

# **Электроразведка**

*Г.А. Лобова*

- Электроразведка основана на изучении электрических и магнитных полей, возникающих в земной коре, либо созданных искусственно.

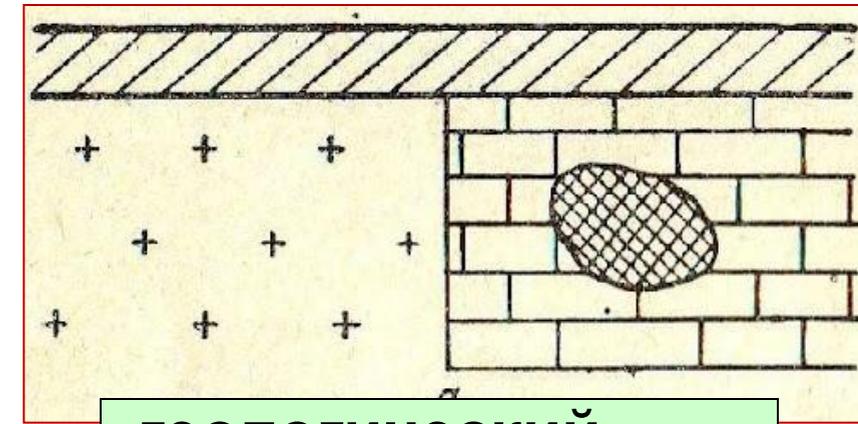
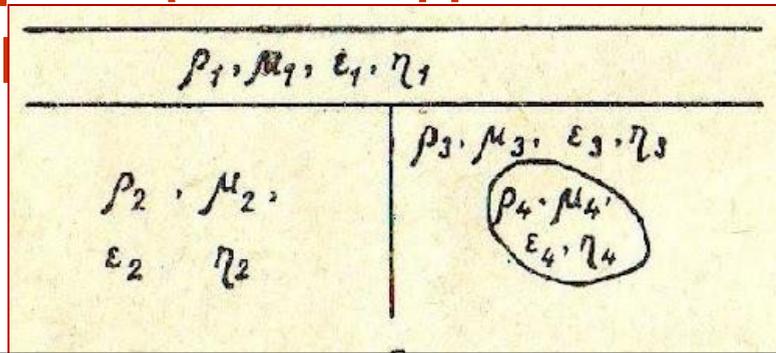
# Источники естественных электрических полей:

- 1. Электрохимические и электрокинетические процессы в земной коре:
  - Окислительно-восстановительный потенциал
  - Фильтрационный потенциал
  - Диффузионно-адсорбционный потенциал
- 2. В результате вариаций магнитного поля Земли в проводящих горных породах возбуждается переменный электрический ток - теллурический
- 3. При воздействии на ионосферу Земли потока заряженных частиц возникают переменные электромагнитные поля – теллурики.
- 4. Под воздействием гроз в верхних частях Земли повсеместно и всегда существует слабое грозовое поле – атмосферики.

# Источники искусственных электрических полей:

- Источники постоянного тока:
  - 1. Сухие элементы и аккумуляторы.
  - 2. Генераторы постоянного тока, приводящиеся в действие двигателями автомобиля.
- Источники переменного тока:
  - 1. Генераторы гармонических колебаний или прямоугольных импульсов.
  - 2. Магнитнодинамические генераторы (МГД-генераторы).

# Классификация методов электро



Объект изучения – геоэлектрический  
разрез

геологический  
разрез

Метод

электроразведки

1. По характеру используемого пространства (по месту проведения) группы методов:

- космические
- аэрометоды
- наземные (полевые),
- подземные (скважинные, шахтные),
- морские,

2. По области применения электроразведка:

- структурная,
- нефтяная
- рудная,
- инженерно-геологическая

3. По типу решаемых геологических задач:

- зондирование

#### 4. По типу используемого поля

### Искусственное электромагнитное поле

### Естественное электромагнитное поле

| Постоянное электрическое поле                                      |  | Переменное электромагнитное поле |                               | Постоянное электрическое поле  | Переменное электромагнитное поле          |
|--|--|----------------------------------|-------------------------------|--|---|
| <b>Метод сопротивлений (основан на измерении <math>R_K</math>)</b> |  | <b>Частотный метод</b>           | <b>Метод становления поля</b> | <b>Метод поляризационный (электрохимический)</b>                         | <b>Магнитотеллурические токи</b>          |
| Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ)                      | Дипольное электрическое зондирование (ДЭЗ) | Частотное зондирование (ЧЗ)      | Метод становления поля (МСП)  | Метод естественного поля (ЕП) или поля самопроизвольной поляризации (ПС) | Метод теллурического зондирования (МТЗ)   |
| Электрическое профилирование (ЭП)                                  | Метод заряженного тела (МЗТ)               |                                  |                               |  | Метод теллурического профилирования (МТП) |
| Метод вызванных потенциалов (ВП)                                   |  |                                  |                               |  | Метод теллурических токов (МТТ)           |
|  |  |                                  |                               |  | Магнитовариационная разведка              |
|  |  |                                  |                               |  | Магнитовариационное зондирование          |

- Основными методами *постоянного тока* являются методы сопротивлений.
- *Модификации:*
- электропрофилирование (ЭП)
- электроразондирование (вертикальное – ВЭЗ)

# Удельное электрическое сопротивление (У.Э.С.) горных пород

- Известно, что  $R = \rho \frac{l}{S}$  где
- $\rho$  – удельное электрическое сопротивление каналов, по которым течет ток
- $R$  – электрическое сопротивление проводника
- $l$  – длина каналов
- $S$  – сечение каналов
- Чем  $> \rho$  и  $l$ , тем  $> R$

**У.Э.С. горных пород**  
**Факторы, определяющие У.Э.С. осадочных**  
**горных пород**

- 1) породообразующие минералы (минеральный скелет)+ примеси рудных минералов
- 2) поровое пространство (пустоты)
- 3) пластовые флюиды, заполняющие поры (пластовая вода, нефть, газ)

## У.Э.С. горных пород

### Влияние У.Э.С. породообразующих минералов

Кальцит -  $\rho = 10^9 - 10^{14}$  (Ом·м)

Кварц -  $\rho = 10^{12} - 10^{16}$  (Ом·м)

диэлектрики

Слагают до 90-95% объема осадочных горных пород, однако имеют вклад в общее У.Э.С. только **5-10%**

# У.Э.С. горных пород

## Влияние примеси рудных минералов

- Пирит -  $\rho = 10^{-5} - 10$  (Ом·м)
- Магнетит -  $\rho = 10^{-5} - 10^{-2}$  (Ом·м)
- Содержание в осадочных горных породах не **>5%**

проводники

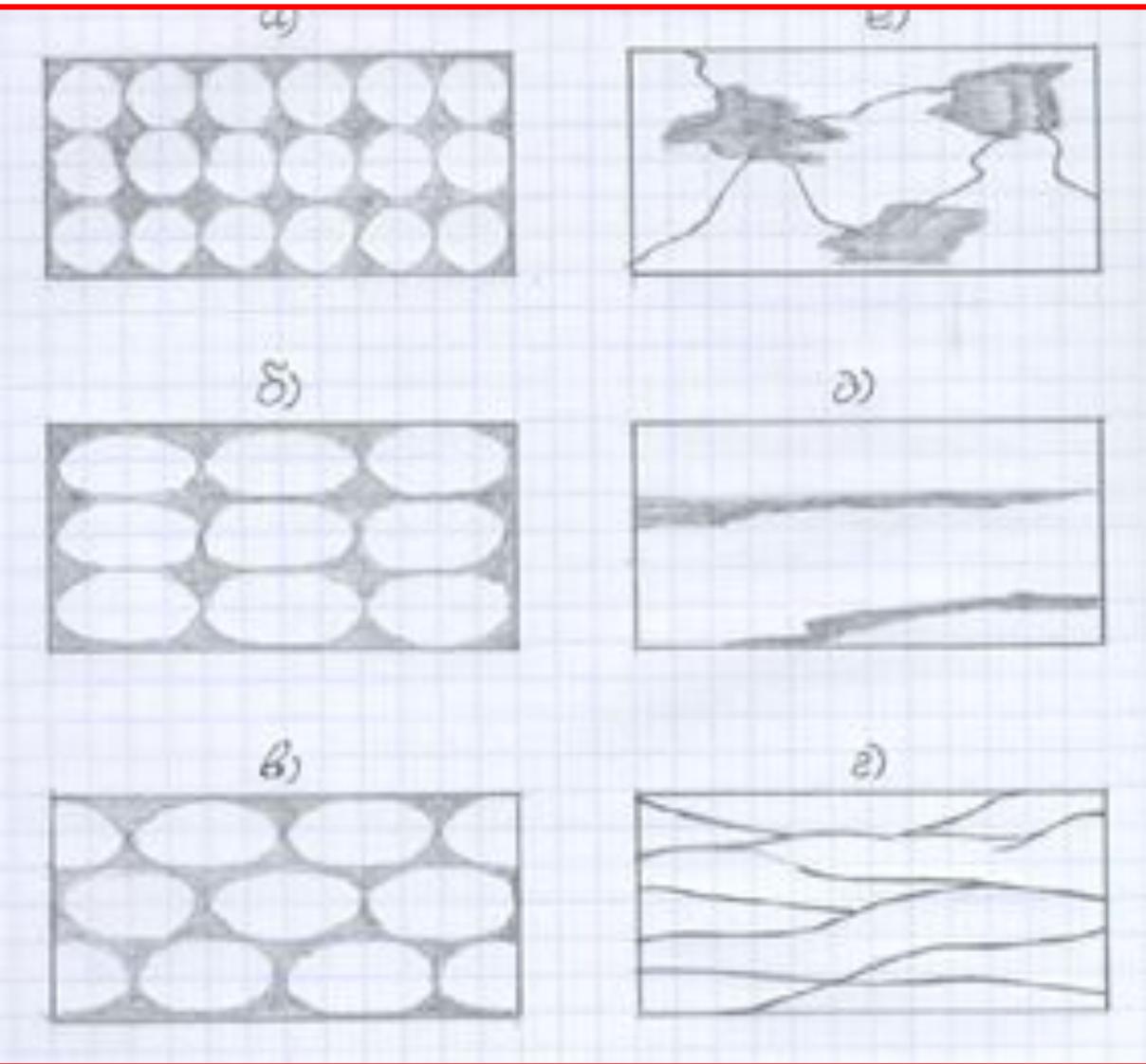
- Эти минералы характеризуют восстановительную

обстановку (вероятная природа низкоомных нефтеносных коллекторов!!)

# У.Э.С. горных пород

- **Глины – У.Э.С. от 0,5 до 5 (Ом·м)**
- **Песчаники – У.Э.С. от 5 до 50÷60 (Ом·м)**
- **Угли – У.Э.С. составляет первые сотни Ом·м**

# Влияние порового пространства



 скелет (зерна) породы

 поровое пространство

а), б), в) – гранулярная пористость (преимущественно первичная, **гидрофильная**)

г), д), е) – трещинная, кавернозная пористость (преимущественно вторичная, **гидрофобная**)

а) – минимальное У.Э.С. (при постоянном  $k_p$  и У.Э.С. флюида),

е) – максимальное У.Э.С.

