

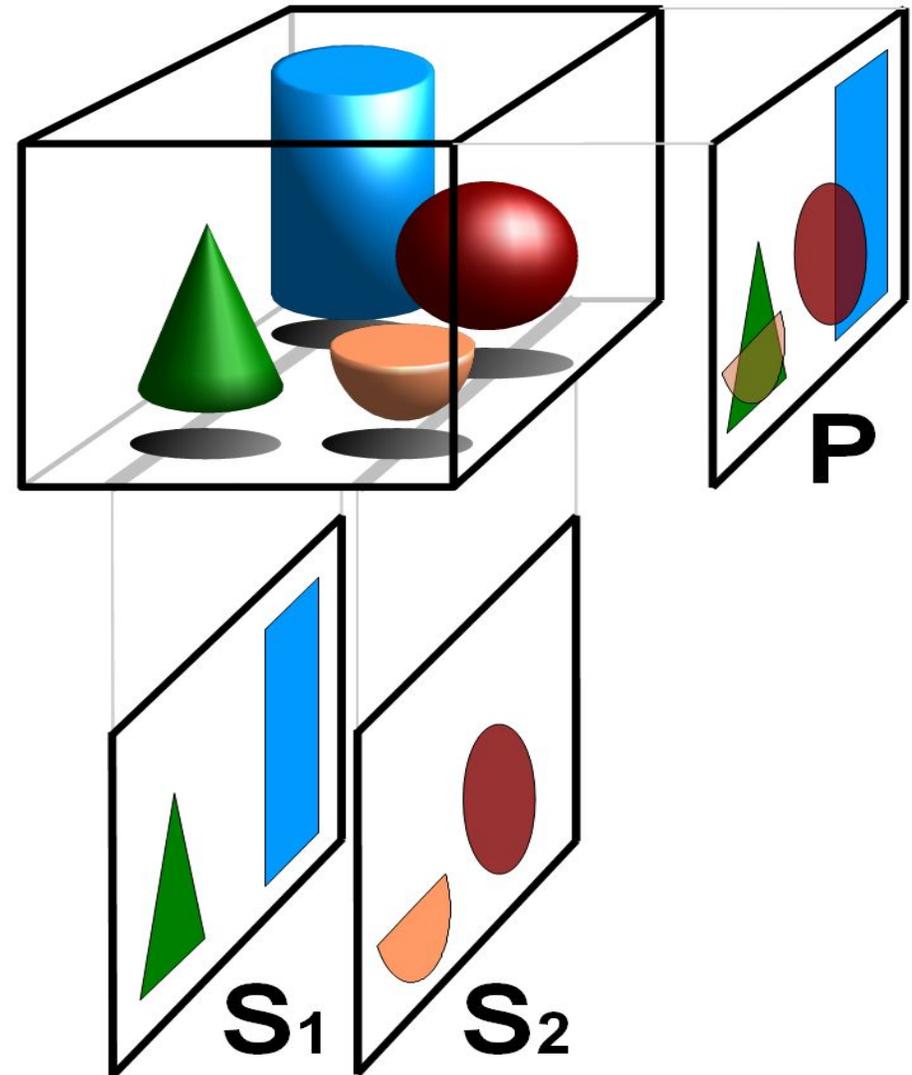
Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова
Геологический факультет
Отделение геофизики

Томографический подход к решению задач сейсморазведки

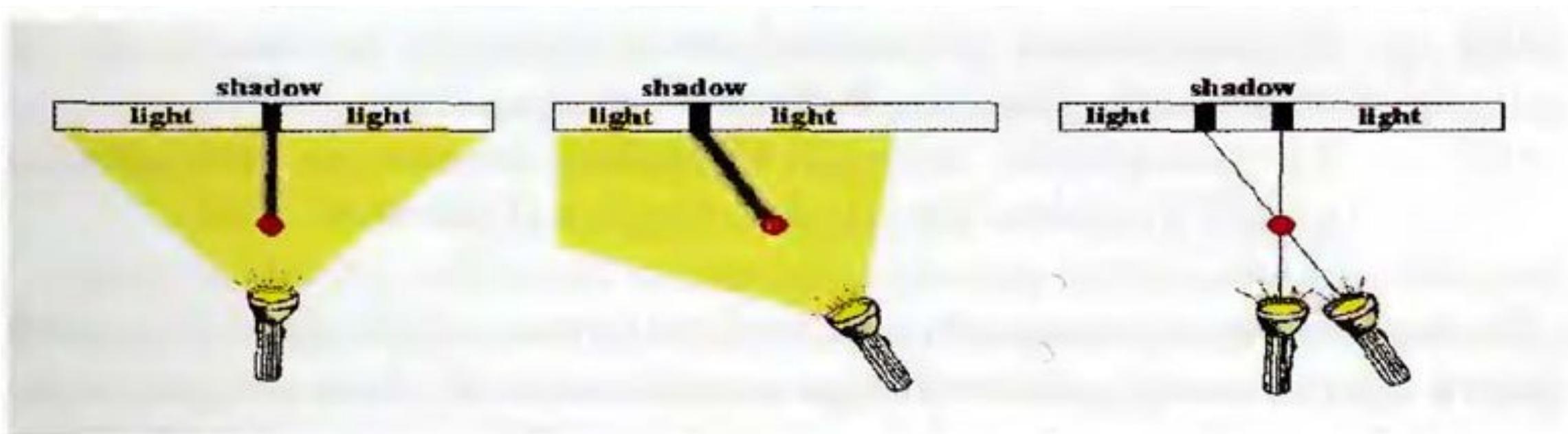
Москва,
2017

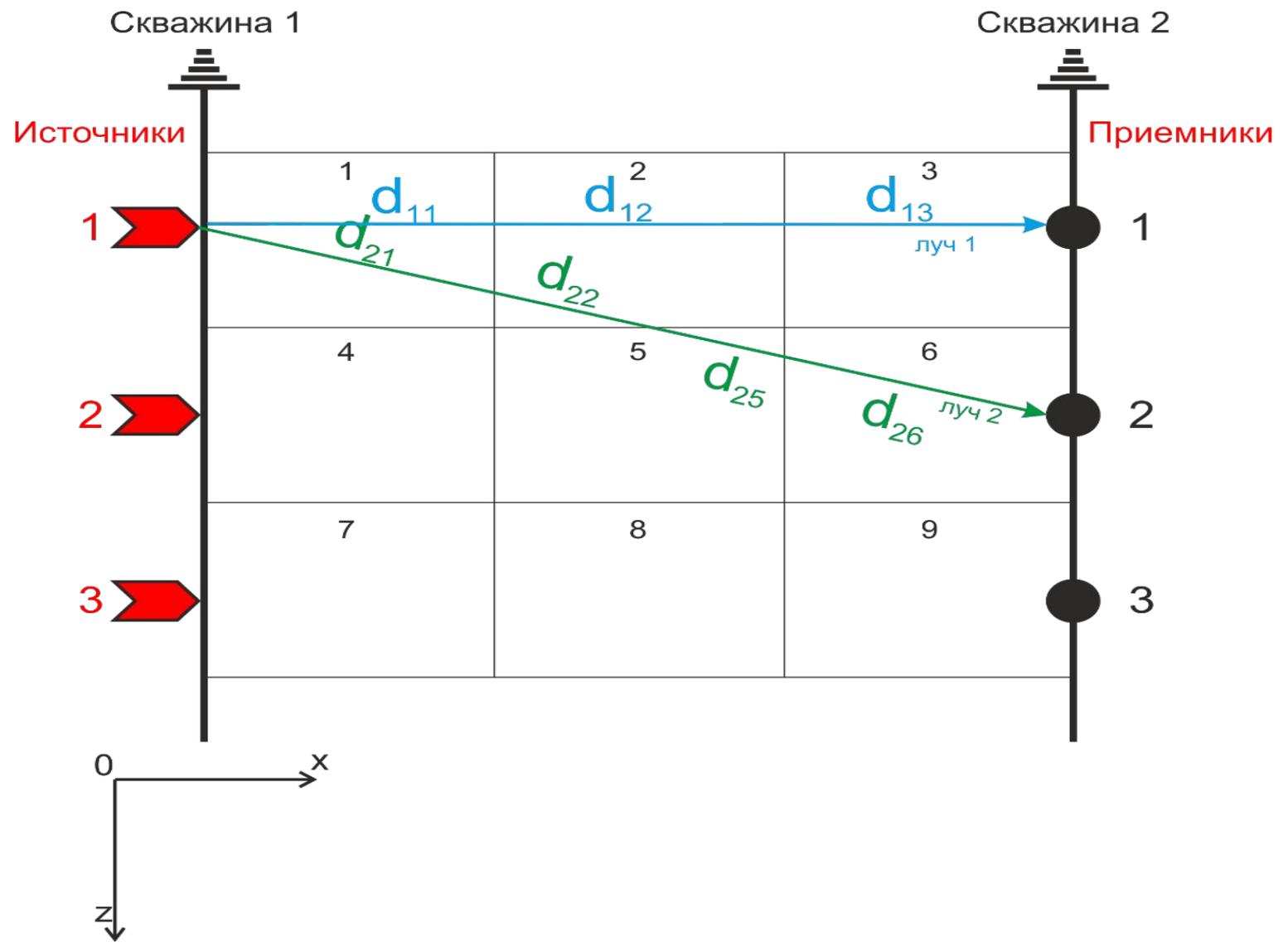
Определение

Томография (др.-греч. *τομή* — сечение) — получение послойного изображения внутренней структуры объекта.



