

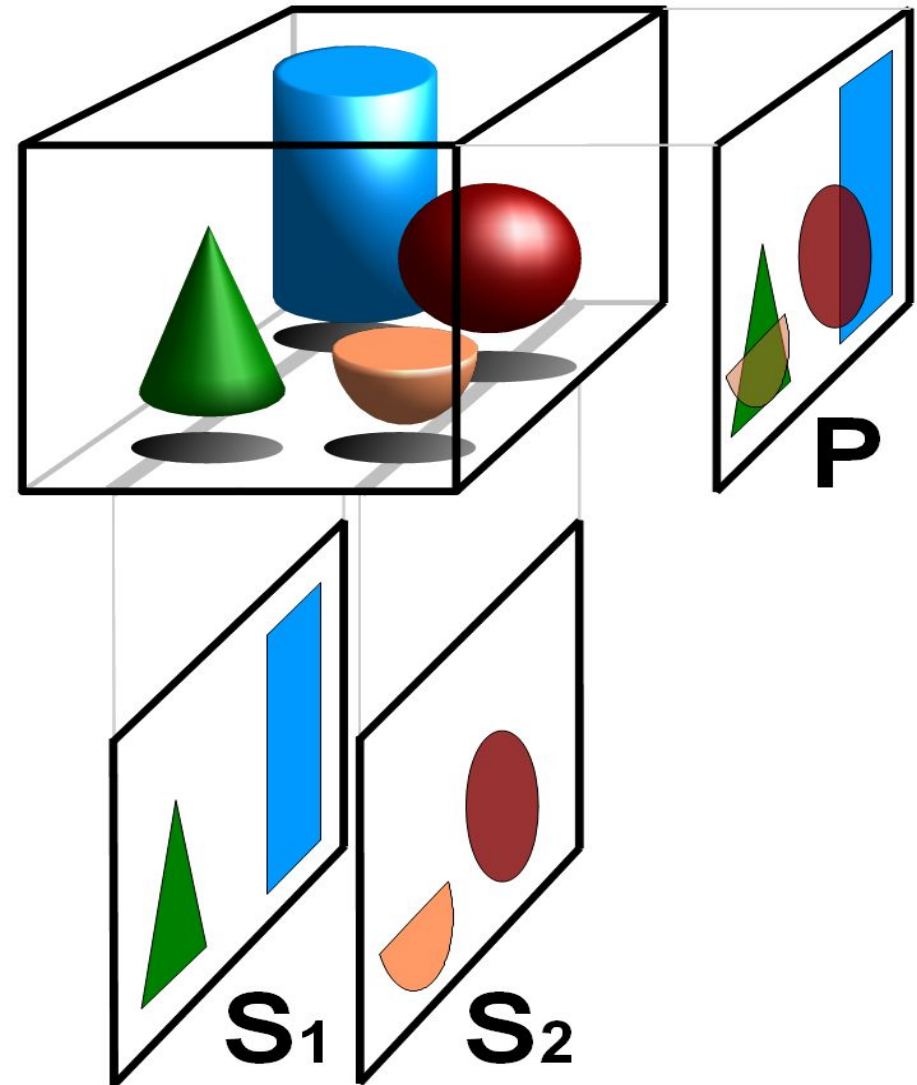
Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова  
Геологический факультет  
Отделение геофизики