## Влияние пластовых флюидов

У.Э.С. пластовой воды зависит:

а) от концентрации солей

C с 10 до 20 кг/см<sup>3</sup> при T=0(const)

$\rho_B$  изменяется от 1 до 0,5 Омм

б) от температуры флюида

T изменяется от 0°C до 180 °C

При C=5(const)

$\rho_B$  изменяется от 0,2 до 2 Омм

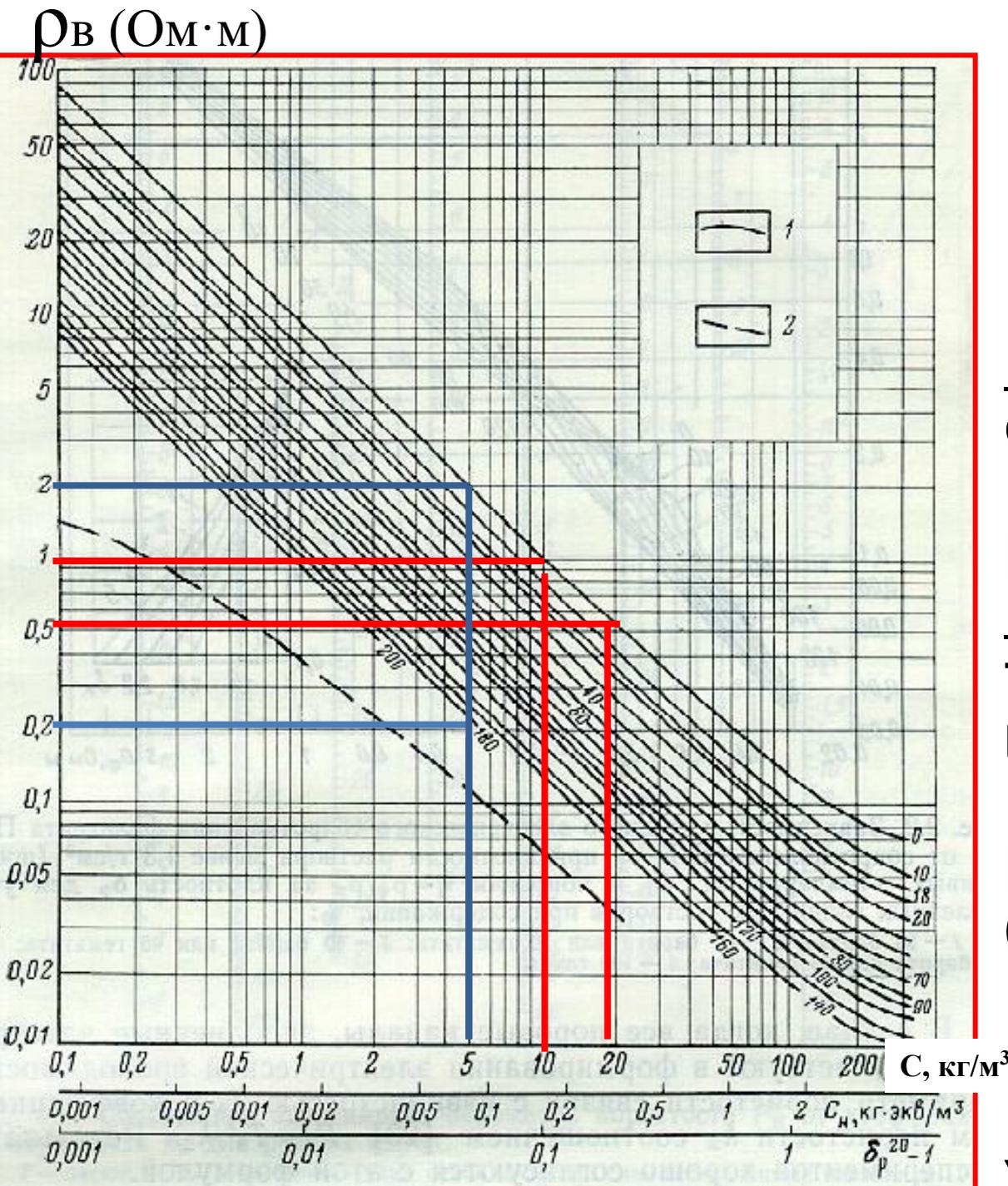
(в нефтяном пласте T = 50÷200 °C )

в) от состава флюида

У У.Э.С. нефти  $10^9 \div 10^{16}$  Омм

газа  $10^{12} \div 10^{14}$  Омм

У.Э.С. будет зависеть от количества связанной пластовой воды.



1- концентрация раствора

2- плотность раствора при 20 °C

Шифр кривых – температура в °C

# ТОЧЕЧНЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА



- Поле точечного источника постоянного тока, расположенного на поверхности однородной проводящей Земли

$$j = \frac{I}{2\pi r^2}$$

$r$ -радиус полусферы

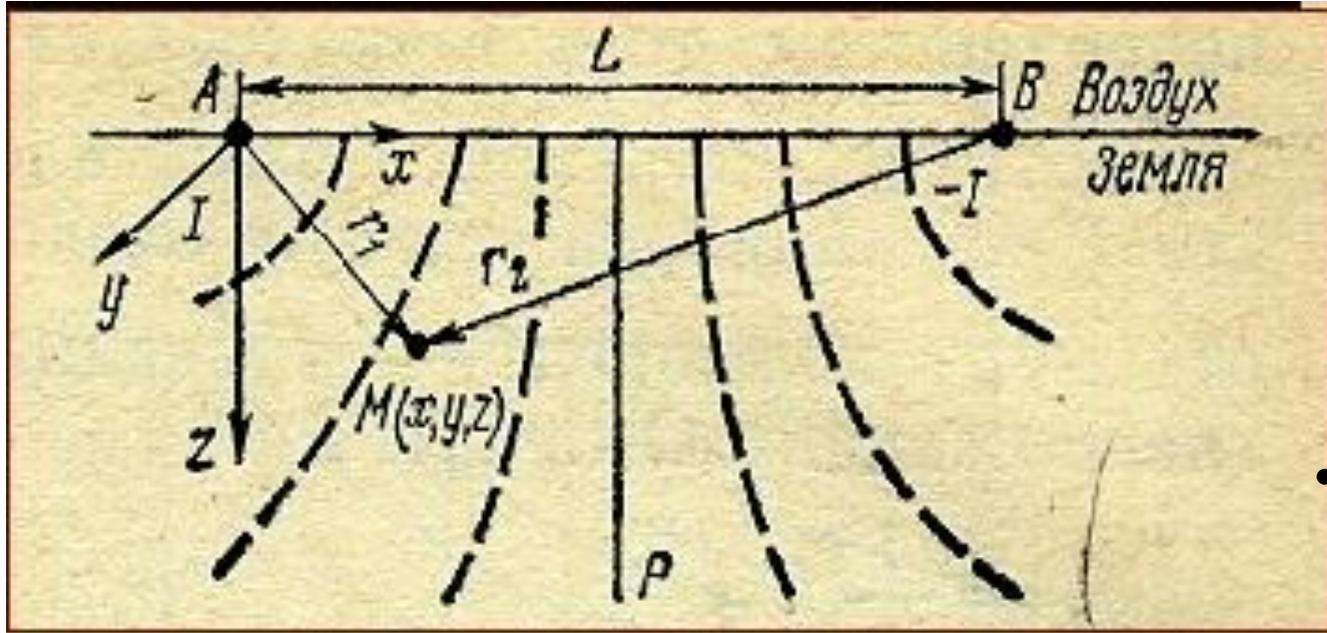
$$E = \rho \cdot j = \frac{I \cdot \rho}{2\pi r^2}$$

$\rho$ -сопротивление однородной Земли

Так как  $E_r = \frac{\partial U}{\partial r}$  производная потенциала поля по направлению  $r$ , то

$$U_M = \frac{I \cdot \rho}{2\pi r}$$

# ПОЛЕ ДВУХ ПИТАЮЩИХ ЭЛЕКТРОДОВ



- Поле двух разнополярных точечных электродов, расположенных на поверхности однородной проводящей Земли
- Пунктиром изображены эквипотенциальные поверхности

$$U(M) = U_A(M) + U_B(M)$$

или

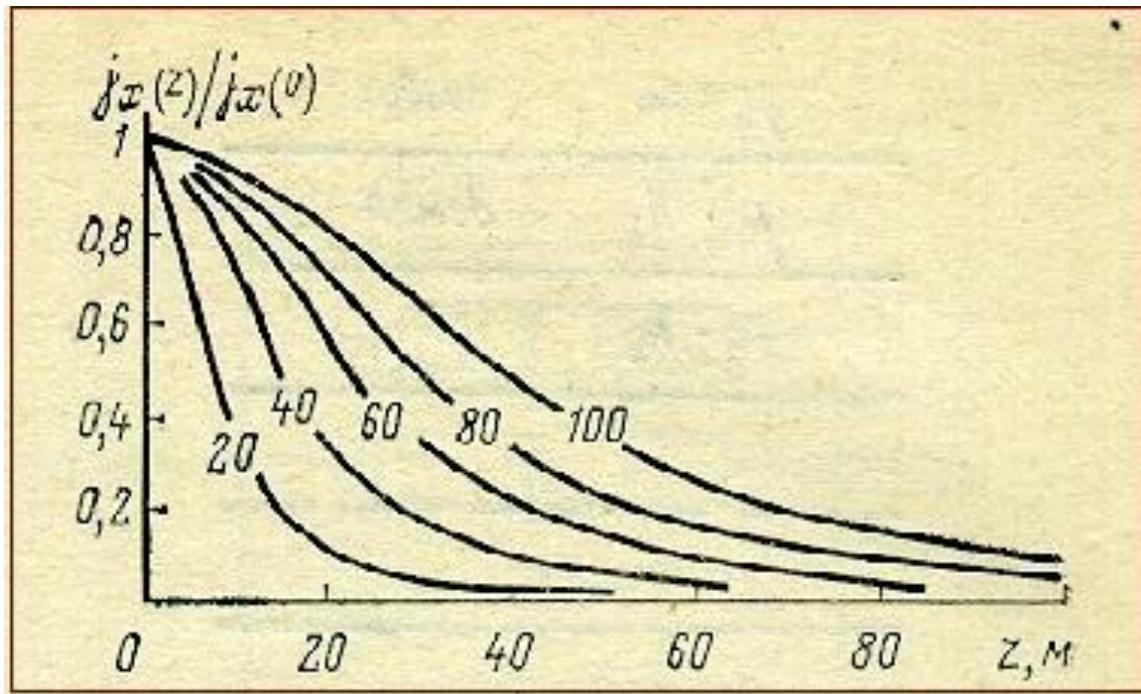
$$U(M) = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$\frac{j_{(z)}}{j_{(0)}} = \frac{1}{\left[ 1 + \left( 2 \cdot \frac{Z}{L} \right)^2 \right]^{3/2}}$$