Идея томографии



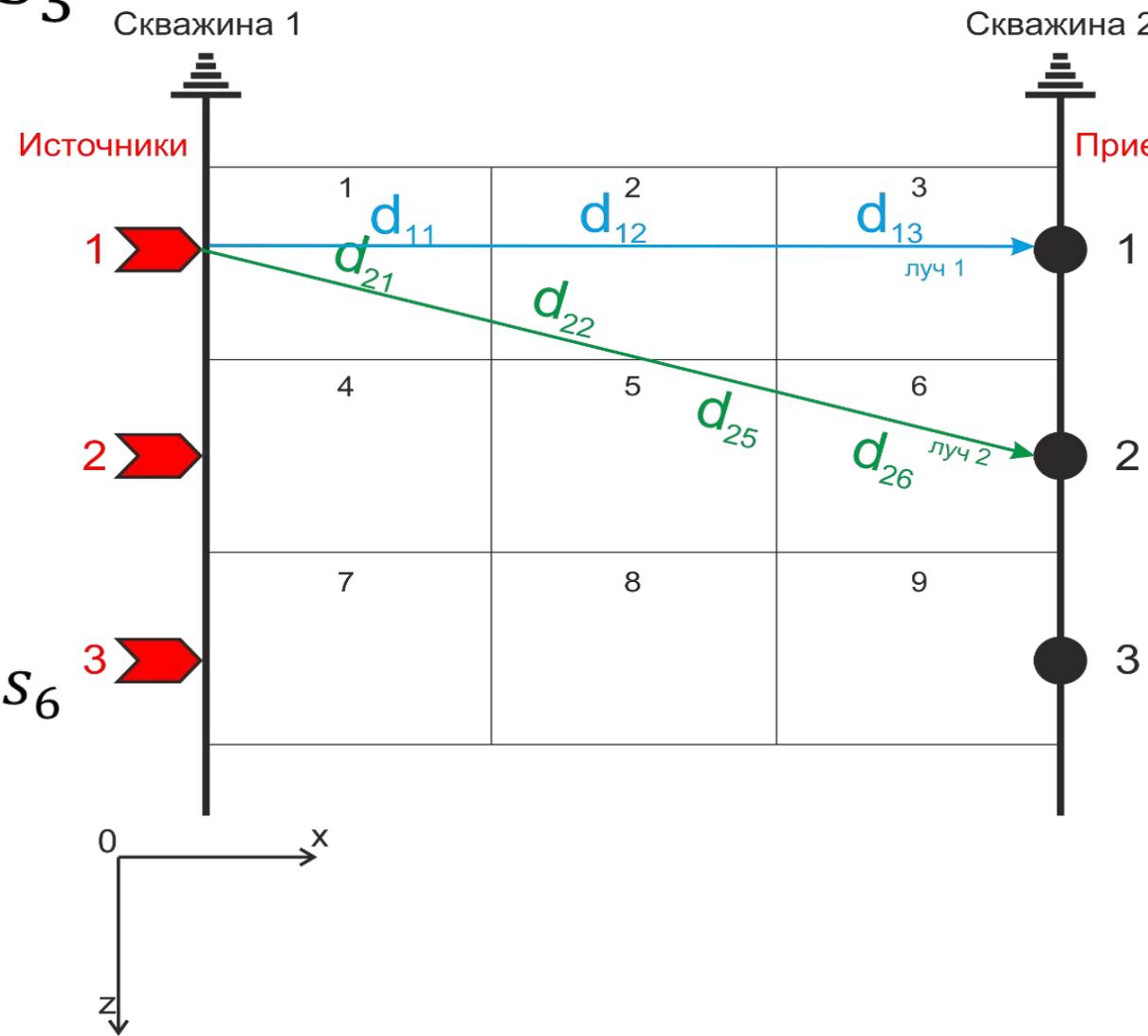


$$S_i = \frac{1}{V_i}$$

- $$t_1 = d_{11} * s_1 + d_{12} * s_2 + d_{13} * s_3$$

d_{1i} - участок, который луч 1 пробегает, s_i - медленность

$$t_2 = d_{21} * s_1 + d_{22} * s_2 + d_{25} * s_5 + d_{26} * s_6$$

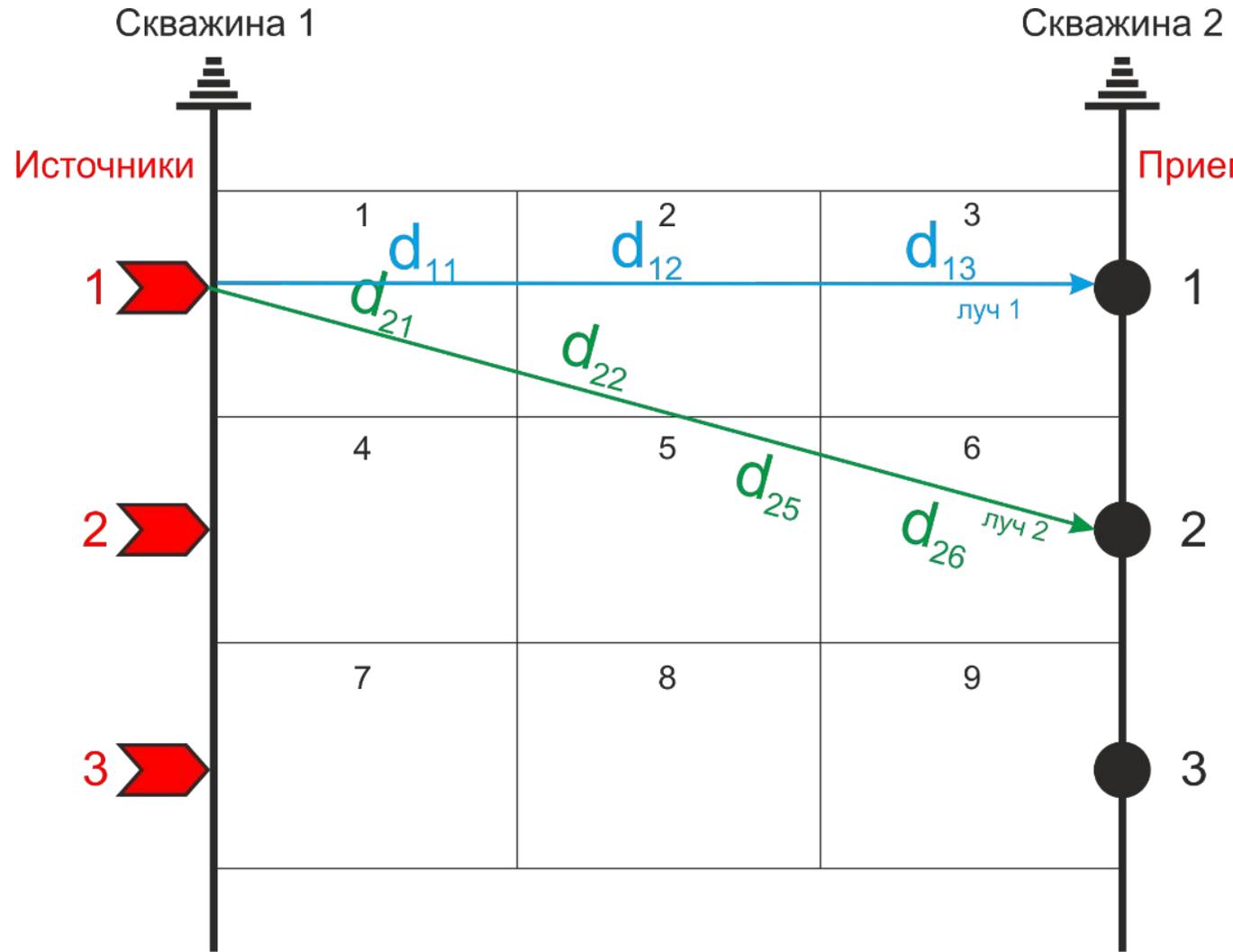


$$\begin{aligned}
 & \bullet t_1 \\
 & = d_{11} * s_1 + d_{12} * s_2 + d_{13} * s_3 \\
 & + d_{14} * s_4 + d_{15} * s_5 + d_{16} * s_6 \\
 & + d_{17} * s_7 + d_{18} * s_8 + d_{19} * s_9 \\
 & = \sum_{i=1}^N d_{1i} * s_i
 \end{aligned}$$