# Томографический подход к решению задач сейсморазведки

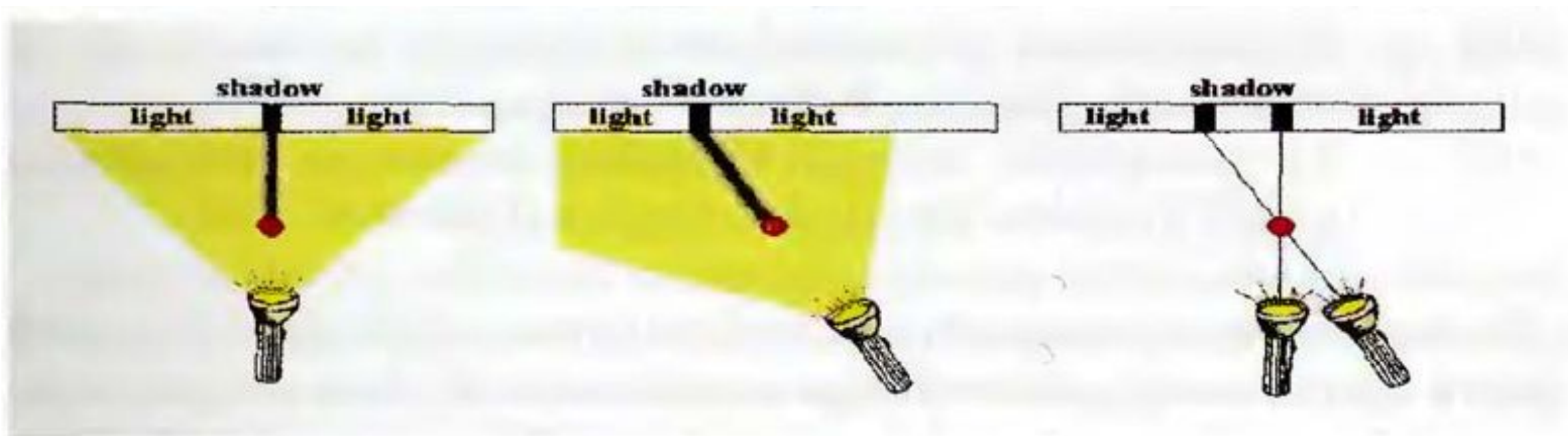
Москва,  
2017

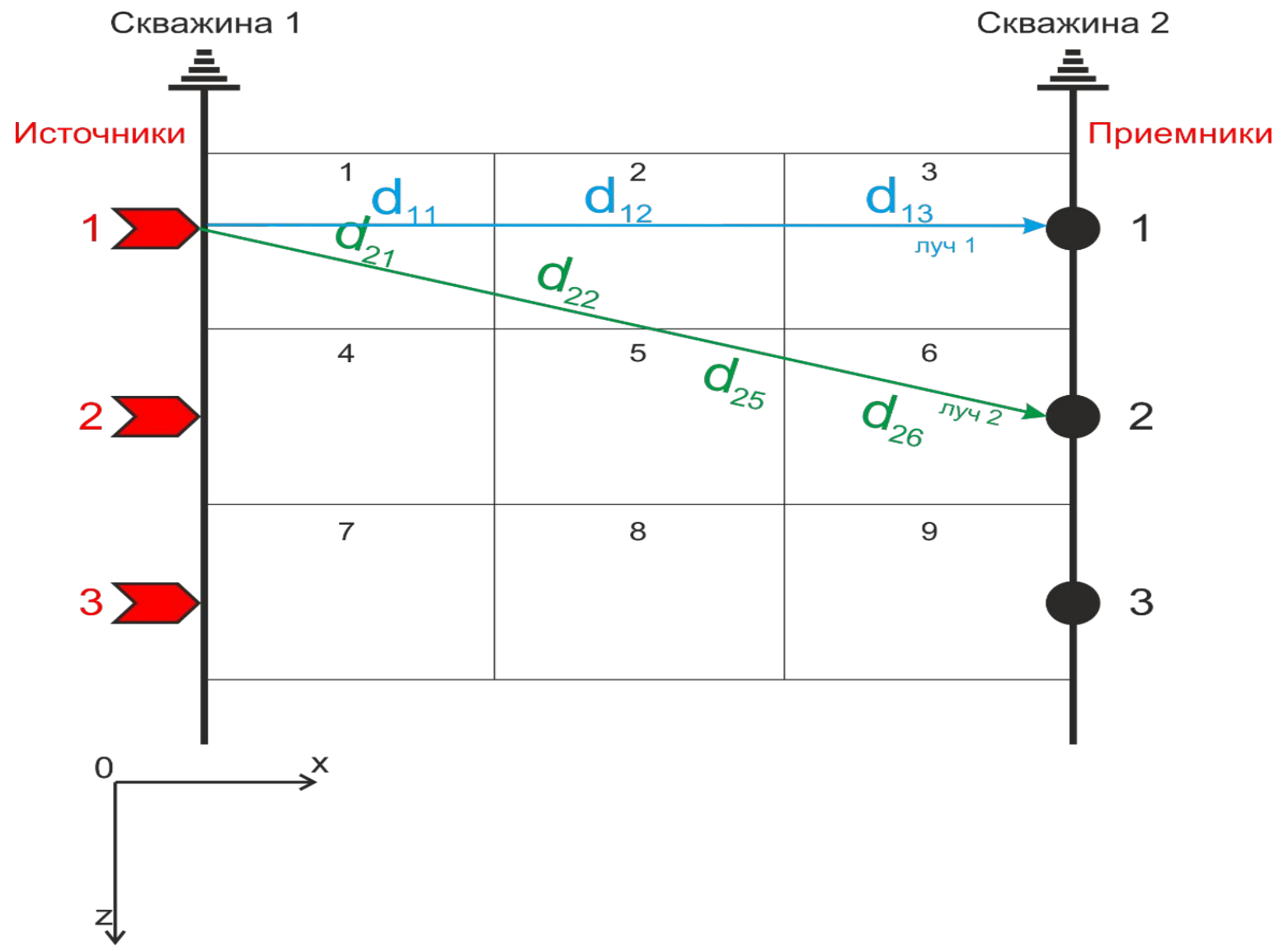
# Определение

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



# Идея томографии



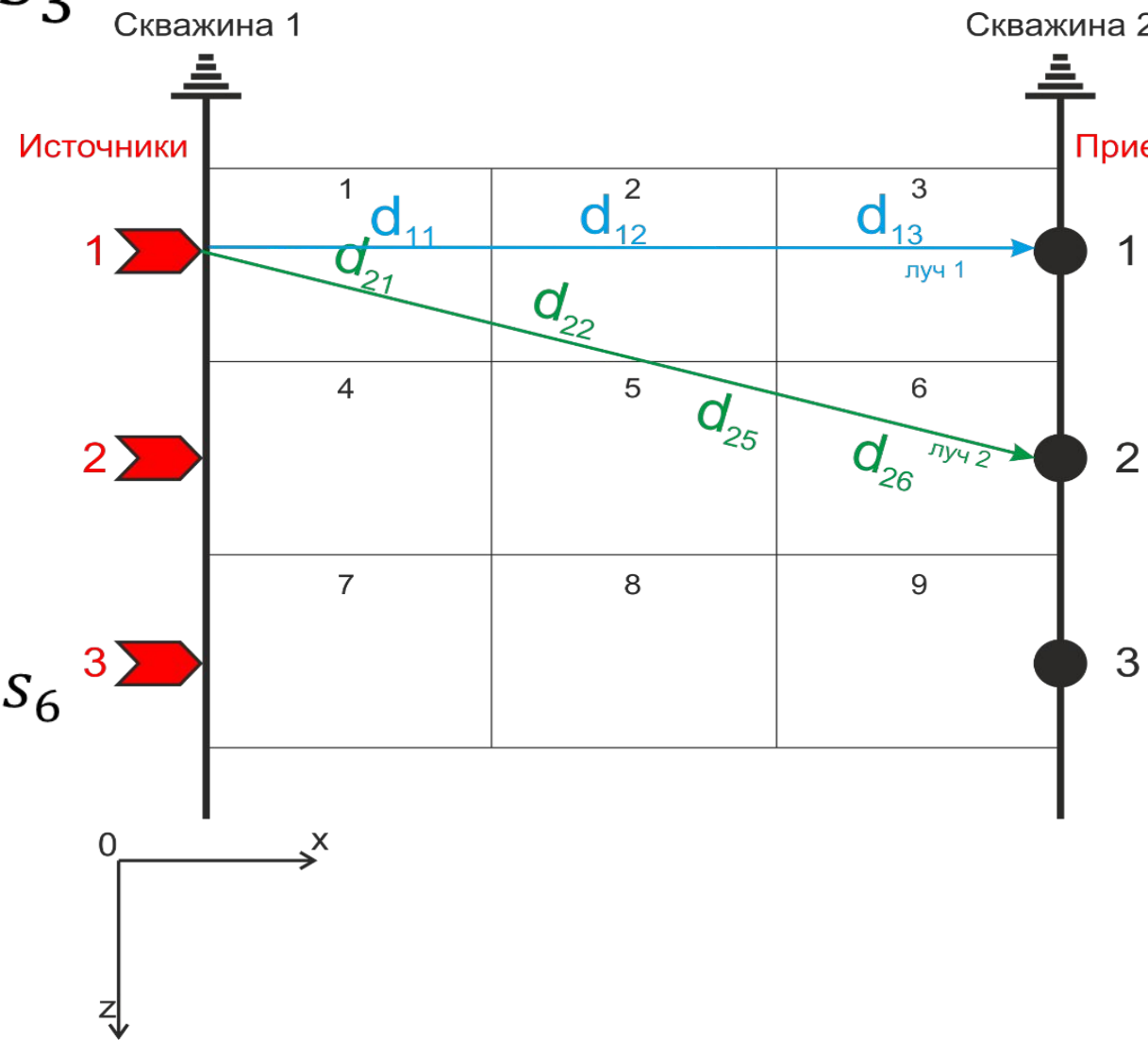


$$S_i = \frac{1}{V_i}$$

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

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

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

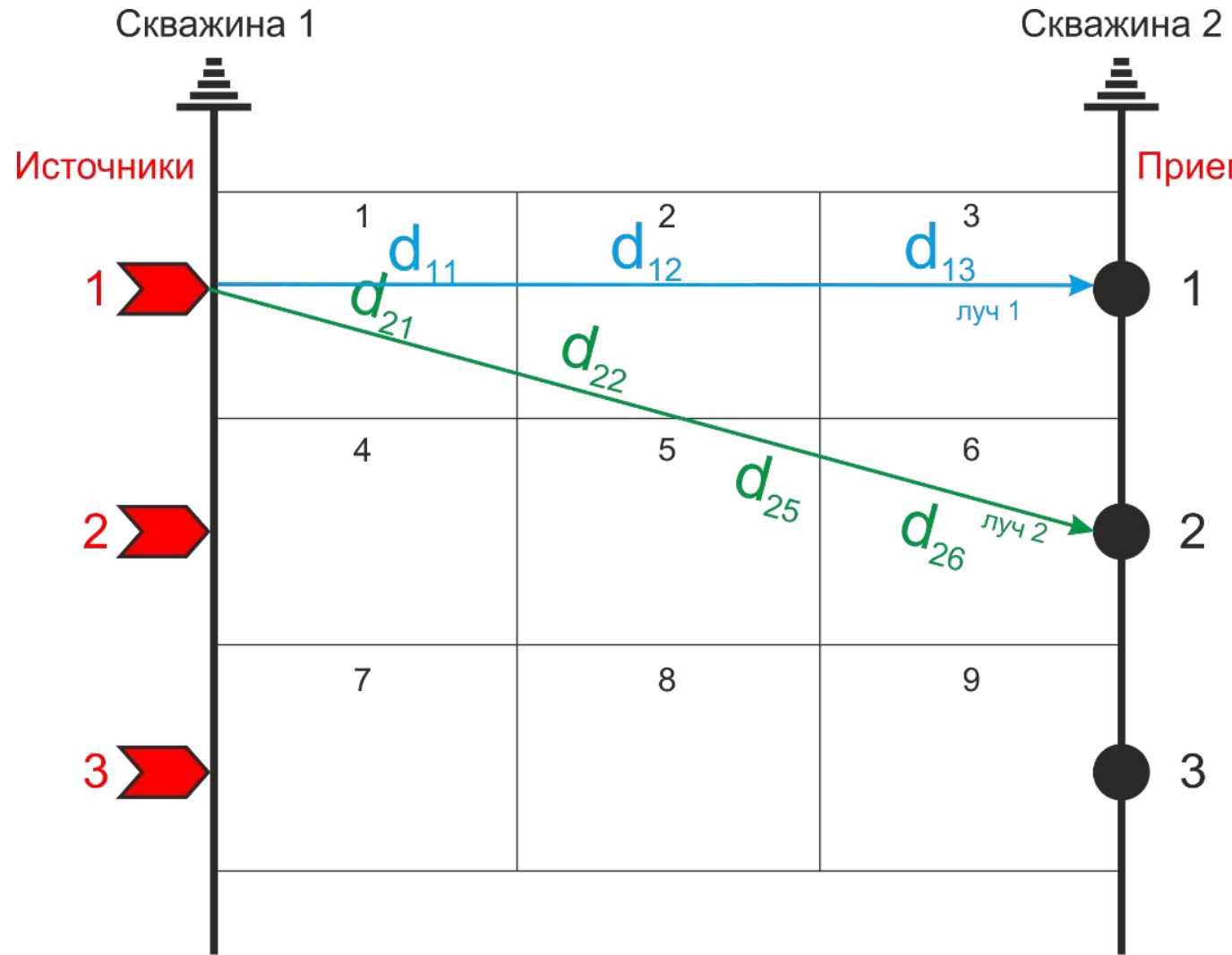


$$\begin{aligned}
 & \bullet t_1 \\
 & = d_{11} * S_1 + d_{12} * S_2 + d_{13} * S_3 \\
 & + d_{14} * S_4 + d_{15} * S_5 + d_{16} * S_6 \\
 & + d_{17} * S_7 + d_{18} * S_8 + d_{19} * S_9 \\
 & = \sum_{i=1}^N d_{1i} * S_i
 \end{aligned}$$