где Z- глубина, м

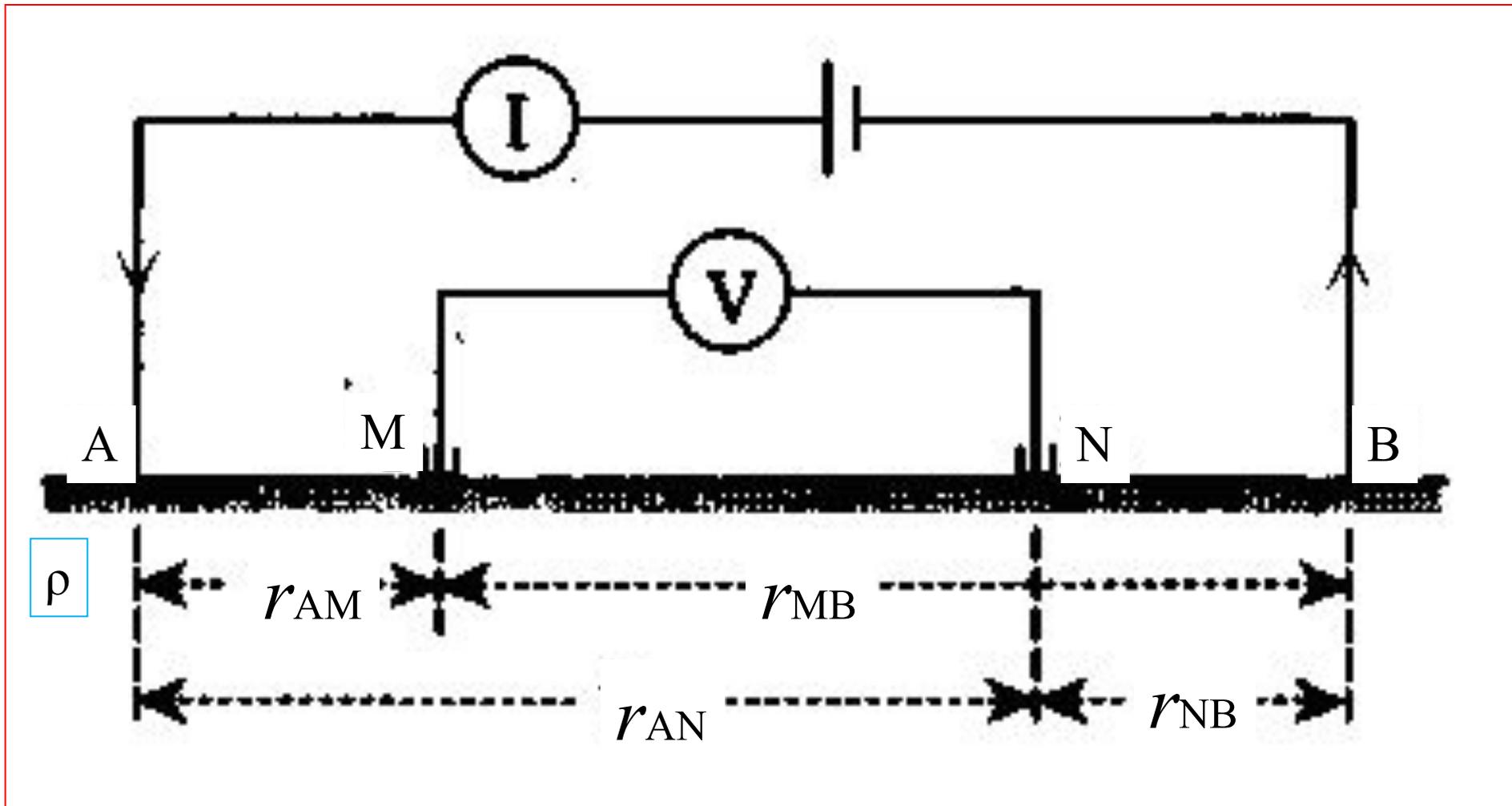
L- расстояние между питающими электродами

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА ПО ГЛУБИНЕ



- Графики зависимости относительной плотности тока от глубины  $z$ .
- Шифр кривых –  $L$  в м

# МЕТОД ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. ЧЕТЫРЕХЭЛЕКТРОДНАЯ УСТАНОВКА ВЭЗ

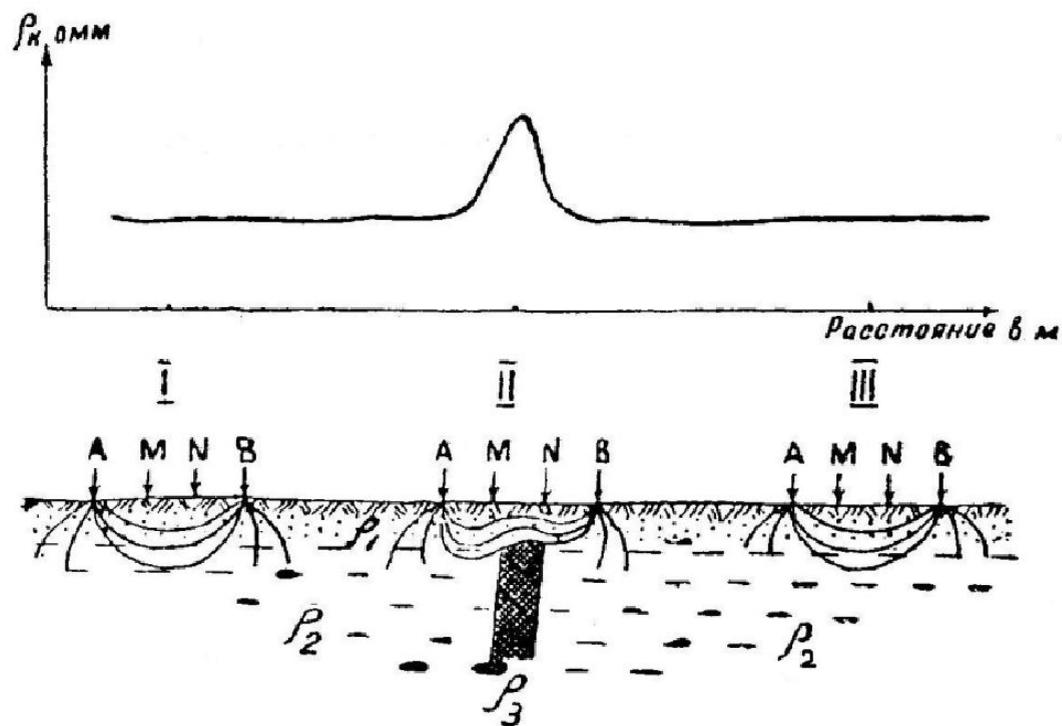


A, B- питающие электроды; M, N- измерительные электроды

$$\Delta U = U_M - U_N = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{NB} \right)$$

При условии  $AM=BN$ ,  $AN=MB$

$$\Delta U = \frac{I \cdot \rho}{\pi} \left( \frac{MN}{AM \cdot AN} \right) \quad \pi \left( \frac{AM \cdot AN}{MN} \right) = K \quad \rho = K \frac{\Delta U}{I}$$



$$\rho_K = K \frac{\Delta U}{I} \boxtimes j$$

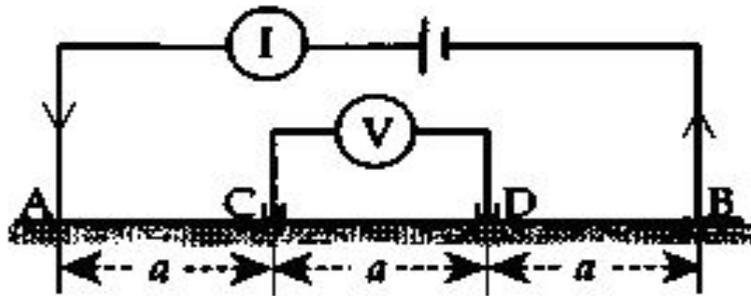
где  $j$  - плотность тока в области измерительных электродов  
 $K$  - геометрический коэффициент установки

Если  $I$  поддерживать постоянным, то замеры  $\Delta U$  будут выполняться в масштабе  $\rho_K$ ,