при условии, что

$$\begin{aligned}
 d_{14} & = d_{15} = d_{16} = d_{17} = d_{18} \\
 & = d_{19} = 0
 \end{aligned}$$

$$t_k = \sum_{i=1}^N d_{ki} * s_i$$



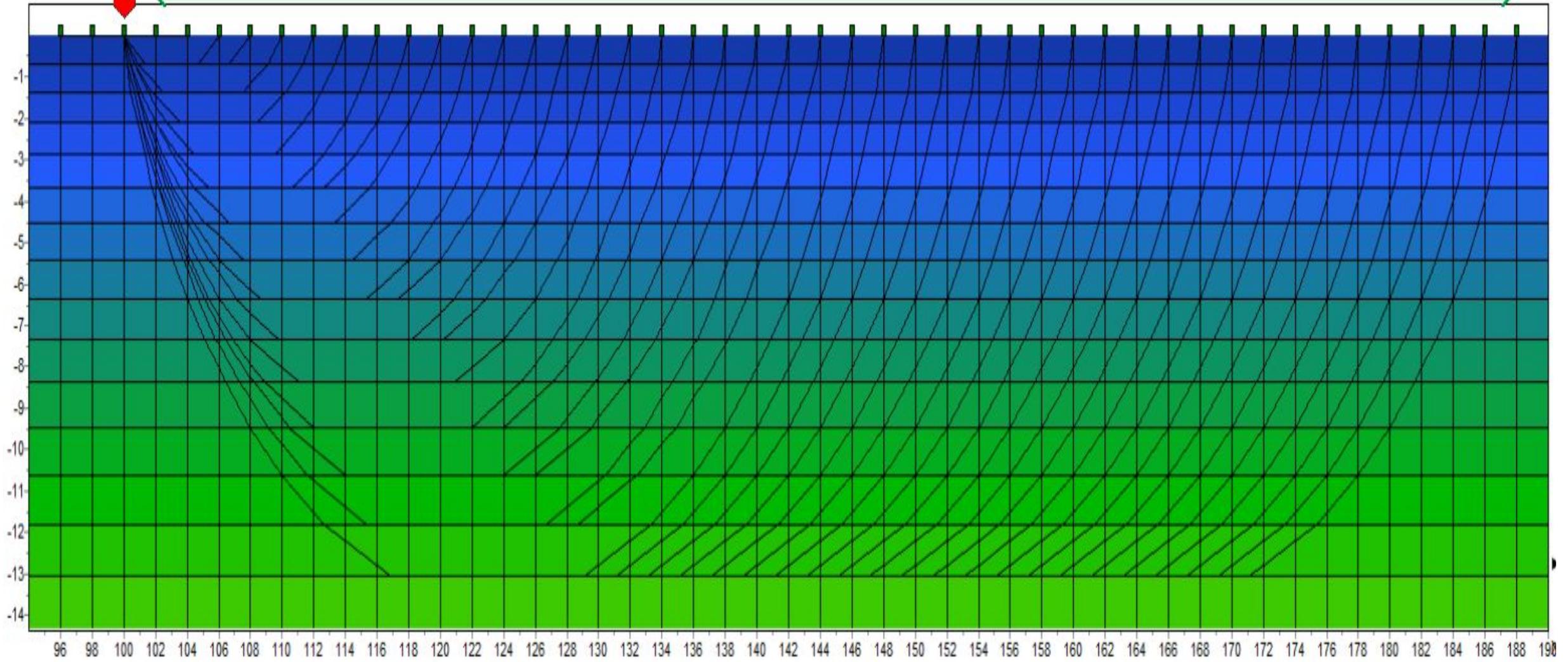
- $$\begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \dots \\ t_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_n \end{bmatrix}$$

T = D * S – решение ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ

Источник

Линия приемников
Разрез скоростей

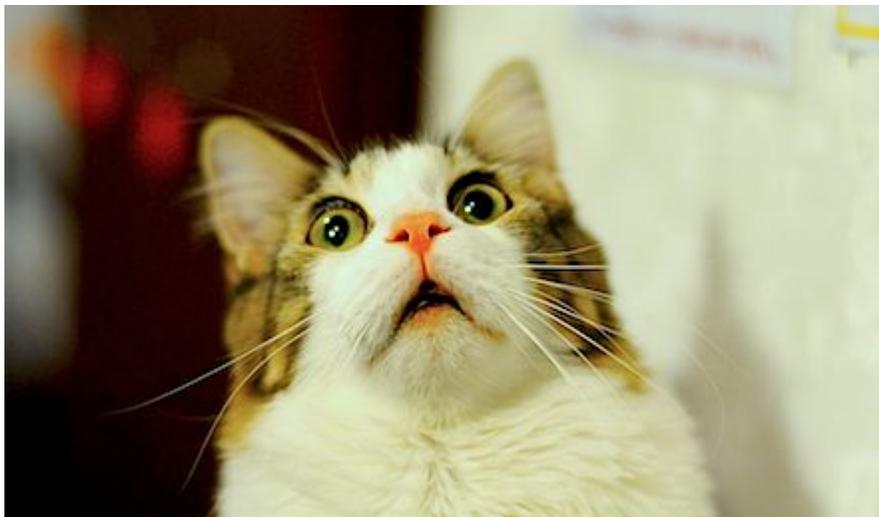
Zm



- $$\begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \dots \\ t_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ s_n \end{bmatrix}$$

$\mathbf{T} = \mathbf{D} * \mathbf{S}$ – решение ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ

$\mathbf{S} = \mathbf{D}^{-1} * \mathbf{T}$ – решение ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ в явном виде

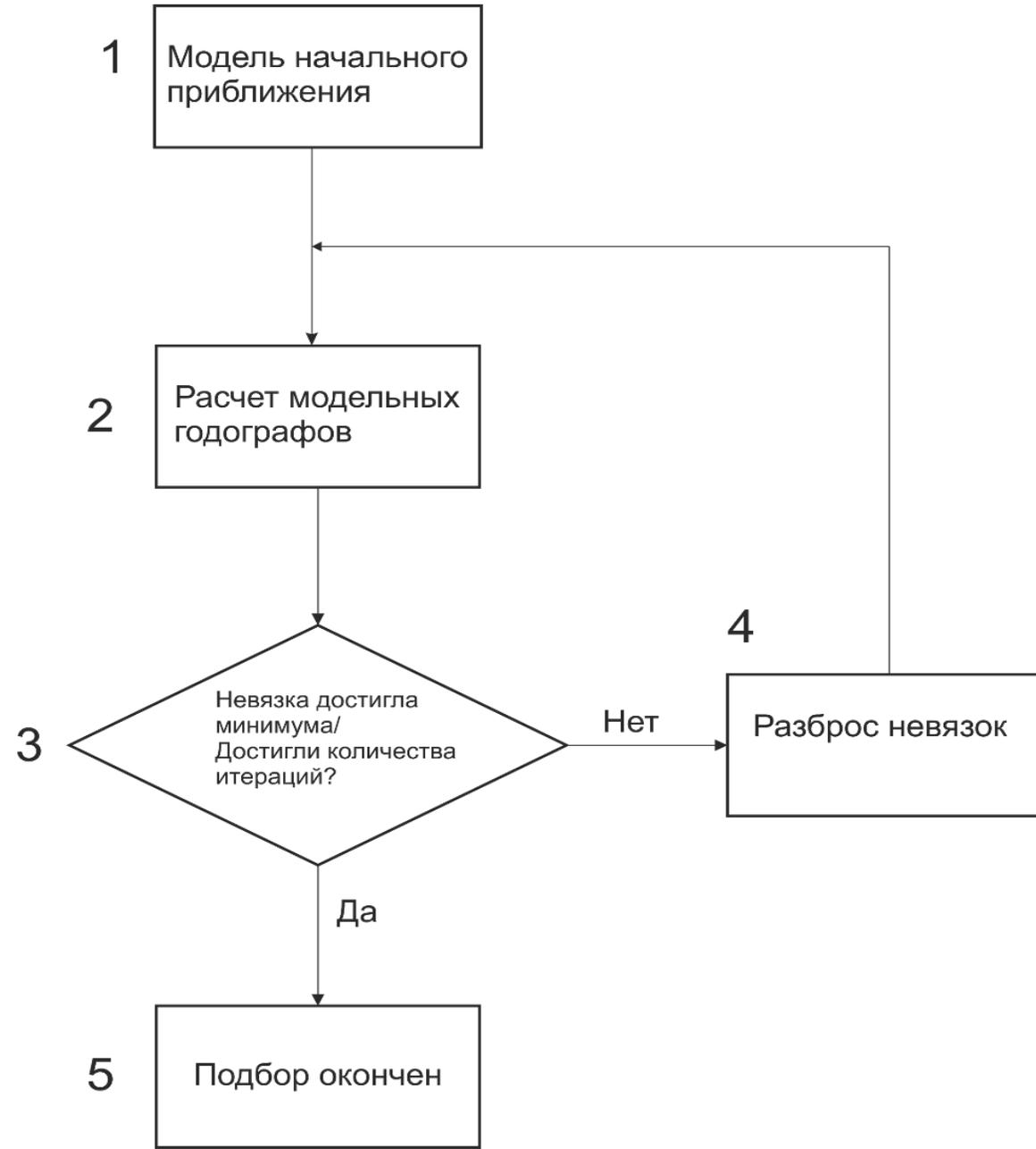


Некорректность по Адамару

- Существование решения;
- Единственность решения;
- Устойчивость решения;



