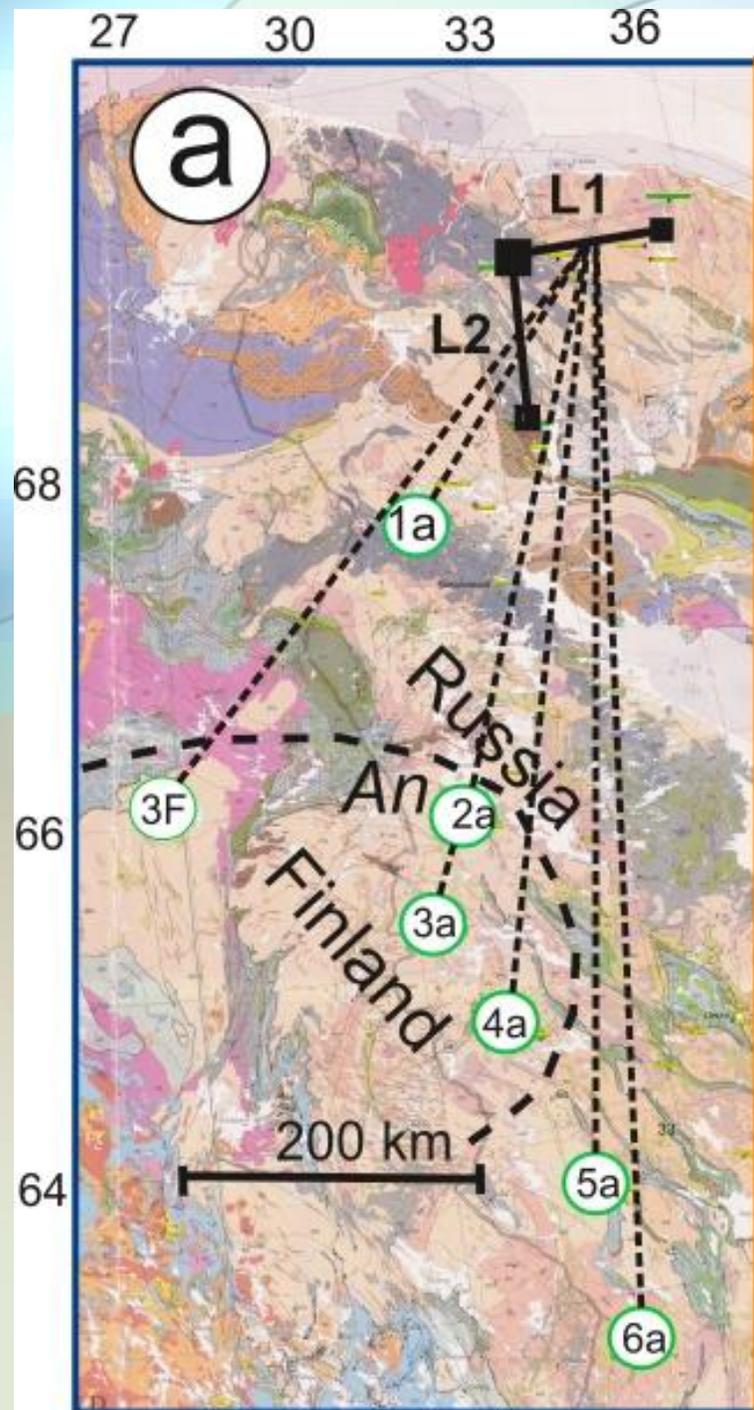
Эксперимент FENICS 2007, 2009, 2014, 2019

- ▶ Исследование глубинной электропроводности литосферы Балтийского щита

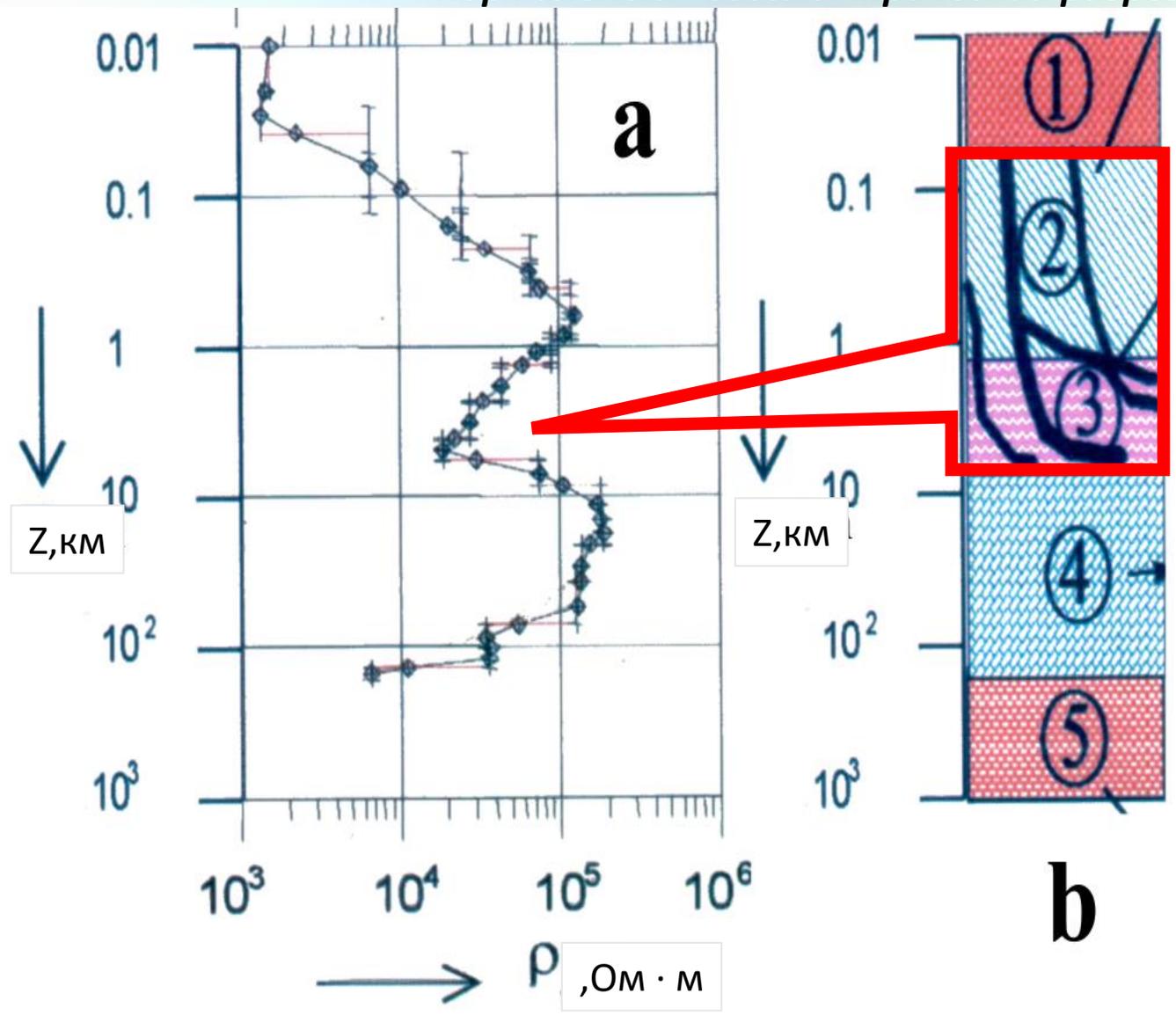


Положение питающих
линий ВЛ – 401, ВЛ -
153/154 и ВЛ -403 и
профилей измерений
электромагнитного
поля экспериментов
FENICS 2007-2019 на
территории Кольско-
Карельского региона

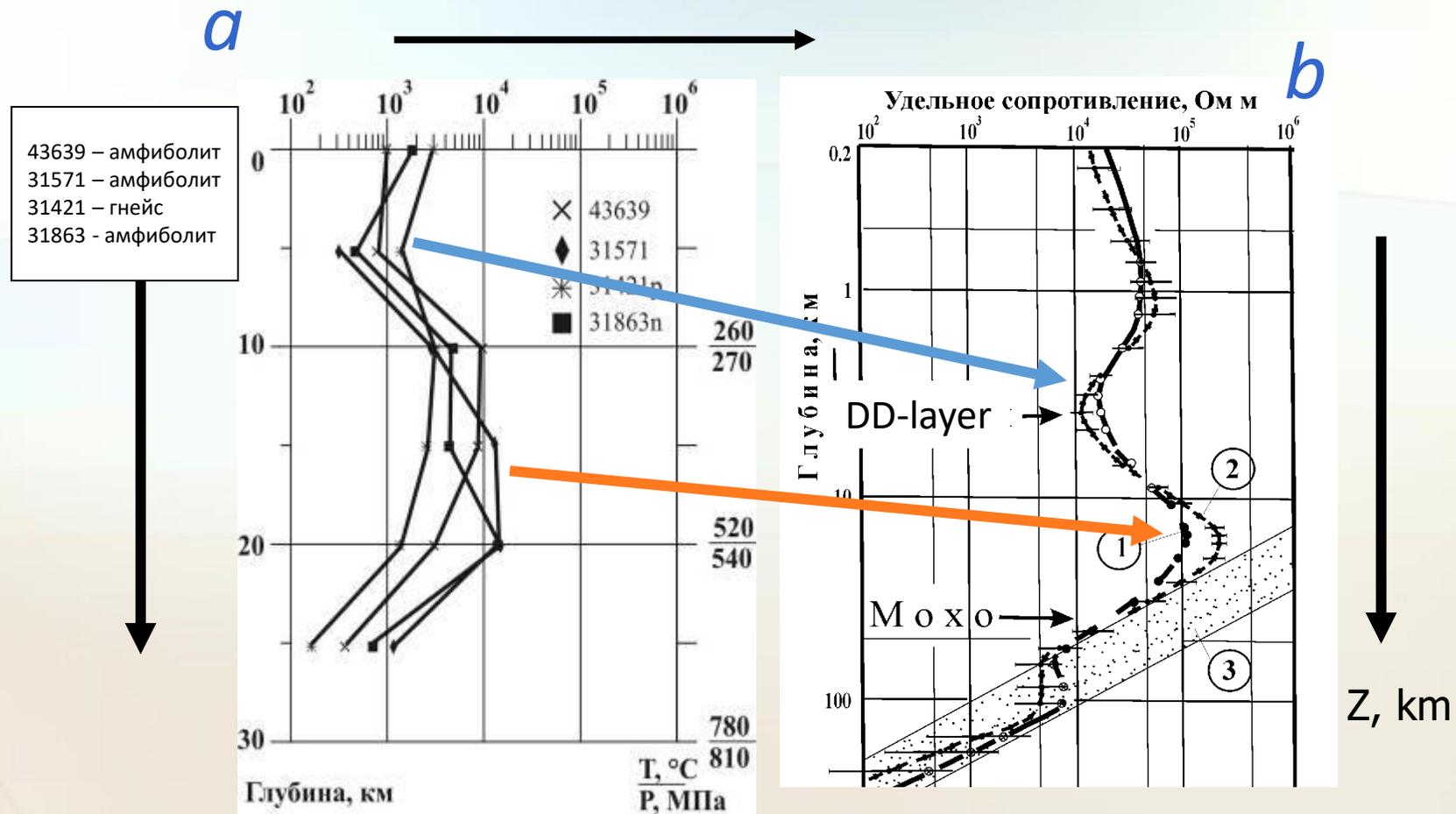




Результат инверсии зондирований с контролируемым источником (а) и «нормальный» геоэлектрический разрез (б)



Сравнение результатов исследований проницаемости и модельного удельного сопротивления пород керна СГ-3 [Шмонов и др., 2002] с глубинным геоэлектрическим разрезом [Жамалетдинов и др., 1998, 2002, 2005].



Распределение удельного сопротивления по глубине, в зависимости от проницаемости [Шмонов, Витовтова, Жариков, 2002]

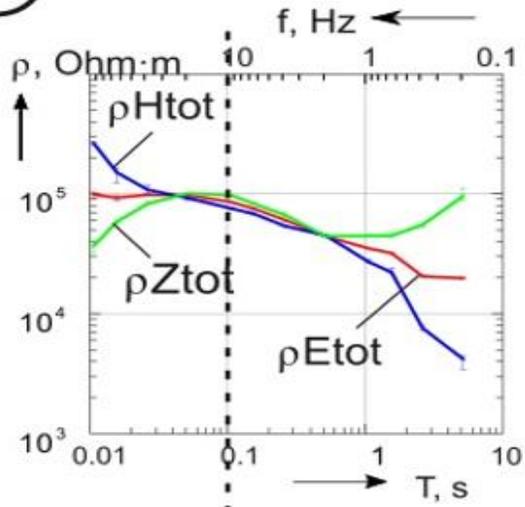
“Нормальный” геоэлектрический разрез по результатам АМТ зондирований с контролируемым источником [Жамалетдинов и др., 1998, 2002, 2005]

Влияние статических искажений на результаты 2019 г.

