

Экспериментальная оценка помехоустойчивости эволюционных алгоритмов при решении обратной задачи ВЭЗ

Рыжов Никита Валерьевич

Пермский филиал ООО «Противокарстовая и береговая защита»

Актуальность исследования

- Актуальность изучения новых методов решения обратных задач геофизики, в т.ч. и вертикального электрического зондирования, обусловлена тем, что эффективность применения различных методов может быть ограничена особенностями решаемой задачи. Такими особенностями при решении ОЗ ВЭЗ могут быть:
 - тип и уровень помех в наблюдаемых данных;
 - структура изучаемого разреза;
 - распределение петрофизических параметров в разрезе и др.
- Актуальной задачей также остается борьба с неоднозначностью решения ОЗ.

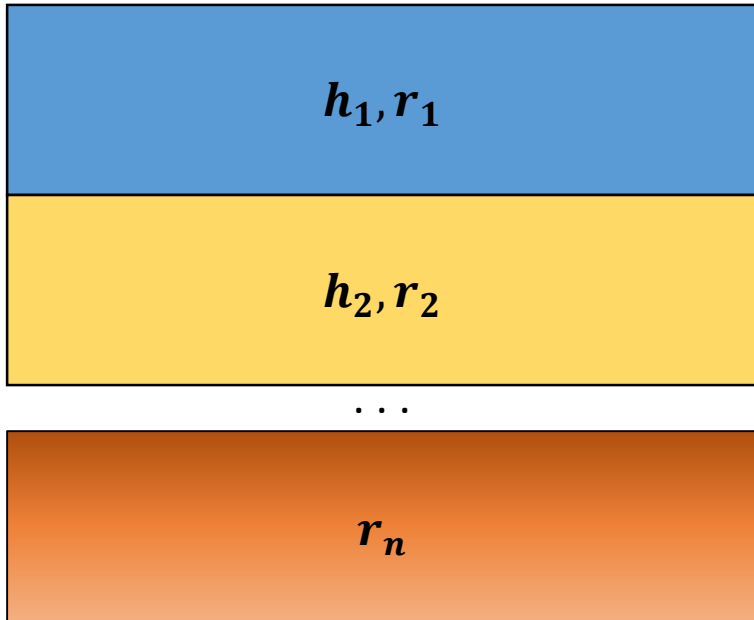
Эволюционная оптимизация



- Эволюционная оптимизация представляет собой направление в теории искусственного интеллекта, изучающее вычисления и алгоритмы, которые можно охарактеризовать как «биообусловленные», или же «природообусловленные».
- Особенностью методов эволюционной оптимизации является формирование популяции «кандидатных» решений задачи, которые определенным образом улучшаются в ходе итерационного процесса.
- Эволюционные алгоритмы являются стохастическими, поэтому каждый новый процесс решения обратной задачи дает новое уникальное решение.
- Исследуемые методы эволюционной оптимизации:
 - Метод роя частиц (МРЧ, PSO);
 - Алгоритм стаи серых волков (АССВ, GWO);
 - Алгоритм гравитационного поиска (АГП, GSA);
 - Генетический алгоритм (ГА, GA);
 - Дифференциальная эволюция (ДЭ, DE).

Параметризация модели

Параметры разреза



$$\mathbf{x}_i = \begin{bmatrix} h_1 \\ r_1 \\ h_2 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \end{bmatrix}$$

- $\mathbf{x}_i$ - единичное решение, или особь;
- h_i - мощность i -го слоя;
- r_i - удельное электрическое сопротивление i -го слоя;
- n – количество слоев.