Итерационный алгоритм



Постановка задачи:

найти модель \mathbf{S}^{res} , так чтобы $\|\mathbf{T} - \mathbf{D} * \mathbf{S}^{\text{res}}\| \rightarrow 0$

\mathbf{S}^{init} - стартовая модель

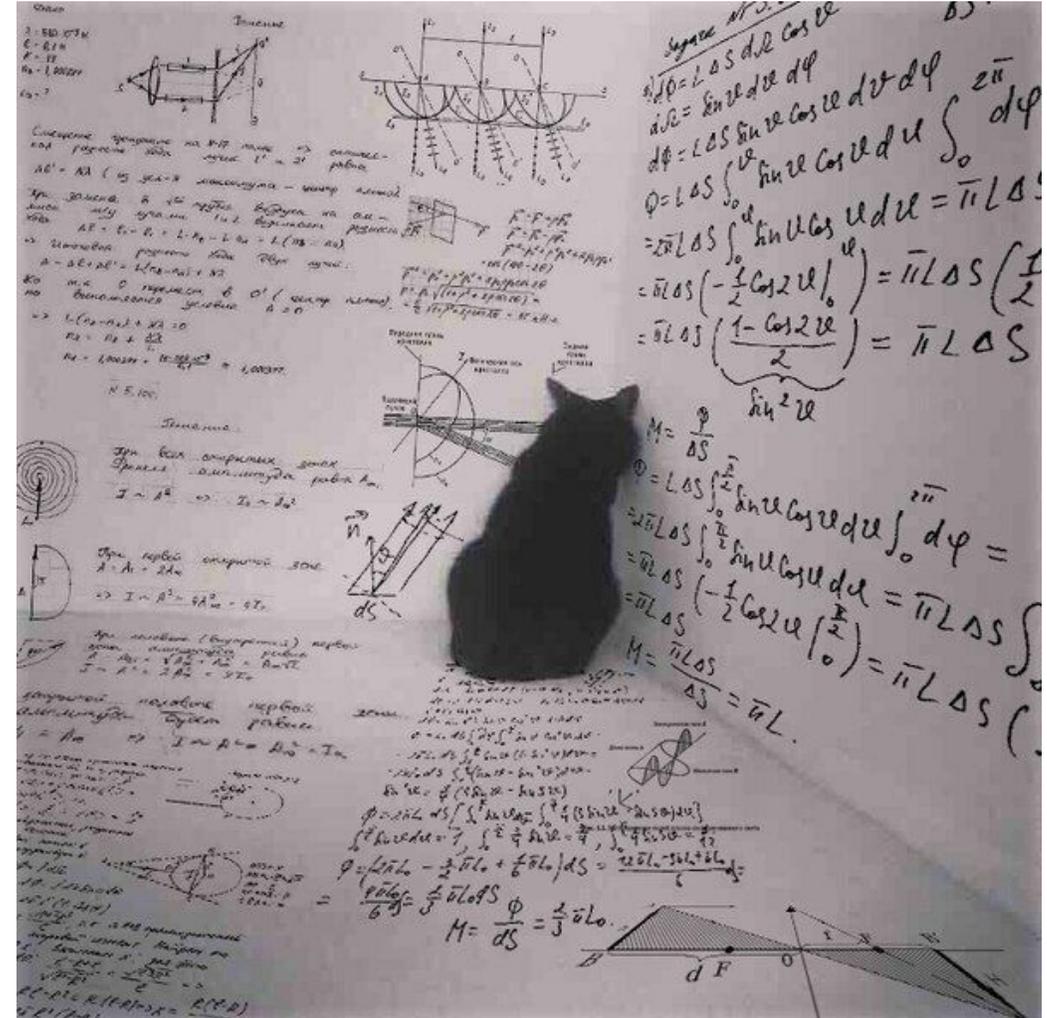
Используя $\mathbf{T} = \mathbf{D} * \mathbf{S}$, считаем \mathbf{T}^{init}

$$t_k^{\text{init}} = \sum_{i=1}^N d_{ki} * s_i^{\text{init}}$$

- $\Delta t_k^1 = t_k - t_k^{\text{init}}$ - невязка для k-го луча
- $\Delta s_{ki}^1 = \frac{\Delta t_k^1 * d_{ki}^1}{\sum_{i=1}^N (d_{ki}^1)^2}$ - поправка медленности
- $\Delta s_i^1 = \frac{1}{M_i} \sum_k \Delta s_{ki}^1$ - итоговая поправка,

полученная осреднением

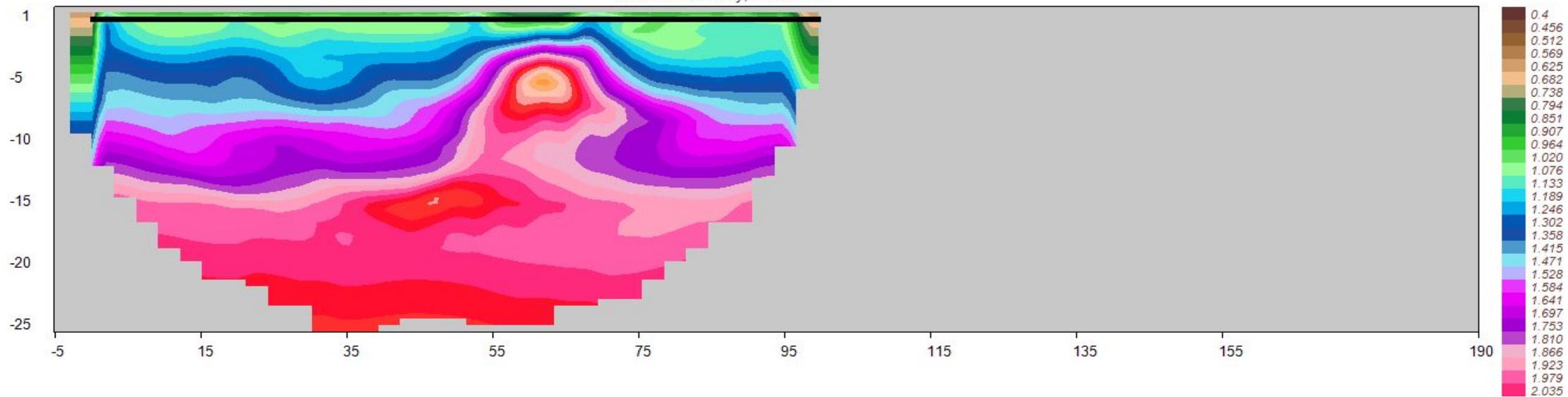
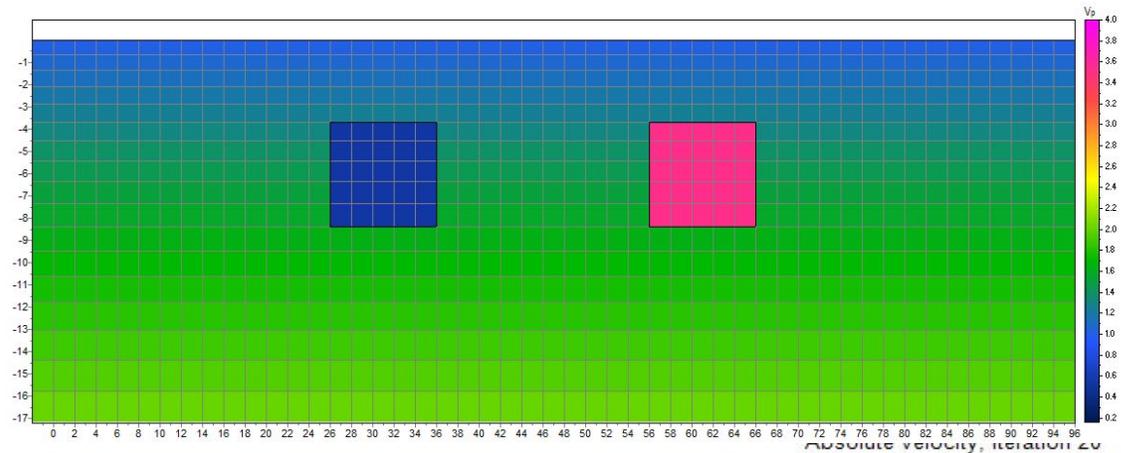
- ВСЕ для ОДНОЙ ячейки
- ИТОГ $\mathbf{S}^1 = \mathbf{S}^{\text{init}} + \Delta \mathbf{S}^1$ - РЕШЕНИЕ