при условии, что

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

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



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

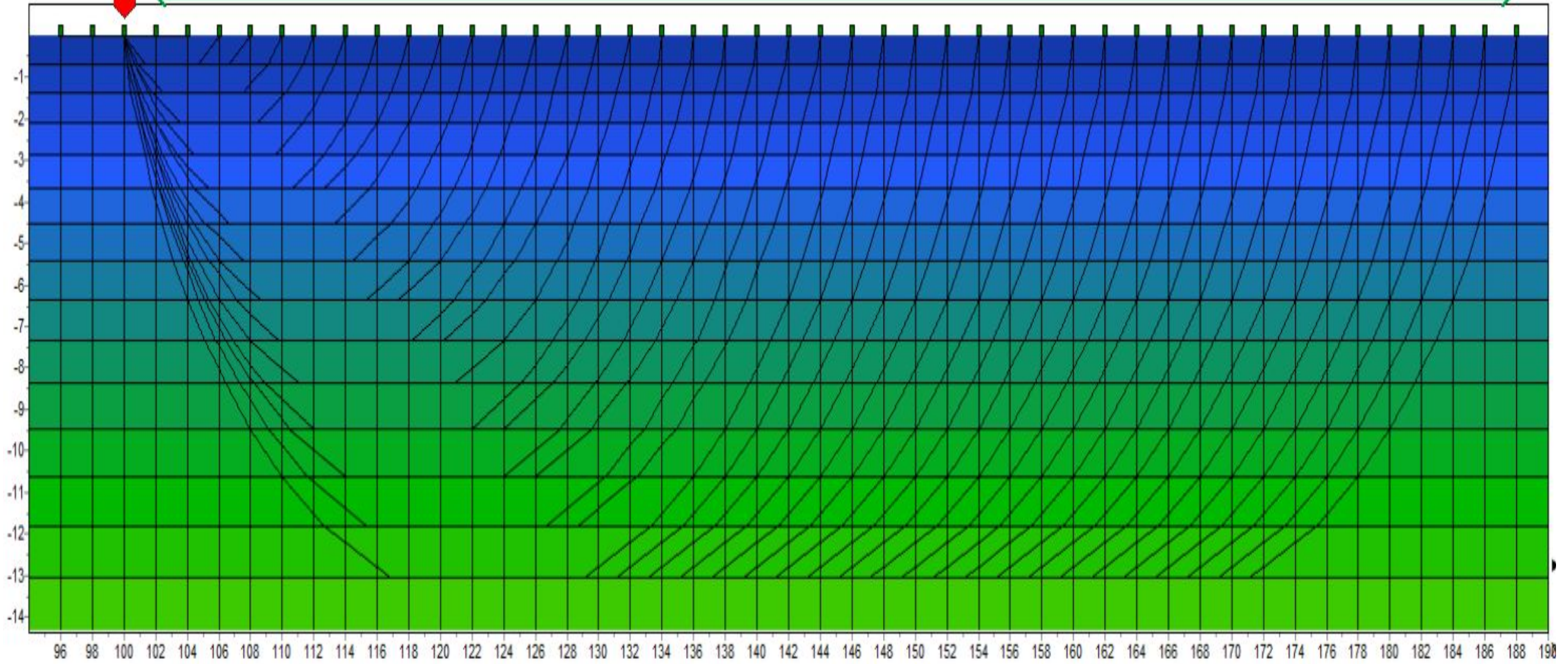
**T = D \* S** – решение ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ



Источник

Линия приемников  
Разрез скоростей

Zm

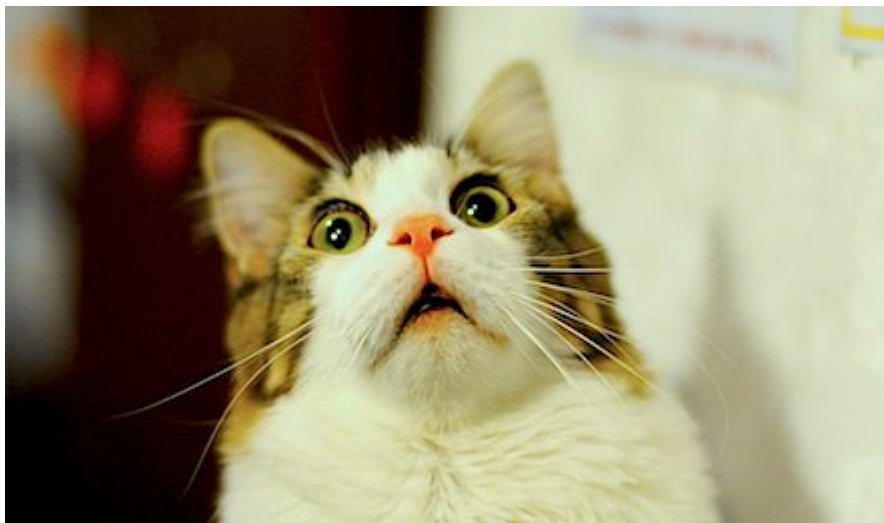




- $$\begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \dots \\ t_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ s_n \end{bmatrix}$$