Математические модели эволюционных алгоритмов

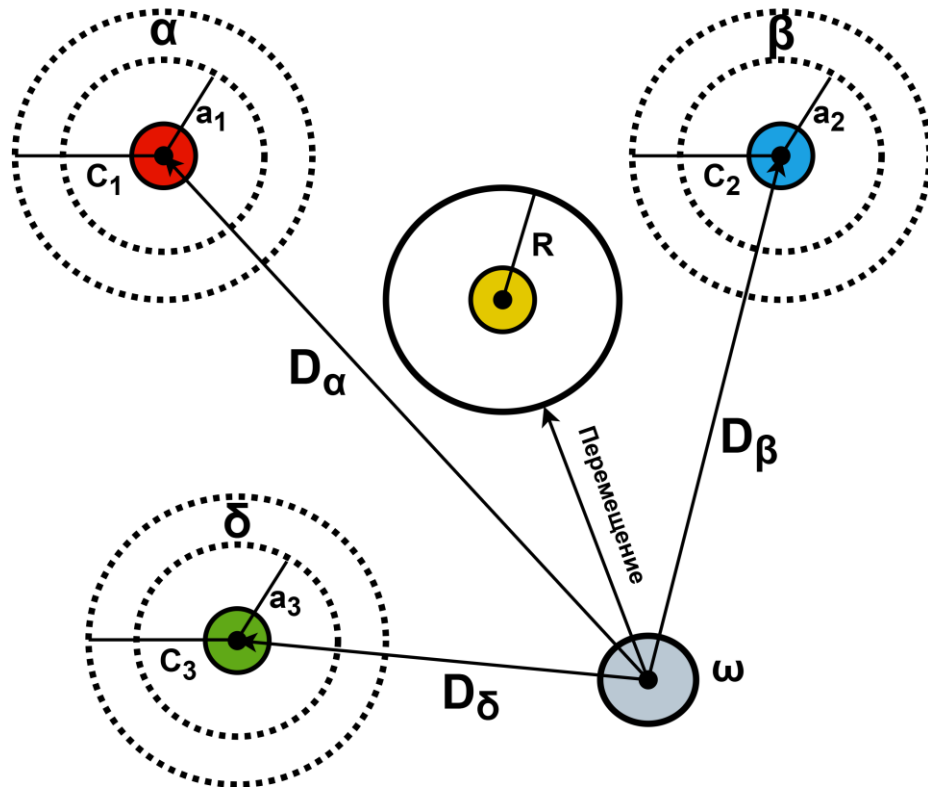


Схема перемещения особи в ACCV

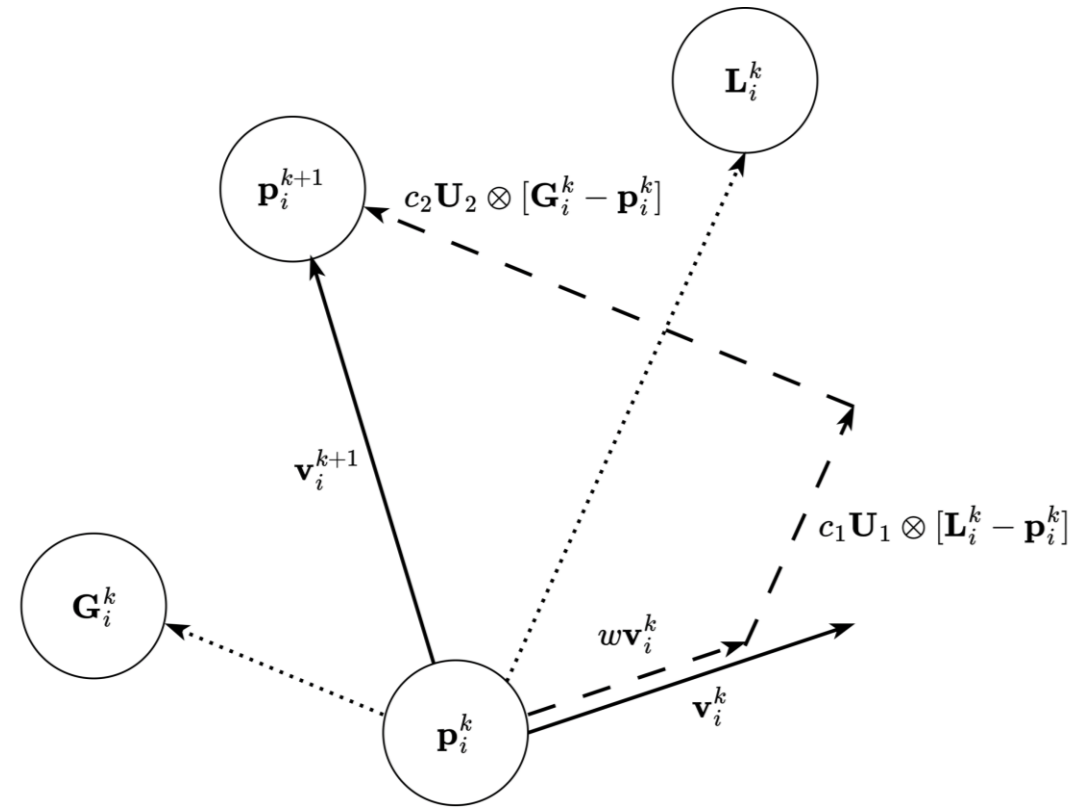
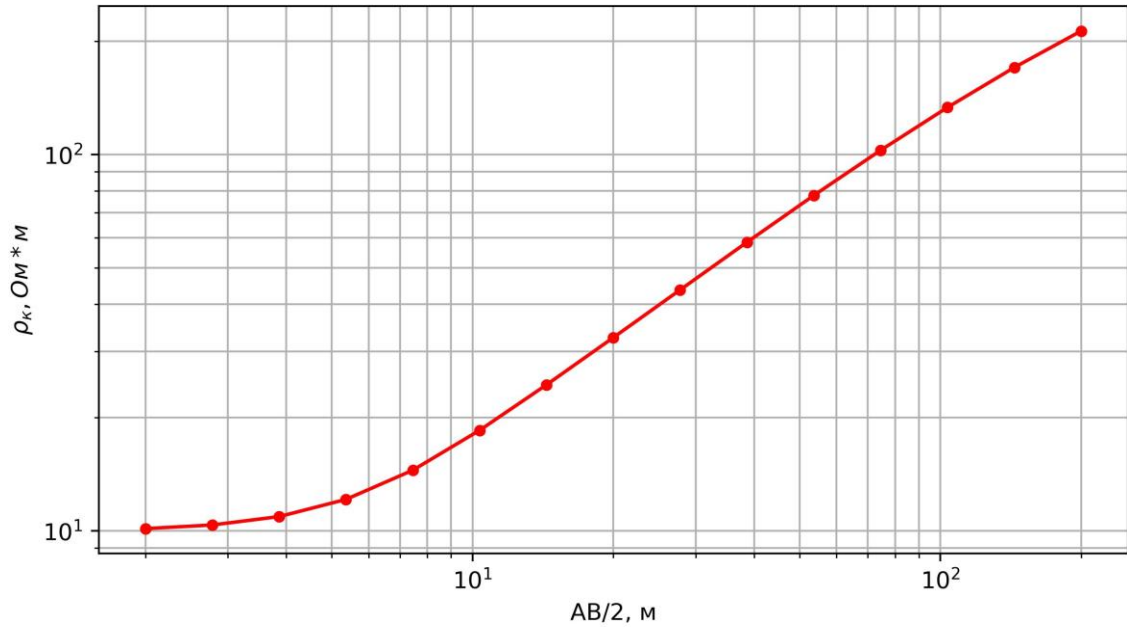


Схема перемещения особи в МРЧ

Мотивация развития эволюционных методов оптимизации

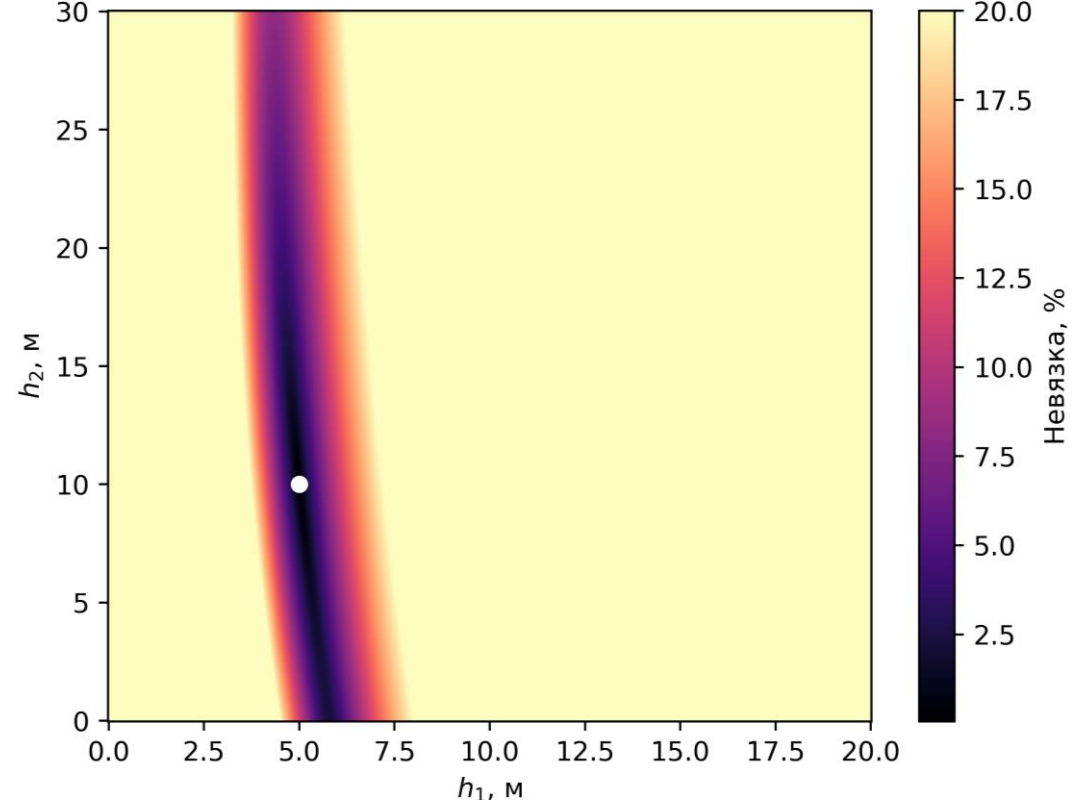
Трехслойный разрез типа А



Параметры разреза

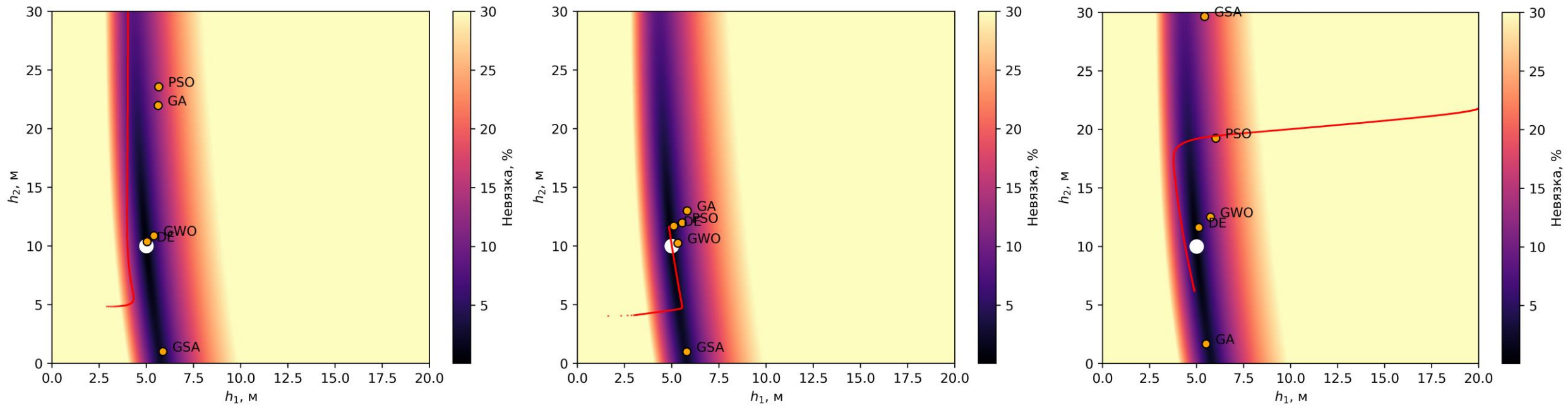
Слой	Н, м	ρ, Ом*м
1	5	10
2	10	100
3	-	500