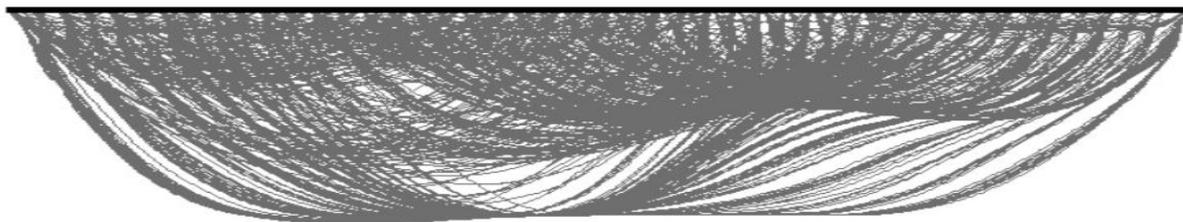
Проблемы

- Зоны с пониженной скоростью;
- Волноводы;
- Зоны лучевой тени;





Ray paths after iteration: 10



- C3) (/S*)T % "+" % .S/ (.T3 8/ /2 %1/ "*" + /% /4 U % 1# 1# 1# 2) . / * 2 /) . (6 ((/) 2 . <) 2 # / * # R U * 1## ((2 /) . R % 1# 1# 1# # 2) .. 4.2 / ** (## / & 2 * / . / 1 # 2 # *) S # T R U ") # 6 2 + R U 1 (/) (< 2 / (

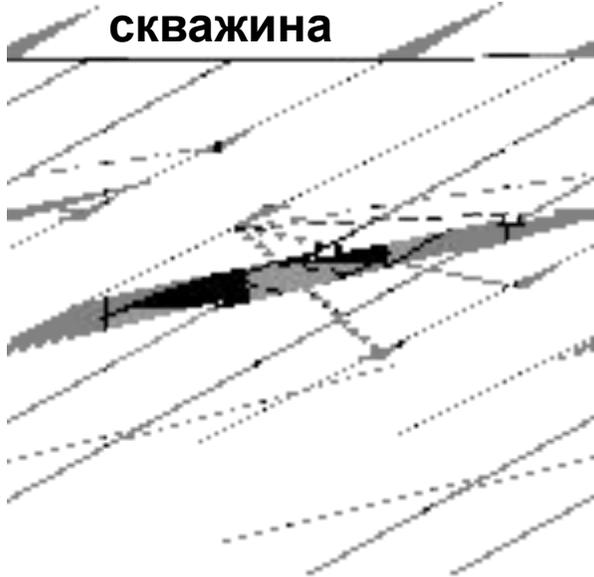
Методы наблюдений

- **Статическая сейсмотомография («активная»)** Возможны как двумерная (2D) так и трехмерные (3D)
- **Интервальная или разностная сейсмотомография («активная»)**
- **Пассивная или эмиссионная томография**



Геометрические схемы размещения «источник-приемник»

Скважина-
скважина



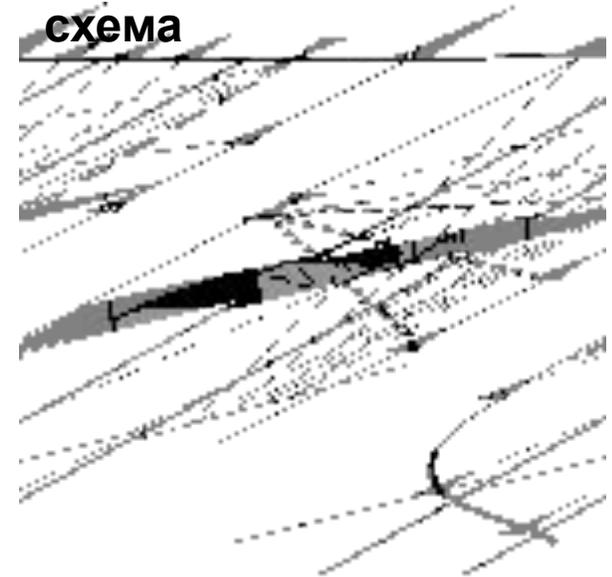
Поверхность-
скважина



Поверхность-
поверхность



Комбинированная
схема



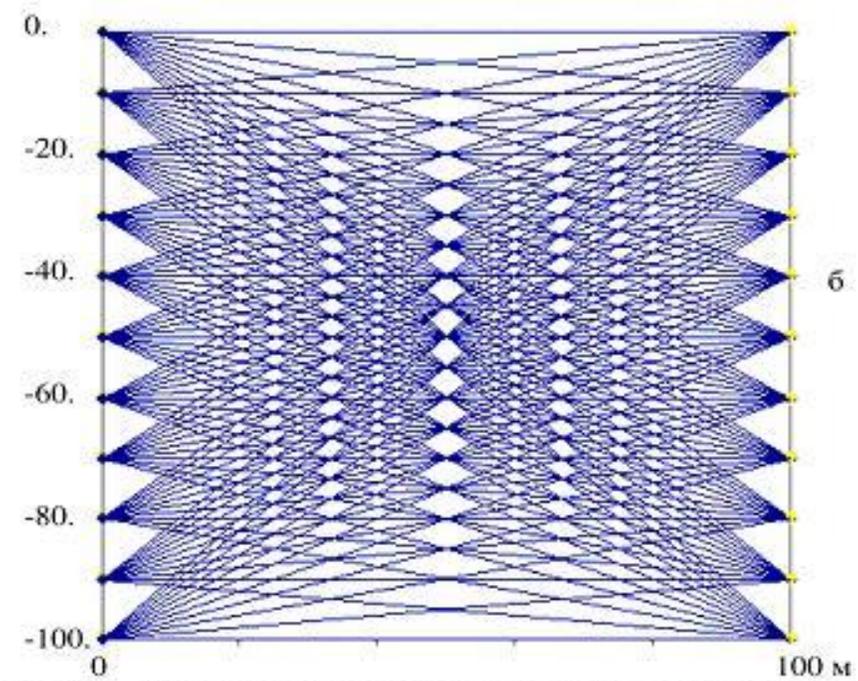
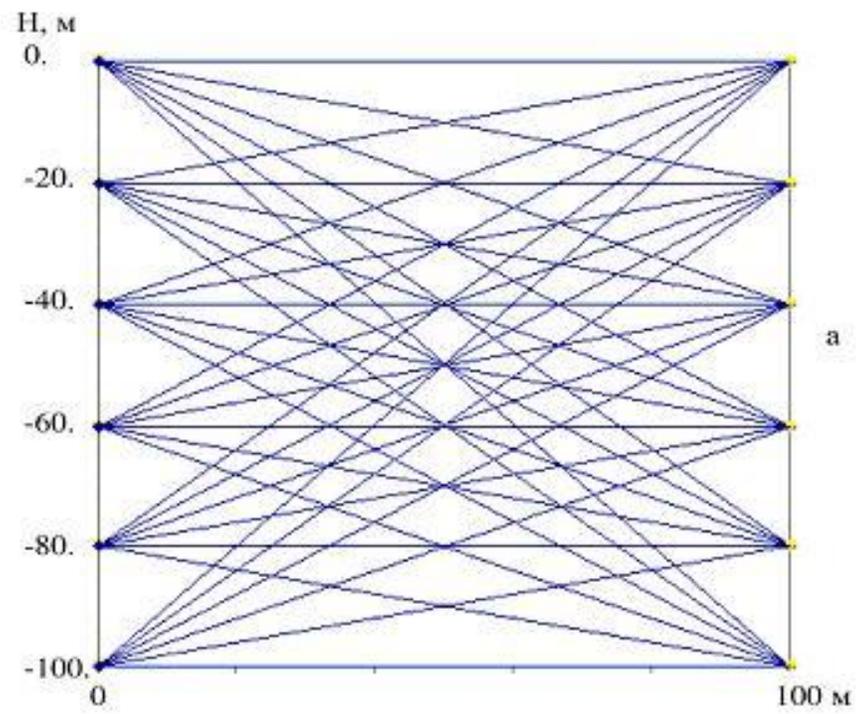
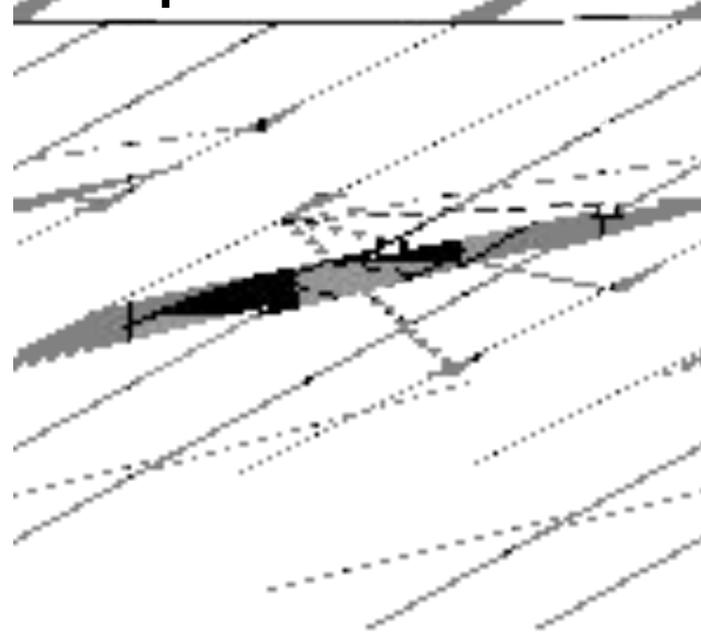
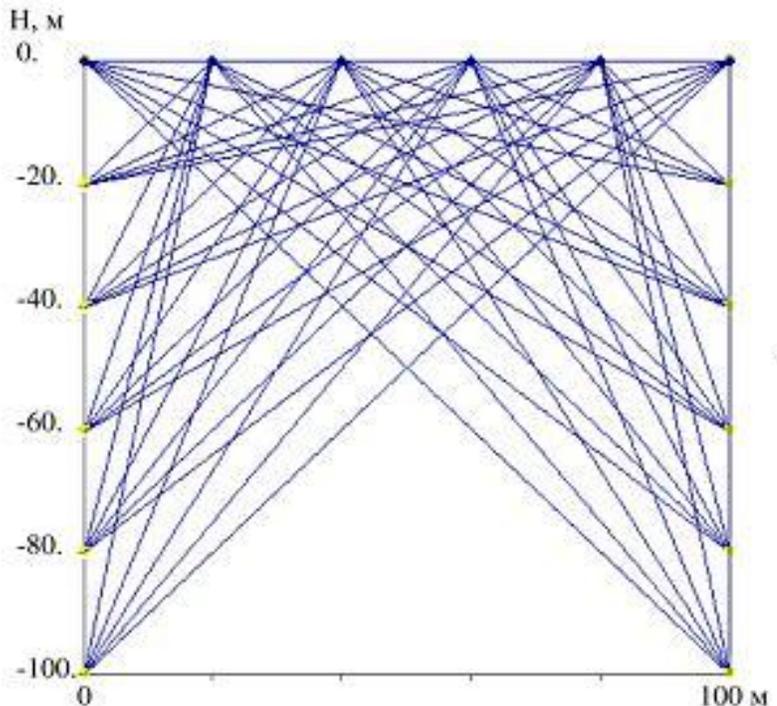