(a)

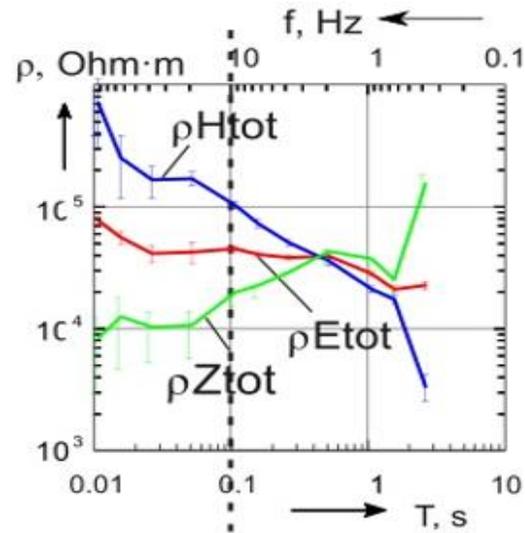
Tiksha, 17.09.2019

$r = 547 \text{ km}$, $\theta = 59.5^\circ$



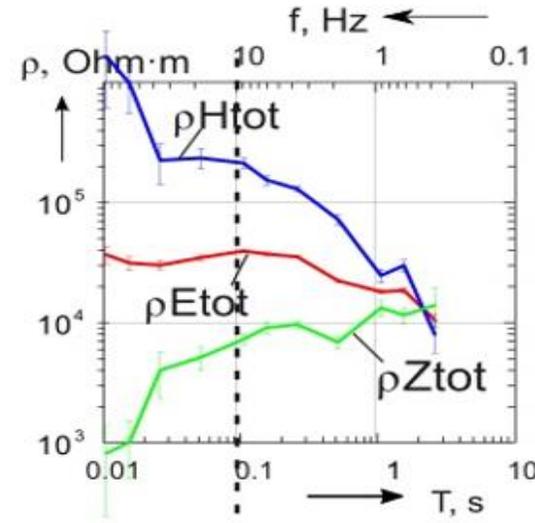
Sumozero, 14.09.2019

$r = 586 \text{ km}$; $\theta = 43.9^\circ$

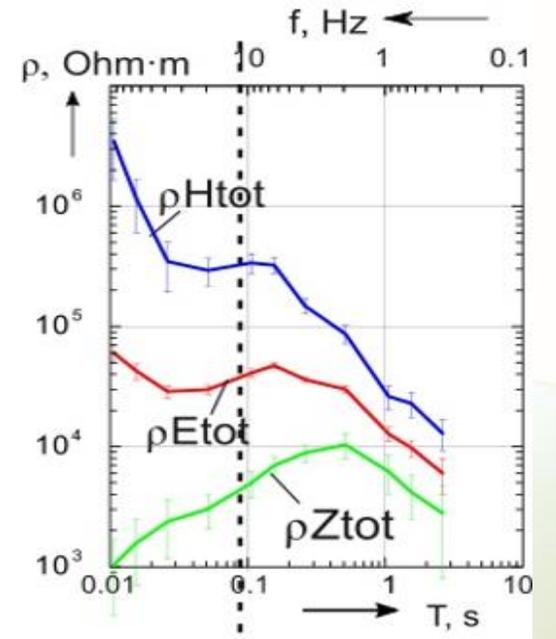


Valday 17-18, 09-2019

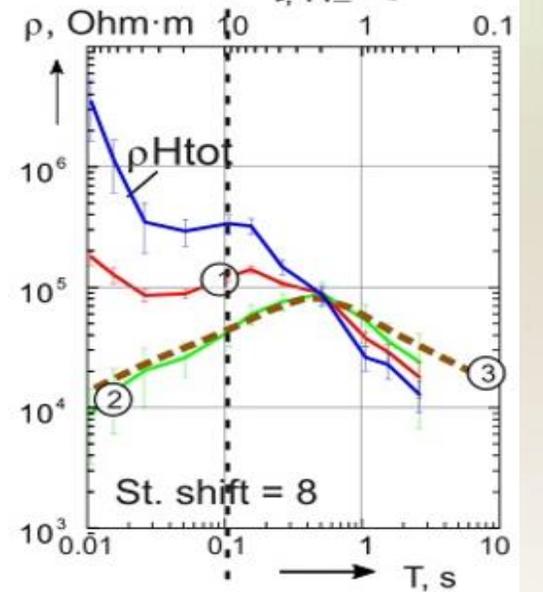
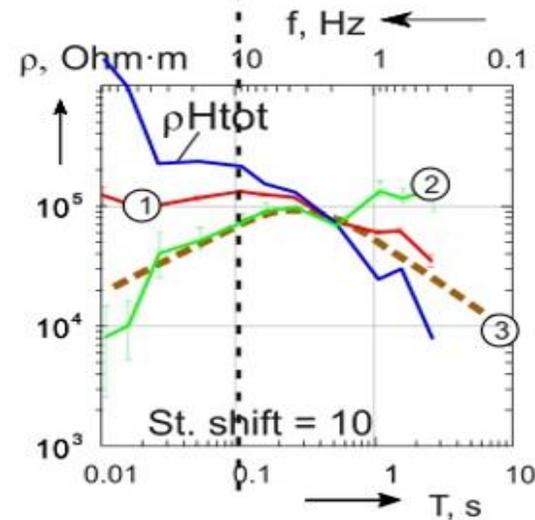
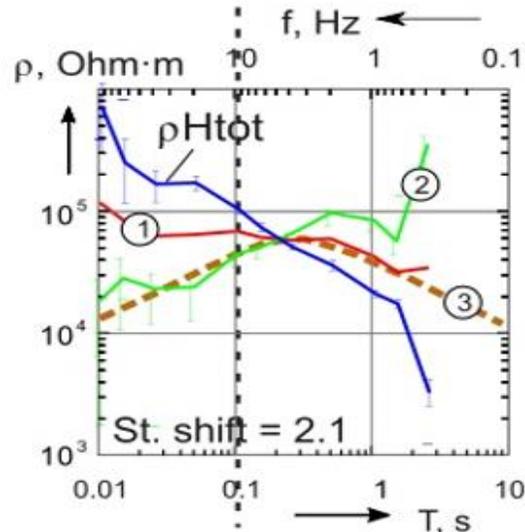
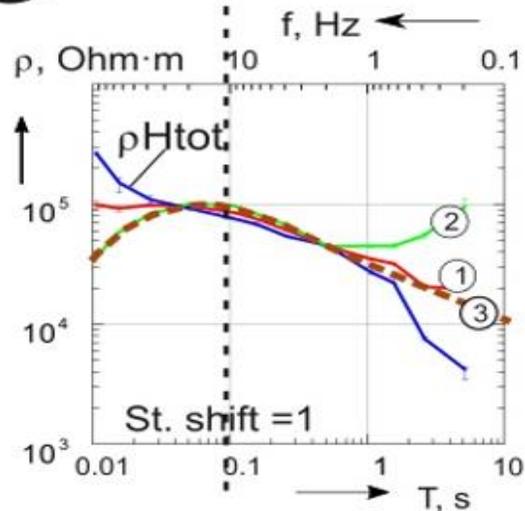
$r = 721 \text{ km}$; $\theta = 44.2^\circ$

