

Программный комплекс для первичной обработки данных частотных зондирований серии экспериментов FENICS 2007-2019

Ганнибал А. Е.
ГИ КНЦ РАН
e-mail:
han_a_e@mail.ru

В период с 2007 по 2019 гг. на территории Кольско-Карельского региона были выполнены эксперименты серии «FENICS» по глубинному зондированию литосферы Фенноскандинавского щита с применением промышленных линий электропередачи. В рамках проекта РФФИ 18-05-00528 была поставлена задача углубленной обработки данных, полученных в этих экспериментах, по единому стандарту.

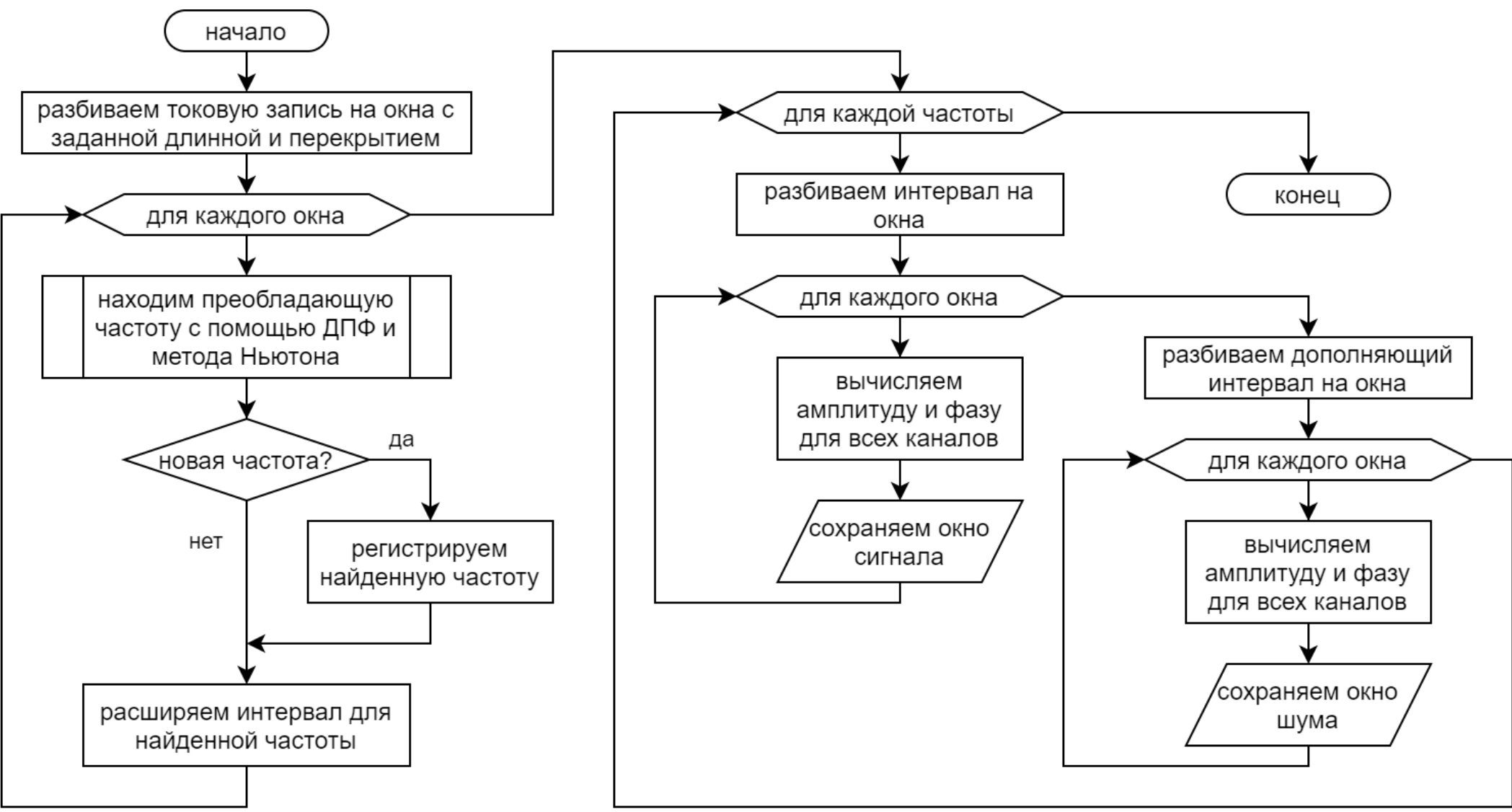
Для выполнения первичной обработки был разработан комплекс программных средств, включающий следующие этапы:

- Преобразование данных к единому формату
- Поиск сигнала на токовой записи
- Оконная обработка
- Вычисление искомых параметров

Форматы исходных данных

- Текстовый формат регистратора VMTU-10
- Бинарный формат регистратора KBBH-7
- Текстовые таблицы
- MiniSEED (Standard for the Exchange of Earthquake Data)

Схема алгоритма оконной обработки



Унифицированный формат исходных данных

```
Data:
    header_size      : int32;
    header           : void; // currently not used
    regions_count    : int32;
    region_headers   : RegionHeader[regions_count];
    regions          : RegionData[regions_count];

RegionHeader:
    region_header_size : int32;
    time_begin         : double;
    // days from 00:00 30.12.1899
    sampling_rate      : float;
    data_size          : int32;

RegionData:
    data_samples : float[data_size / sizeof(float)];
```

Определение преобладающей частоты на записях тока

$$f_0 = \frac{1}{NT} \cdot \arg \max_k \left(\sum_{n=0}^{N-1} x_n w_n e^{-\frac{2\pi i}{N} nk} \right) \quad \arg \max_x f(x) = \{x \mid \forall y: f(x) \geq f(y)\}$$
$$f_{k+1} = f_k - \frac{|X(f_k)'|}{|X(f_k)|''}$$
$$X = \frac{2}{S_w} \sum_{n=0}^{N-1} x_n w_n e^{-2\pi i n f T}$$
$$w_n = a_0 - (1 - a_0) \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)$$
$$a_0 = 0.54$$

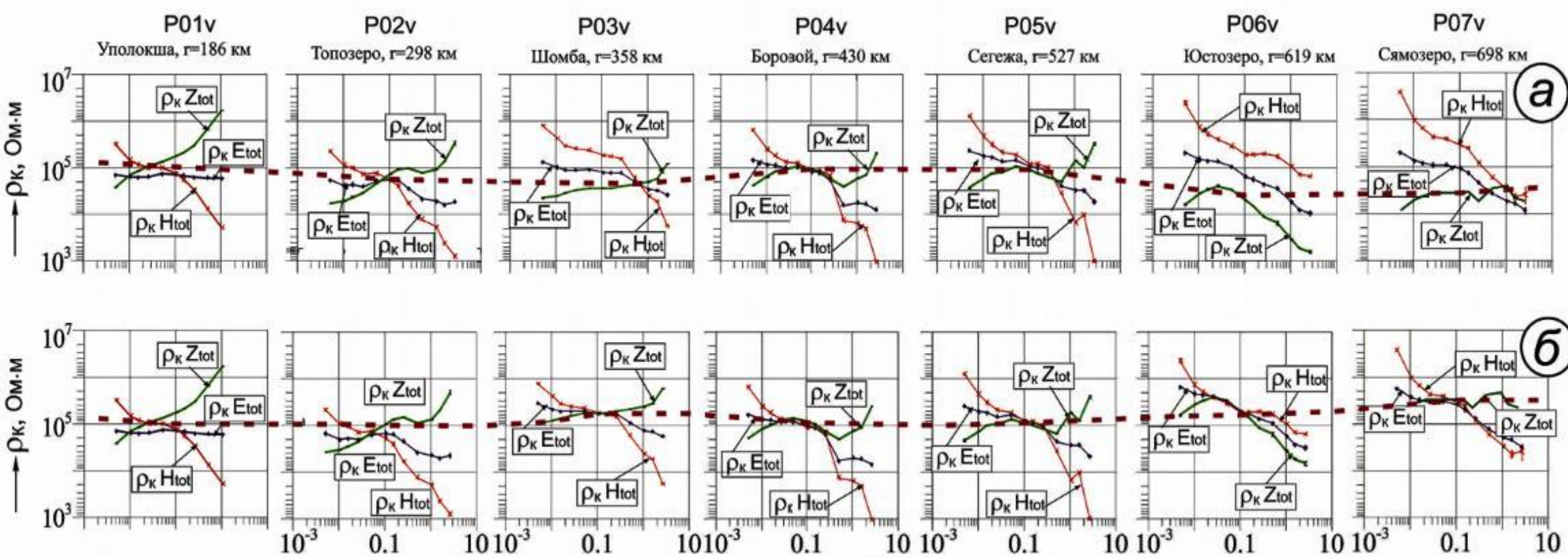
f – частота сигнала
 N – количество отсчетов в окне
 T – период дискретизации
 x_n – дискретные отсчеты выделенного окна сигнала
 w_n – коэффициенты оконной функции (Хэмминга)
 X – значение комплексной амплитуды сигнала (спектр)