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

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

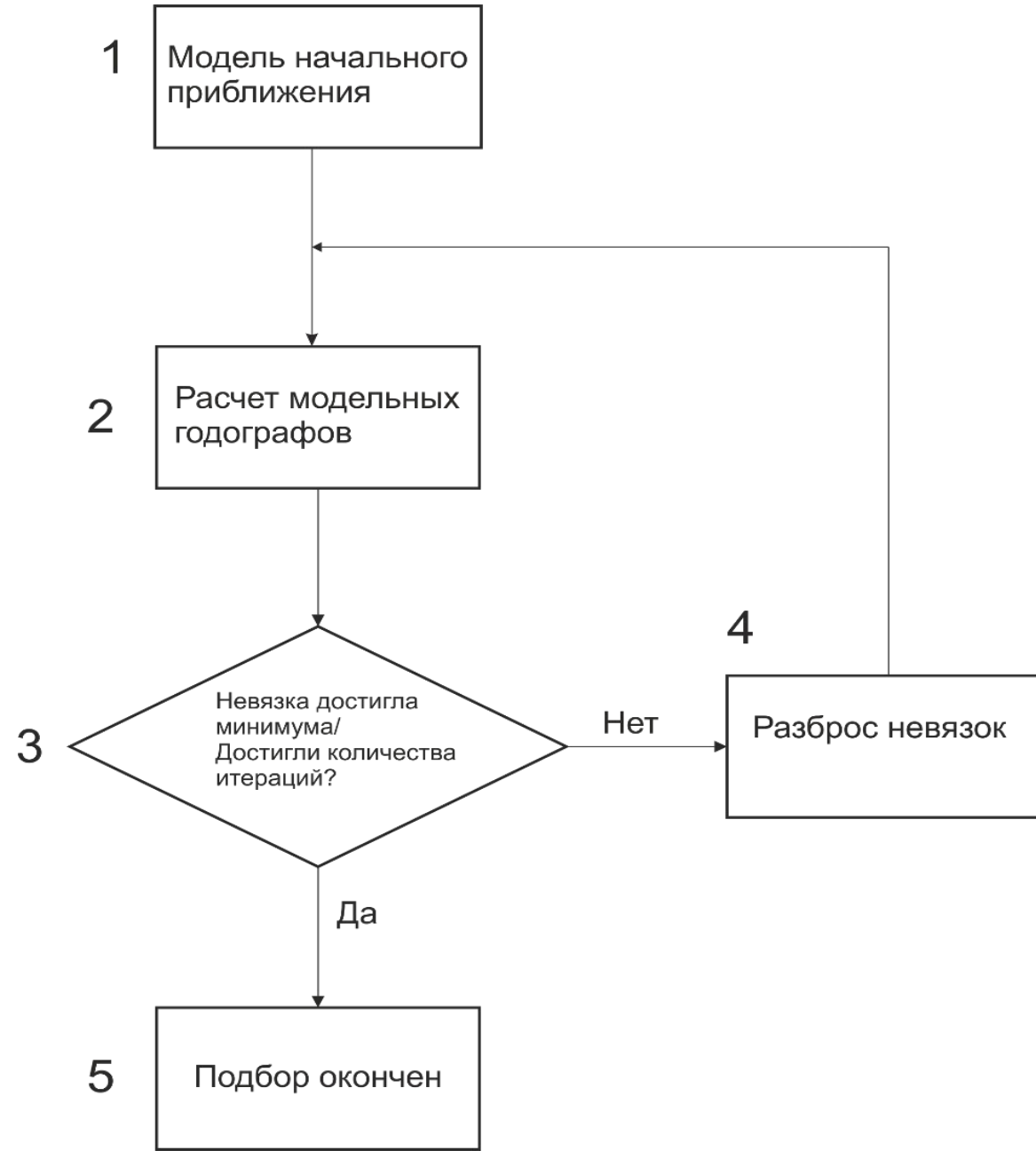


# Некорректность по Адамару

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



# Итерационный алгоритм



# Постановка задачи:

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

$\mathbf{S}^{\text{init}}$  - стартовая модель

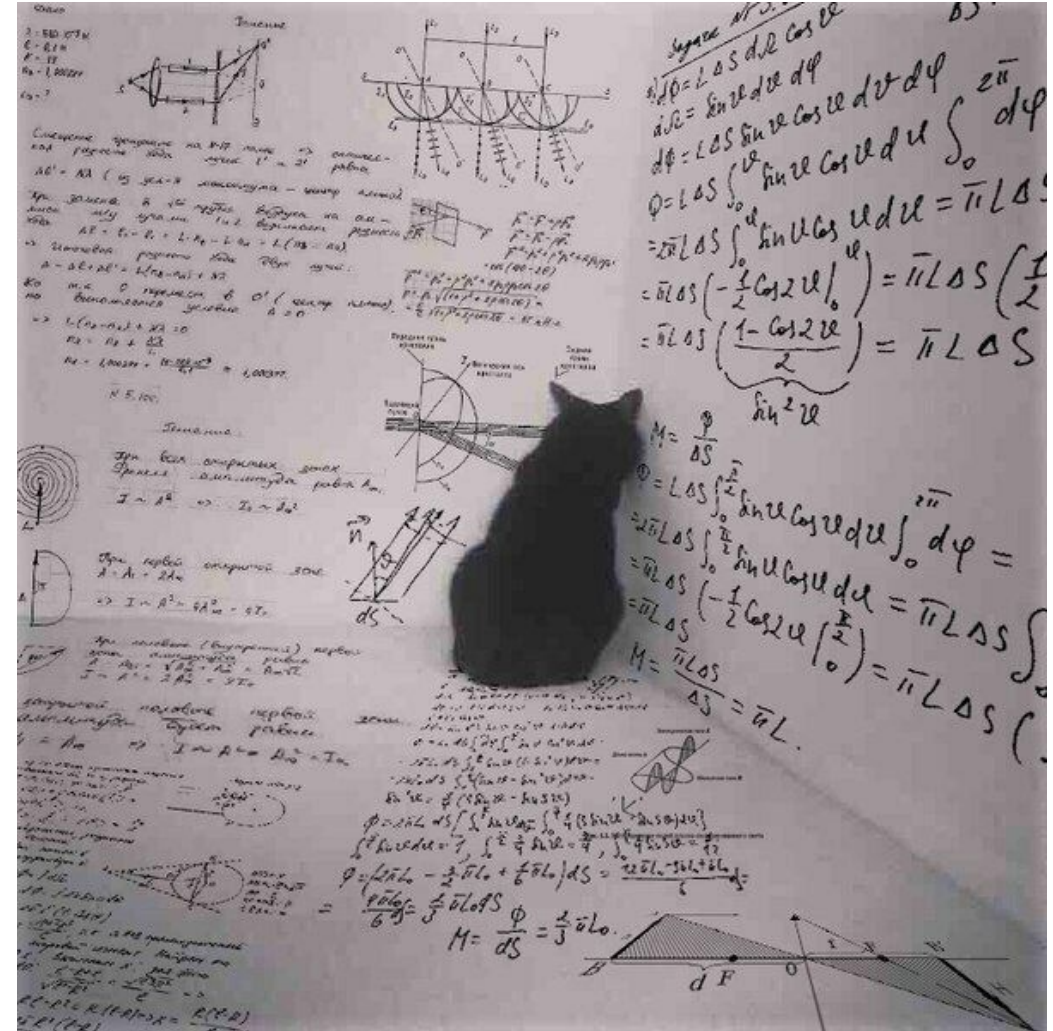
Используя  $\mathbf{T} = \mathbf{D} * \mathbf{S}$ , считаем  $\mathbf{T}^{\text{init}}$

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

- $\Delta t_k^1 = t_k - t_k^{\text{init}}$  - 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

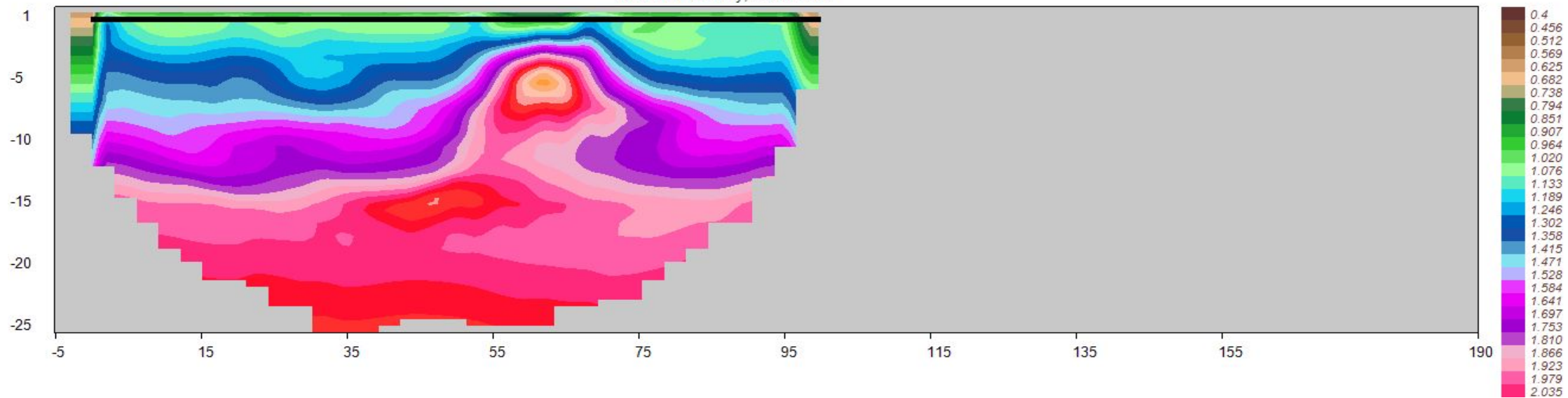
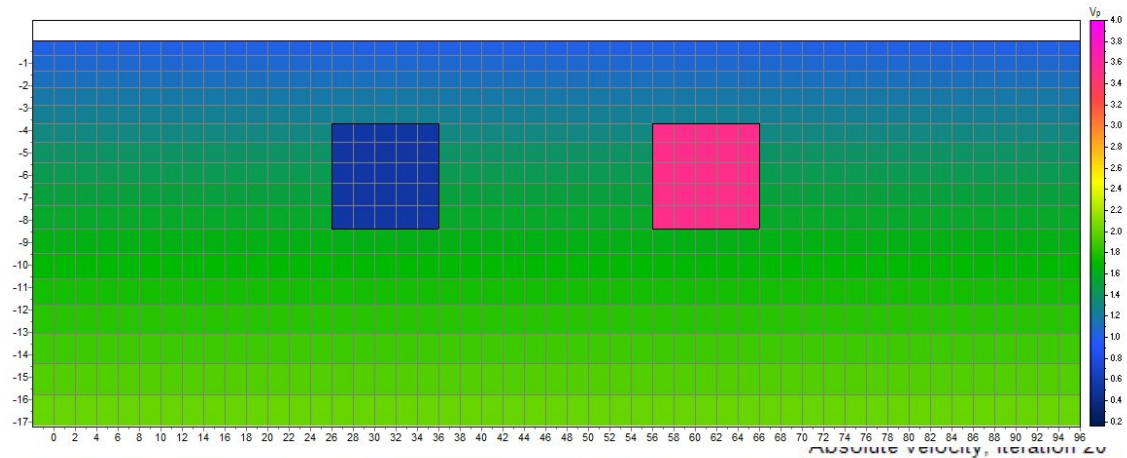