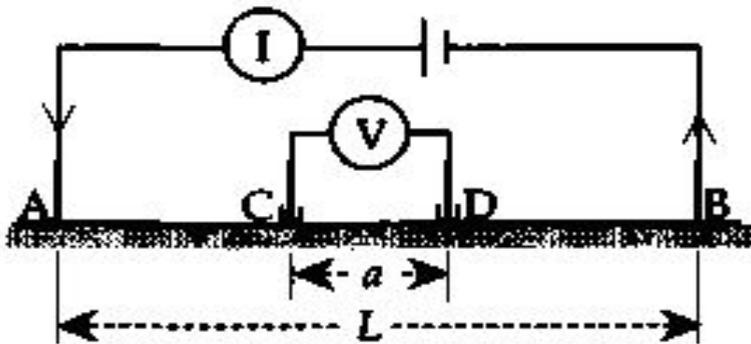
$$\text{т.е. } \Delta U \sim \rho_K$$

# Специальные электродные конфигурации.

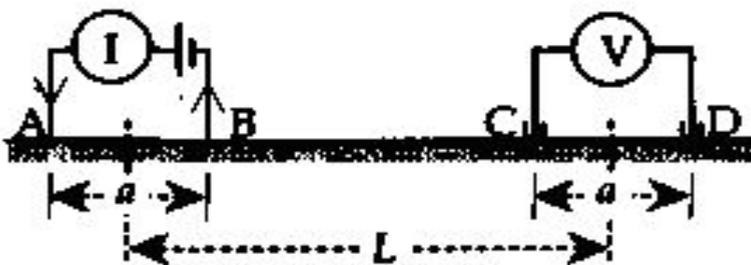
**(a) Wenner**



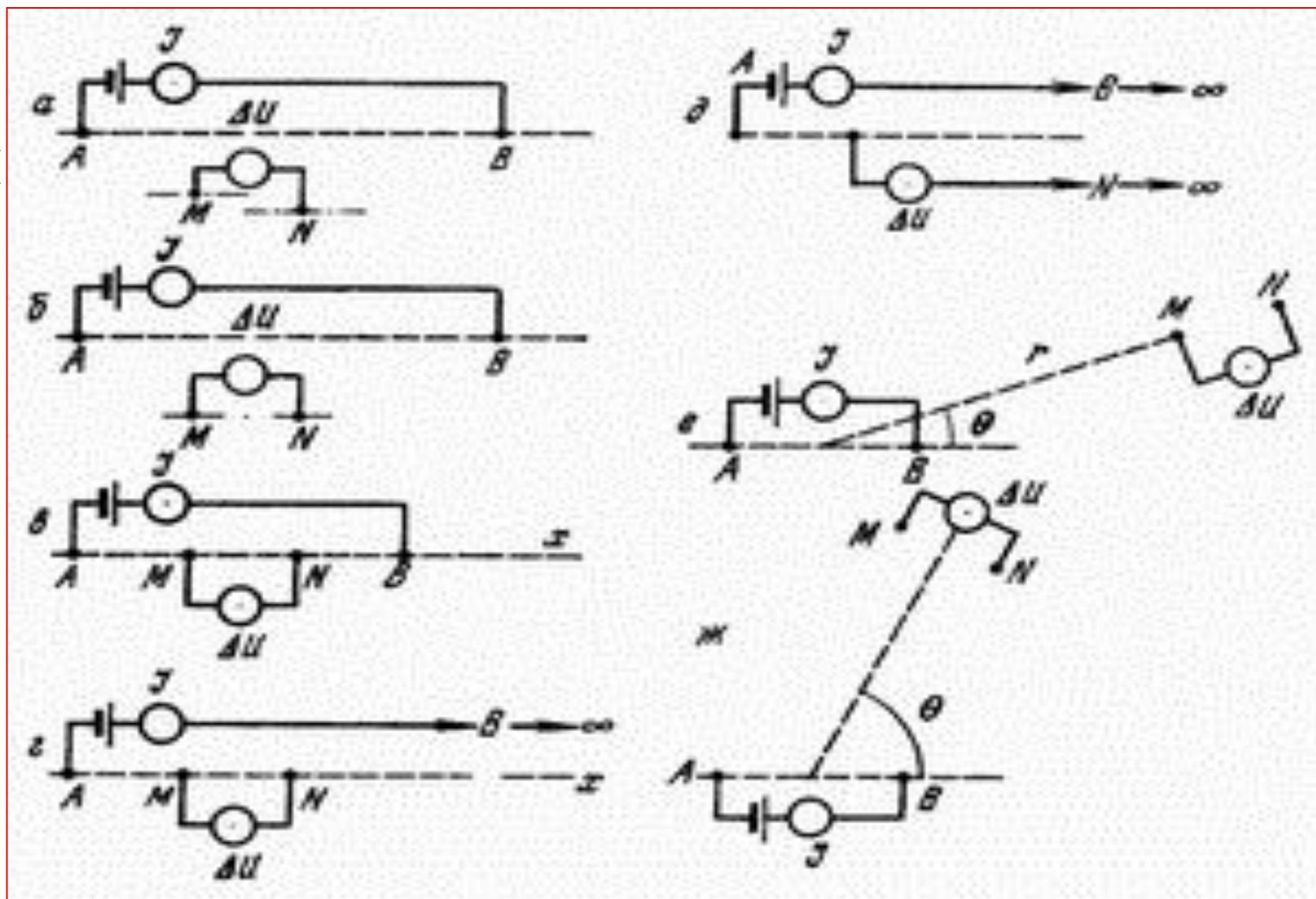
**(b) Schlumberger**



**(c) Double-dipole**



## МЕТОД СОПРОТИВЛЕНИЙ

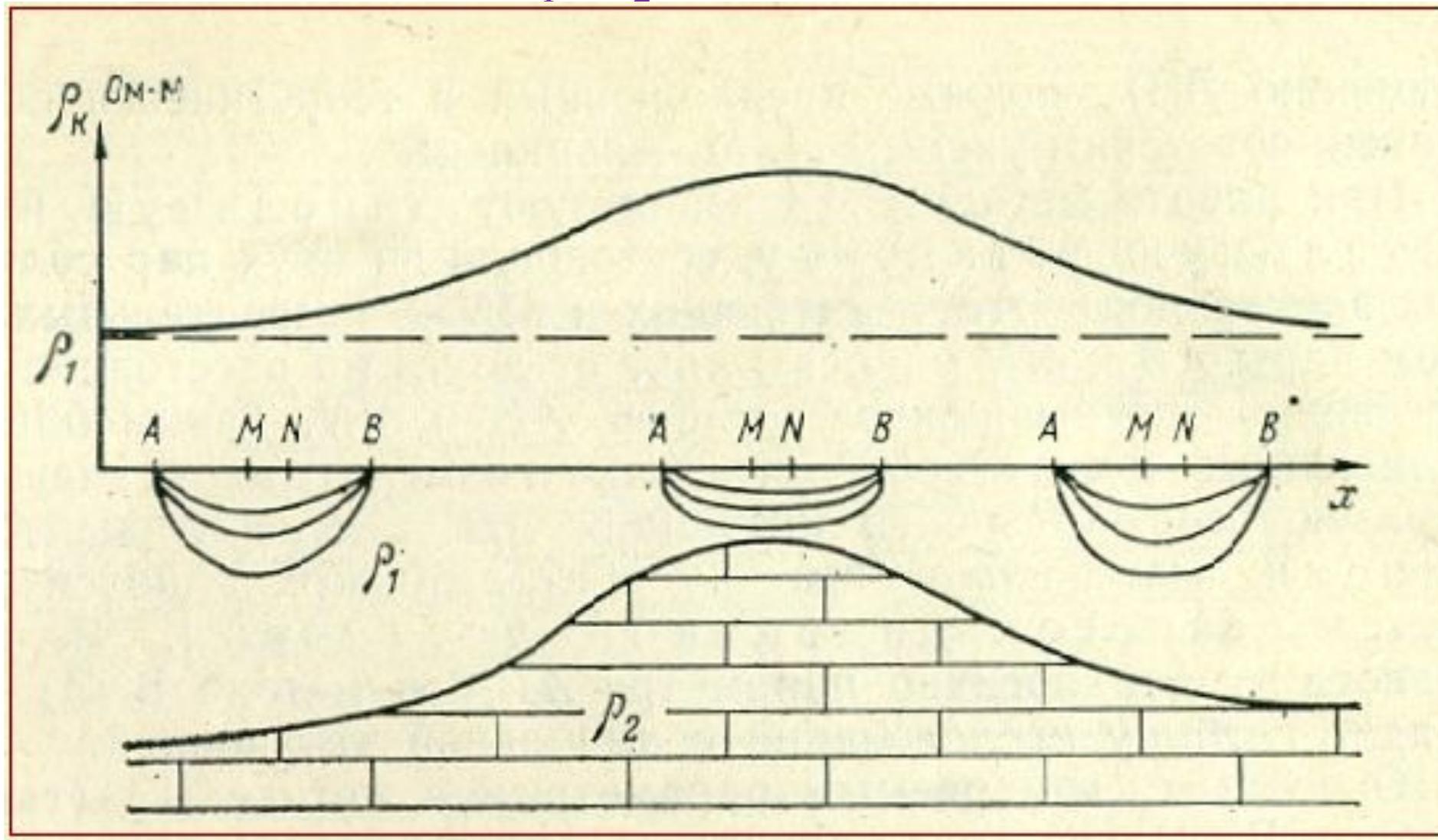


План расположения питающих (А и В) и приемных (М и N) электродов в разных установках метода сопротивлений:

а - четырехэлектродной, б - срединного градиента, в - симметричной четырехэлектродной, г - трехэлектродной, д - двухэлектродной, е - дипольной радиальной, ж - дипольной азимутальной.

# 1. ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЕ НАД АНТИКЛИНАЛЬНОЙ СКЛАДКОЙ.

График кажущегося удельного электрического сопротивления ( $\rho_k$ ), полученный по результатам электрического профилирования над двухслойным разрезом ( $\rho_1 < \rho_2$ )



# ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЕ НАД ВЕРТИКАЛЬНЫМ КОНТАКТОМ

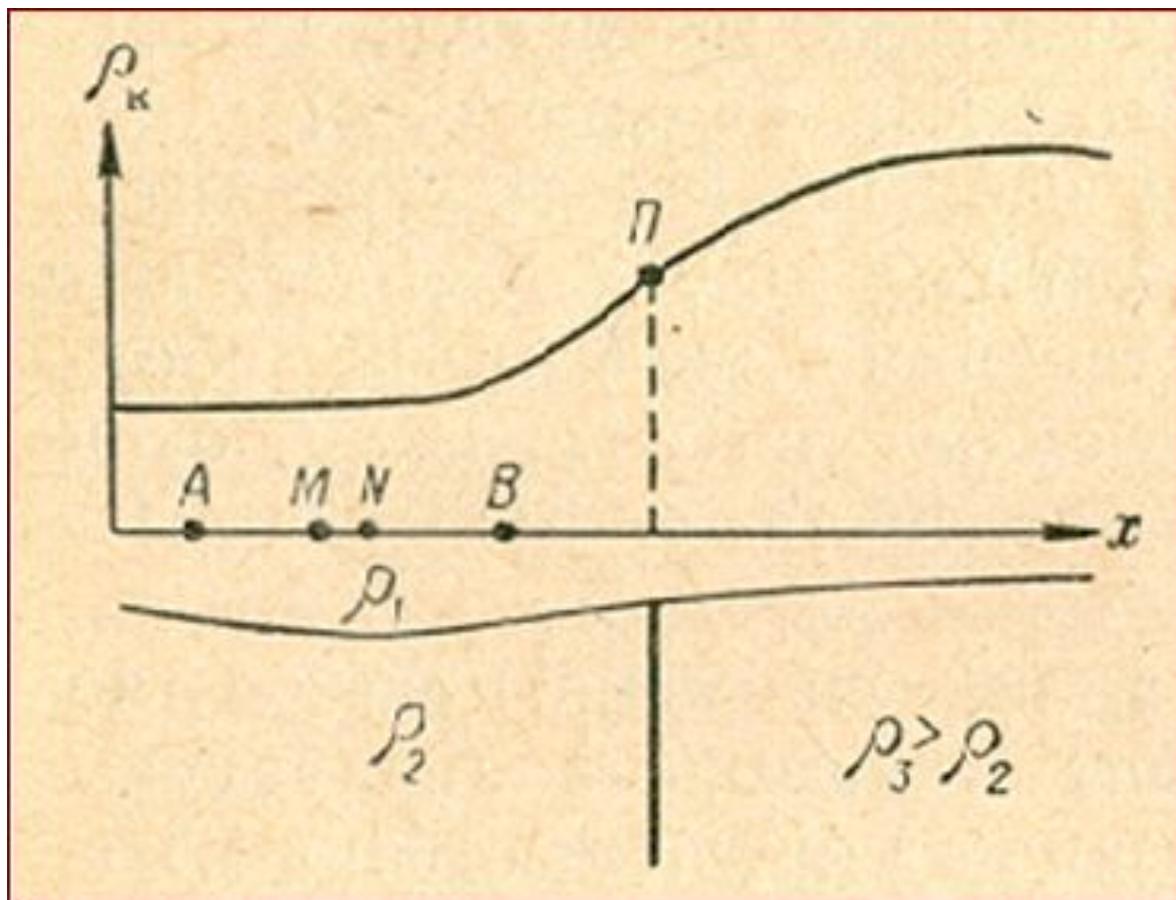
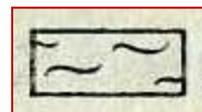
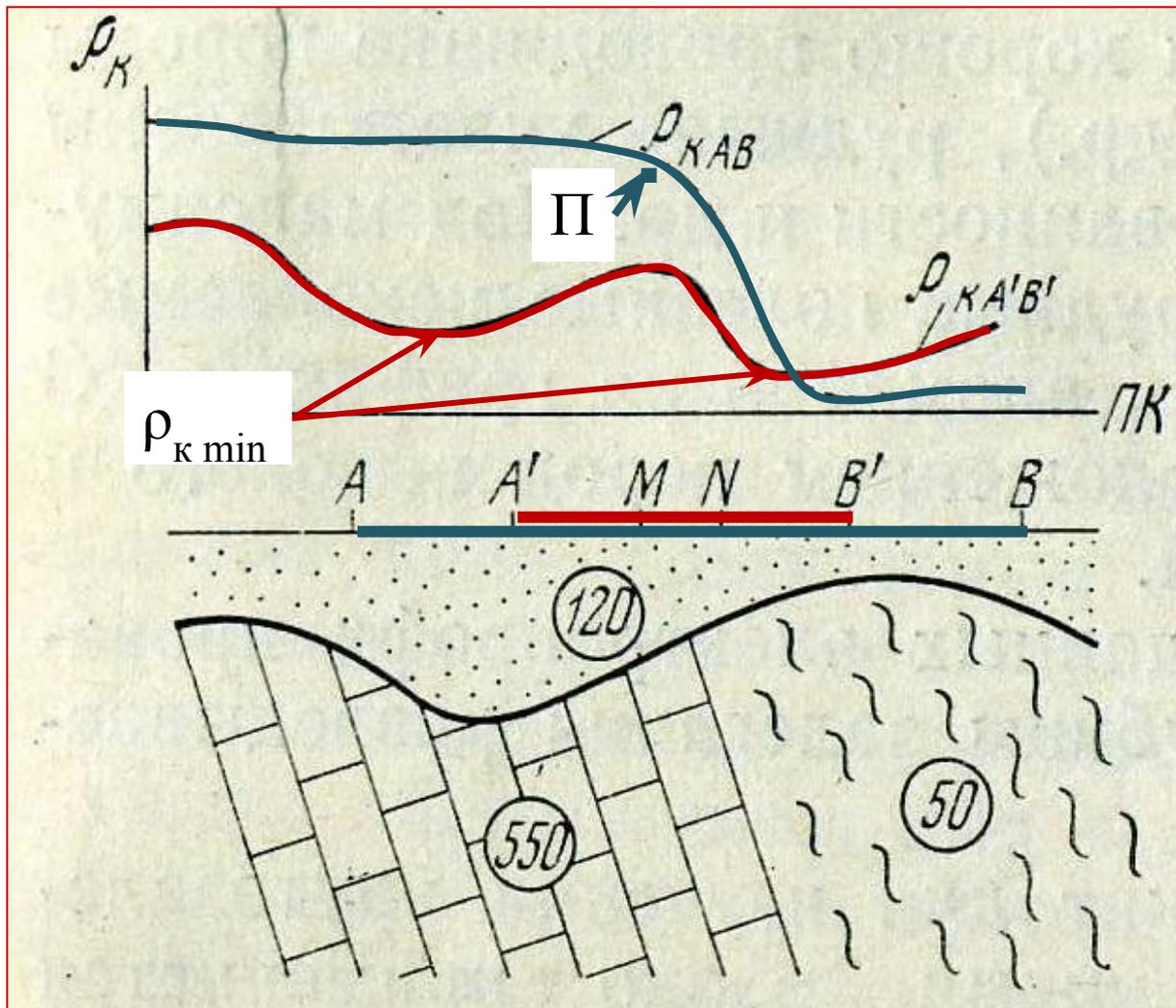
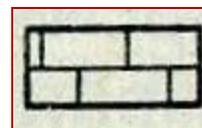