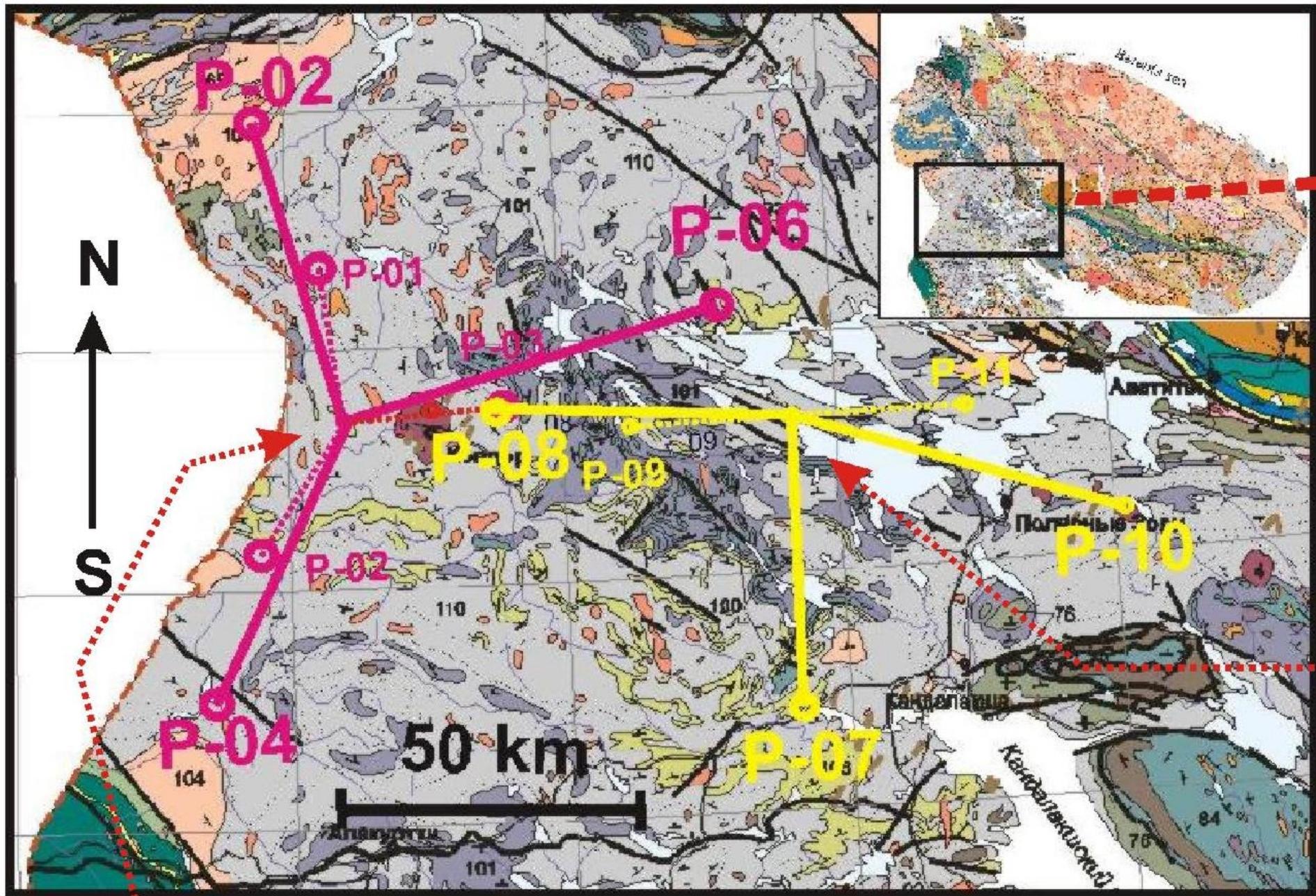


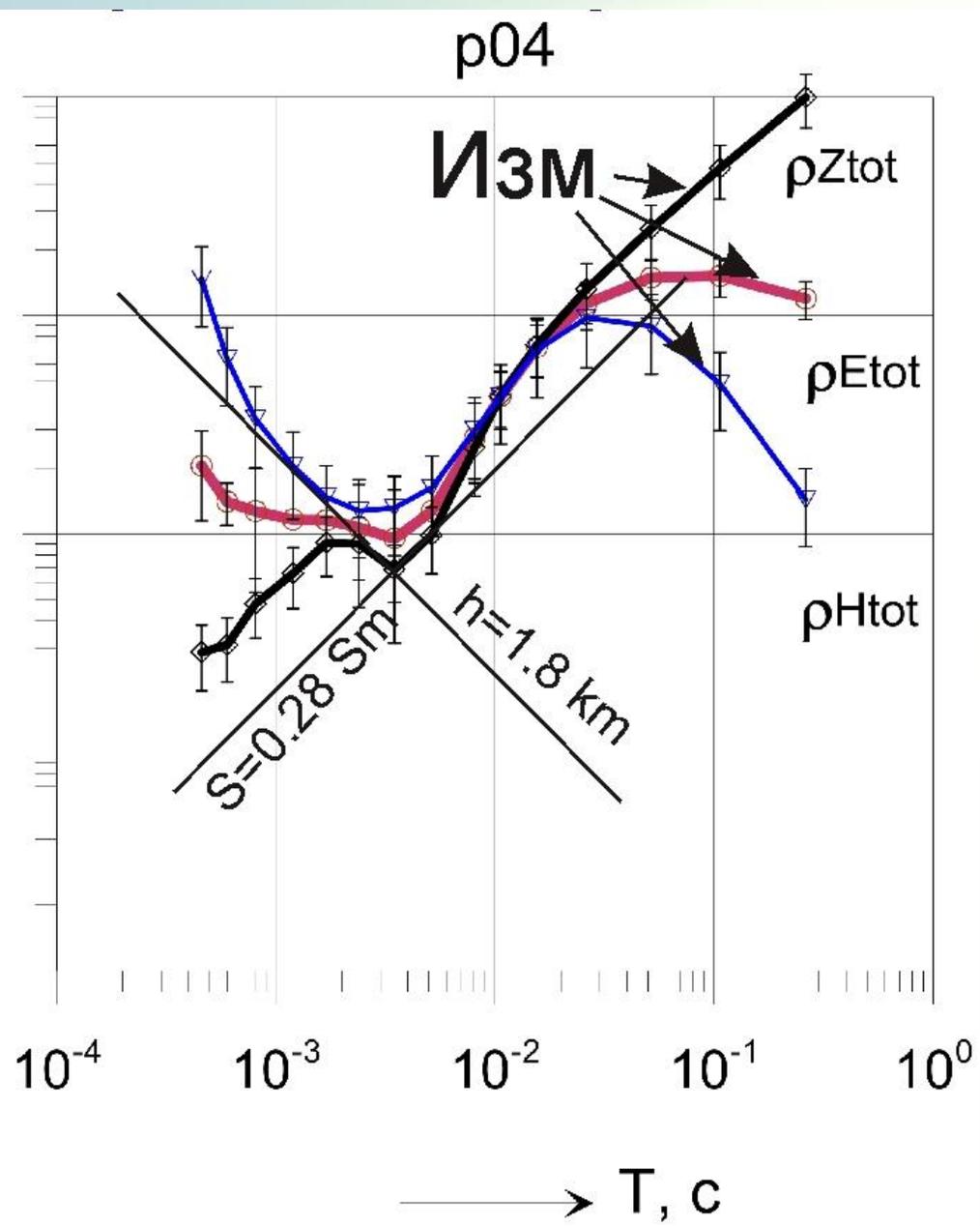
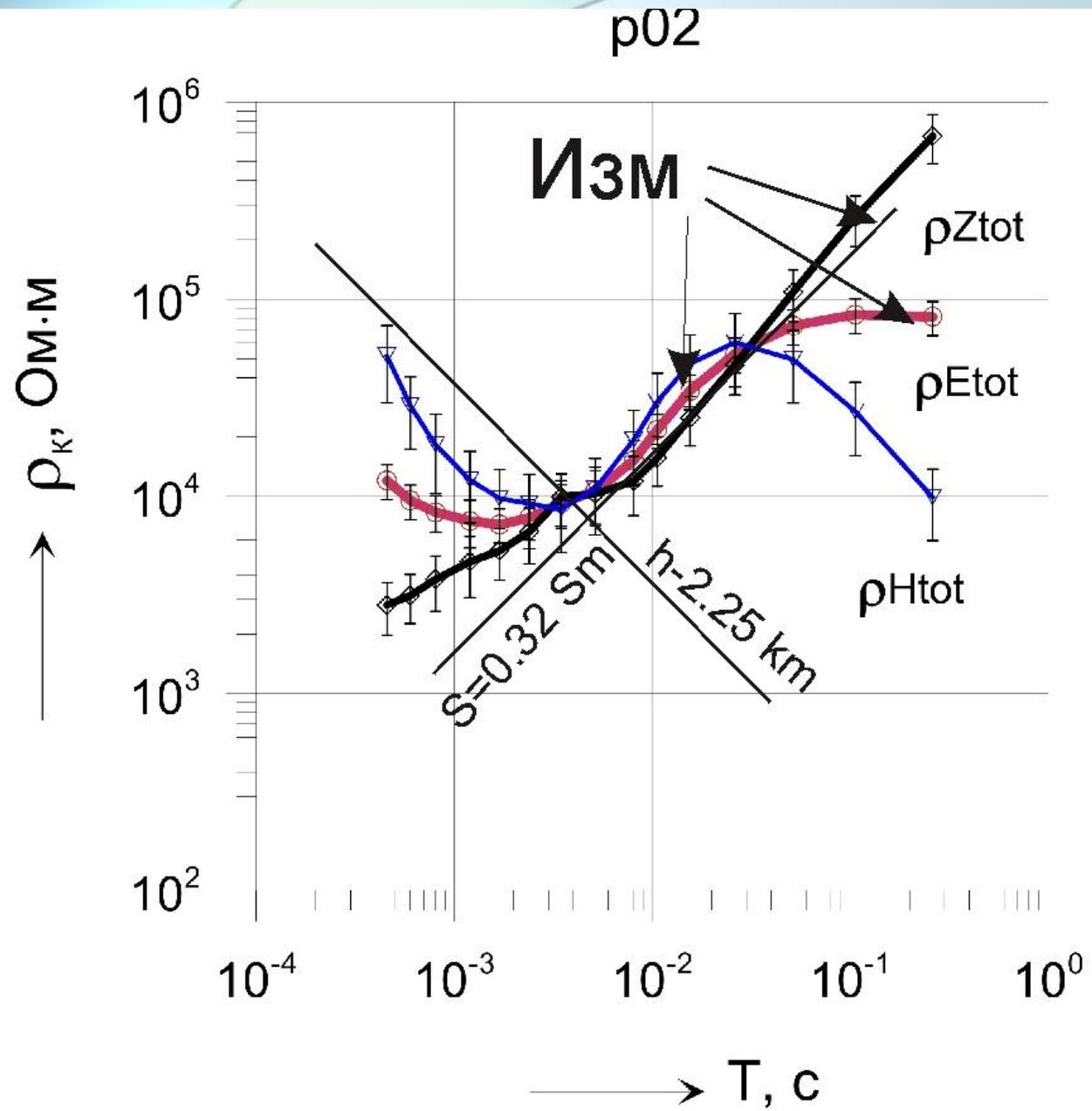
$r = 844 \text{ km}$; $\theta = 43.3^\circ$

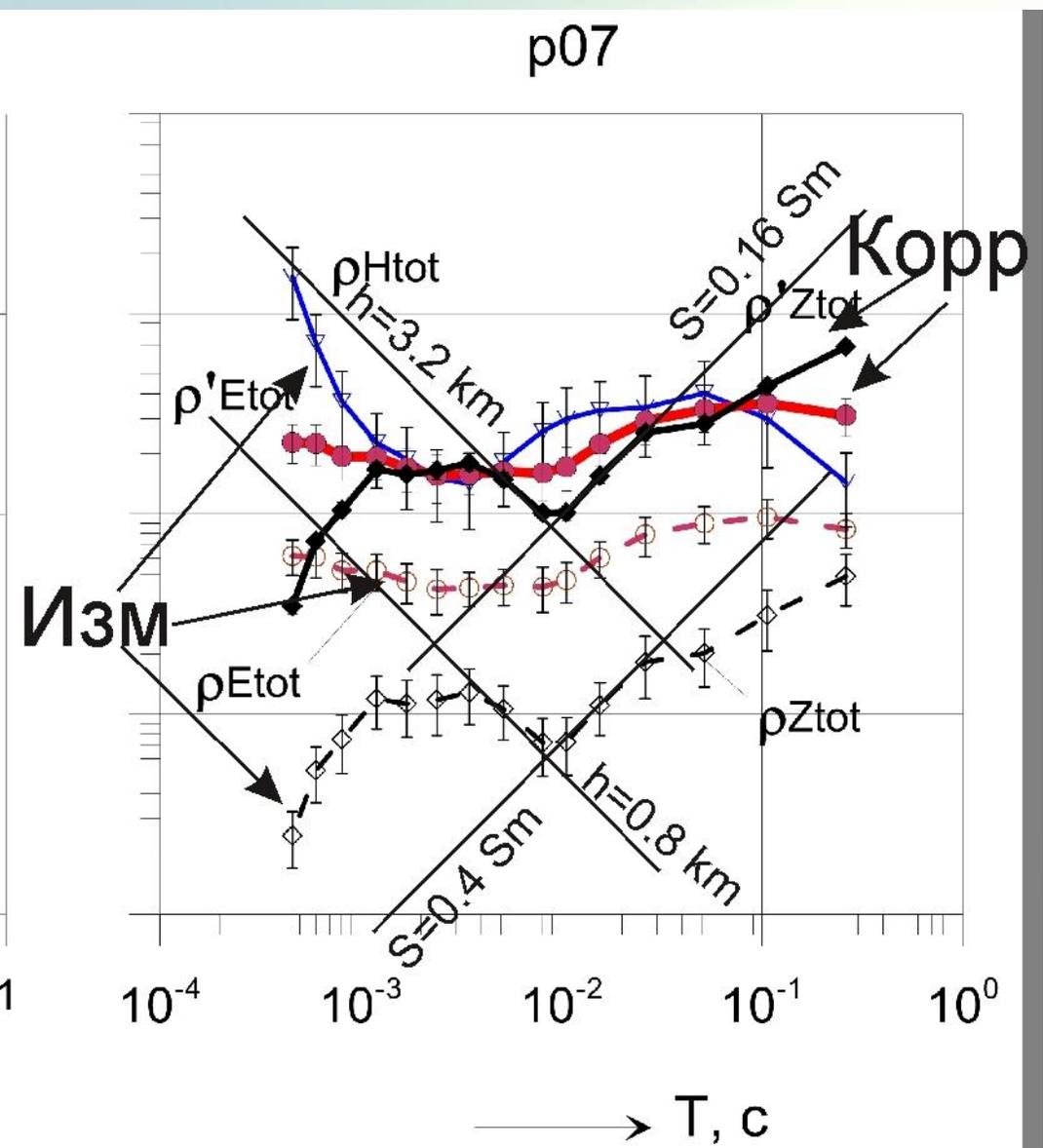
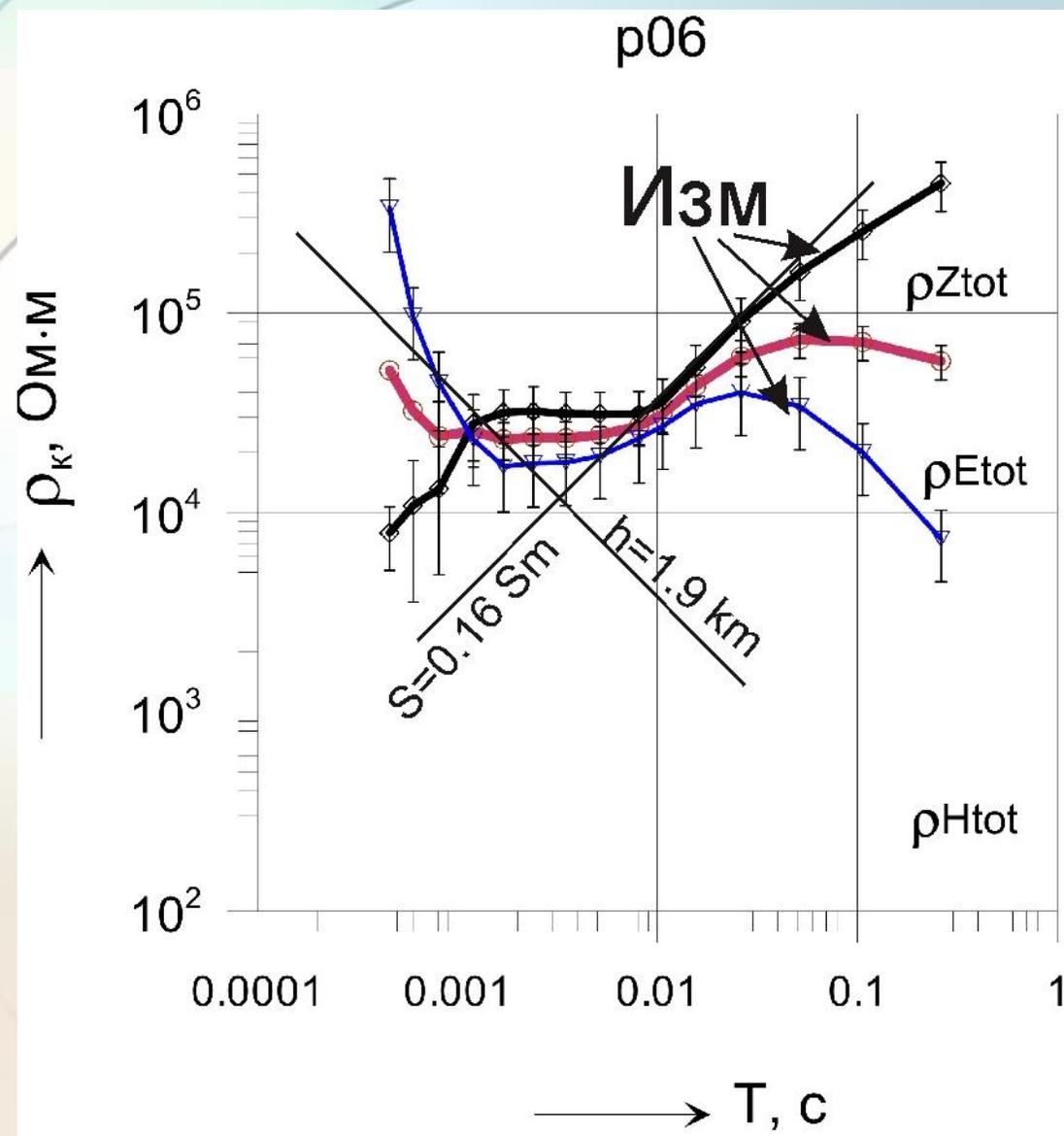


(c)