Срез целевой функции f(x) при фиксированных значениях УЭС



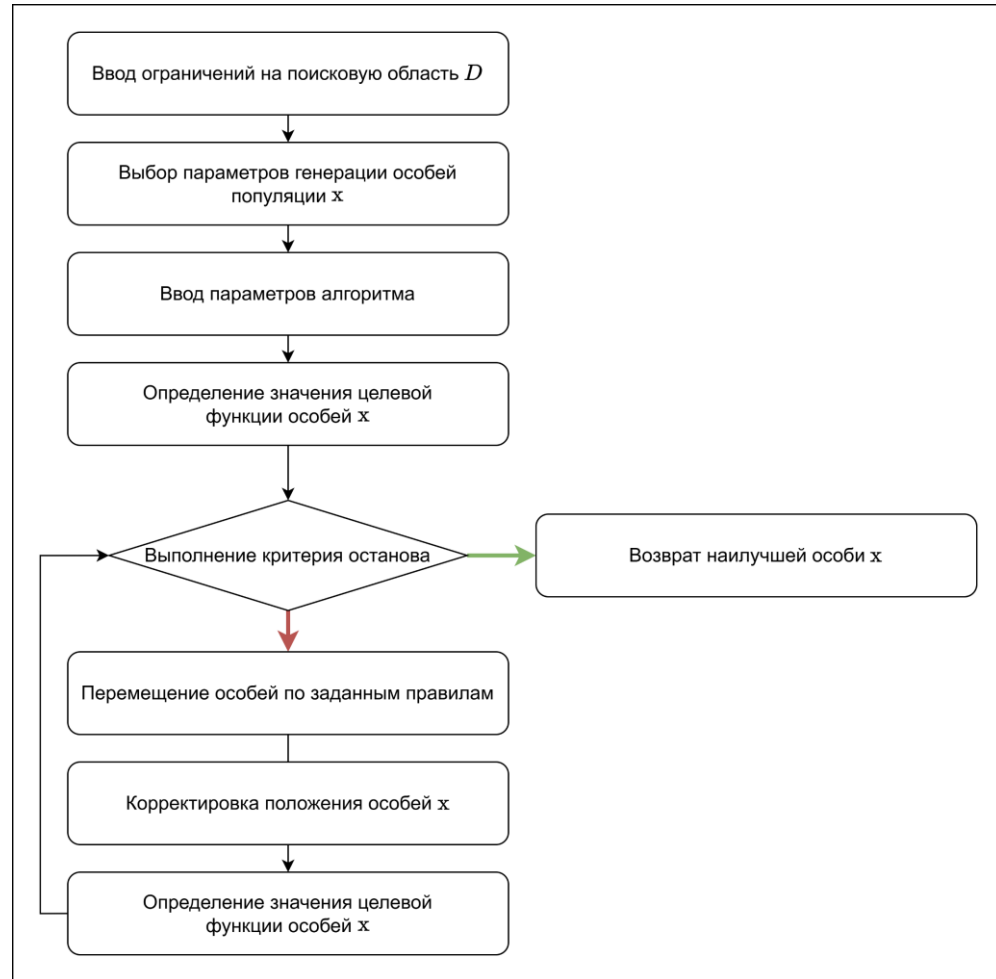
$$f(\mathbf{x}) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{\rho_{ki}(\mathbf{x})}{\rho_{ki}^{набл}} \right)^2} \cdot 100$$

Мотивация развития эволюционных методов оптимизации

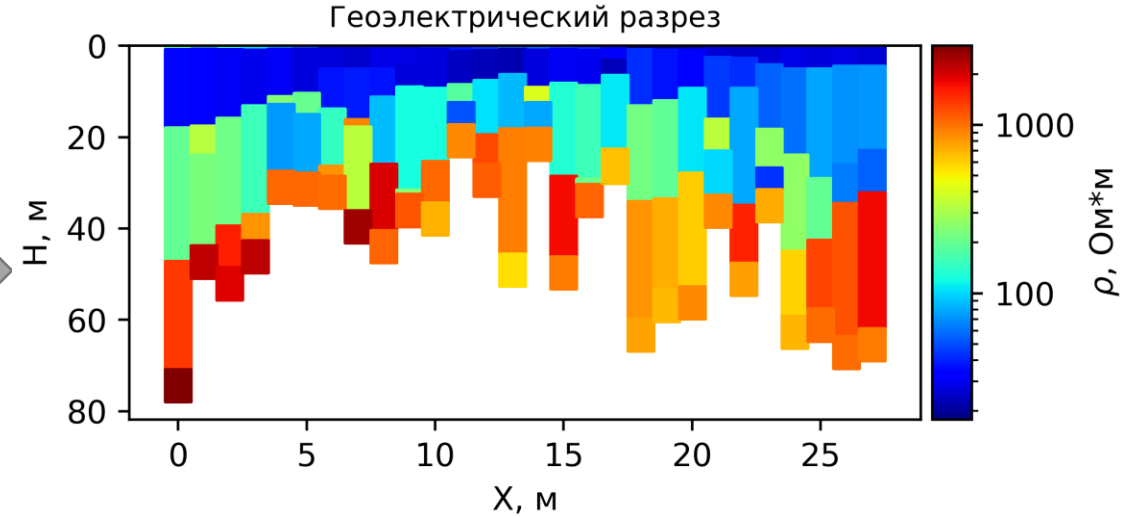


- Наиболее распространенные методы решения ОЗ основаны на вычислении градиента целевой функции $f(\mathbf{x})$, например, метод градиентного спуска:
$$\mathbf{x}^{opt} = \operatorname{argmin}_{\mathbf{x} \in D} f(\mathbf{x}),$$
$$\mathbf{x}^{j+1} = \mathbf{x}^j - \lambda \nabla f(\mathbf{x}^j).$$
- В тех случаях, когда $f(\mathbf{x})$ имеет «овражный» характер, добиться получения качественных результатов без адекватного начального приближения достаточно сложно.
- Также важен подбор параметра λ .