График  
электропрофиле  
ирования  
установкой АМНВ  
над контактом под  
перекрывающим слоем  
пород

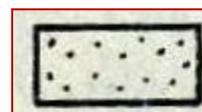
# ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКОЙ А А' М N В' В (с двумя питающими линиями)



сланцы (У.Э.С.=50 ом·м)



известняки (У.Э.С.=550 ом·м)

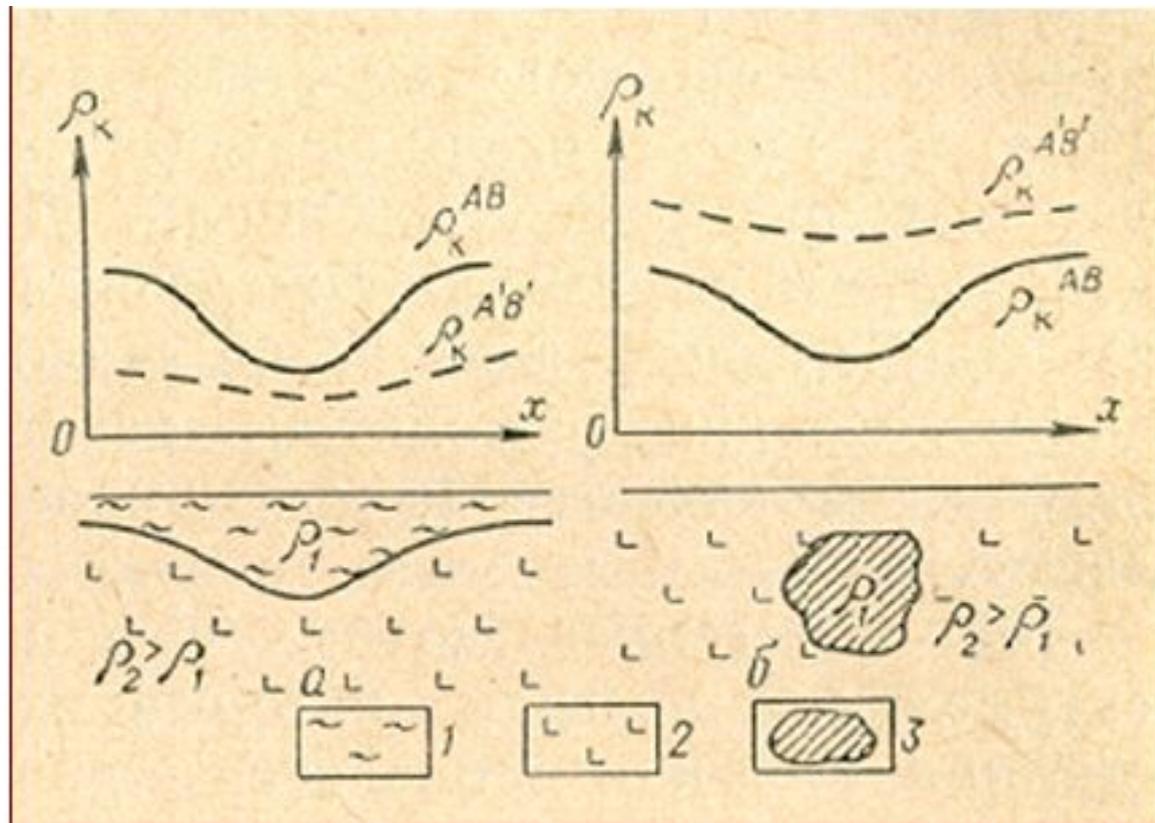


пески (У.Э.С.=120 ом·м)

$$\frac{AB}{A'B'} = 2 - 4, MN \leq \frac{1}{3} \rightarrow A'B'$$

В результате строят два графика для двух разносов.

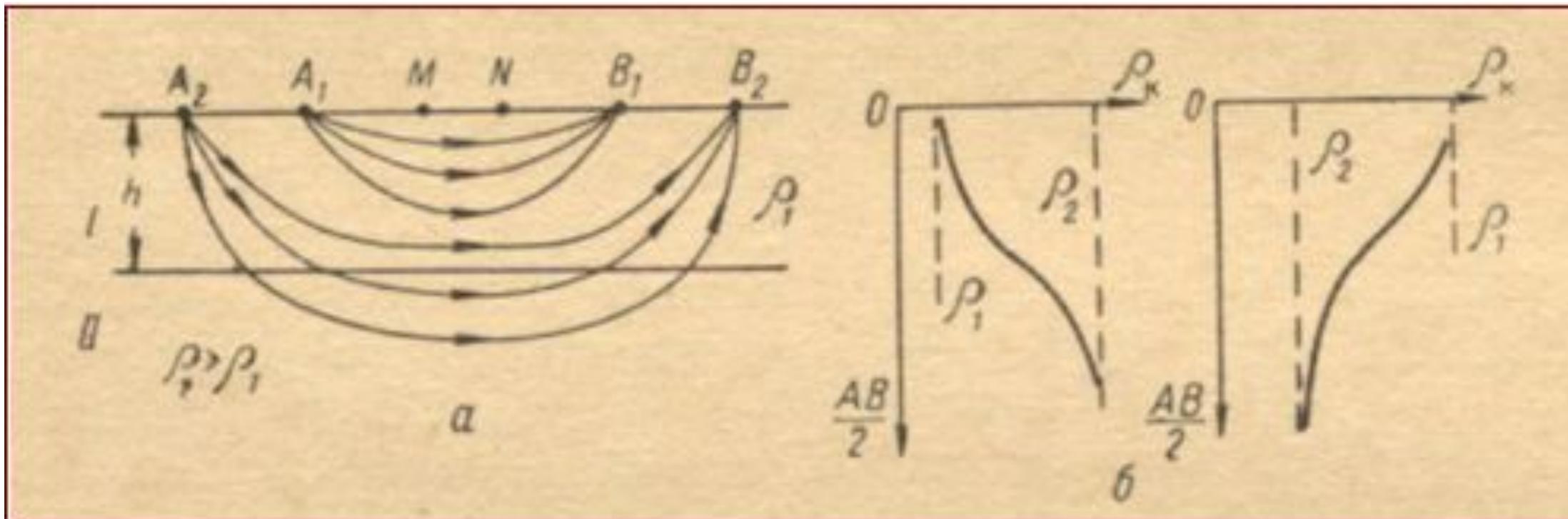
# ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЕ НАД СИНКЛИНАЛЬНЫМ ПРОГИБОМ И РУДНЫМ ТЕЛОМ



- Графики электропрофилеирования симметричной установкой с двумя разносами над наносами (а) и рудной залежью (б).

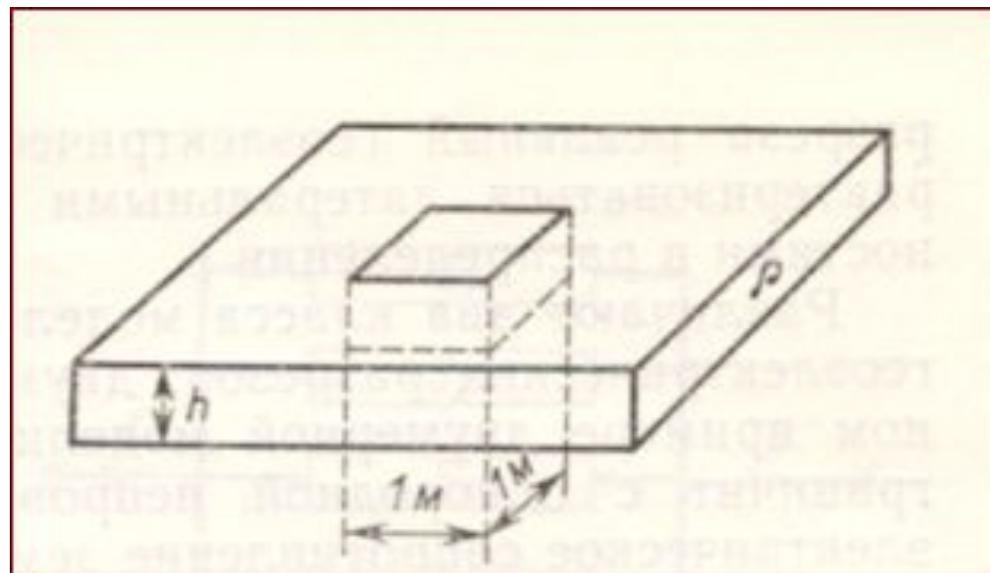
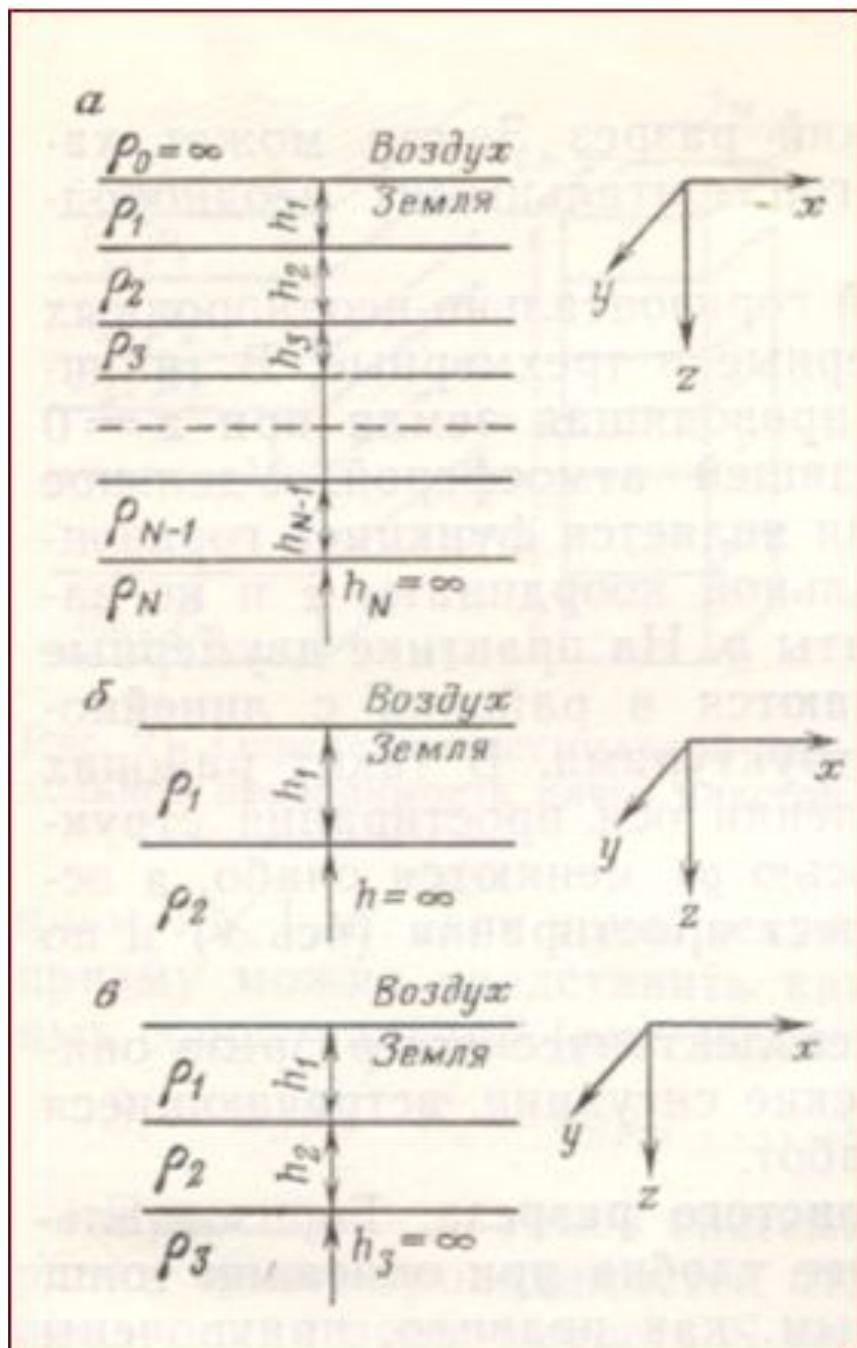
- 1- наносы
- 2- эффузивы
- 3- рудная залежь