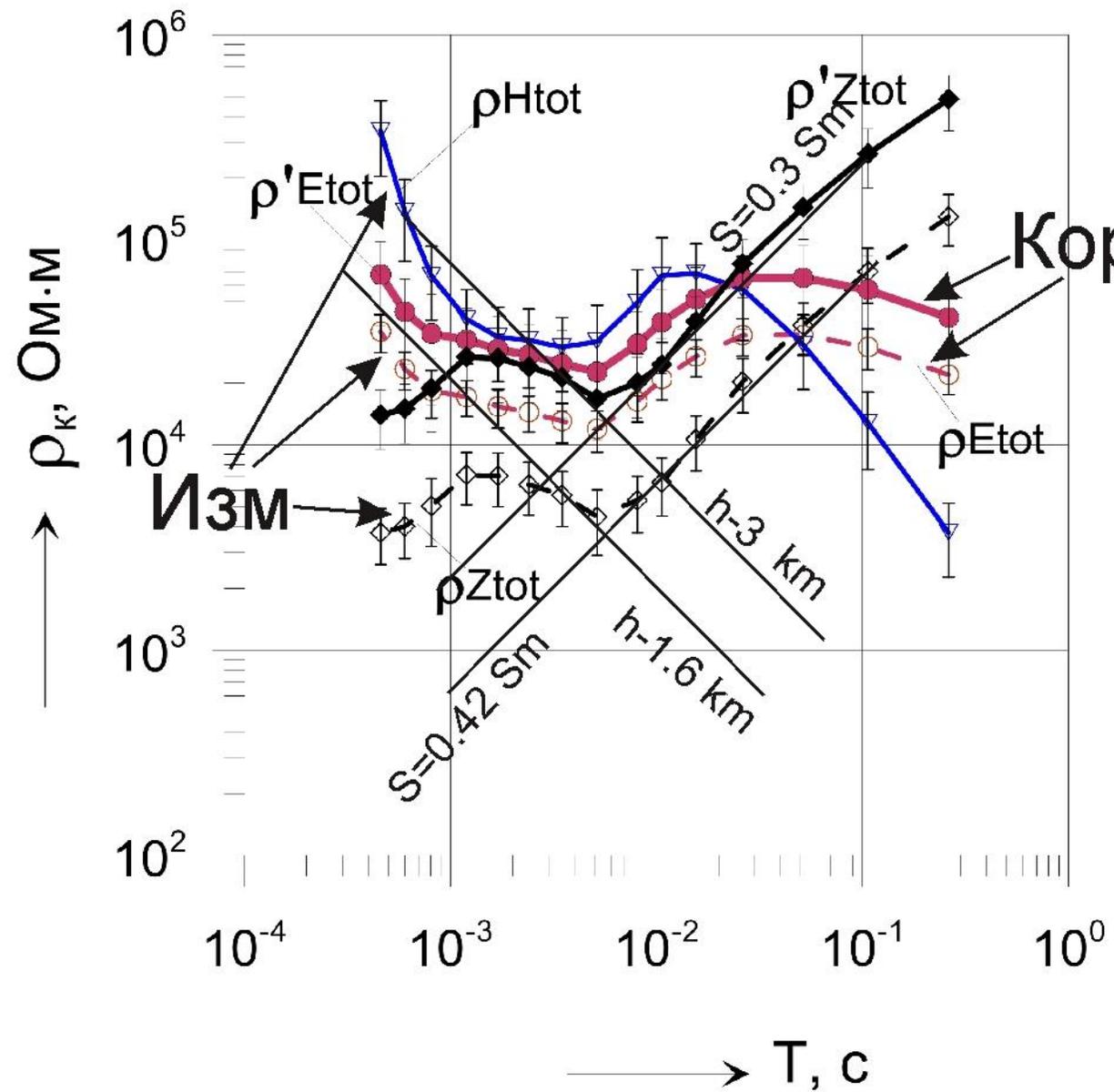




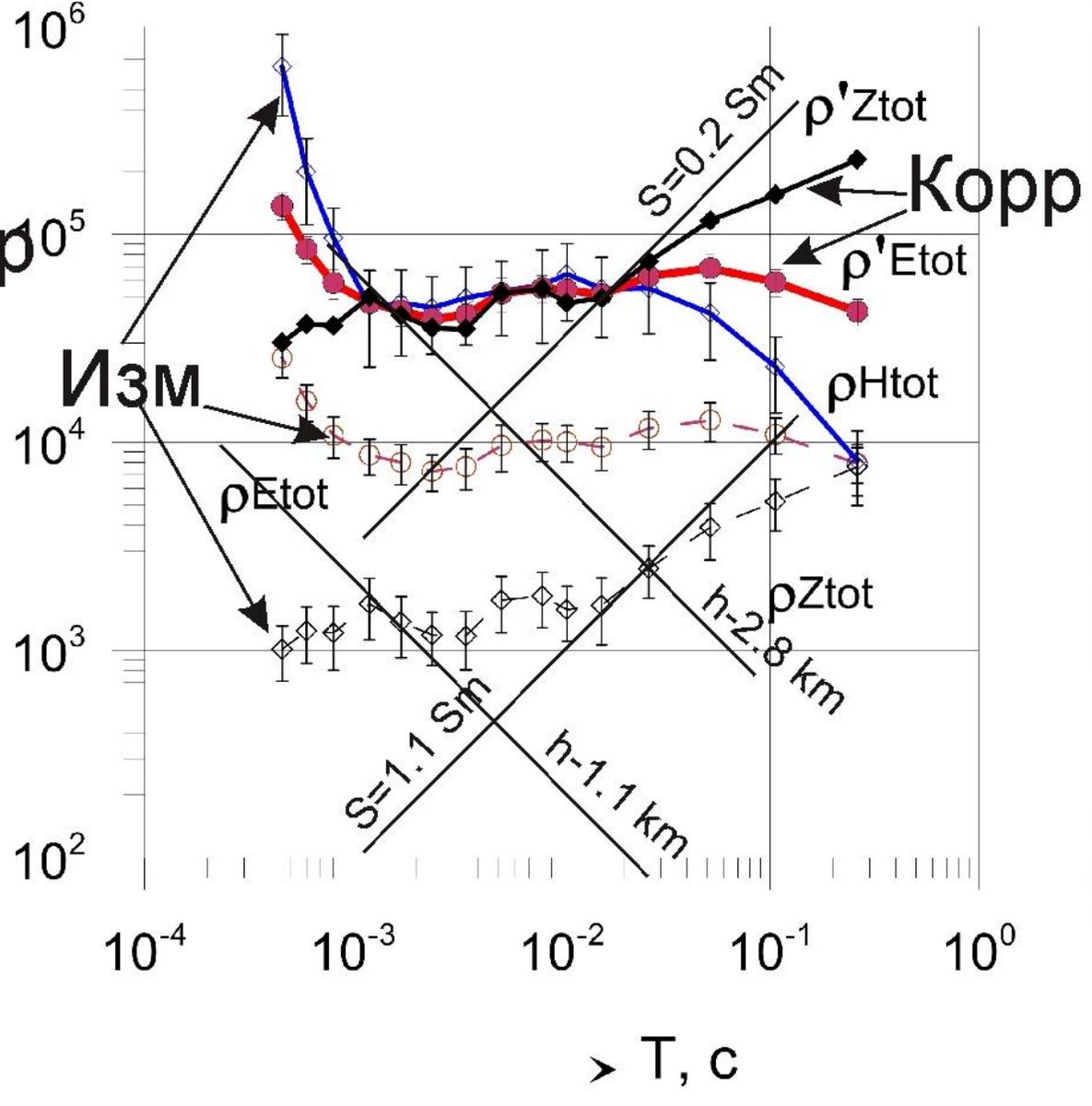


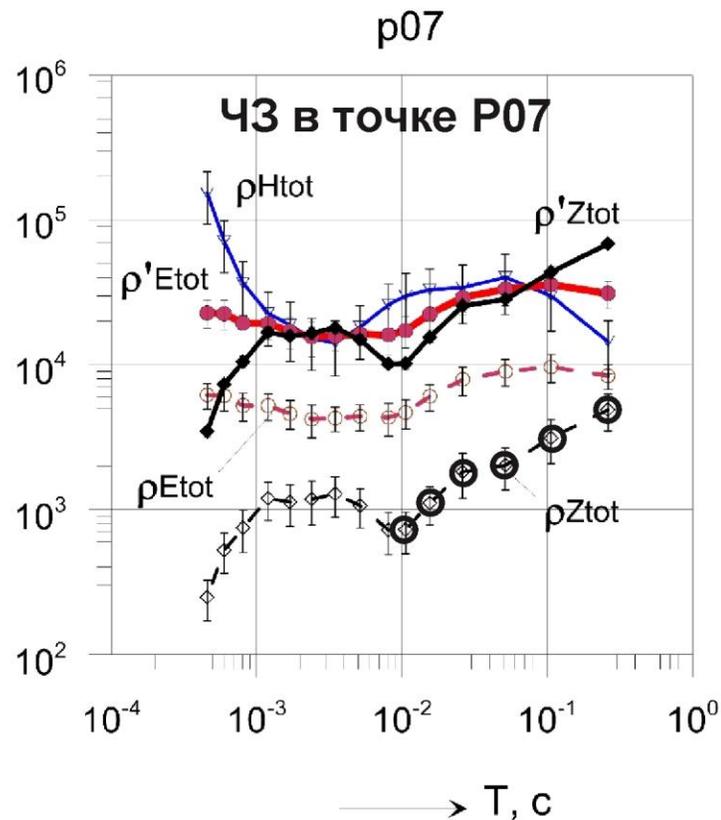
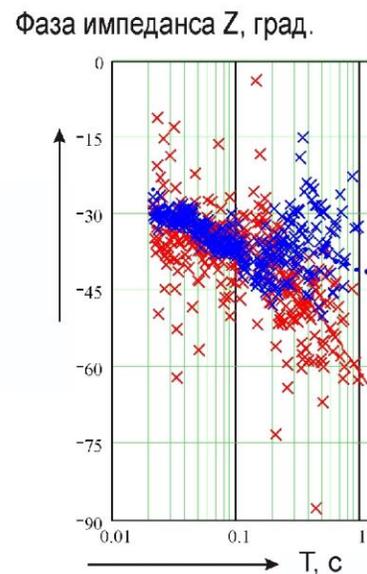
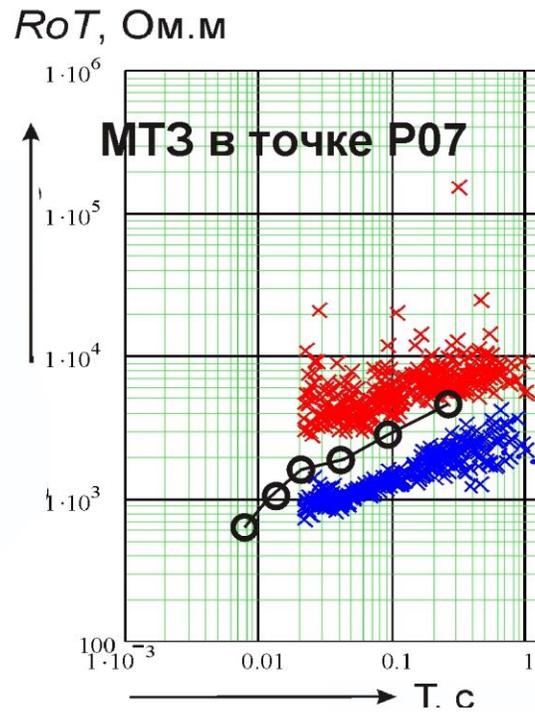