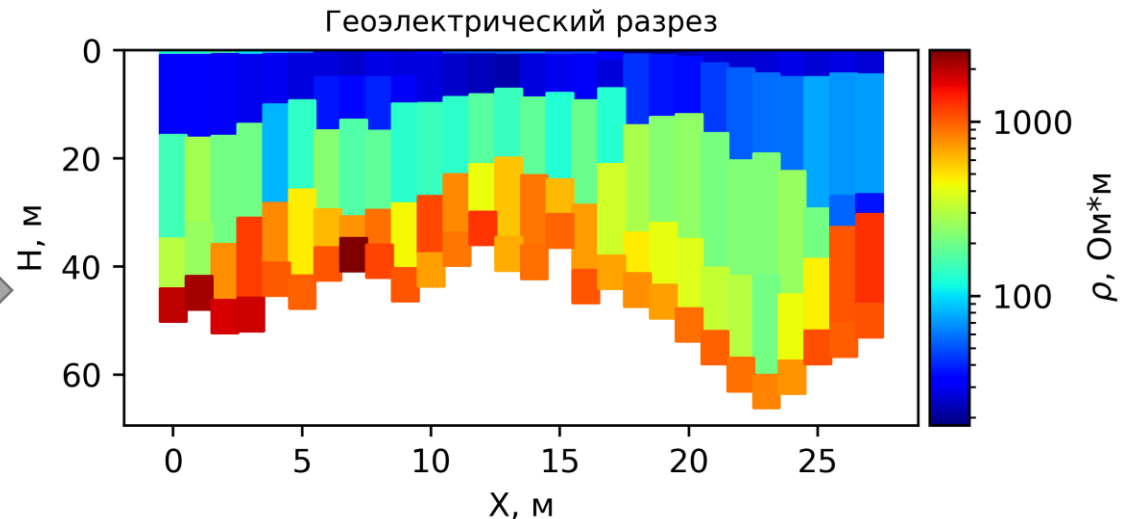
Алгоритм решения ОЗ ВЭЗ на основе эволюционной оптимизации



1 цикл решения
ОЗ для каждого
пикета профиля
ВЭЗ

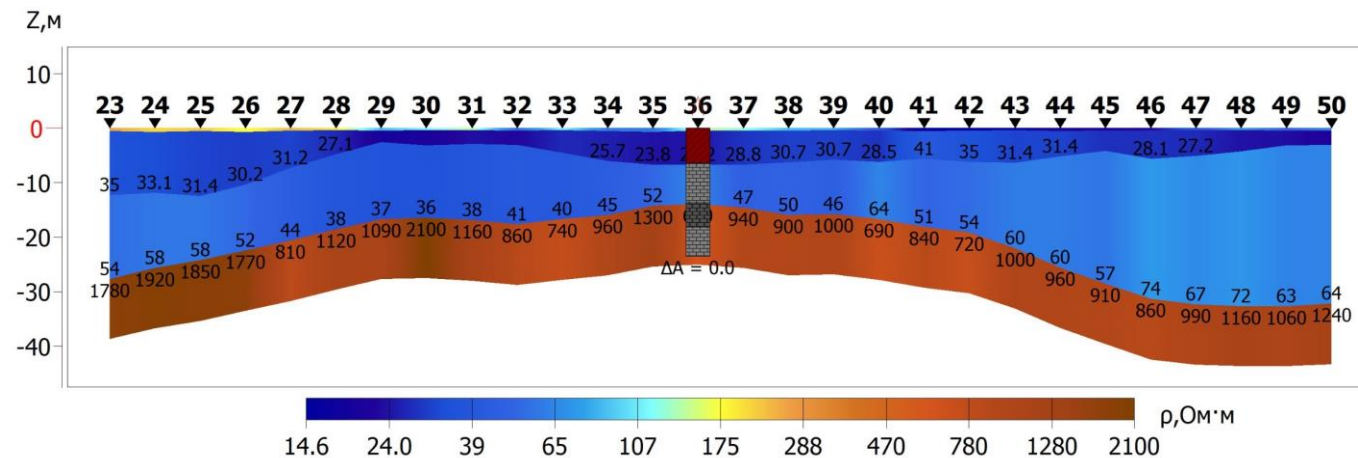


10 циклов
решения ОЗ для
каждого пикета
профиля ВЭЗ



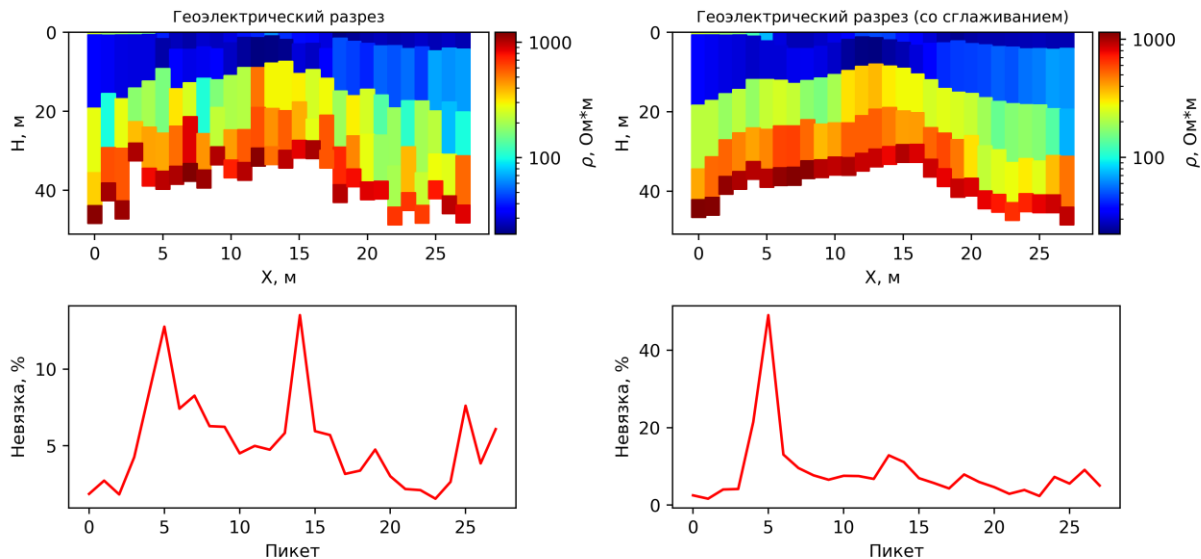
Геoeлектрические разрезы, полученные при решении ОЗ методом ДЭ

Пример решения ОЗ ВЭЗ

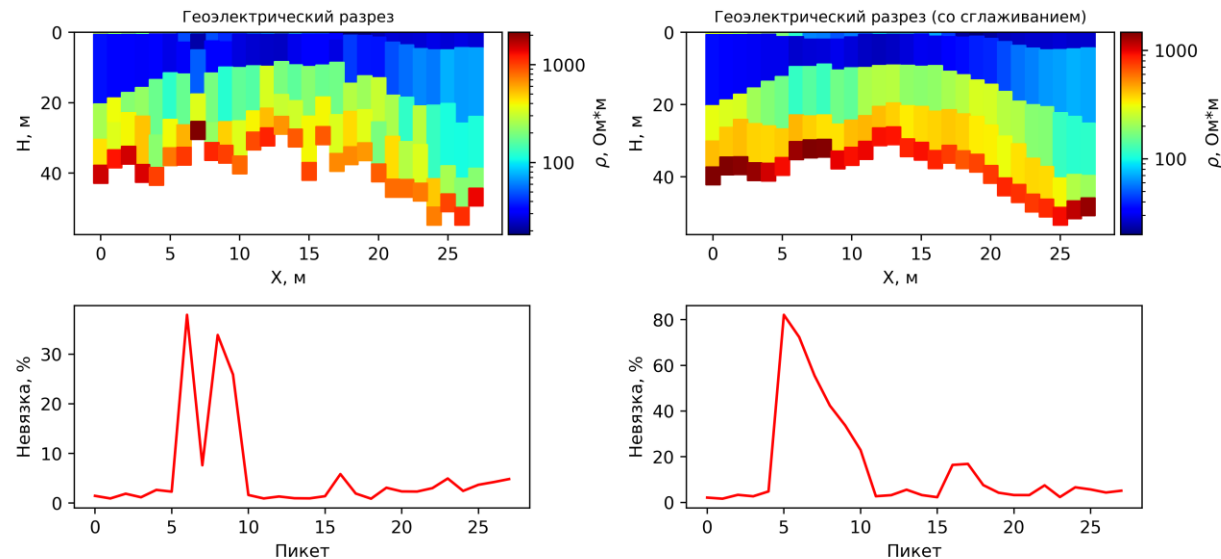


Геoeлектрический разрез, полученный в результате ручной 1D-интерпретации в программе ЗОНД