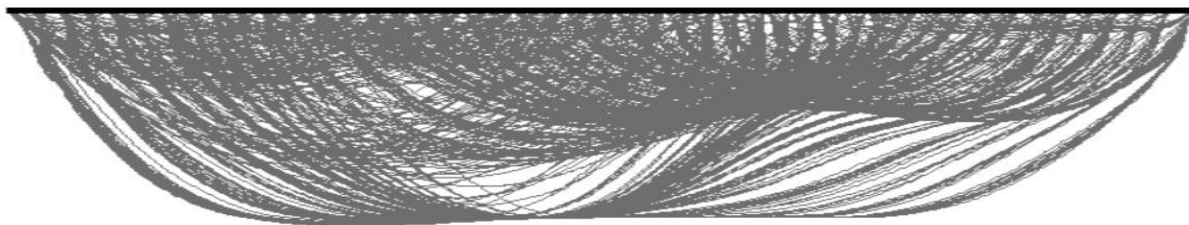
# Проблемы

- 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 / (



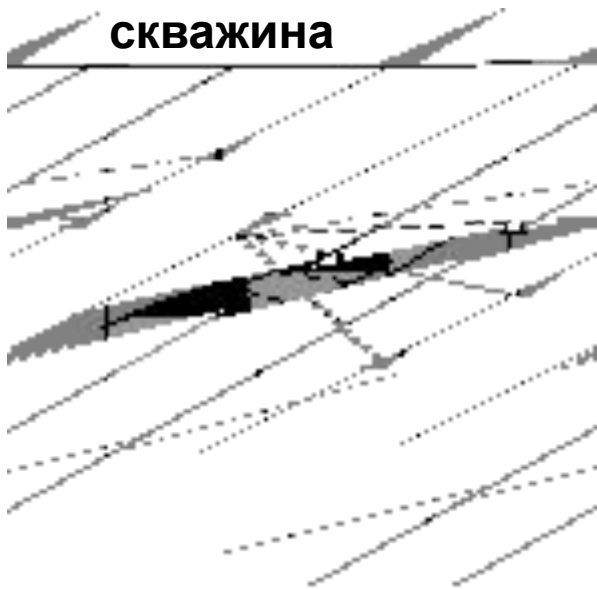
# Методы наблюдений

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

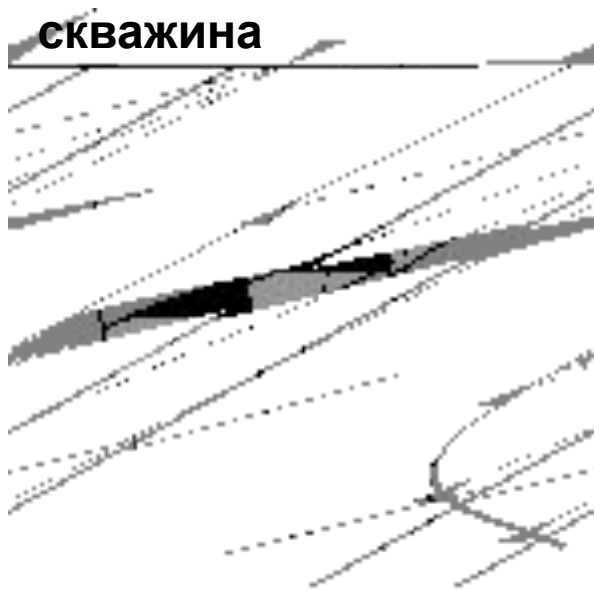


# Геометрические схемы размещения «источник-приемник»

Скважина-  
скважина



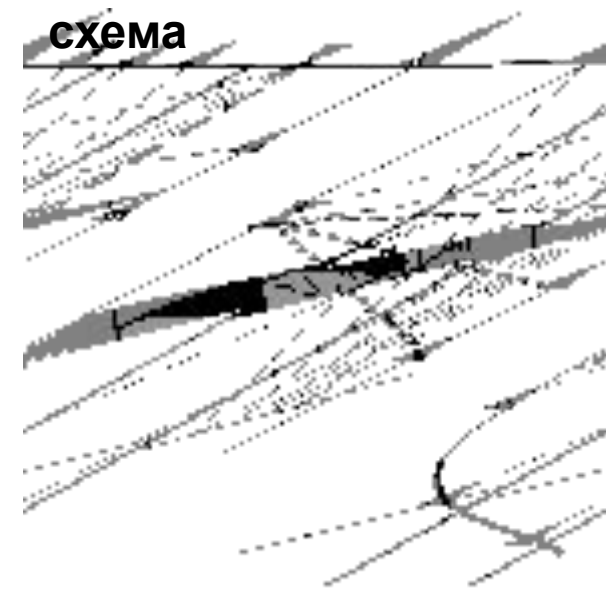
Поверхность-  
скважина

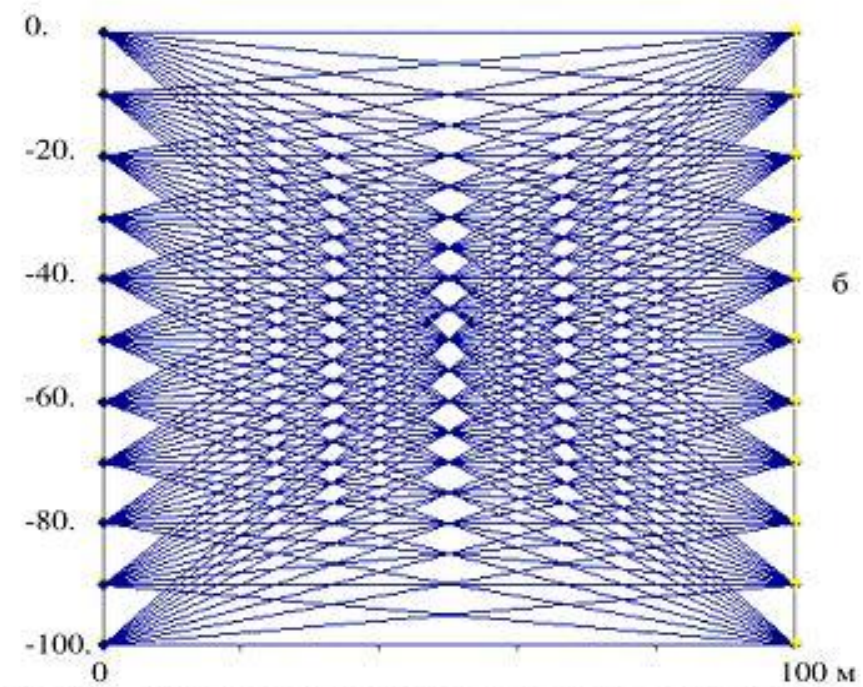
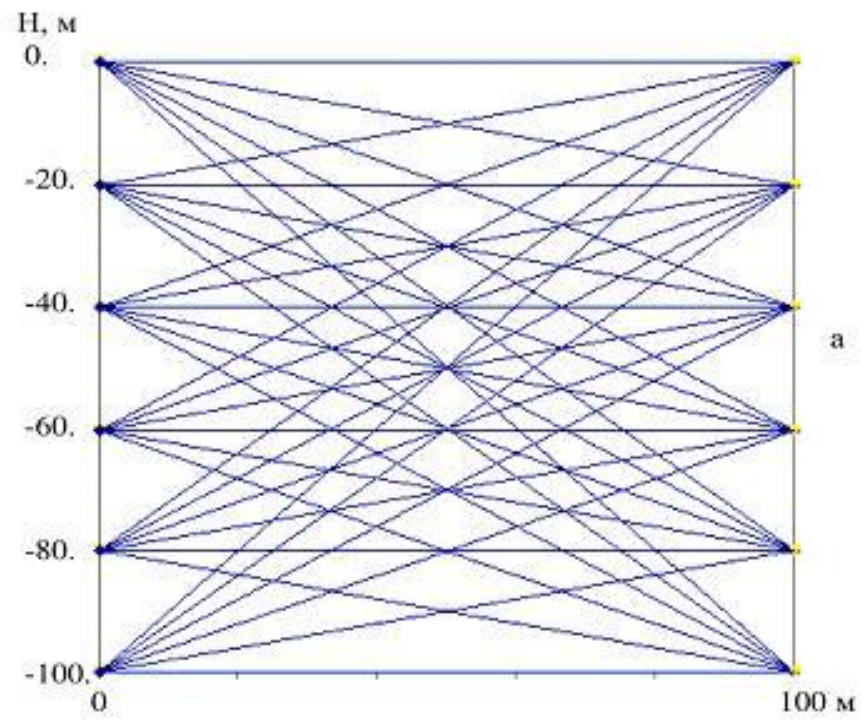