p08



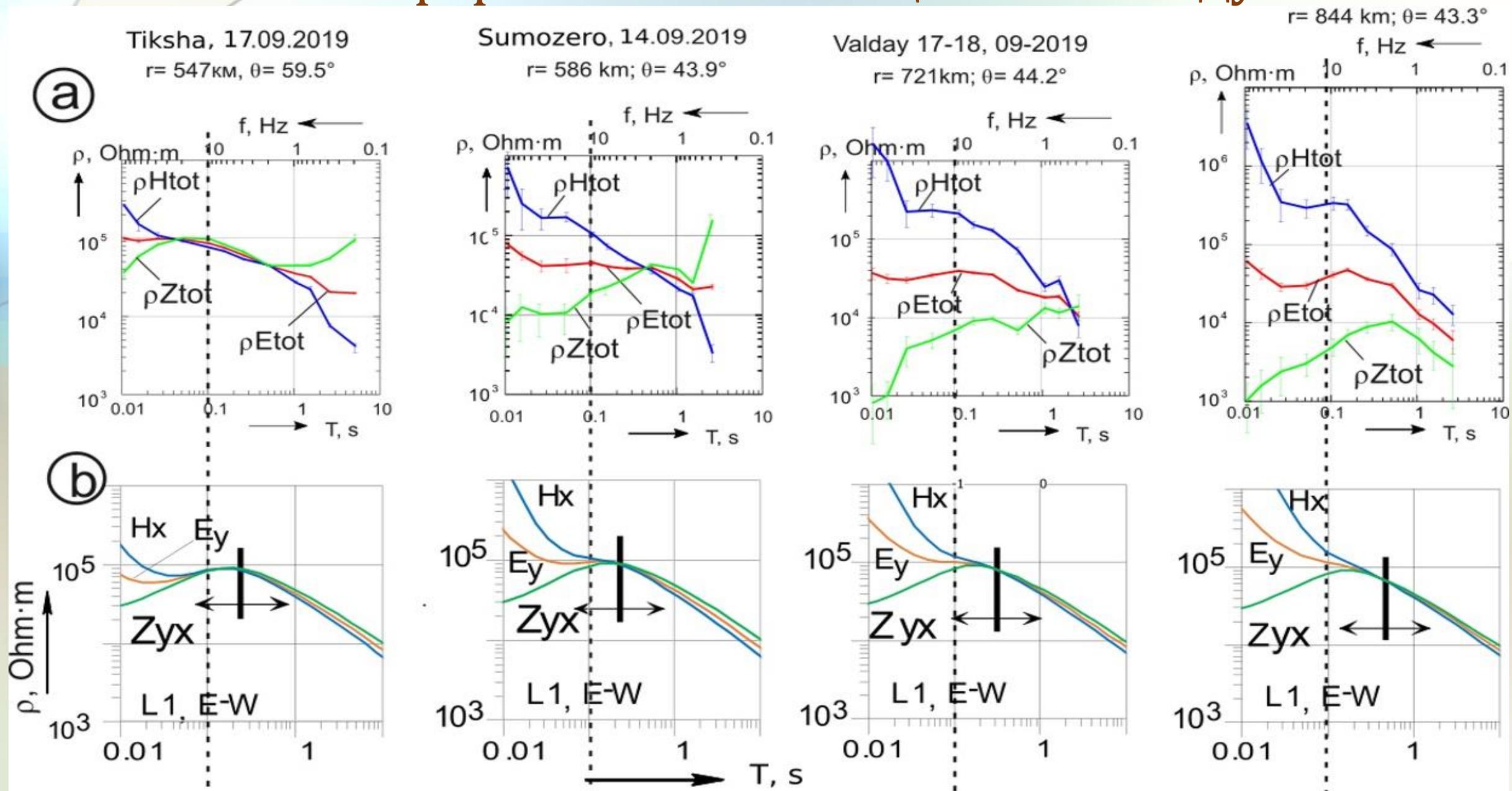
p10

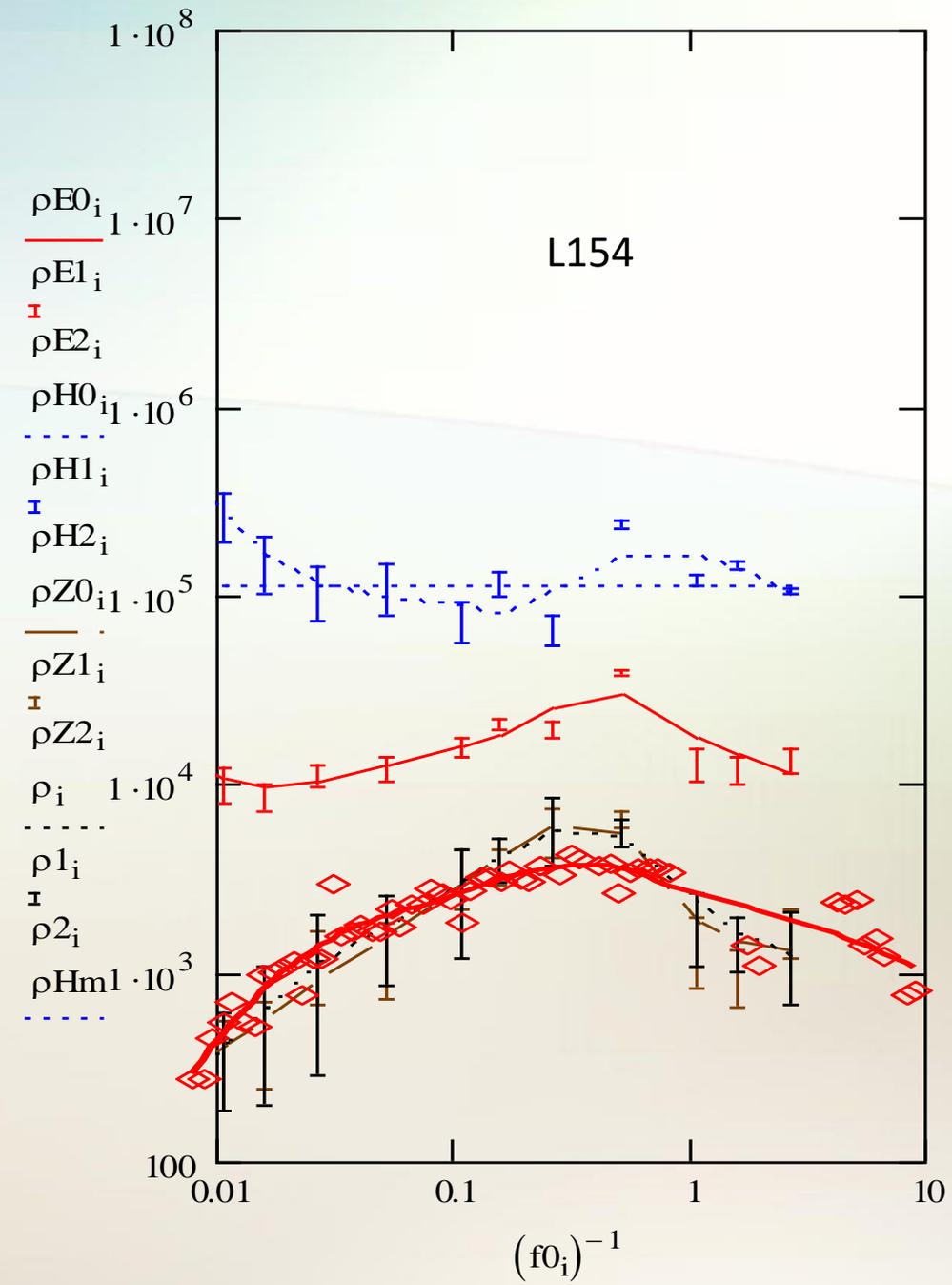
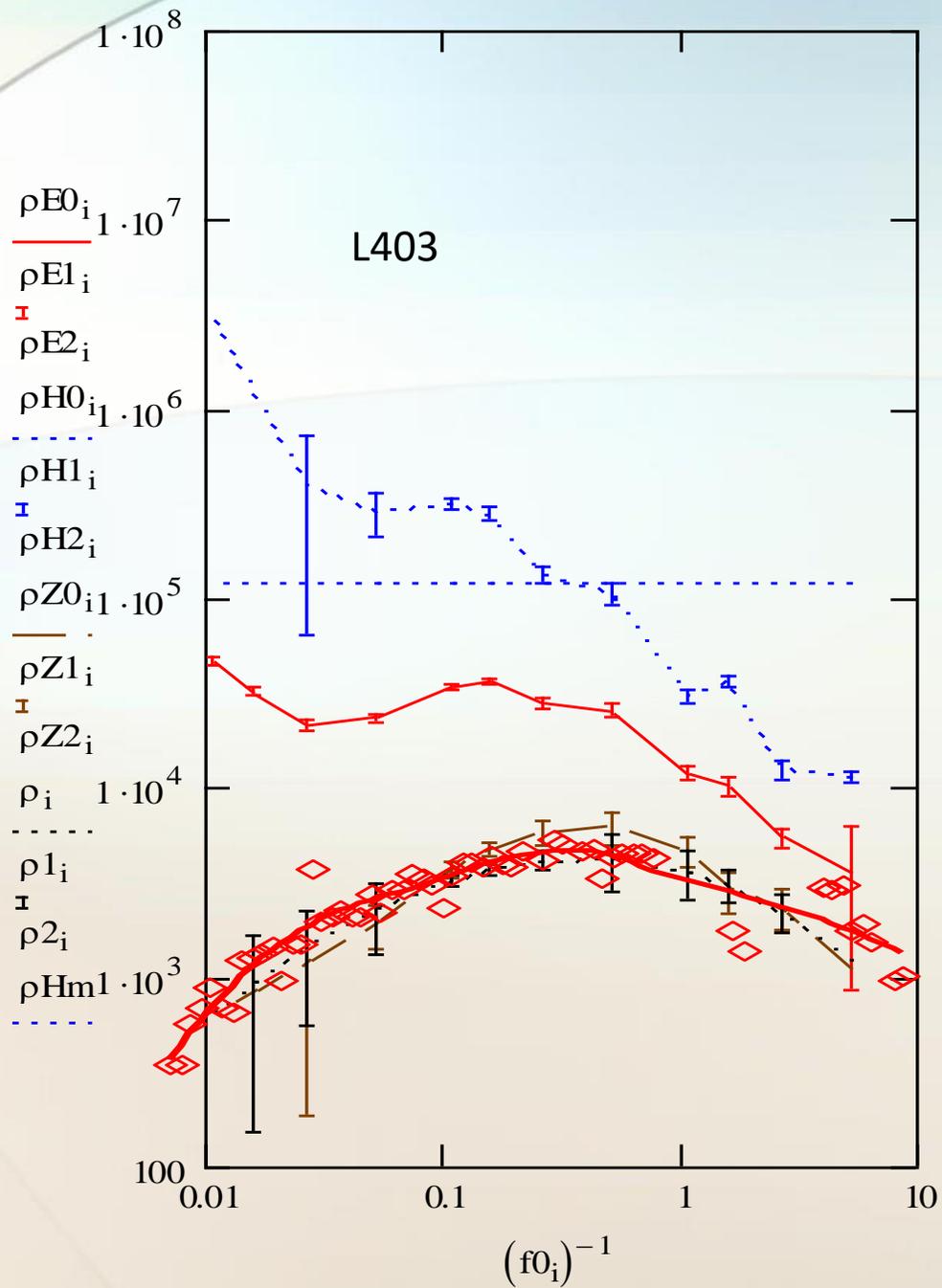




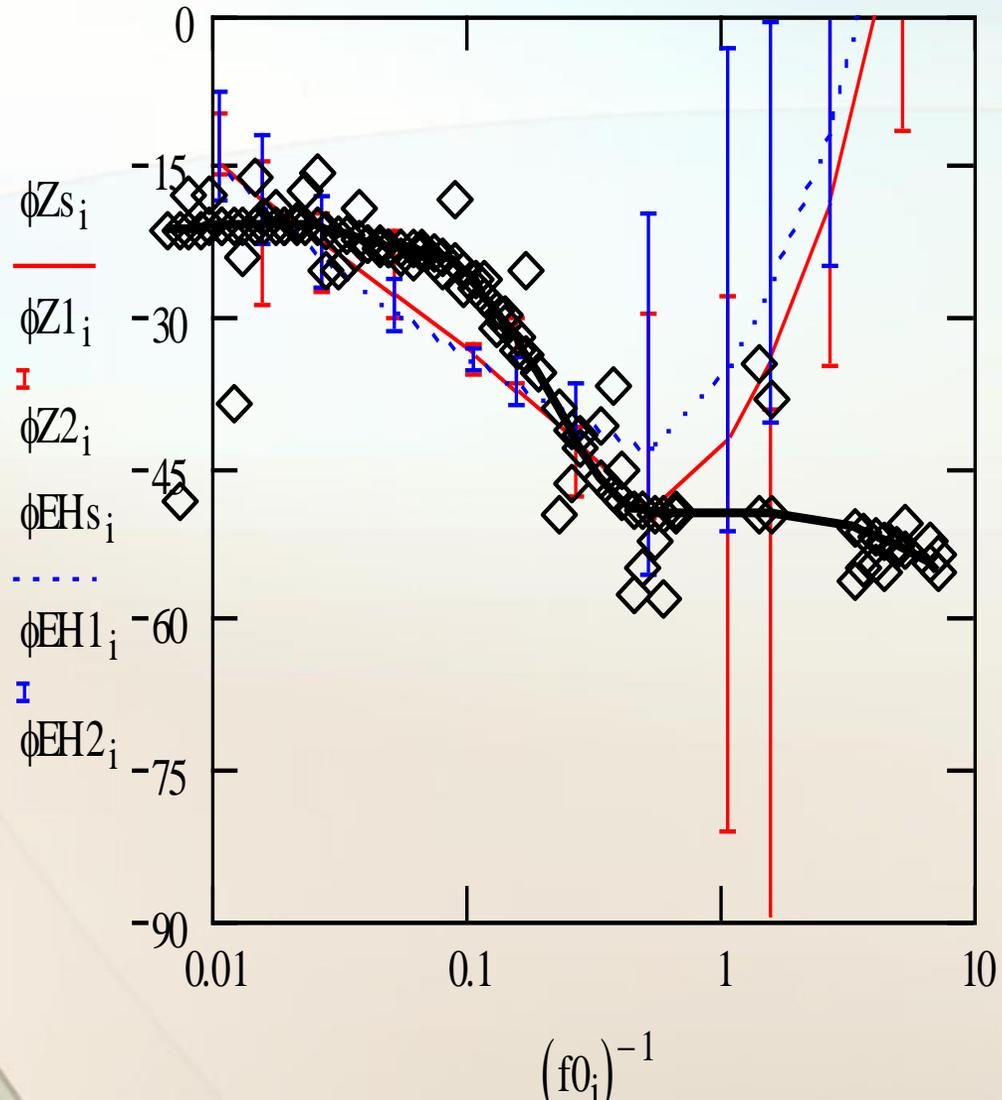
Сопоставление результатов электромагнитного зондирования в поле естественных источников (MTЗ) и в поле контролируемого источника (ЧЗ) по данным эксперимента “Ковдор-2015” в восточном секторе, в точке P07

Влияние ионосферы и токов смещения в воздухе.