## 2. ВЕРТИКАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ. ДВУХСЛОЙНЫЙ РАЗРЕЗ



Двухслойный геоэлектрический разрез (а)  
и кривые зондирования (б)

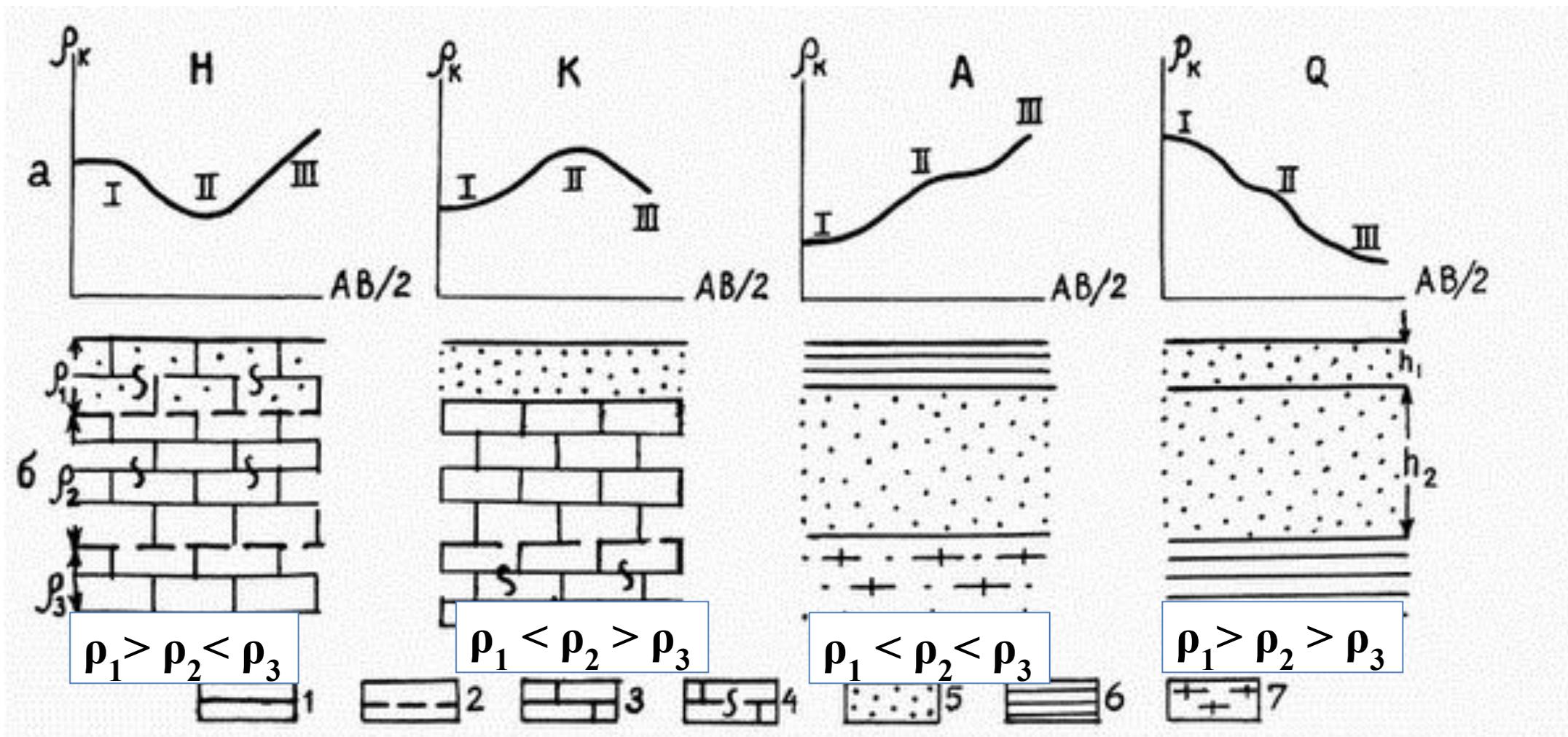
## МОДЕЛИ ГОРИЗОНТАЛЬНО-СЛОИСТОГО РАЗРЕЗА



Определение продольного сопротивления пласта

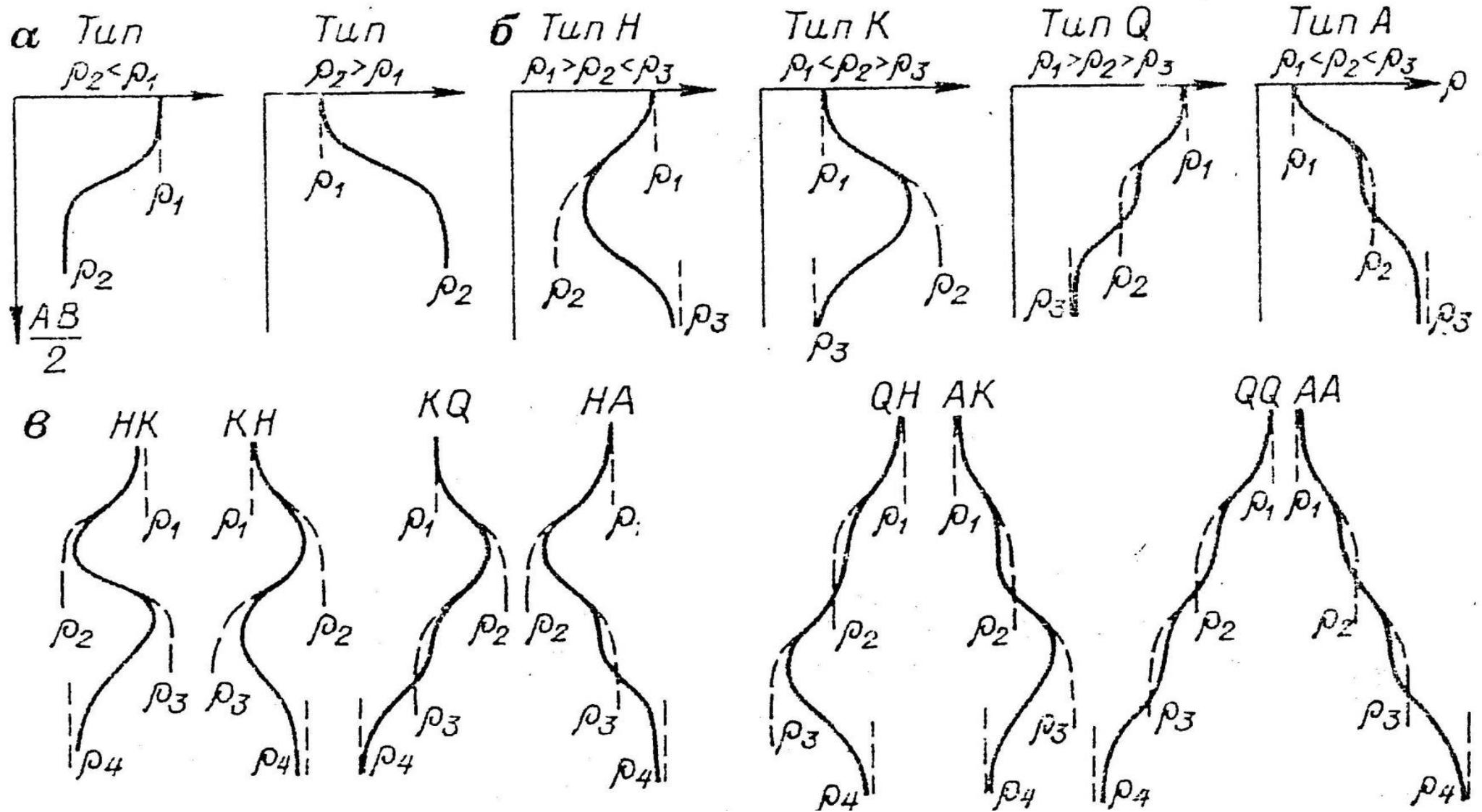
Модели геоэлектрического разреза

- а) горизонтально-слоистая
- б) двухслойная
- в) трехслойная



### Типичные трехслойные кривые ВЭЗ:

- а - графики КС,
- б - геоэлектрические разрезы;
- 1 и 2 - литологические и гидрогеологические границы;
- 3 и 4 - известняки массивные и трещиноватые;
- 5 - пески; 6 - глины; 7 - граниты



**Основные типы кривых ВЭЗ.**

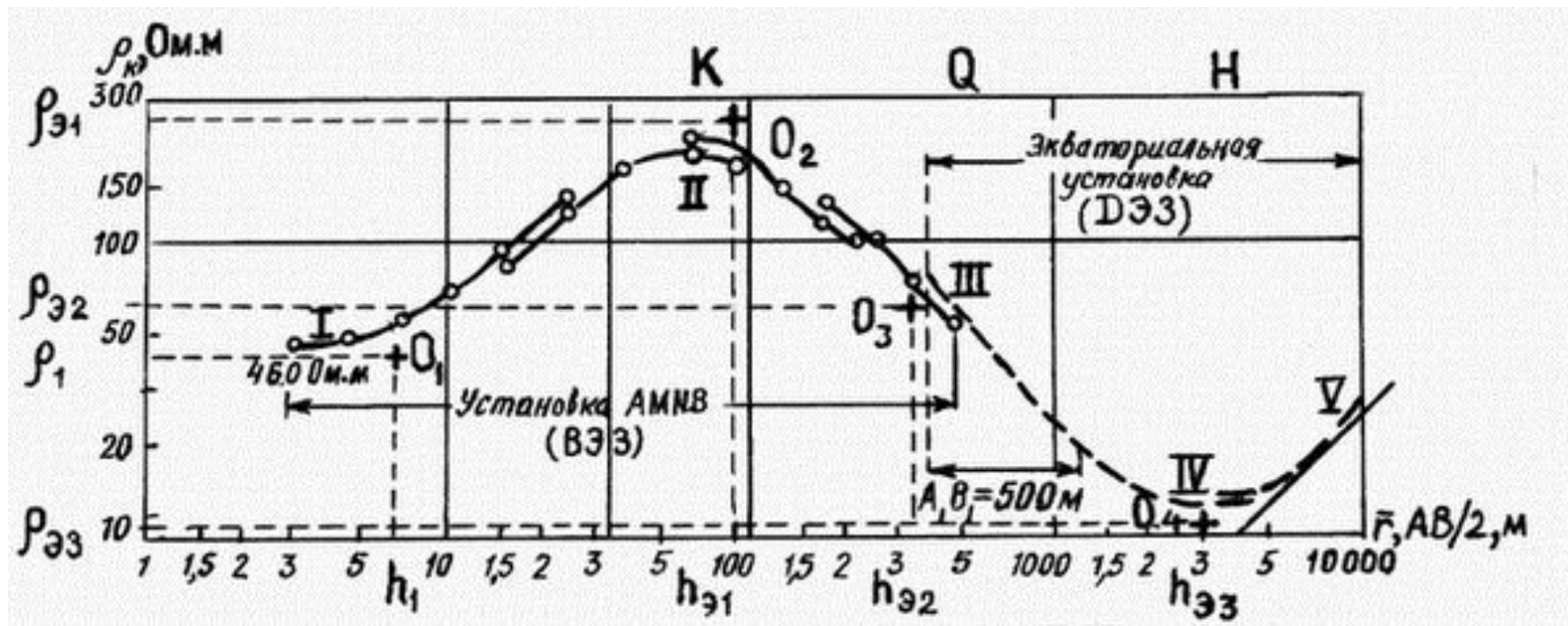
**а** – двухслойные: 1 – ( $\rho_1 > \rho_2$ ), 2 – ( $\rho_1 < \rho_2$ );

**б** – трехслойные: 1 – тип **Н** ( $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ ), 4 – тип **А** ( $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ ).