Поверхность-  
поверхность

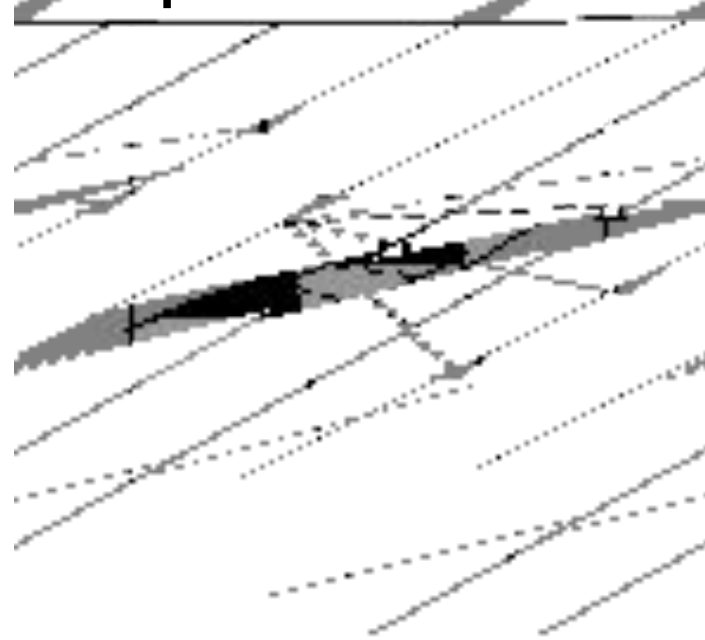


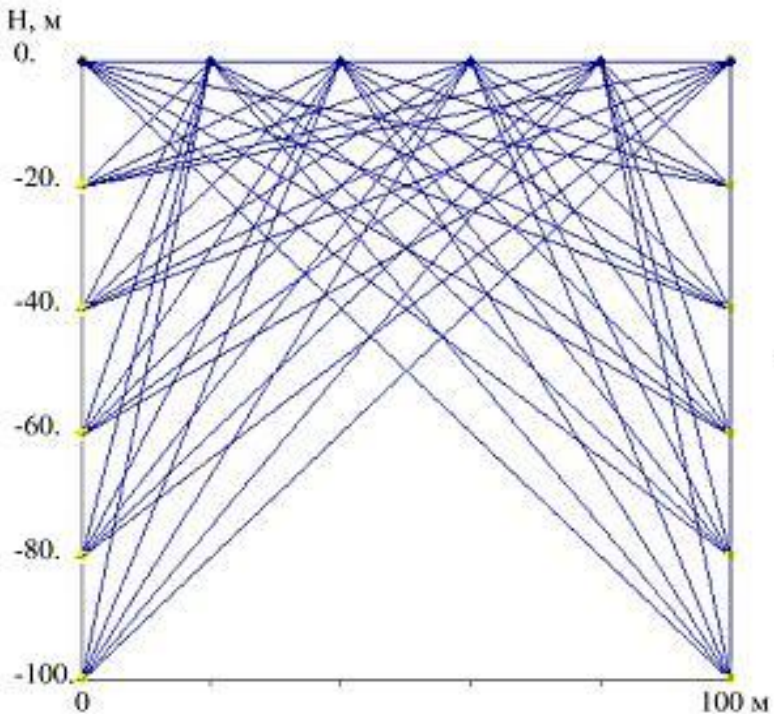
Комбинированная  
схема





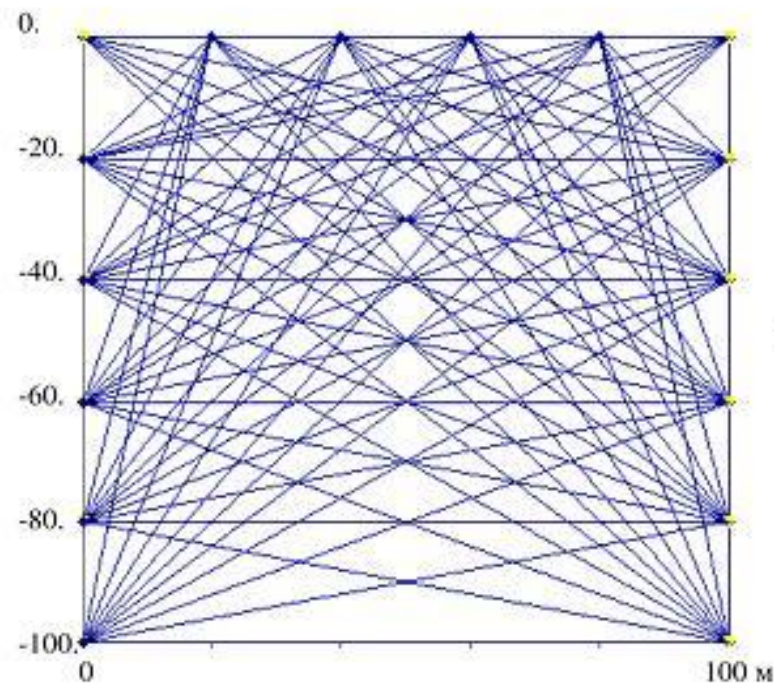
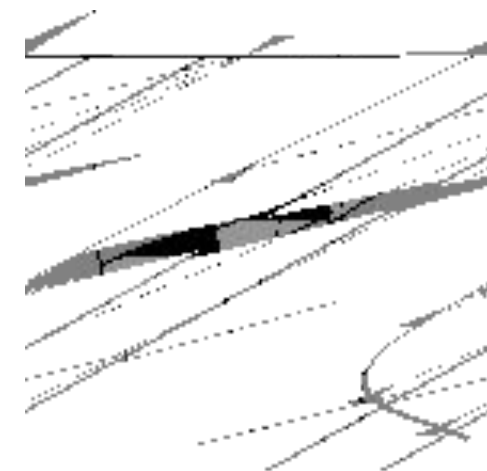
## Схема встречного межскважинного просвечивания





а

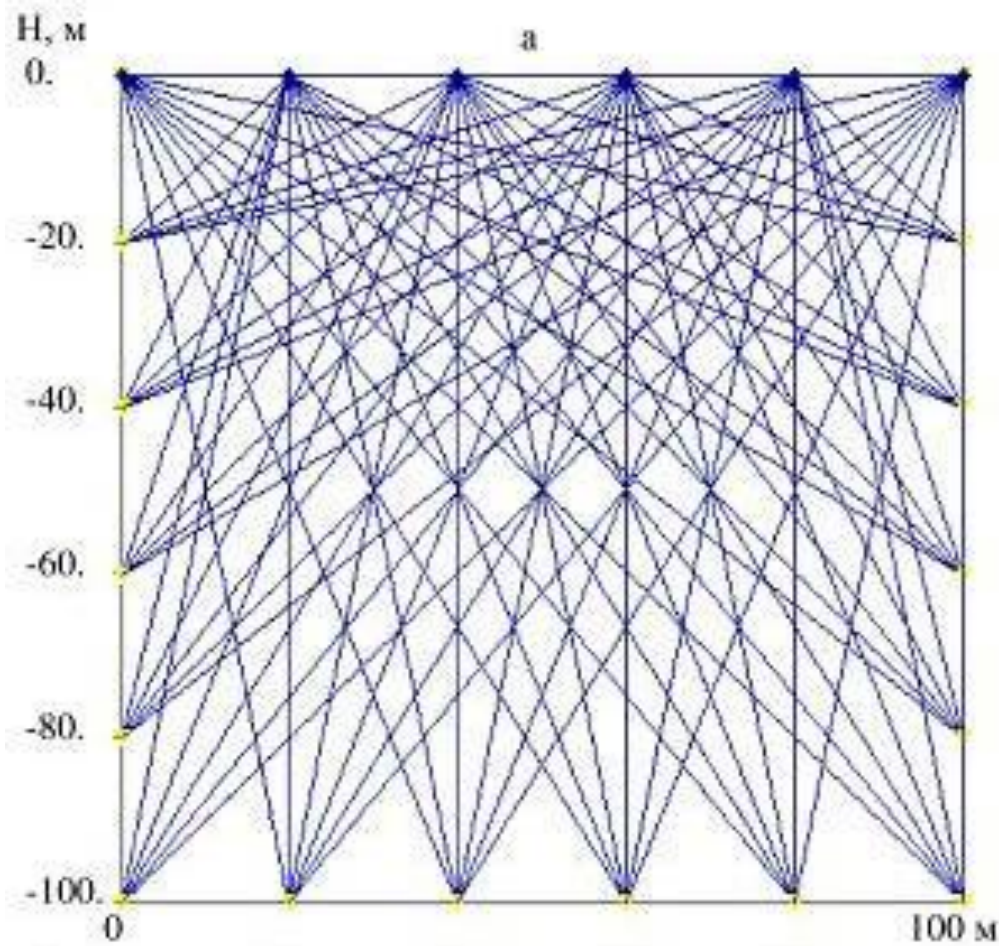
Источники – скважина  
 Приемники –  
 поверхность  
 ВЧР ЗМС