L403



L154

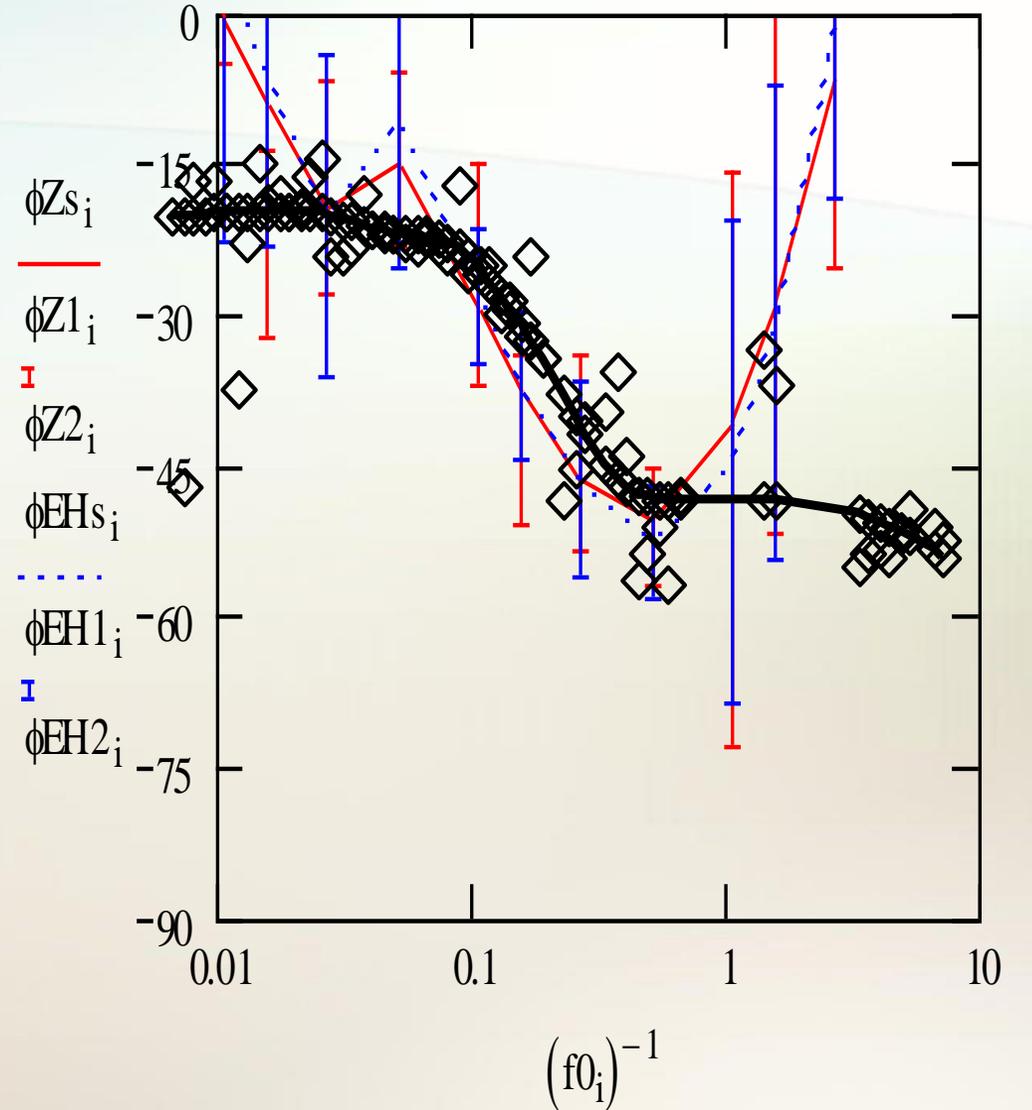
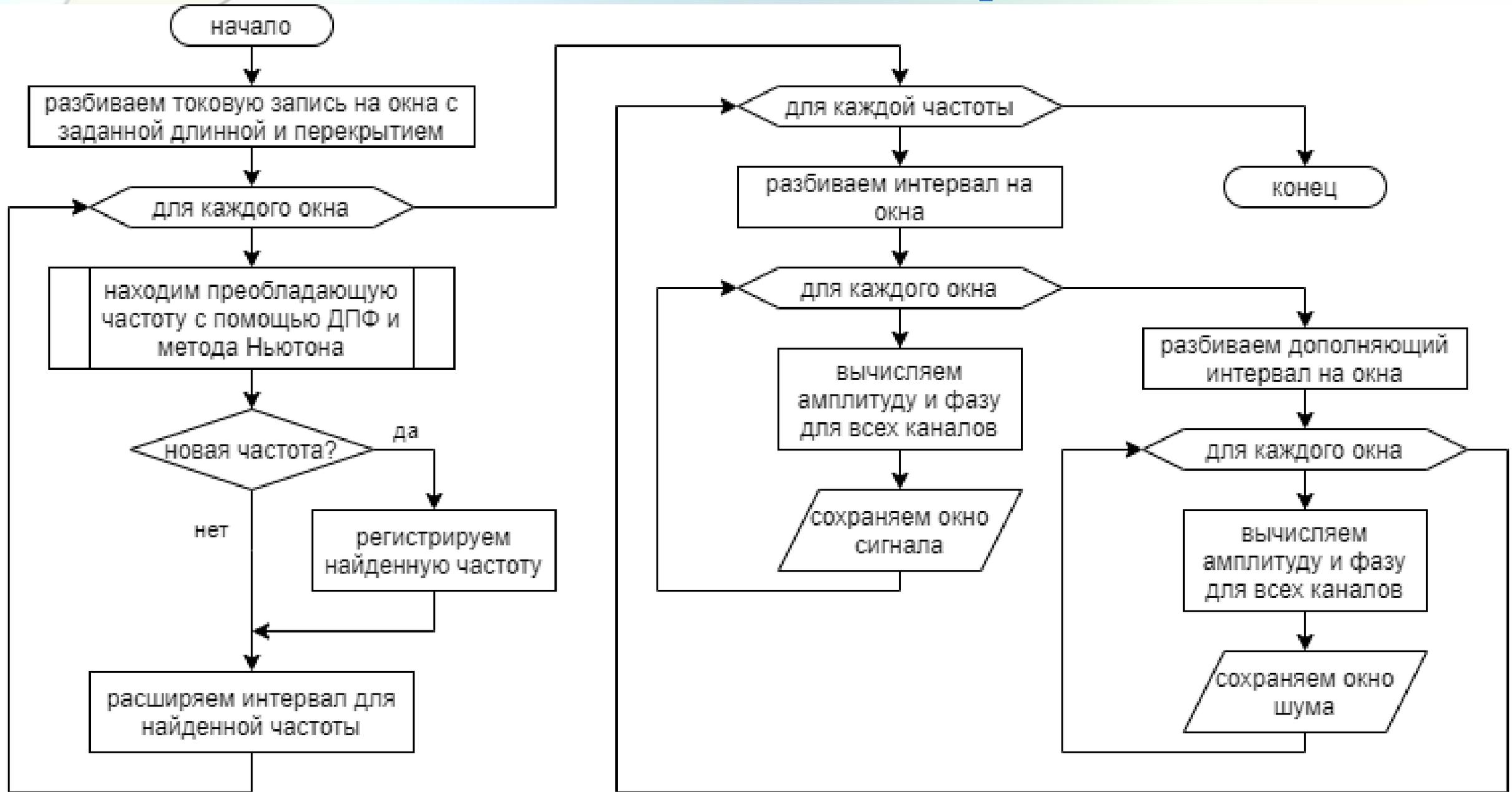


Схема оконной обработки



Определение частоты первой гармоники на записях тока

$$f_0 = \frac{1}{NT} \cdot \arg \max_k \left(\left| \sum_{n=0}^{N-1} x_n w_n e^{-\frac{2\pi i}{N} nk} \right| \right) \quad \arg \max_x f(x) = \{x \mid \forall y : f(x) \geq f(y)\}$$

$$f_{k+1} = f_k - \frac{|X(f_k)'|}{|X(f_k)|''}$$

$$X = \frac{2}{S_w} \sum_{n=0}^{N-1} x_n w_n e^{-2\pi i n f T}$$

$$w_n = a_0 - (1 - a_0) \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)$$

$$a_0 = 0.54$$

f – частота сигнала

N – количество отсчетов в окне

T – период дискретизации

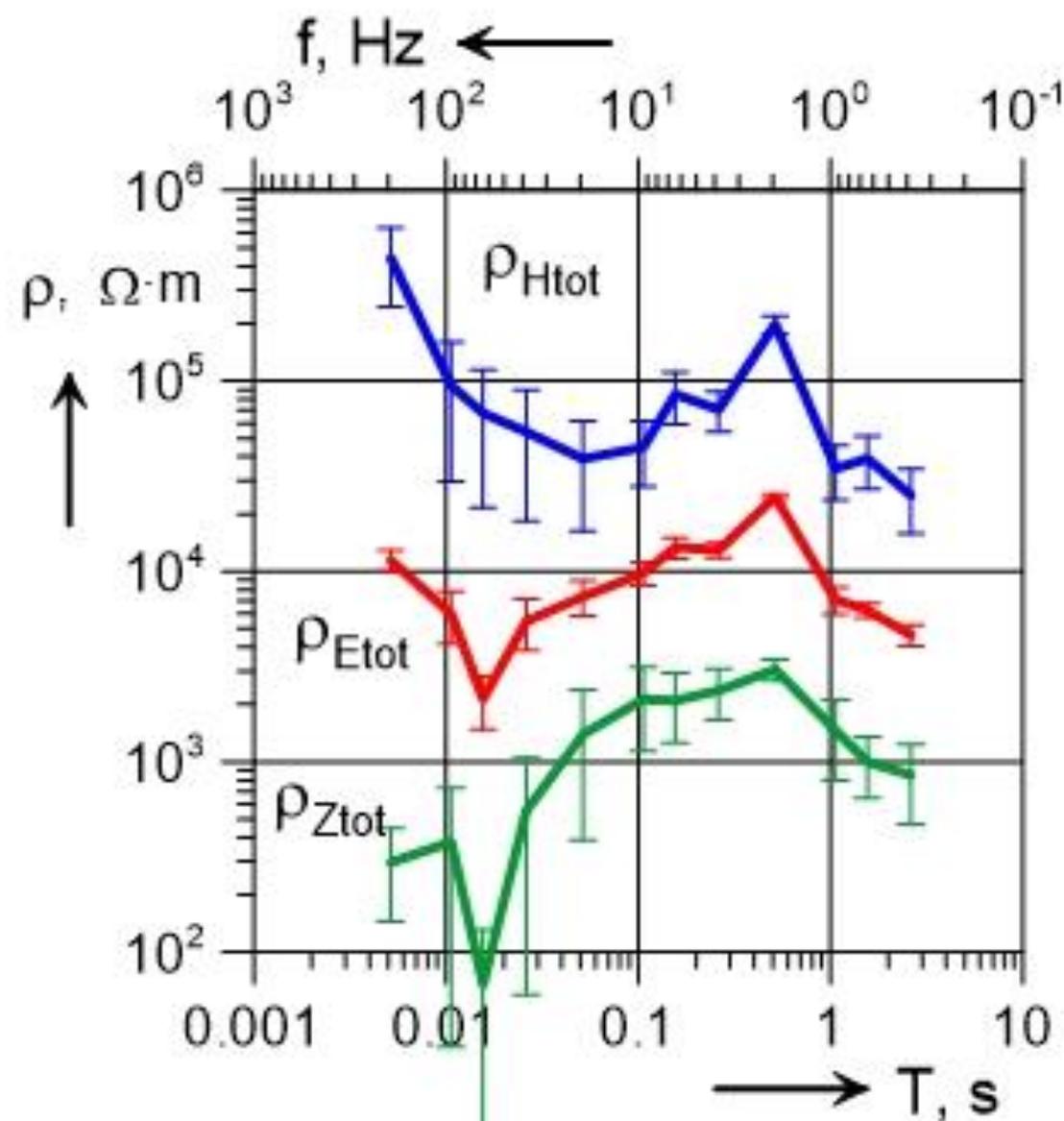
x_n – дискретные отсчеты выделенного окна сигнала

w_n – коэффициенты оконной функции

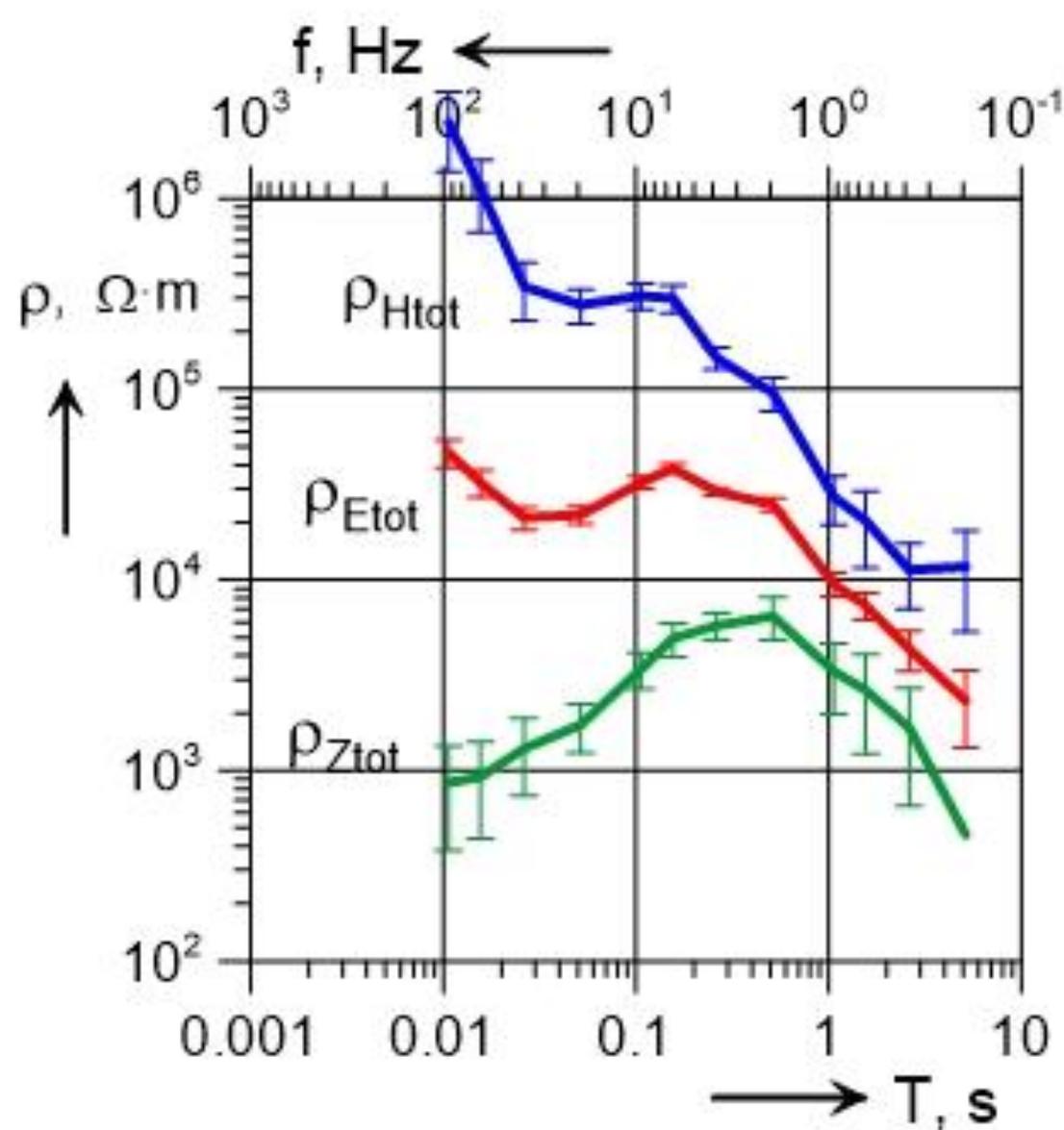
(в нашем случае окно Хэмминга)