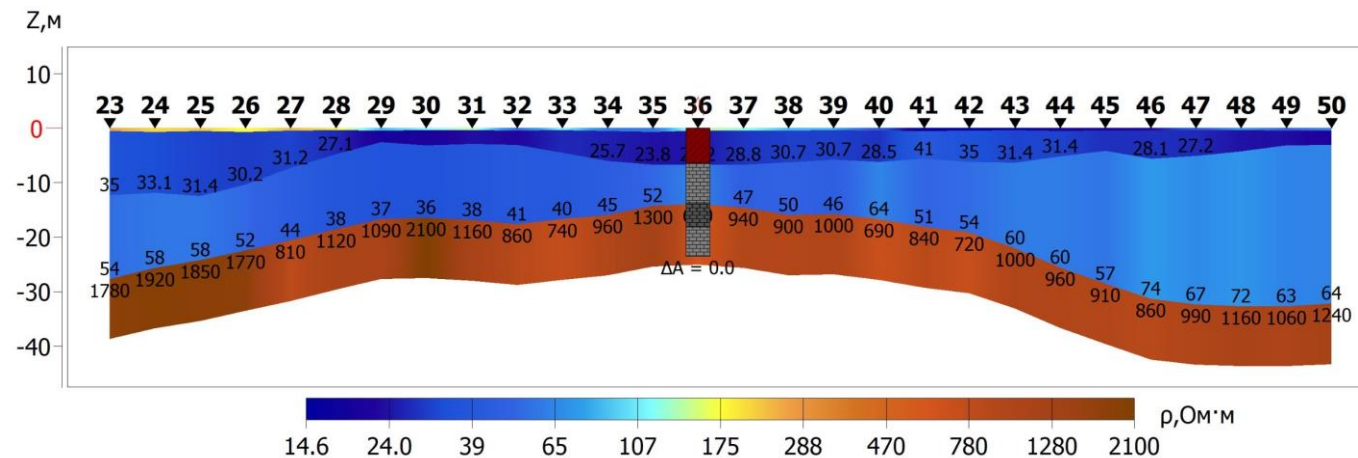
Метод: МРЧ Размер популяции: 50 Кол-во итераций: 200 Кол-во решений на один пикет: 10



Метод: Алгоритм стаи серых волков Размер популяции: 50 Кол-во итераций: 200 Кол-во решений на один пикет: 10

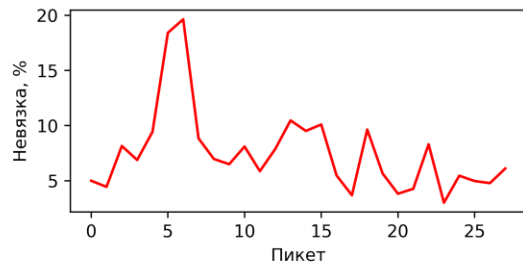
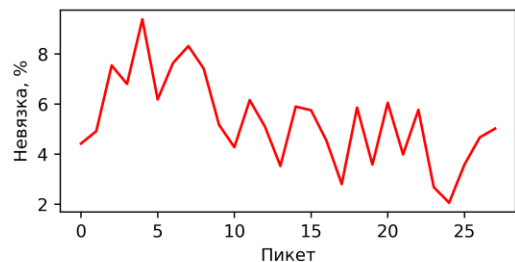
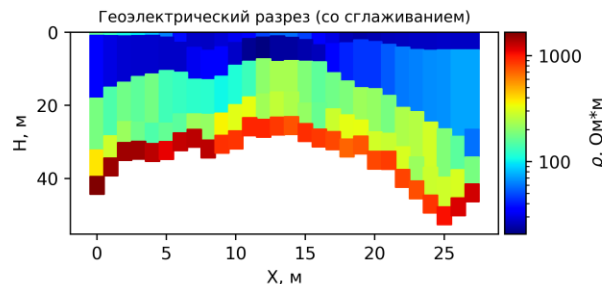
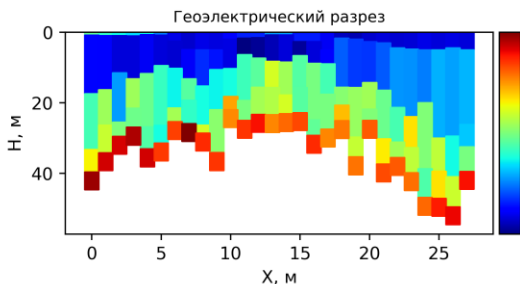


Пример решения ОЗ ВЭЗ

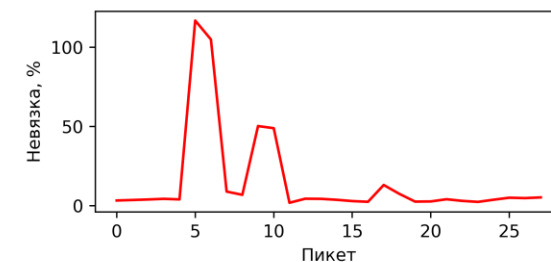
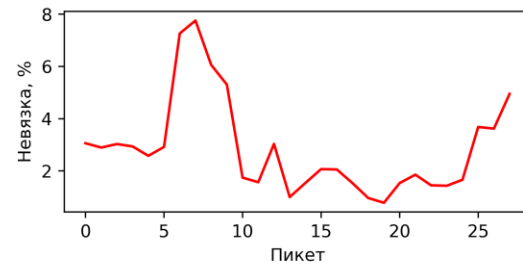
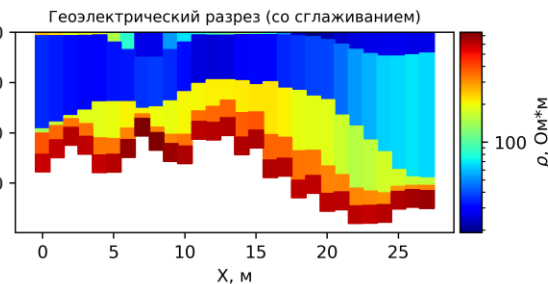
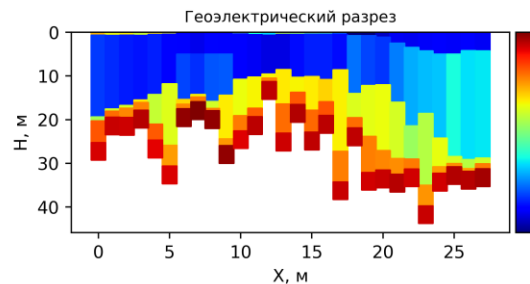


Геоэлектрический разрез, полученный в результате ручной 1D-интерпретации в программе ЗОНД