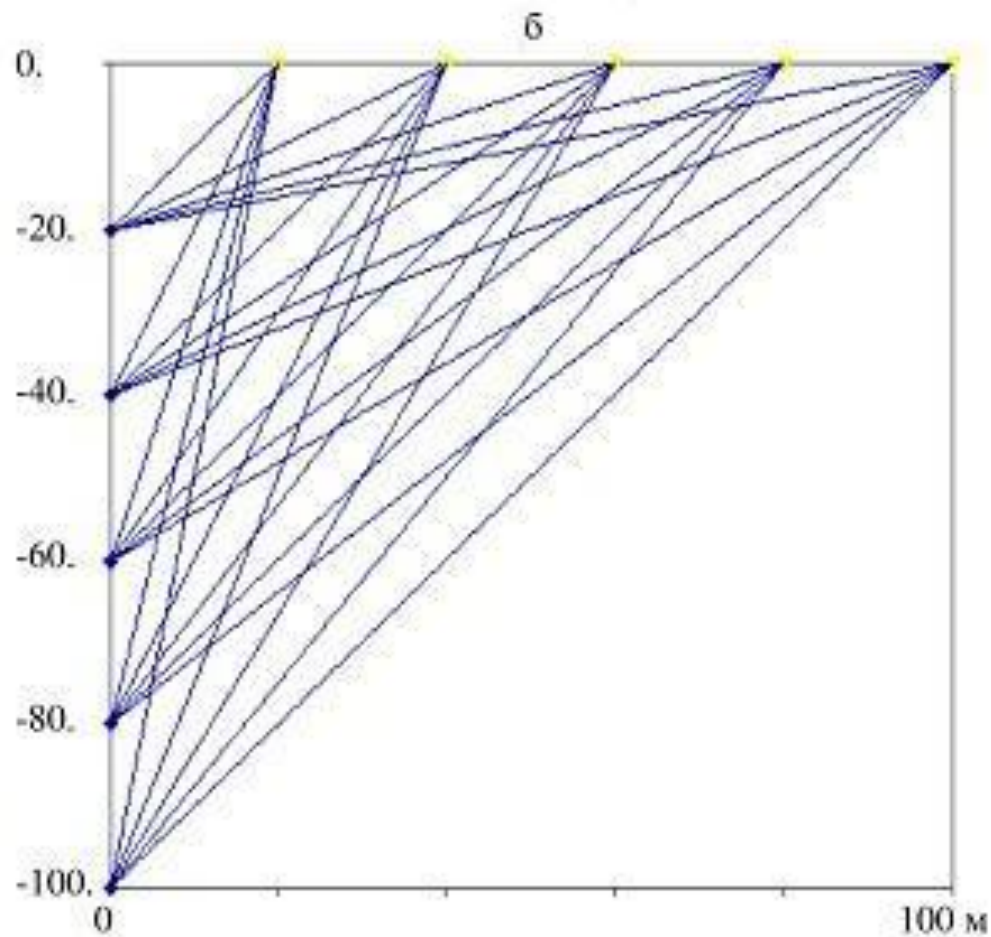
б

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



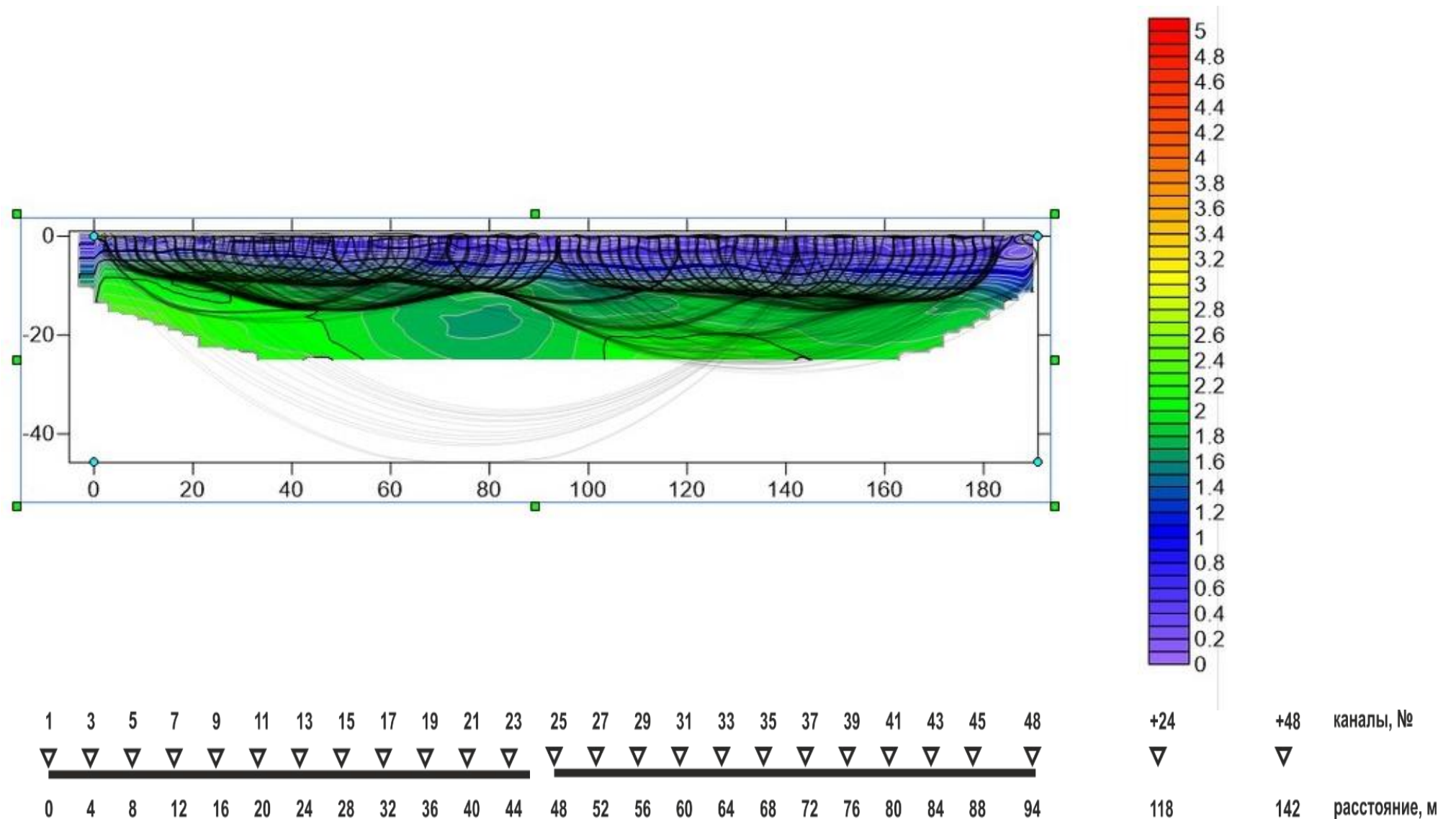


источники в скважинах и горной  
выработке  
приемники - на поверхности



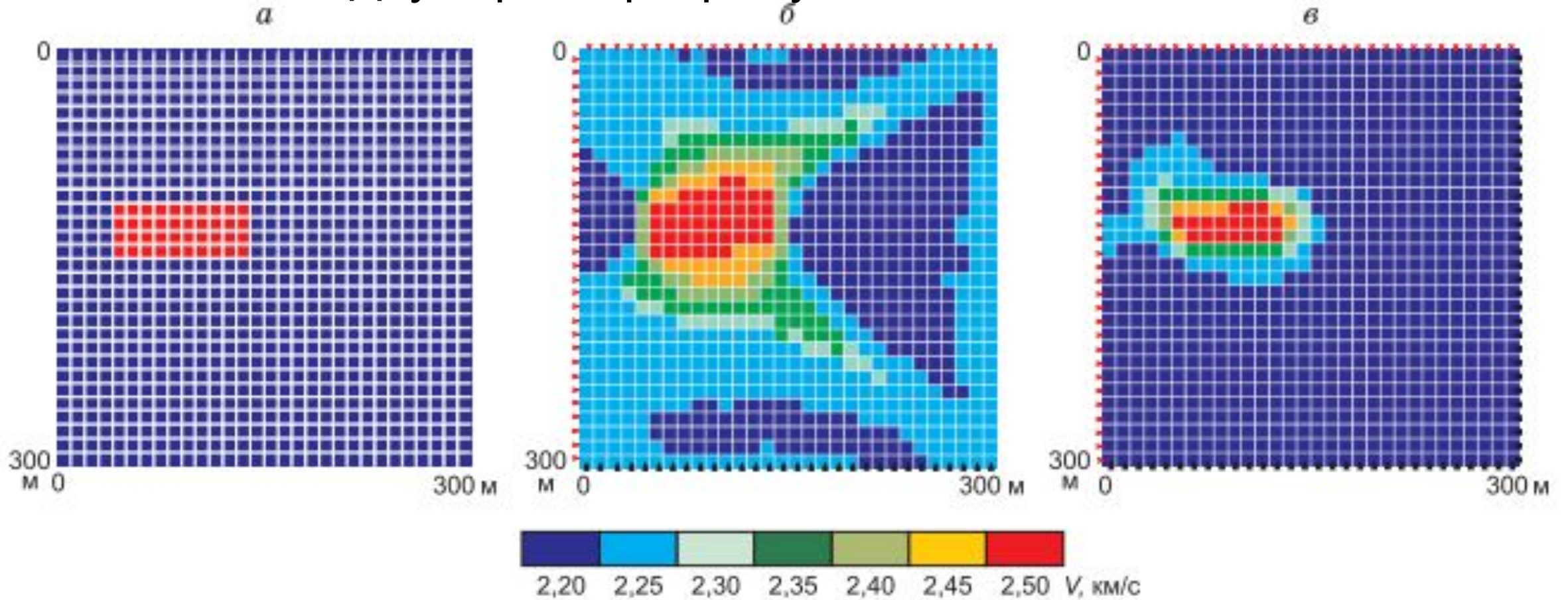
ВСП  
источники - на поверхности  
приемники - в одной  
скважине