X – значение комплексной амплитуды сигнала (спектр)

Pudozh-154 20-21, Phoenix

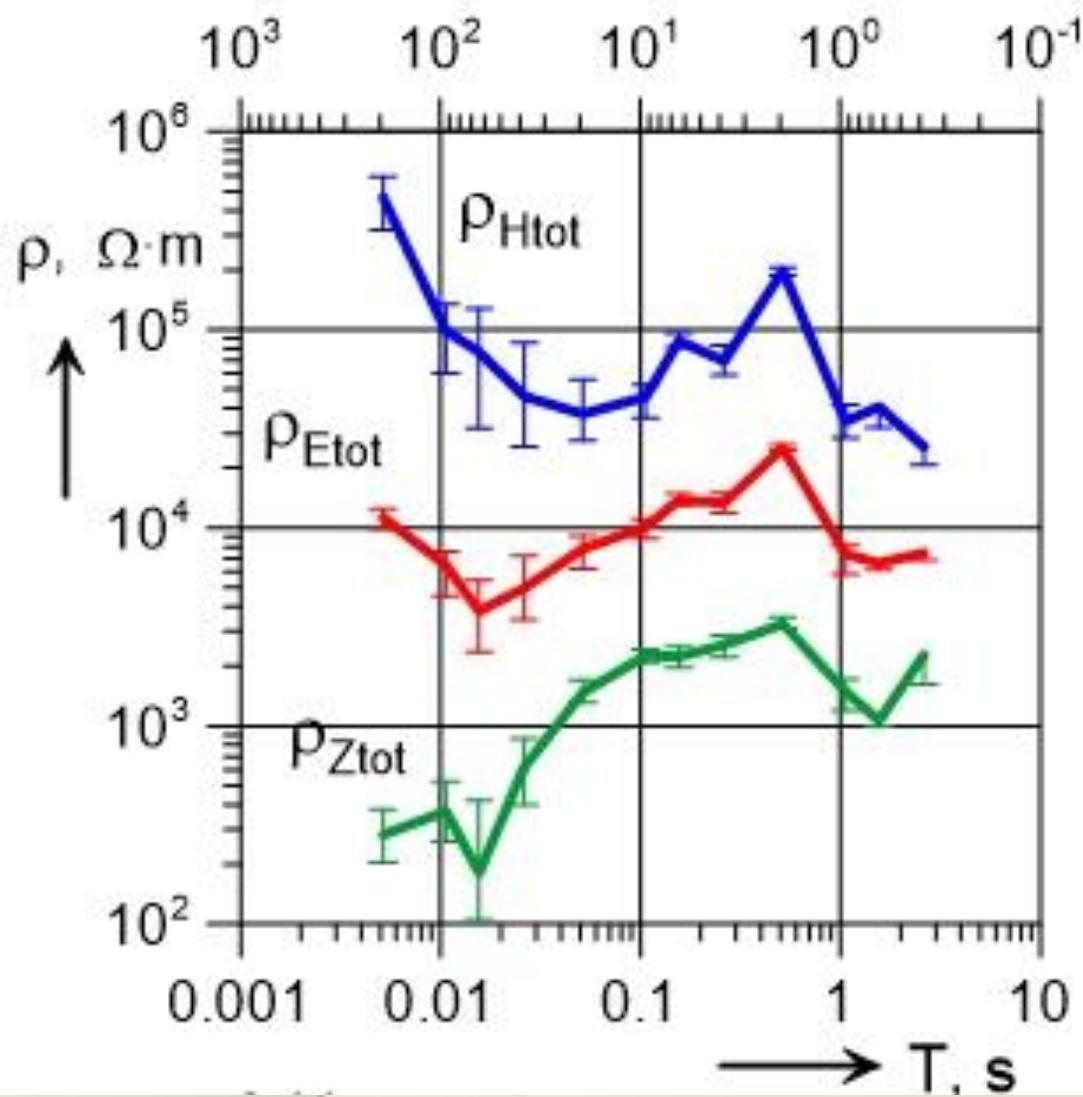


Pudozh-403 19-20, Phoenix

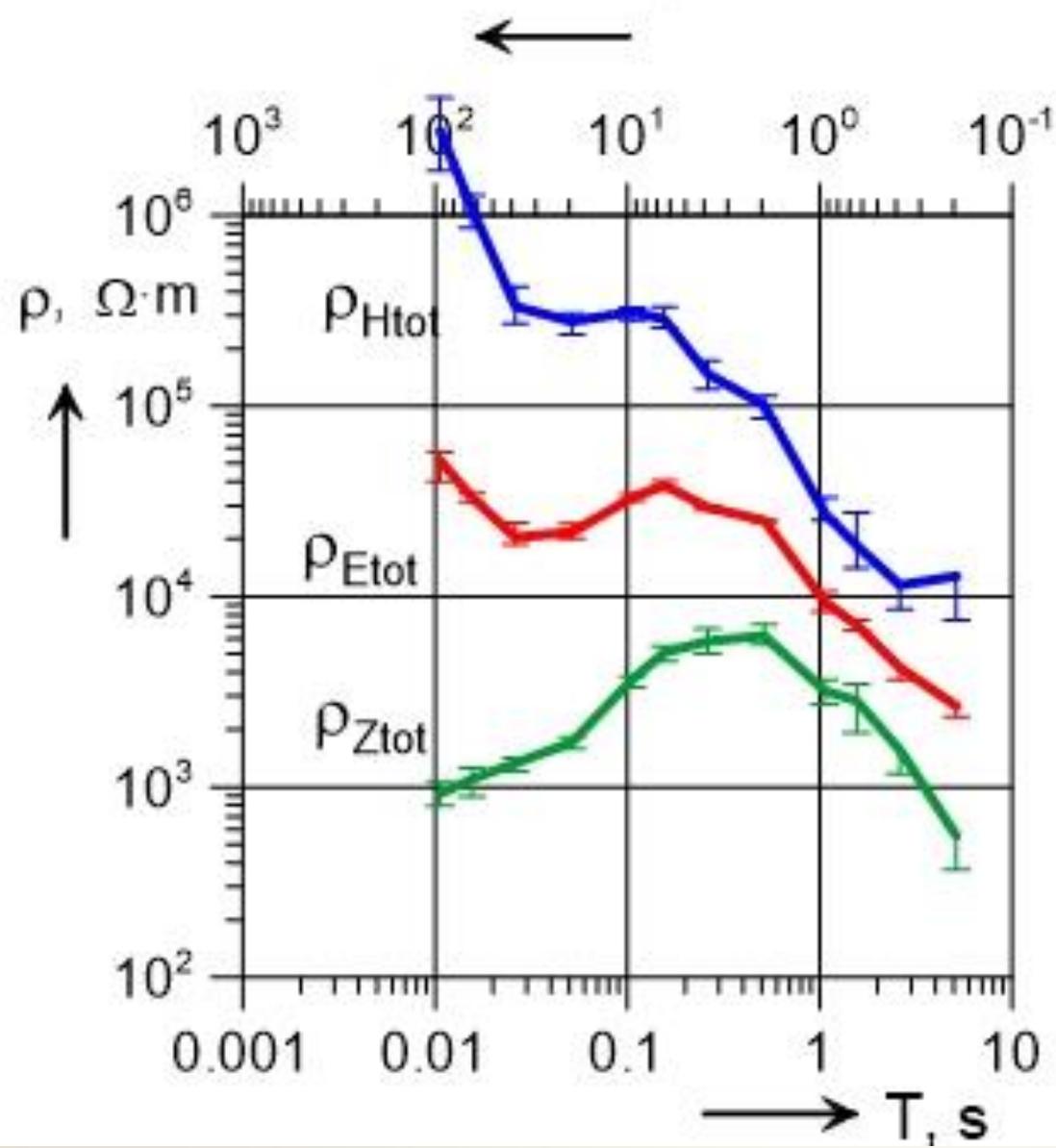


Pudozh-154 20-21, Phoenix

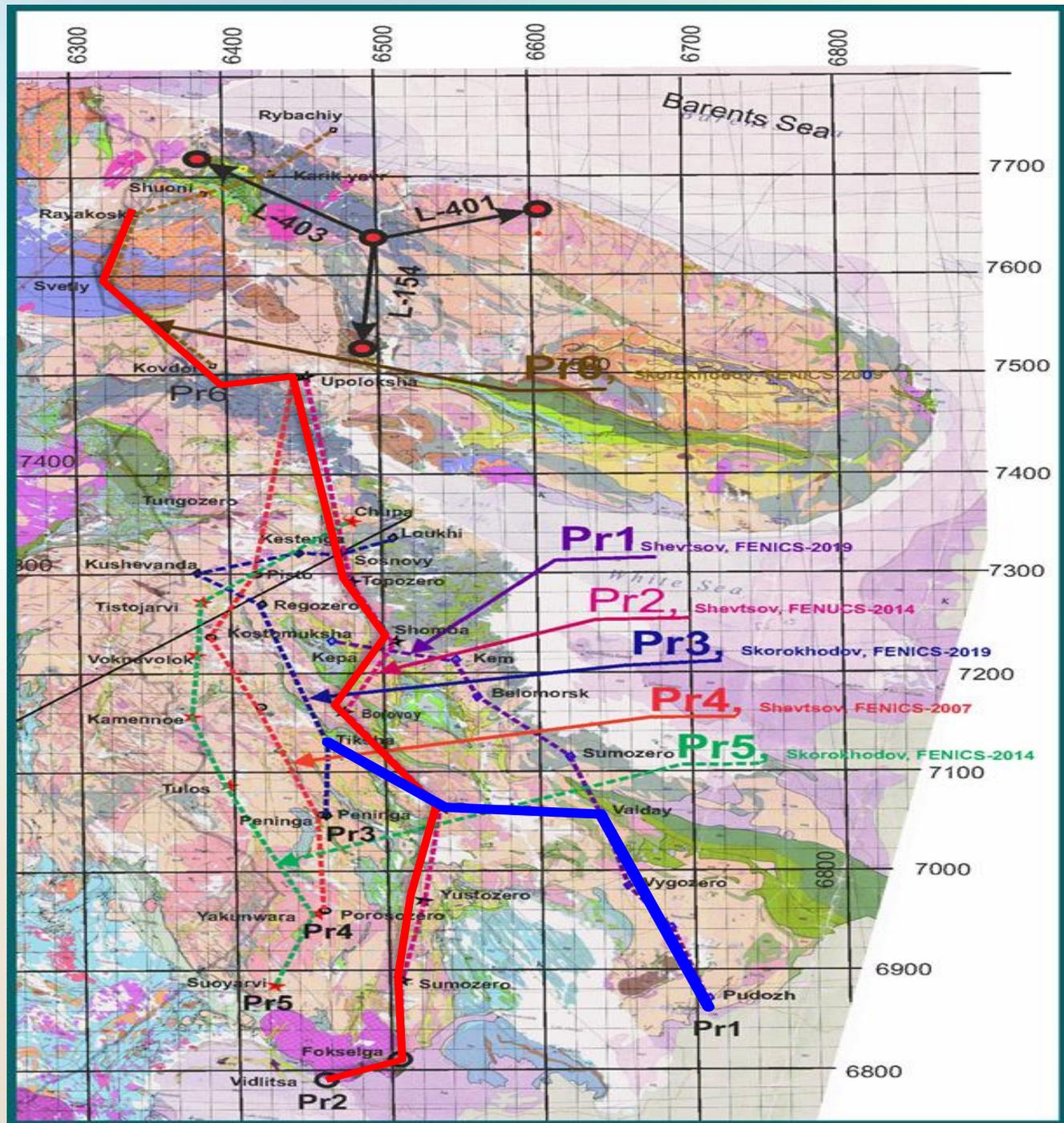
f, Hz ←



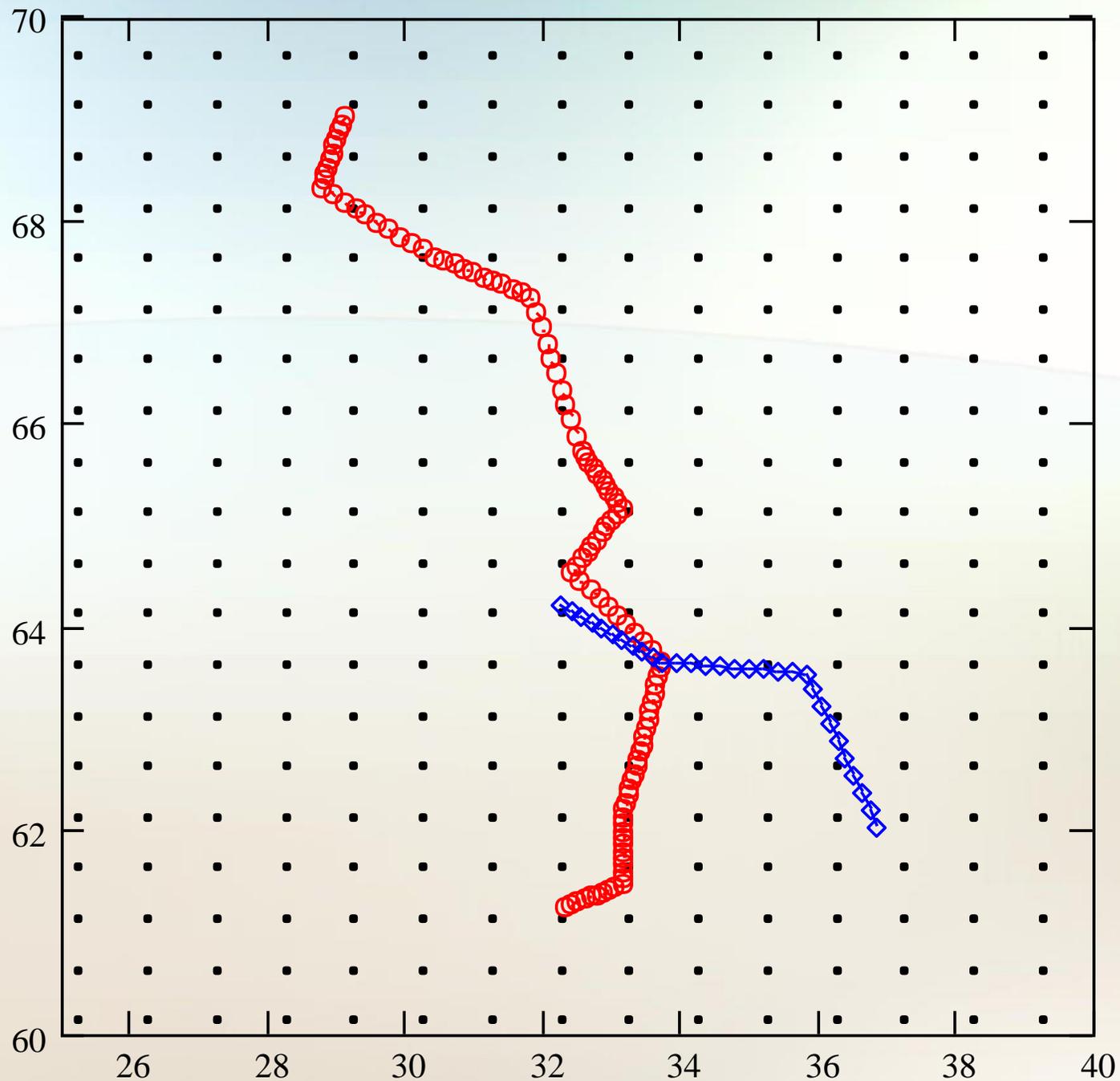
Pudozh-403 19-20, Phoenix



Положение питающих линий ВЛ - 401, ВЛ - 153/154 и ВЛ -403 и профилей измерений электромагнитного поля экспериментов FENICS 2007-2019 на территории Кольско-Карельского региона



Положение
профилей и
распределение
данных о границе
Мохоровичича из
базы данных
[Глазнев, 2003]



a

Шуони

Светлое

Ковдор

Уполокша

Топозеро

Шомба

Боровой

Сегежа

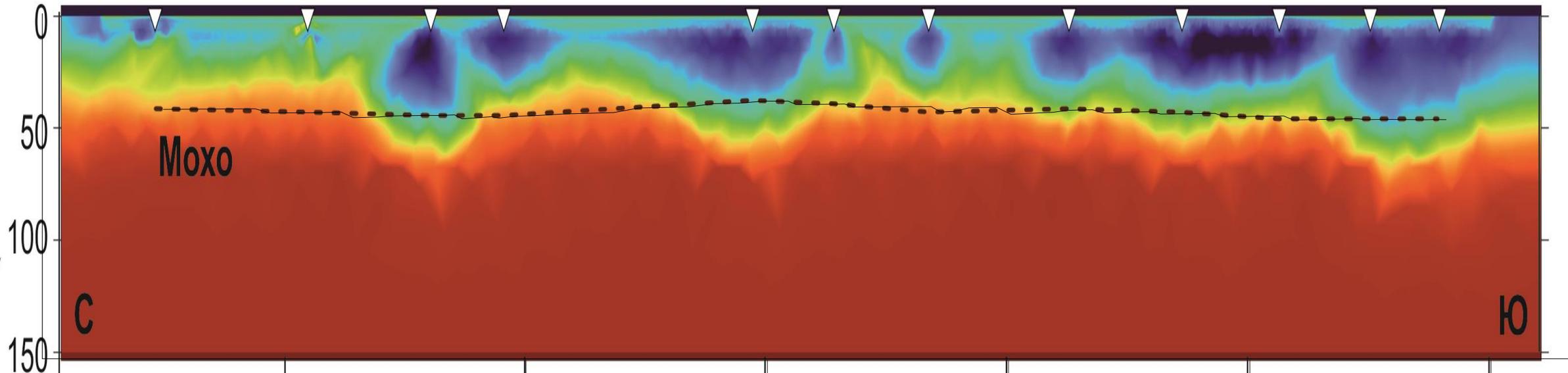
Юстозеро

Сямозеро

Фоксельга

Видлица

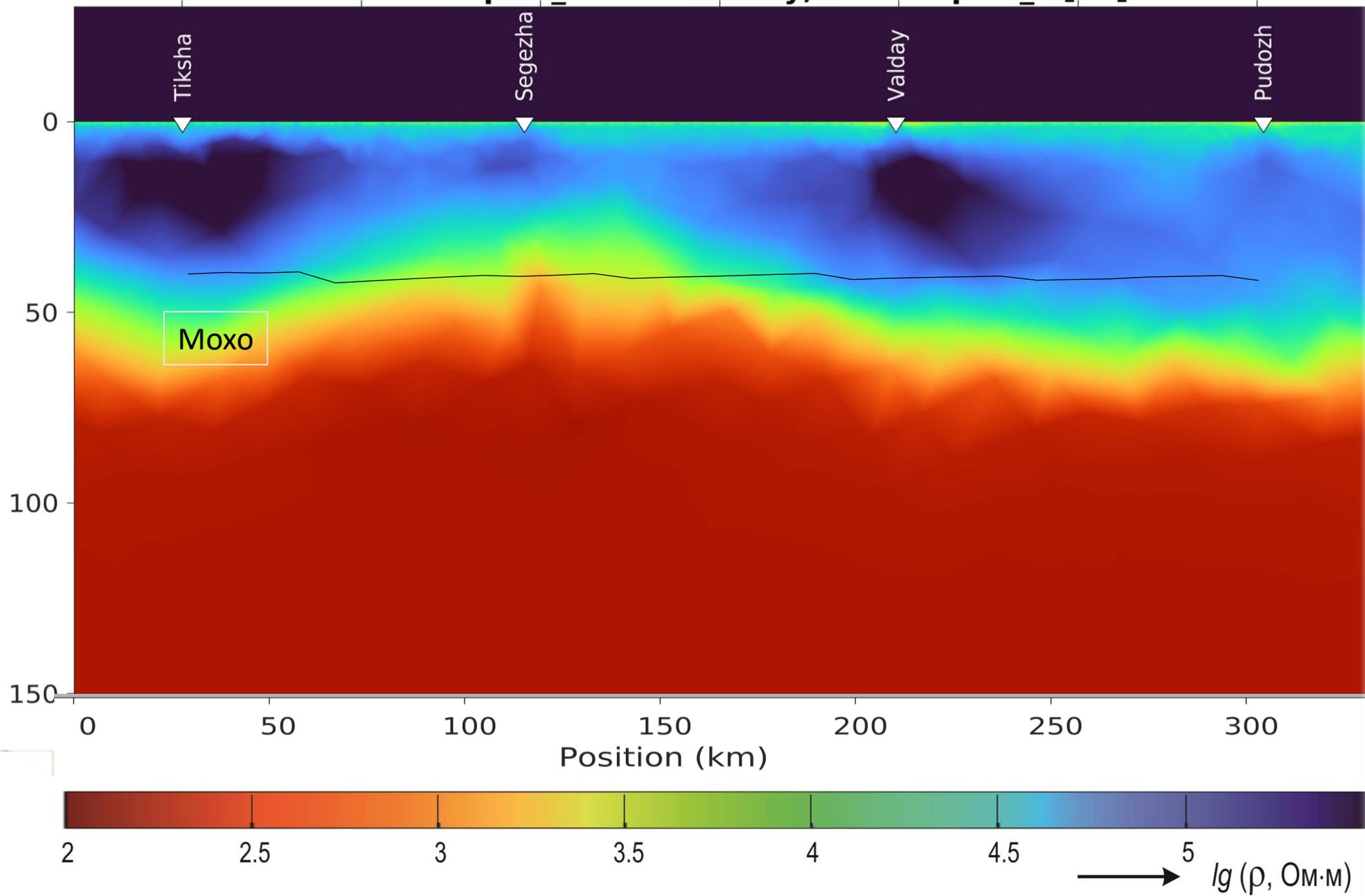
H, км



0 200 400 600 800 1000 1200 км



2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 $\lg(\rho, \text{Ом}\cdot\text{м})$



Работа выполнена в рамках госзаказа при поддержке
Министерства науки и высшего образования для ГИ КНЦ РАН
(№№ 0226-2019-0052, FMEZ-2022-0025)

Спасибо за внимание!

1. Ваньян Л. Л. Электромагнитные зондирования. М.: Научный мир, 1997. 218 с.
2. Вешев А. В. Электромагнитное профилирование на постоянном и переменном токе. Л.: Недра, 1980. 391 с.
3. Жамалетдинов А.А., Шевцов А.Н., Велихов Е.П., Скороходов А.А., Колесников В.Е., Короткова Т.Г., Рязанцев П.А., Ефимов Б.В., Колобов В.В., Баранник М.Б., Прокопчук П.И., Селиванов В.Н., Копытенко Ю.А., Копытенко Е.А., Исмагилов В.С. Исследование взаимодействия электромагнитных волн КНЧ-СНЧ диапазона (0.1-200 Гц) с земной корой и ионосферой в поле промышленных линий электропередачи (эксперимент “FENICS”) // Геофизические процессы и биосфера. 2015. Т. 14, № 2. С.5-49.
4. Солодовников А. И., Спиваковский А. М. Основы теории и методы спектральной обработки информации. Л.: ЛГУ, 1986. 272 с.