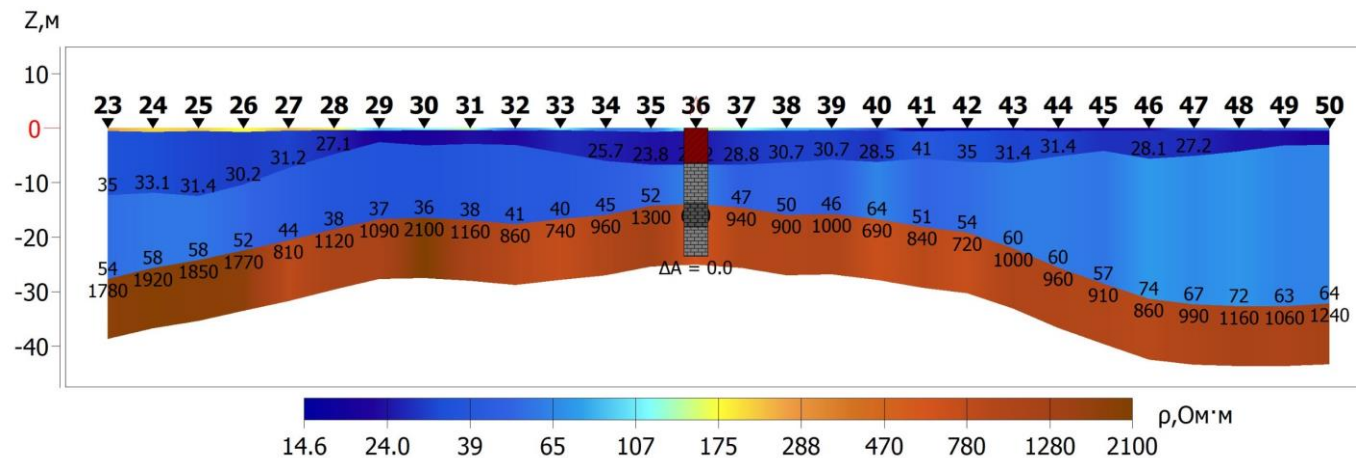
Метод: Генетический алгоритм Размер популяции: 50 Кол-во итераций: 200 Кол-во решений на один пикет: 10



Метод: Алгоритм гравитационного поиска Размер популяции: 50 Кол-во итераций: 200 Кол-во решений на один пикет: 10

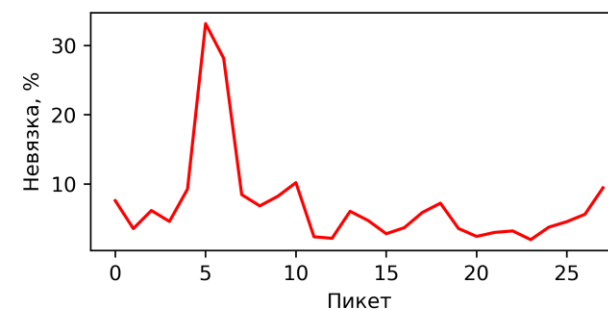
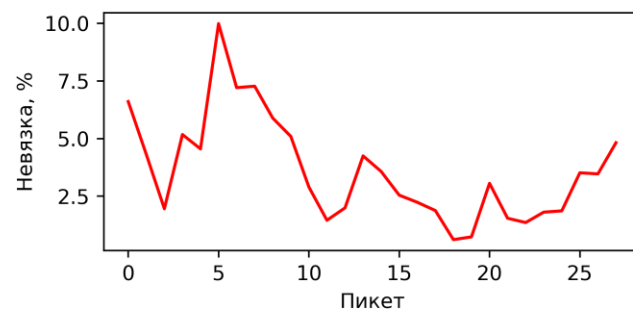
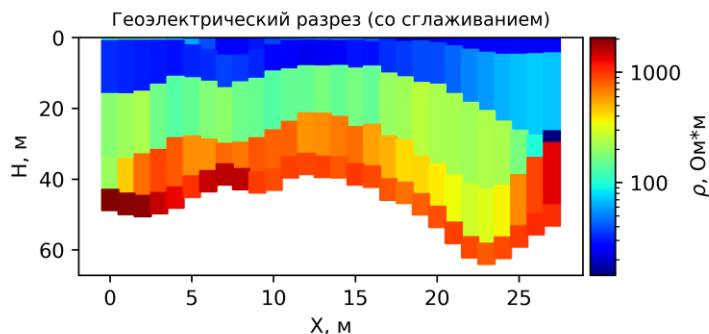
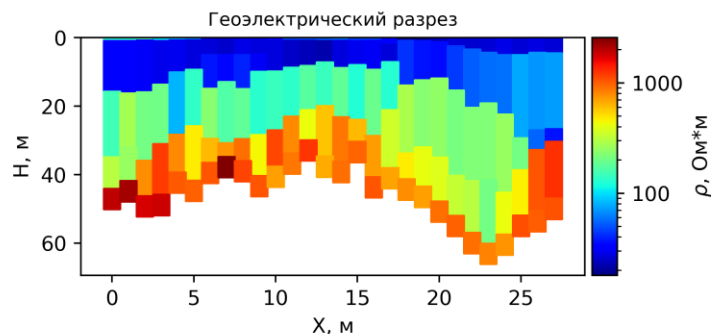


Пример решения ОЗ ВЭЗ



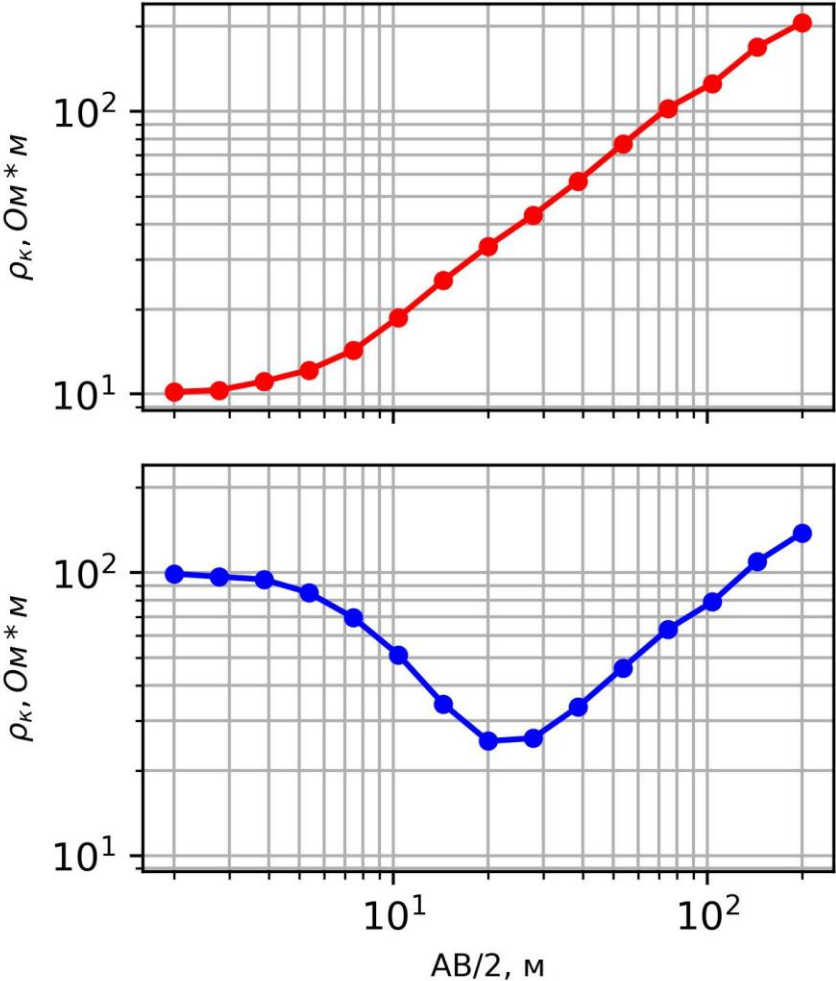
Геoeлектрический разрез, полученный в результате ручной 1D-интерпретации в программе ЗОНД