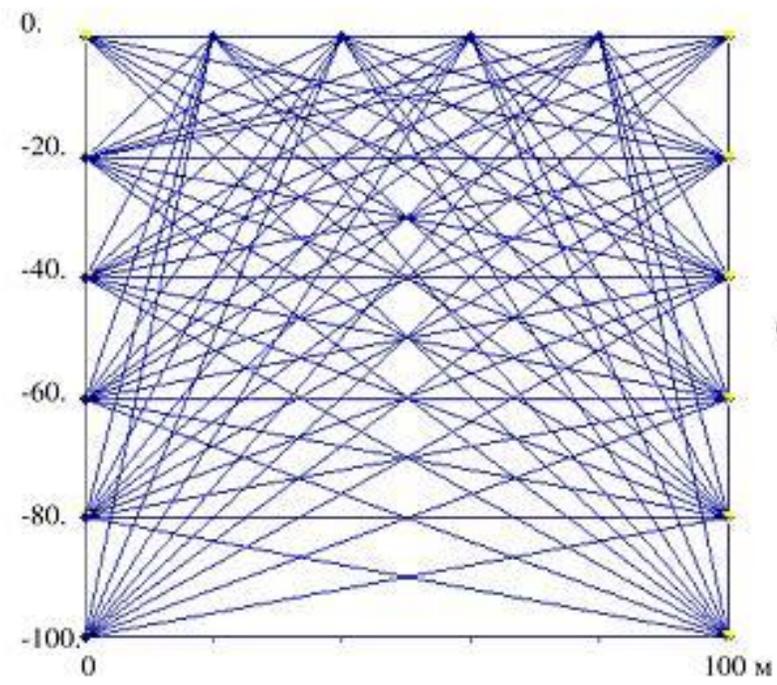
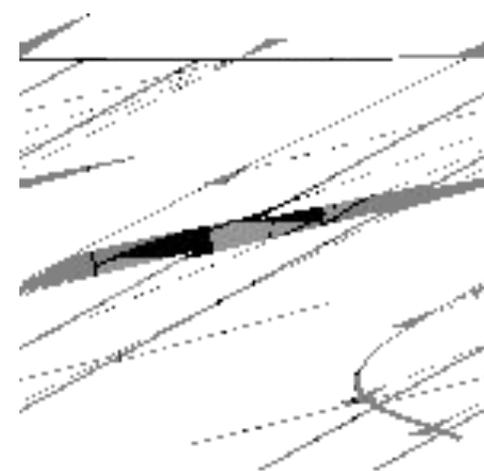
Схема встречного межскважинного просвечивания