Расчет кажущегося сопротивления

$$\rho_{tot}^E = K_{tot}^E \cdot \frac{E_{tot}}{I \cdot L_{AB}} \quad E_{tot} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$
$$K_{tot}^E = \frac{K_x^E \cdot K_y^E}{\sqrt{(K_x^E)^2 + (K_y^E)^2}} \quad K_x^E = \frac{2\pi^3}{3\cos^2\theta - 2} \quad K_y^E = \frac{2\pi^3}{3 \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta}$$
$$\rho_{tot}^E = 2\pi f \mu_0 \cdot \left(K_{tot}^H \cdot \frac{H_{tot}}{I \cdot L_{AB}} \right)^2 \quad H_{tot} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$$
$$K_{tot}^H = \frac{K_x^H \cdot K_y^H}{\sqrt{(K_x^H)^2 + (K_y^H)^2}} \quad K_x^H = \frac{2\pi^3}{3 \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta} \quad K_y^H = \frac{2\pi^3}{3\cos^2\theta - 2}$$
$$\rho_{tot}^Z = \frac{Z_{tot}^2}{2\pi f \mu_0} \quad Z_{tot} = \frac{E_{tot}}{H_{tot}}$$

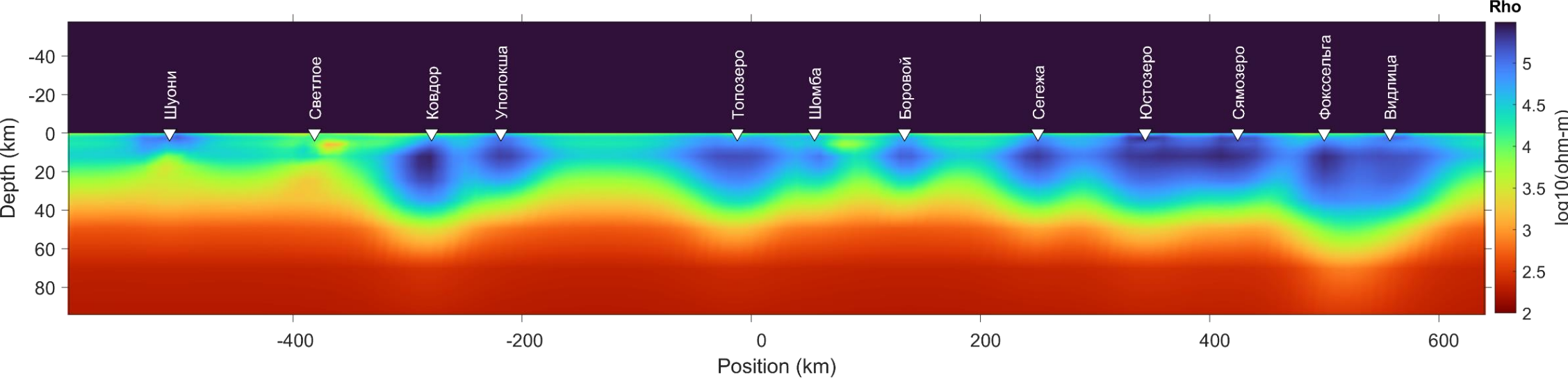
Пример обработки данных

Результаты первичной обработки данных эксперимента FENICS-2014



- a) Исходные кривые кажущегося сопротивления
b) Исправленные с учетом статического искажения

Результаты инверсии данных по профилю Шуони-Видлица с помощью программы 2.5D инверсии MARE2DEM



Итоги работы

- Унифицированный бинарный формат позволяет хранить все используемые виды исходных данных и доступен для расширения.
- Оптимизированный алгоритм Ньютона позволяет быстро и точно находить преобладающую частоту в интервале.
- Программный комплекс позволяет провести быструю обработку данных при минимальном человеческом участии, а также получить понятный графический вывод.
- Три кривых кажущегося сопротивления позволяют оценить степень влияния ионосферы и статического искажения.
- Результаты обработки были успешно использованы в ряде алгоритмов инверсии для получения моделей литосферы Фенноскандинавского щита.