5. Шевцов А.Н. МЕТОД ЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА// Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Санкт-Петербург, 2001, 99 с.
6. Шевцов А.Н., Жамалетдинов А.А. Температурные и реологические параметры литосферы Балтийского щита по результатам электромагнитных зондирований // Геофизические процессы и биосфера. 2021. Т. 20. № 1. С. 33-49. <https://doi.org/10.21455/GPB2021.1-4>.
7. Шевцов А.Н., Жамалетдинов А.А., Колобов В.В., Баранник М.Б. Частотное электромагнитное зондирование с промышленными ЛЭП на Карело-Кольском геотраверсе // Записки Горного института. 2017. Т. 224. С.178–188. <https://doi.org/10.18454/pmi.2017.2.178>
8. Шевцов А. Н., Жамалетдинов А. А., Колобов В. В., Баранник М. Б., Селиванов В. Н. ЭКСПЕРИМЕНТ FENICS-2014 ПО ГЛУБИННОМУ ЗОНДИРОВАНИЮ ЗЕМНОЙ КОРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВУХ ВЗАИМНО ОРТОГОНАЛЬНЫХ ЛЭП И РЕЗУЛЬТАТЫ УГЛУБЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НА ПРОФИЛЕ УПОЛОКША — СЯМОЗЕРО // Труды ФИЦ КНЦ РАН 5/2019 (10) С.29-39 <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2019.5.20-39>
9. Constable, S. C., R. L. Parker, and C. G. Constable, Occam’s inversion - A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data, *Geophysics*, 52 (03), 289–300, 1987.
10. De Groot-Hedlin, C., and S. Constable, Occam’s inversion to generate smooth two-dimensional models from magnetotelluric data, *Geophysics*, 55 (12), 1613–1624, 1990
11. De Lugao P. P., and P. Wannamaker, Calculating the two-dimensional magnetotelluric Jacobian in finite elements using reciprocity, *Geophys. J. Int.*, 127, 806-810, 1996.
12. Key, K., 2016, MARE2DEM: a 2-D inversion code for controlled-source electromagnetic and magnetotelluric data. *Geophysical Journal International*, 207(1), 571–588. <https://doi.org/10.1093/gji/ggw290>.
13. Wannamaker, P. E., J. A. Stodt, and L. Rijo, A stable finite-element solution for two-dimensional magnetotelluric modeling, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 88, 277–296, 1987.