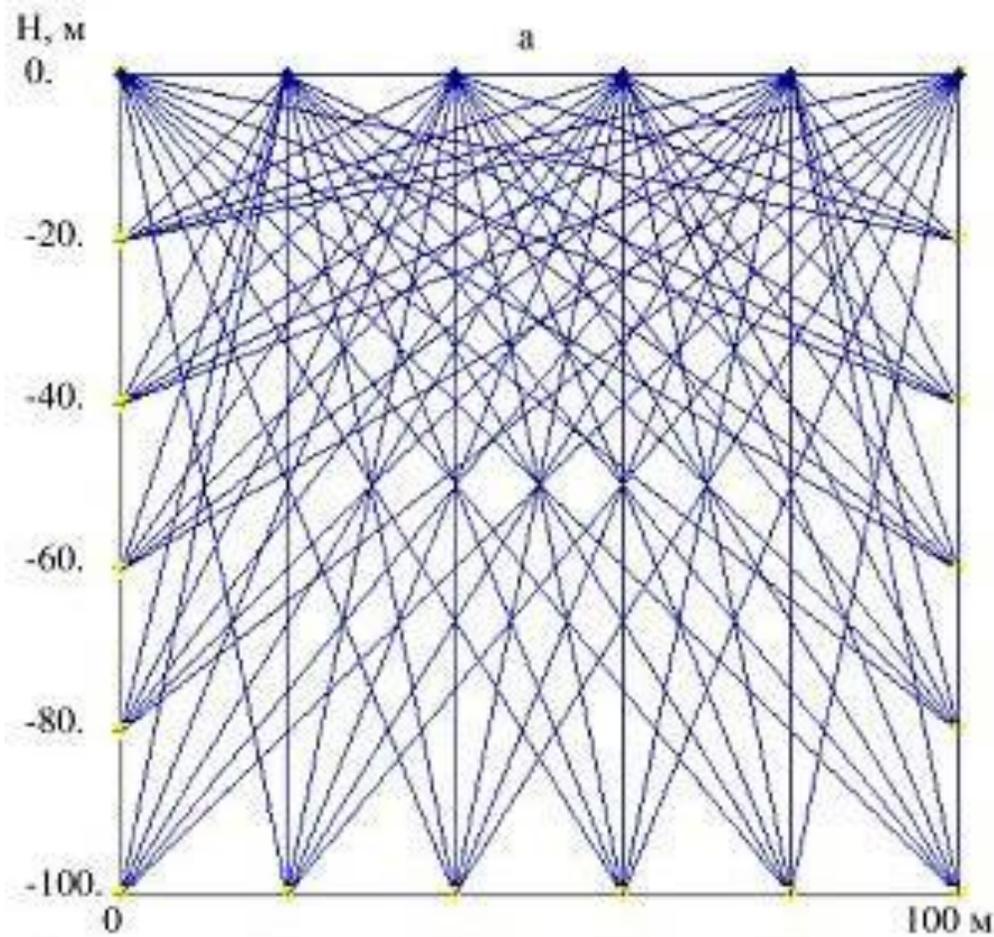
а

Источники – скважина
 Приемники –
 поверхность
 ВЧР ЗМС

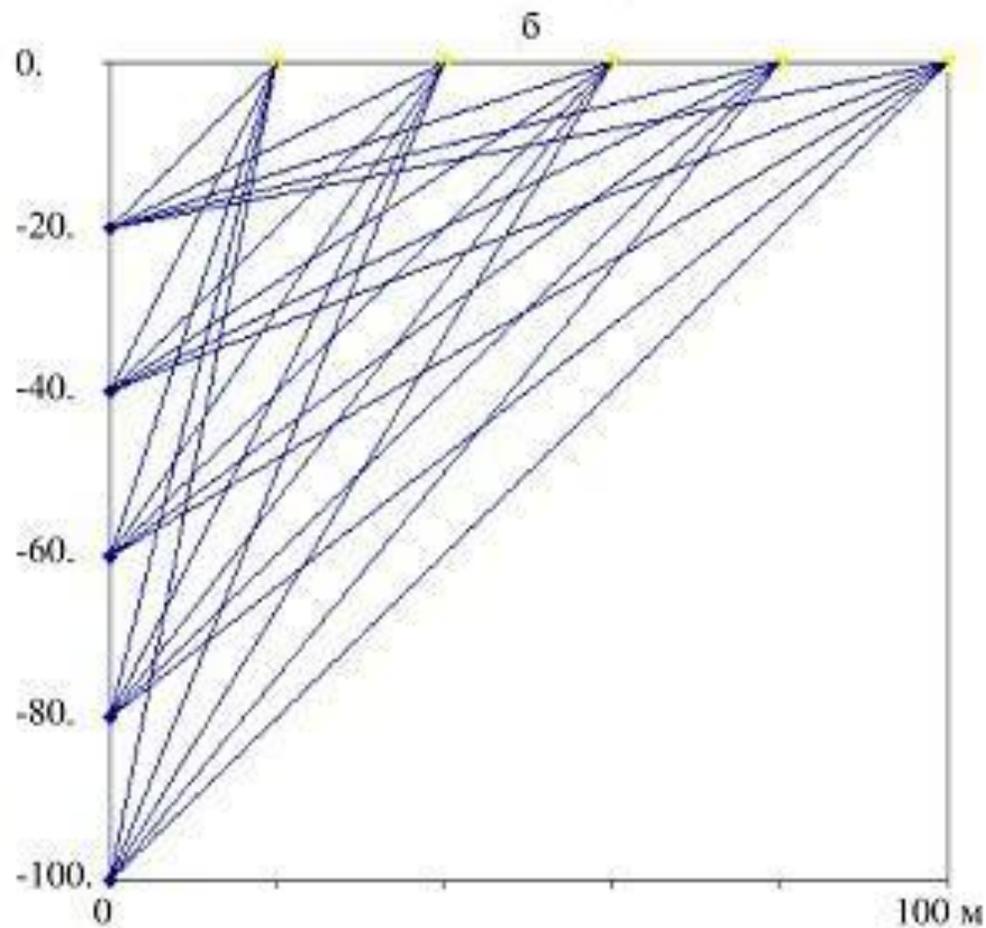


б

источники - в скважине
 приемники - на поверхности и в другой
 скважине

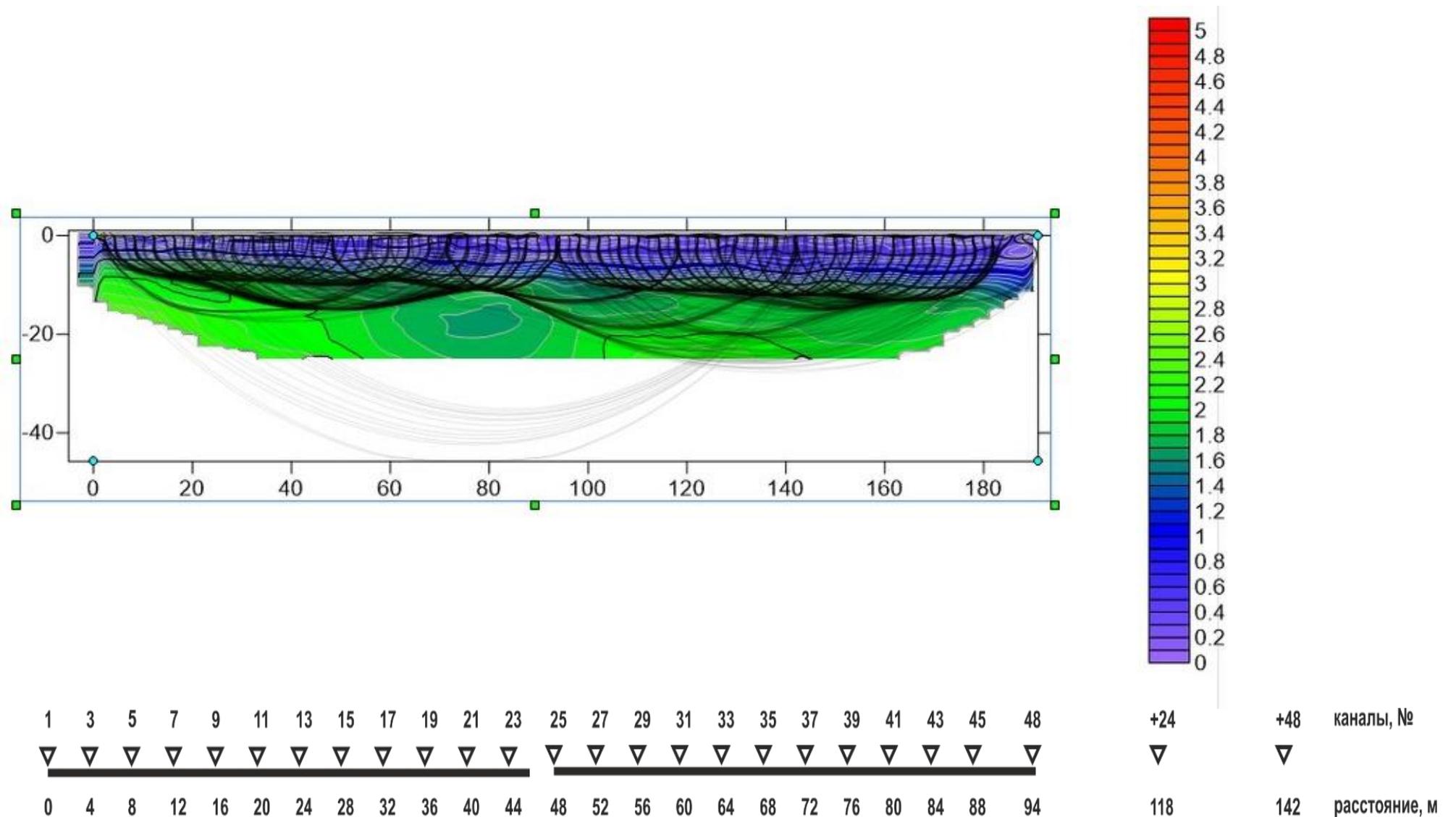


источники в скважинах и горной
выработке
приемники - на поверхности

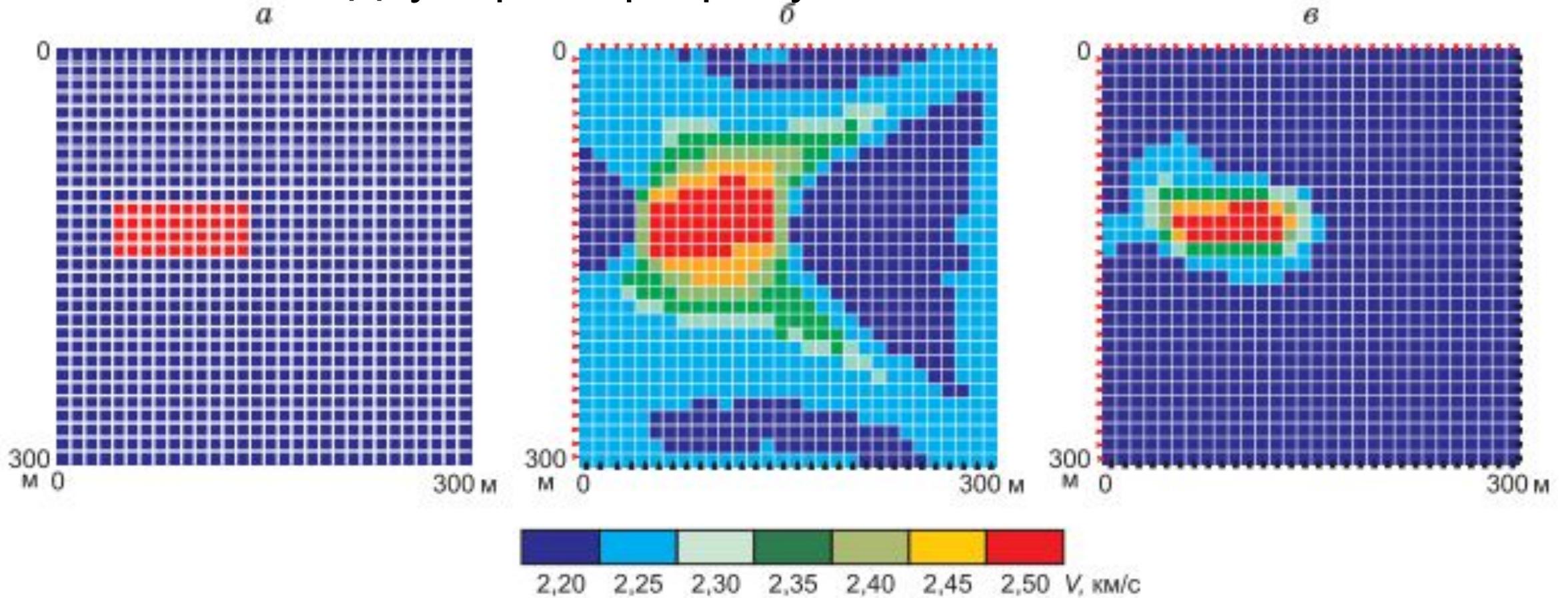


ВСП
источники - на поверхности
приемники - в одной
скважине

Пример из Александровской практики



Двумерный разрез угольного пласта

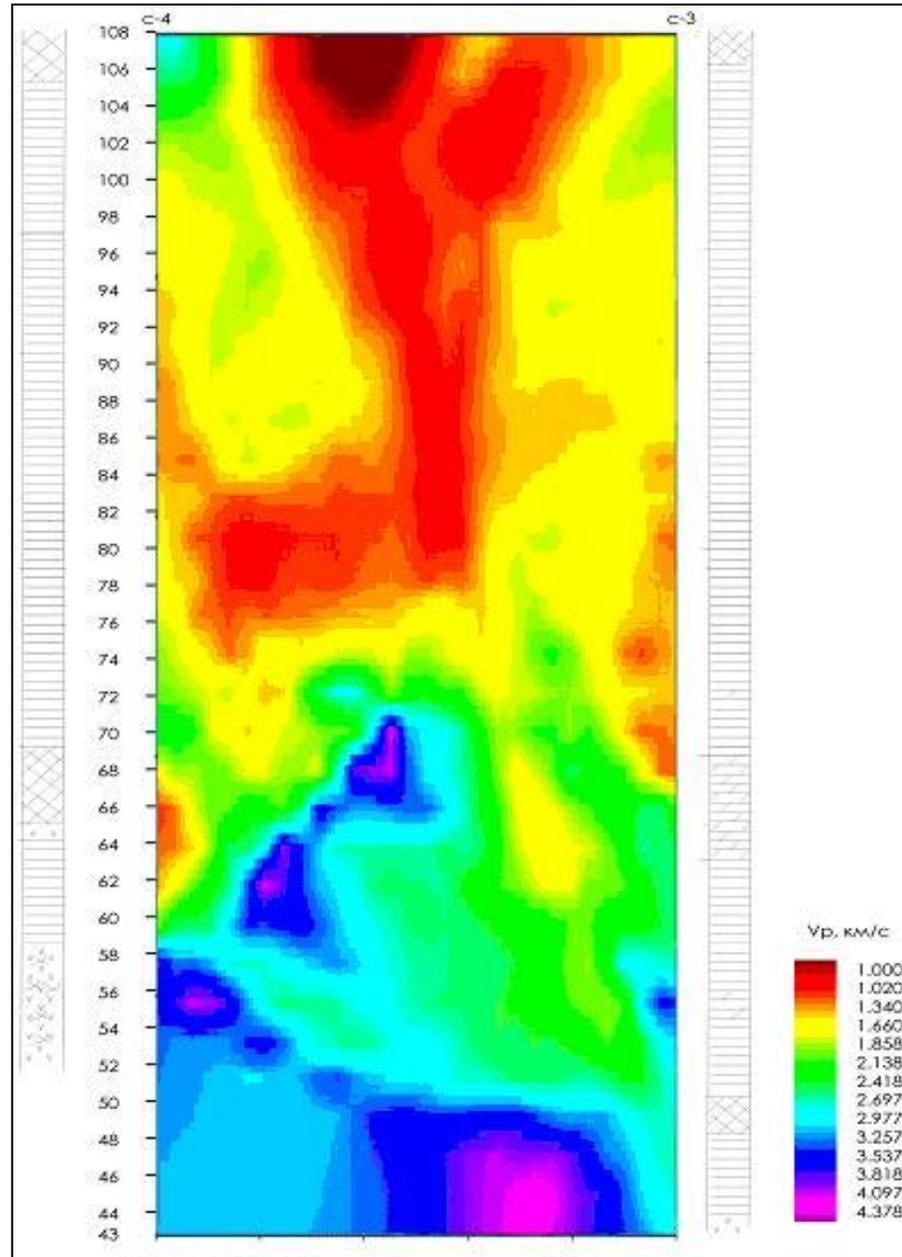


▼ Пункт возбуждения (ПВ) ▲ Пункт приема (ПП)

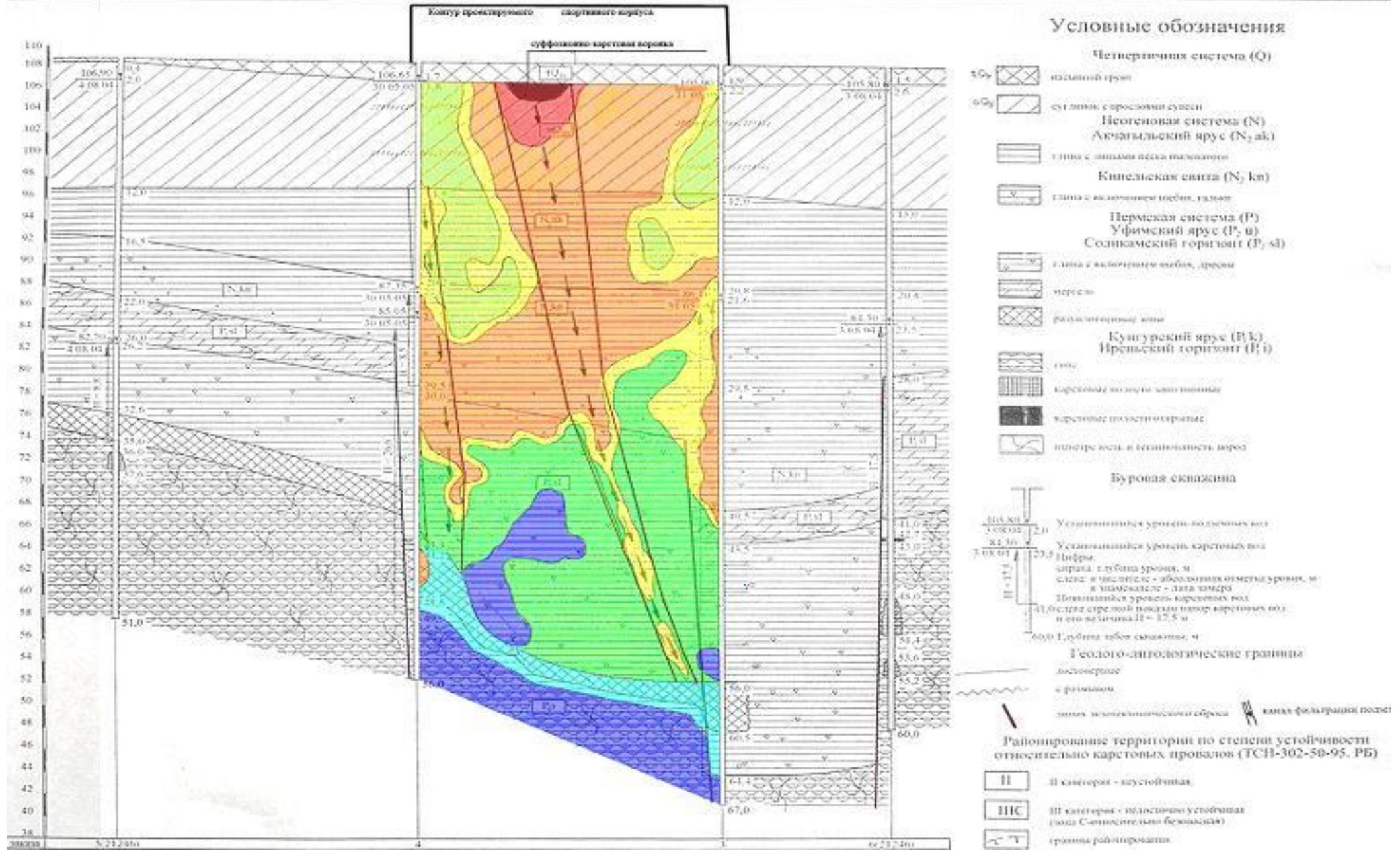
Двумерная скоростная модель угольного пласта с включением высокоскоростной линзы (*a*) и сейсмотомографические разрезы с ПП и ПВ, расположенными:

б – по трем сторонам площадки (верхней, нижней, левой), *в* – по четырем.

Двумерный разрез, полученный в результате межскважинного просвечивания



Геологический разрез



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



Список использованной для подготовки литературы

- Nolet G. A. Breviary of Seismic Tomography
- Карасик В.И. Применение сейсморазведки при изучении локальных неоднородностей геологического разреза, 1998
- Цветкова Т. А. Два подхода в задаче лучевой томографии, 2015
- Колонин А. Г. Применение лучевой томографии при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, 2016
- Материалы с Александровской практики, лекции Ермакова А. П.

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Идея метода сейсмотомографии, решаемые задачи
2. Физические основы метода сейсмотомографии, итерационный алгоритм решения обратной задачи
3. Системы наблюдений метода (геометрические схемы размещения источник-приемник)