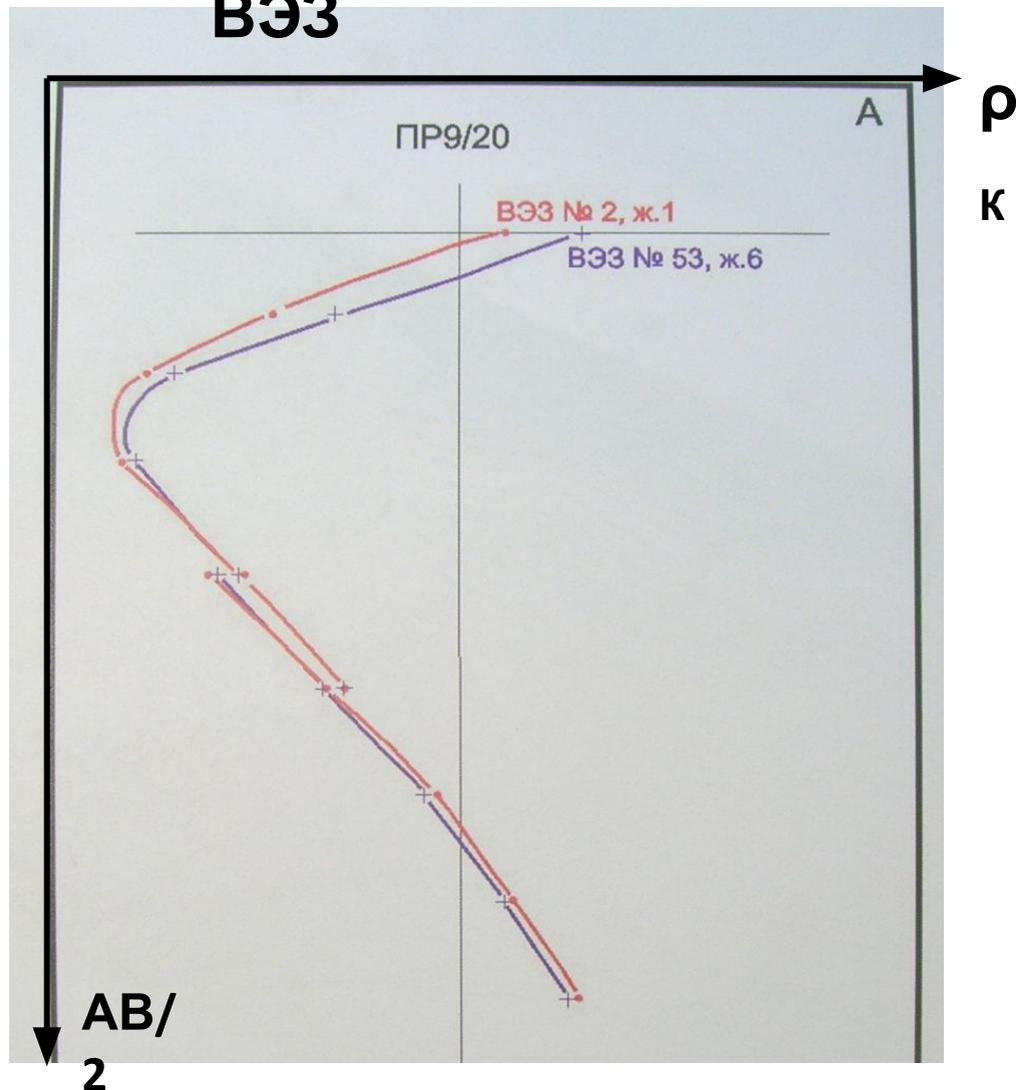
2 – тип **К** ( $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ ), 3 – тип **Q** ( $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ ),

**в** – четырехслойные – на восемь типов – **НК**, **НА**, **КН**, **КQ**, **AA**, **QH**, **QQ**, **AK**

# Пятислойная кривая ВЭЗ-ДЭЗ типа



## Реальная кривая ВЭЗ



## Интерпретация данных ВЭЗ

Качественная

Количественная

По палеткам

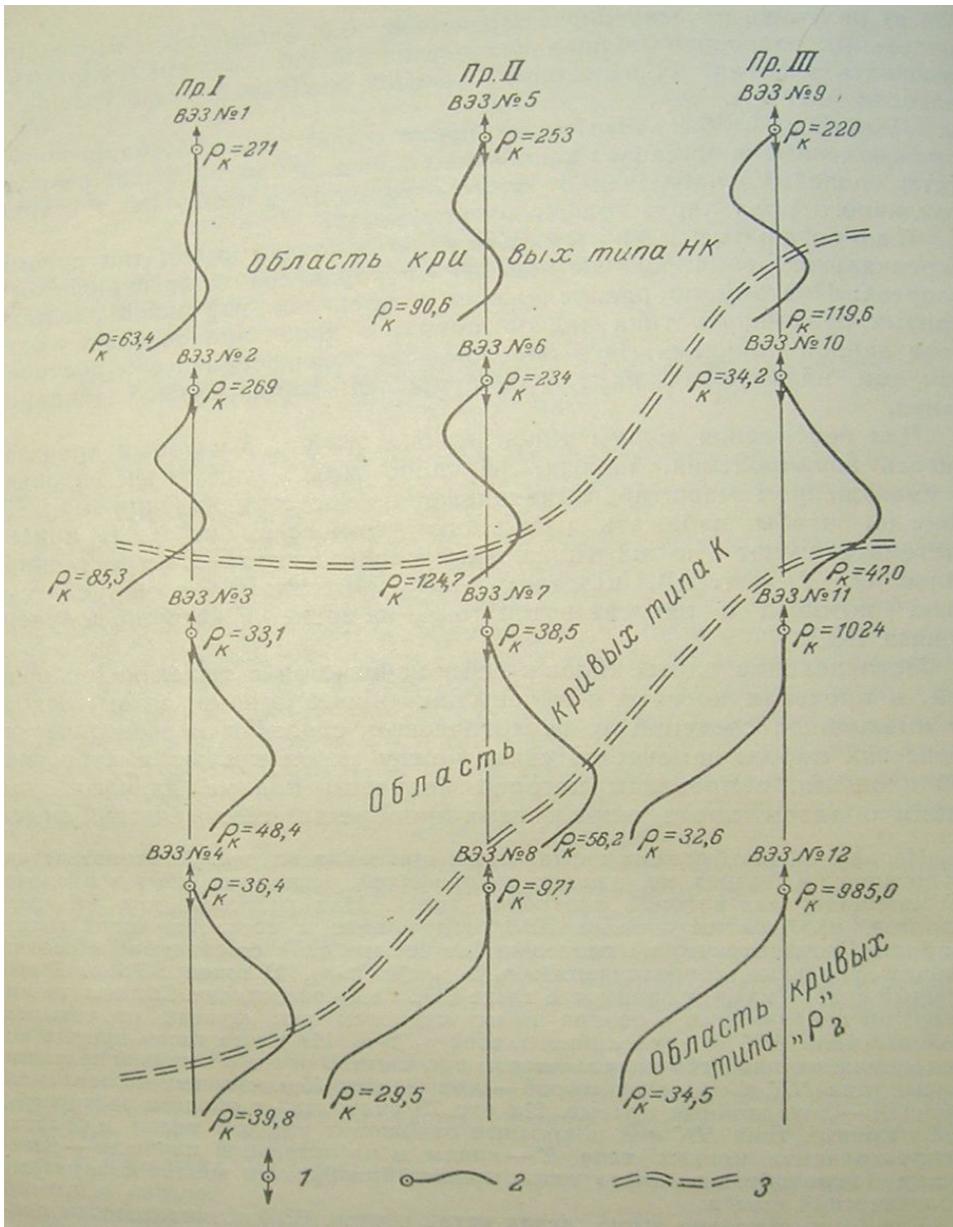
1. Карты типов кривых
2. Разрезы изоом
3. Карты изоом
4. Карты  $\rho_{k \text{ мин}}$  или  $\rho_{k \text{ макс}}$
5. карты изолиний проводимости

Моделирование (подбор) разреза на ЭВМ

# Качественная интерпретация

- На этом этапе составляют карты:
  - 1. Карты типов кривых.
  - 2. Карты изолиний  $\rho_{\hat{\epsilon}}$  для определенных разносов.
  - 3. Разрезы  $\rho_{\hat{\epsilon}}$  .
  - 4. Карты изолиний проводимости.

# Карта типов кривых ВЭЗ



# Схематический геологический разрез,

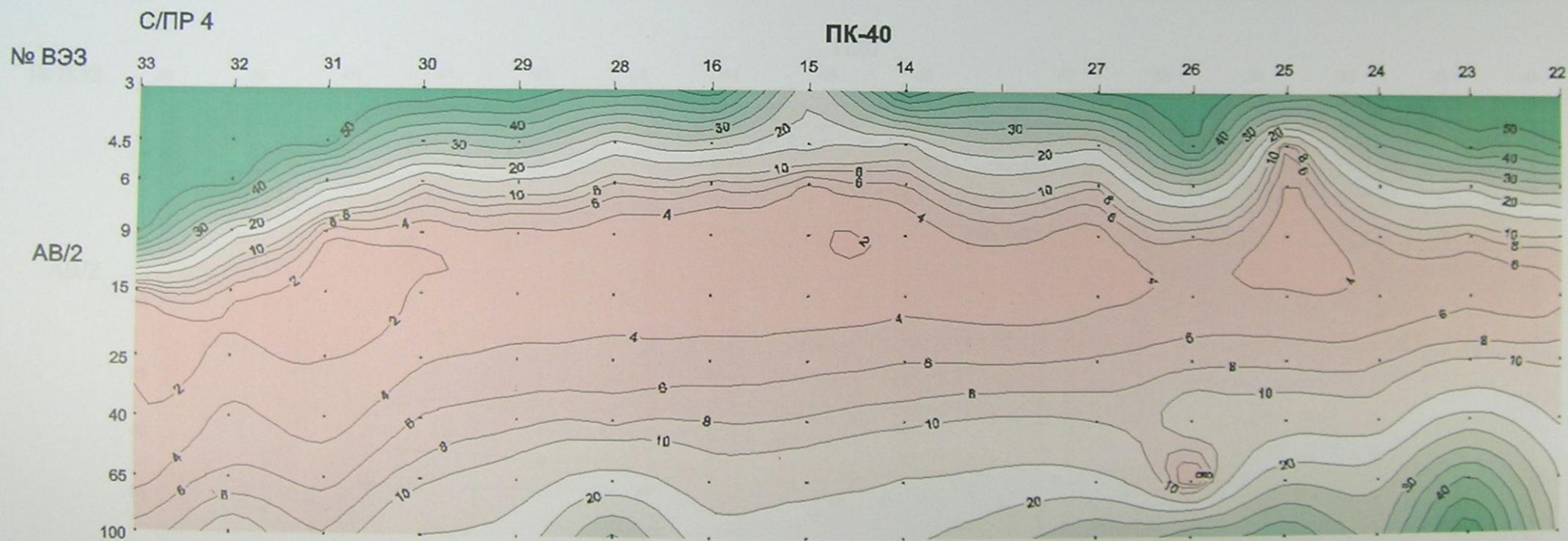
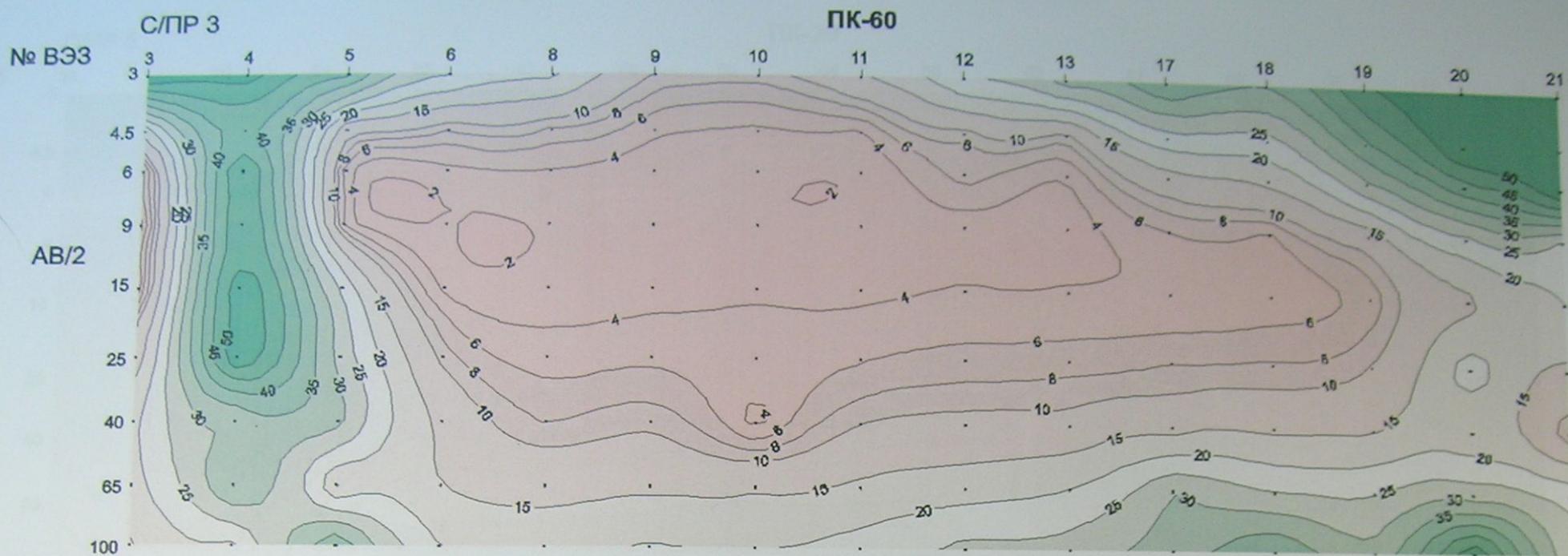
## отстроенный по виду кривых ВЭЗ