Метод: Дифференциальная эволюция Размер популяции: 50 Кол-во итераций: 200 Кол-во решений на один пикет: 10

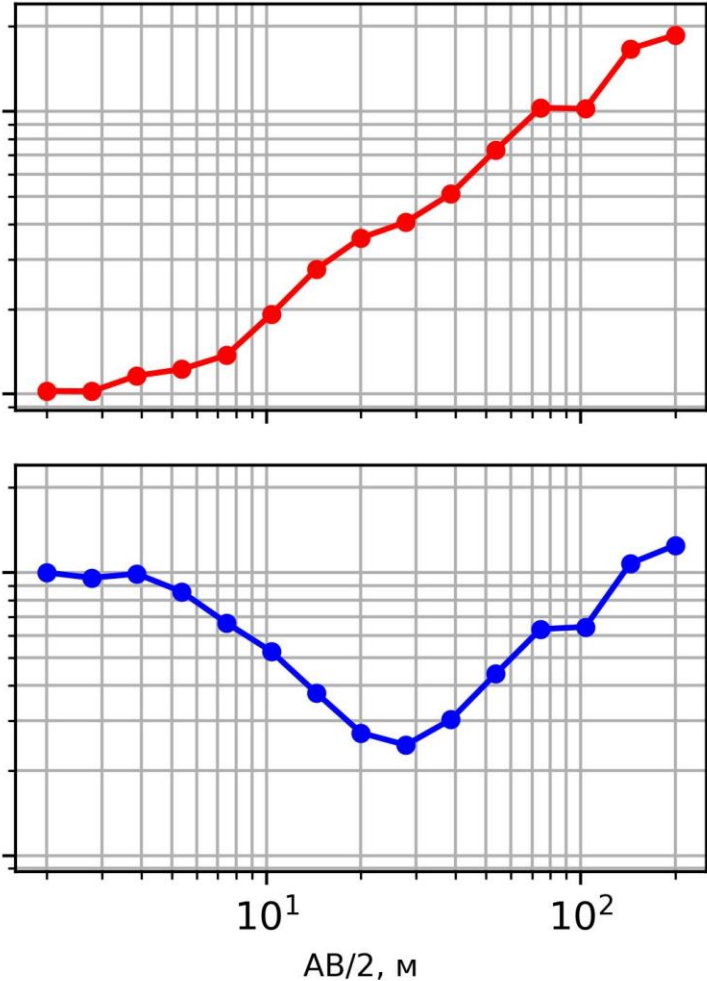


Исходные данные

Уровень помехи: 2.5%



Уровень помехи: 10%



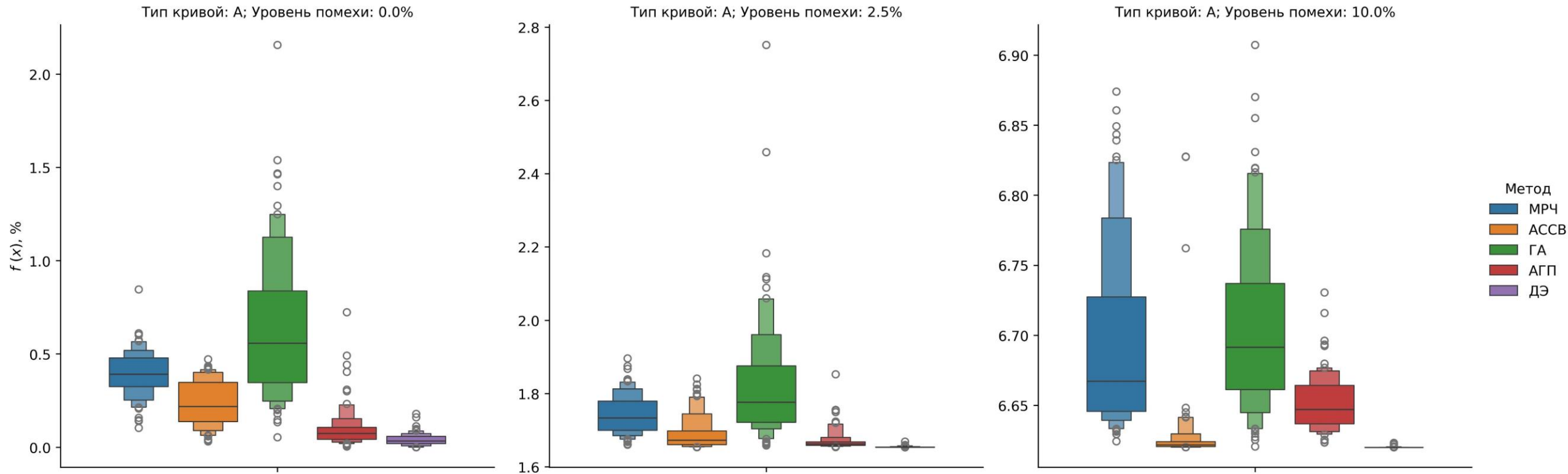
Параметры разреза типа А

Слой	Н, м	$\rho, \text{Ом} \cdot \text{м}$
1	5	10
2	10	100
3	-	500

Параметры разреза типа Н

Слой	Н, м	$\rho, \text{Ом} \cdot \text{м}$
1	5	100
2	10	10
3	-	500

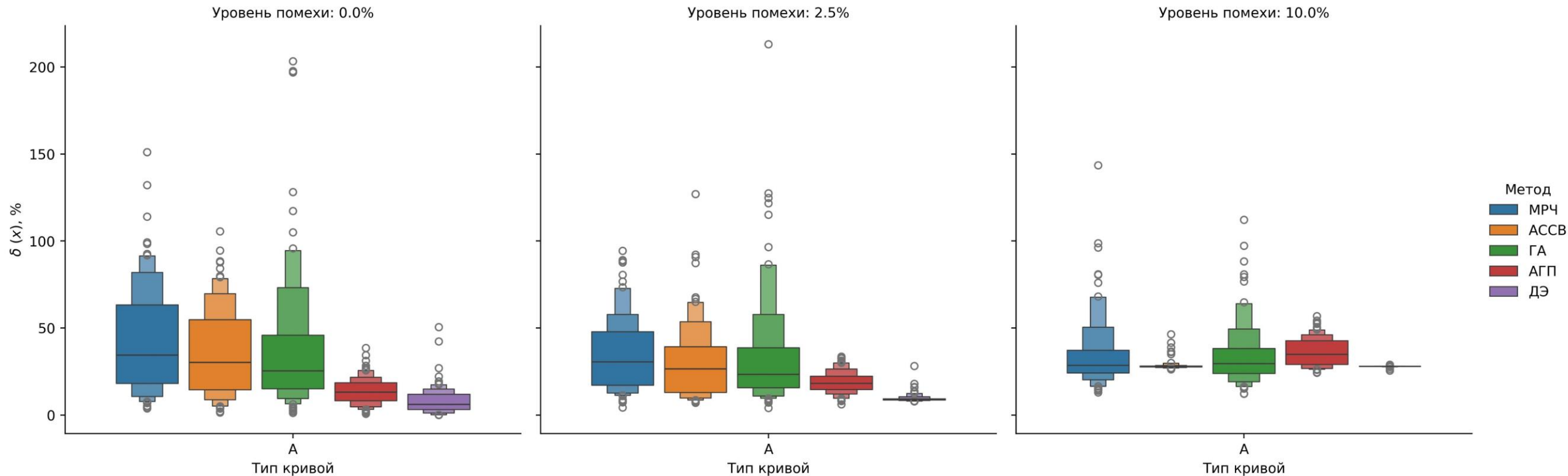
Распределение невязок (Тип кривой А)