# Пример из Александровской практики





# Двумерный разрез угольного пласта



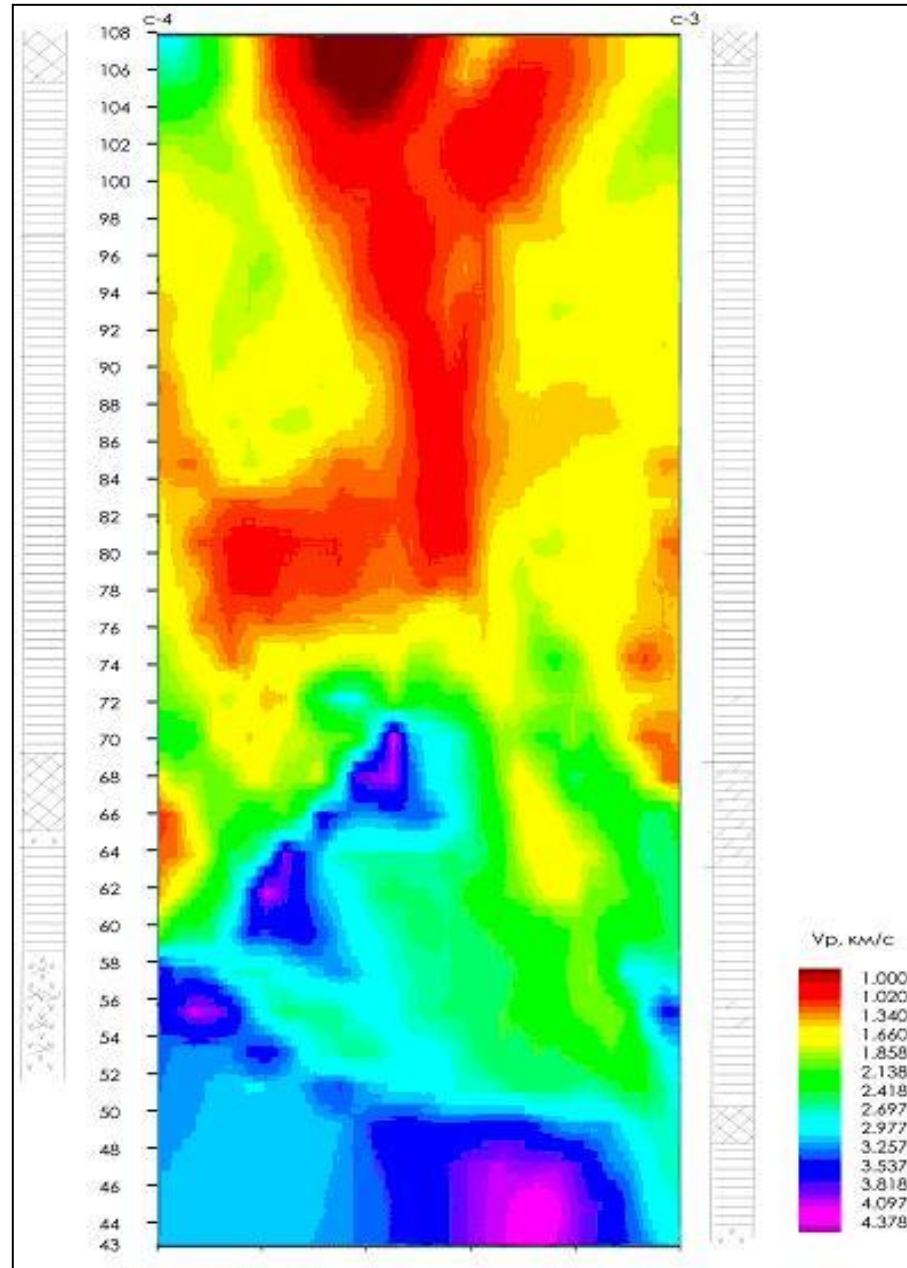
▼ Пункт возбуждения (ПВ) ▲ Пункт приема (ПП)

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

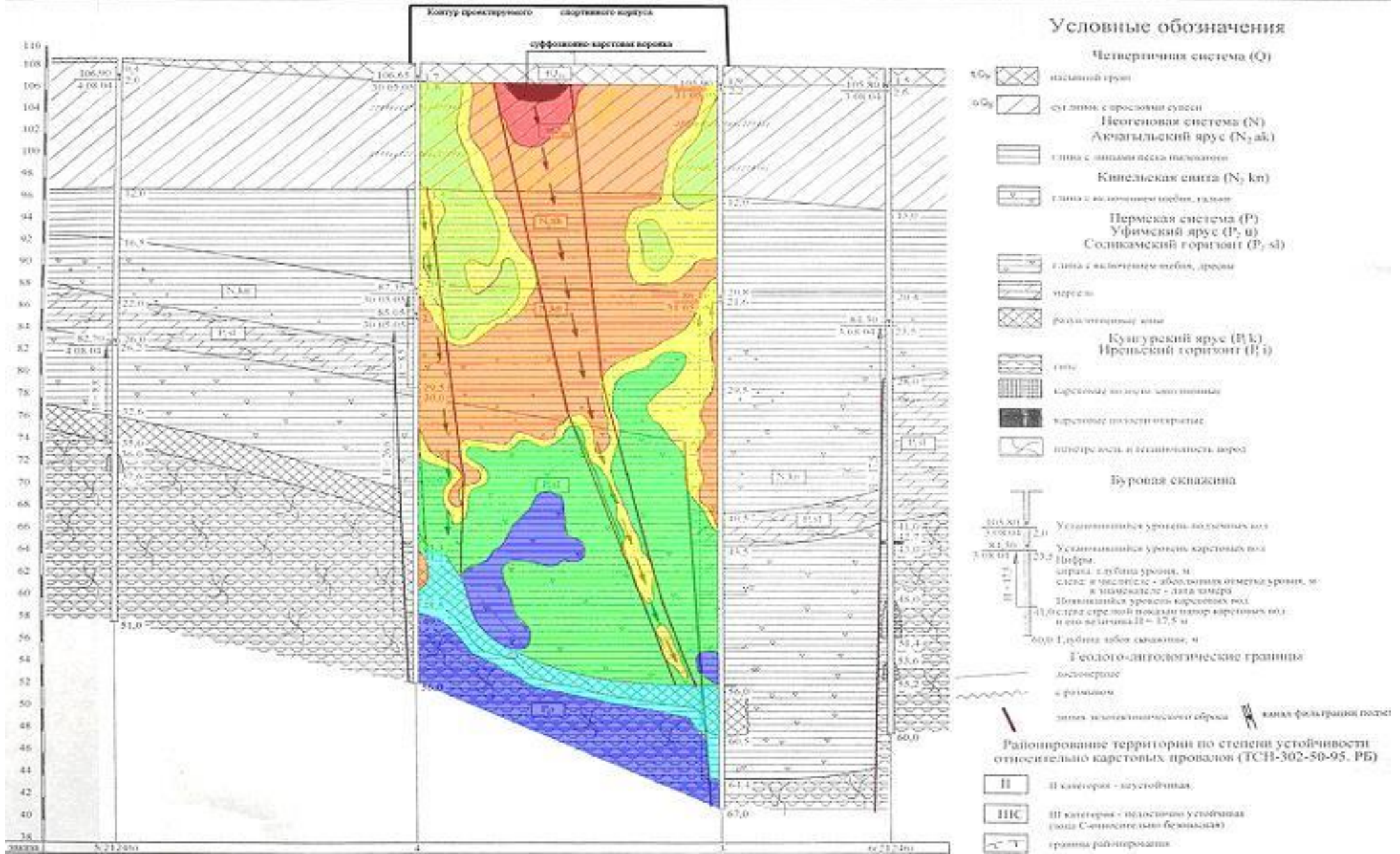
б – по трем сторонам площадки (верхней, нижней, левой), в – по четырем.



# 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)