- На рисунке представлено распределение невязок $f(\mathbf{x})$ в зависимости от уровня помехи, рассчитываемое как

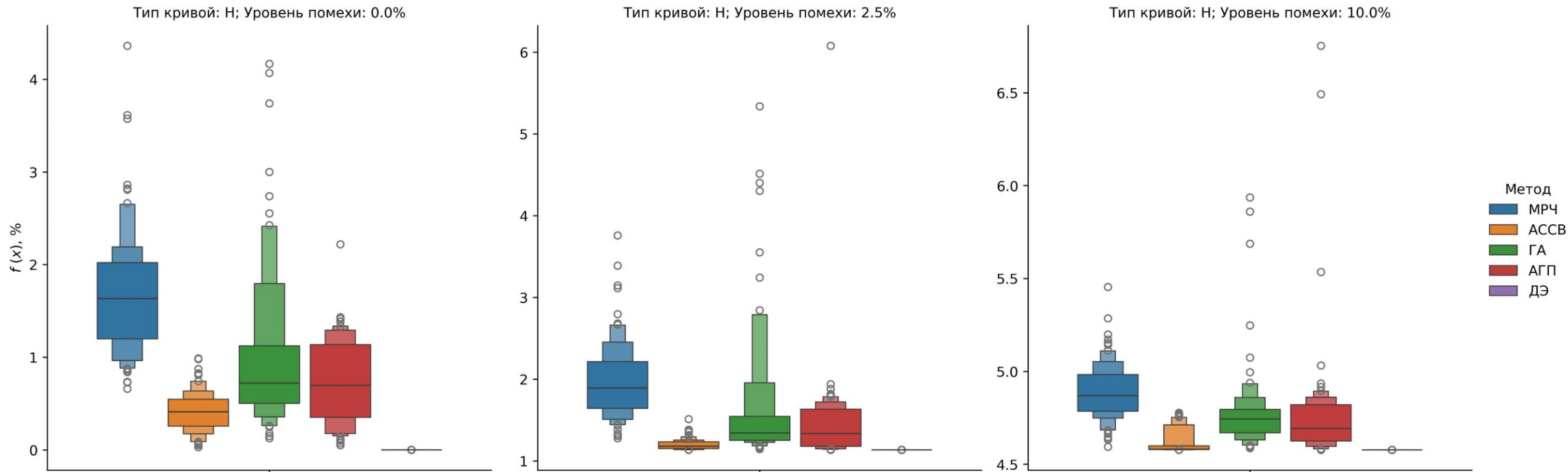
$$f(\mathbf{x}) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{\rho_{ki}(\mathbf{x})}{\rho_{ki}^{\text{набл}}}\right)^2} \cdot 100, \text{ где } n - \text{количество разносов, } \rho_{ki}(\mathbf{x}) - \text{теоретическое значение КС на } i\text{-м разносе, } \rho_{ki}^{\text{набл}} - \text{«наблюдаемое» (исходное) значение КС на } i\text{-м разносе.}$$

Распределение средних относительных отклонений параметров модели (Тип кривой A)



- Среднее относительное отклонение вектора x от истинной модели $x^{\text{ист}}$ определяется как
$$\delta(x) = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - x_i^{\text{ист}}}{x_i^{\text{ист}}} \right|$$
, где n – это размерность задачи, x_i – это значение i -й компоненты вектора x , $x_i^{\text{ист}}$ – это значение i -й компоненты вектора $x^{\text{ист}}$.

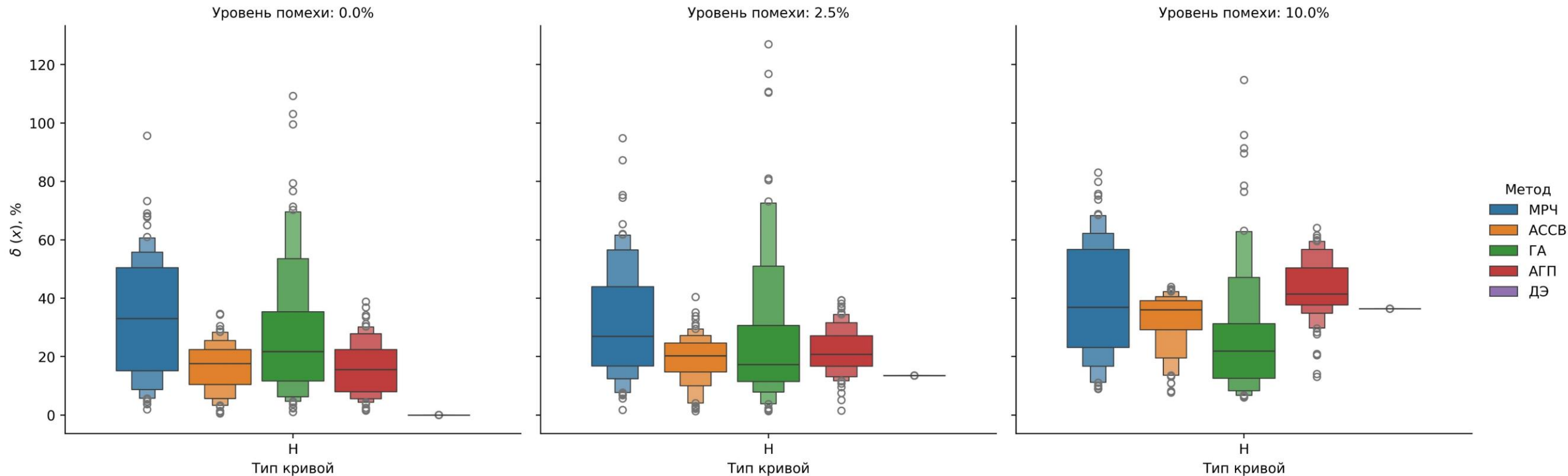
Распределение невязок (Тип кривой Н)



- На рисунке представлено распределение невязок $f(\mathbf{x})$ в зависимости от уровня помехи, рассчитываемое как

$$f(\mathbf{x}) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{\rho_{ki}(\mathbf{x})}{\rho_{ki}^{\text{набл}}}\right)^2} \cdot 100, \text{ где } n - \text{количество разносов, } \rho_{ki}(\mathbf{x}) - \text{теоретическое значение КС на } i\text{-м разносе, } \rho_{ki}^{\text{набл}} - \text{«наблюдаемое» (исходное) значение КС на } i\text{-м разносе.}$$

Распределение средних относительных отклонений параметров модели (Тип кривой Н)



- Среднее относительное отклонение вектора x от истинной модели $x^{\text{ист}}$ определяется как
$$\delta(x) = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - x_i^{\text{ист}}}{x_i^{\text{ист}}} \right|$$
, где n – это размерность задачи, x_i – это значение i -й компоненты вектора x , $x_i^{\text{ист}}$ – это значение i -й компоненты вектора $x^{\text{ист}}$.

Выводы

- Методы эволюционной оптимизации являются весьма перспективным инструментом для решения ОЗ ВЭЗ.
- Различные методы эволюционной оптимизации имеют разную эффективность при разных параметрах геоэлектрического разреза и уровня помех.
- Выбор конкретного метода ЭО для решения ОЗ ВЭЗ должен основываться на информации об уровне помех в наблюдаемых данных с учетом типа разреза.
- Методы АГП и ДЭ характеризуются наибольшей чувствительностью к уровню помех.

Спасибо за внимание!