**Карта изоом относительно среднего уровня (100 Ом м) для полуразноса питающих электродов АВ/2 = 500 м.**

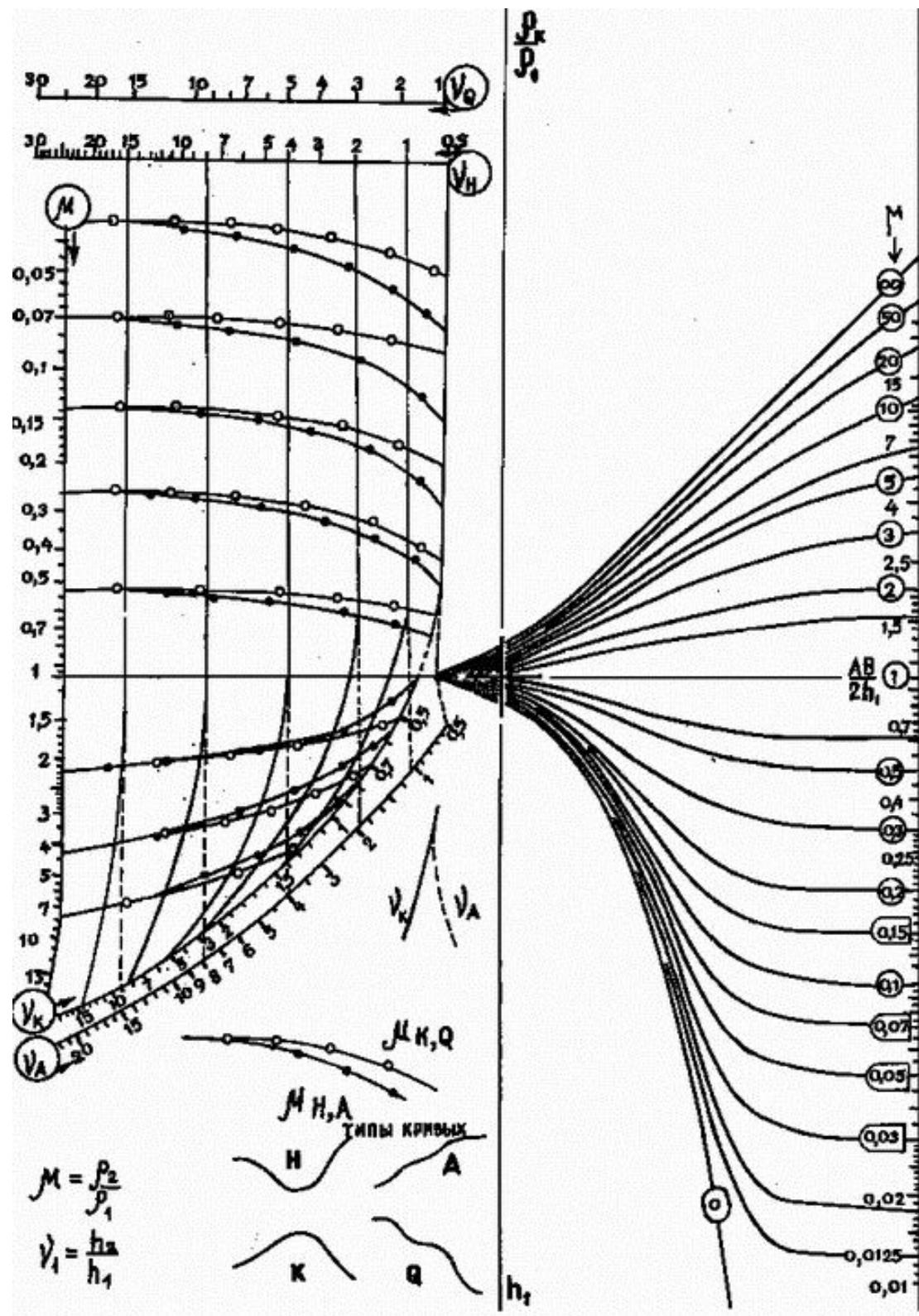


# Разрезы изоом по данным ВЭЗ

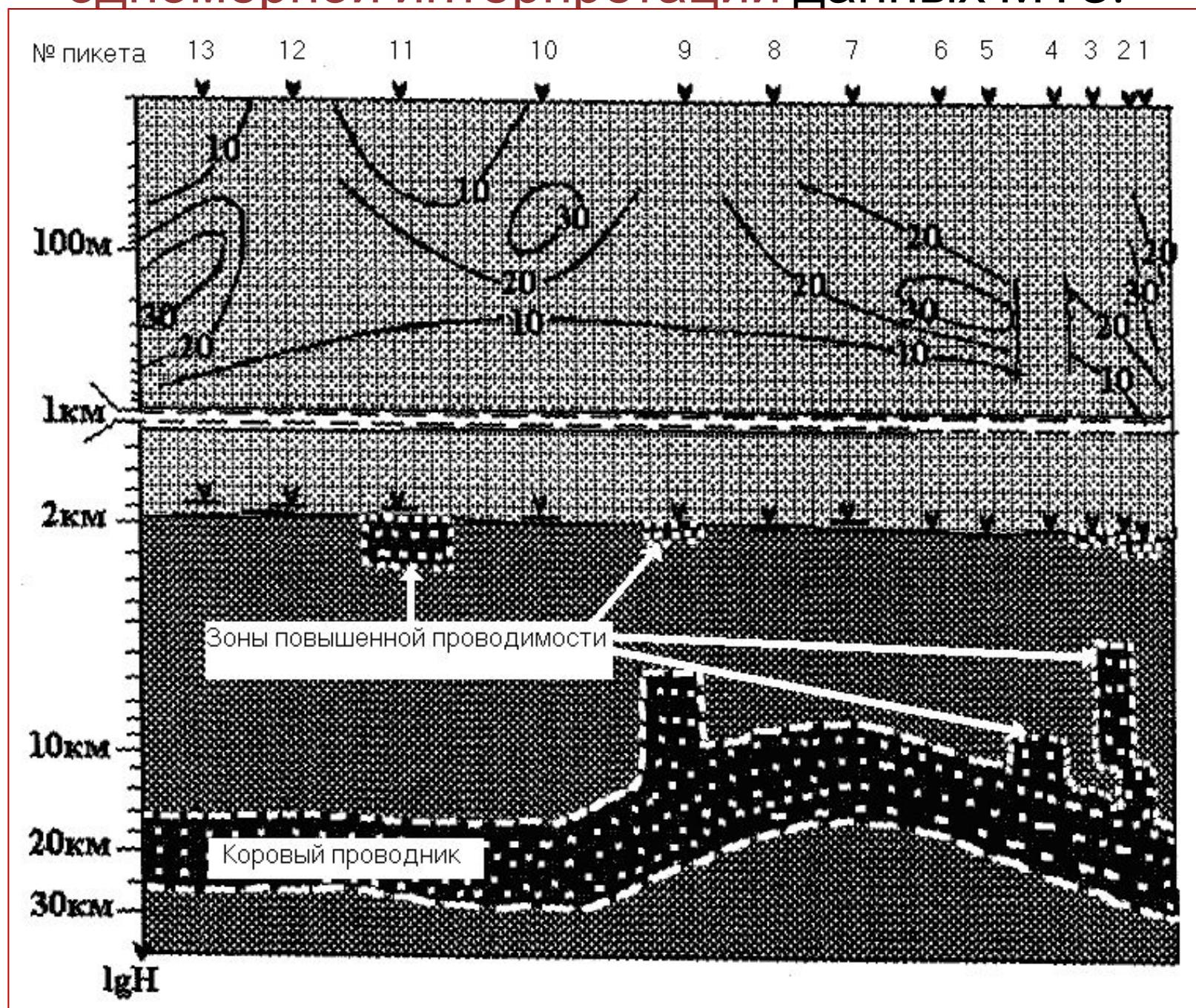


# Количественная интерпретация

# Номограмма-палетка для интерпретации и кривых ВЭЗ, ДЭЗ, ДАЗ



# Геоэлектрический разрез, построенный по данным одномерной интерпретации данных МТЗ.



## Геоэлектрический разрез по данным МТЗ

Катангская седловина

Нелско-Ботубинская антеклиза

Предлатомский прогиб

Варанчинское месторождение Талаганское месторождение

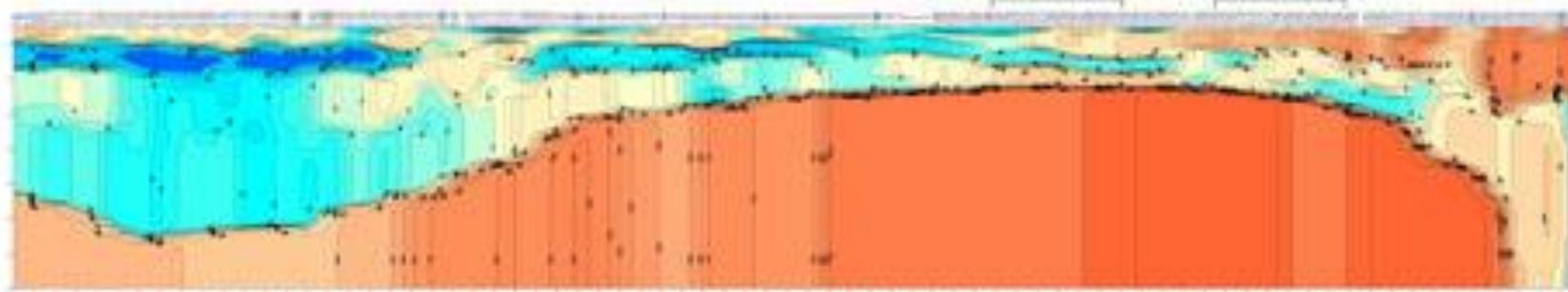
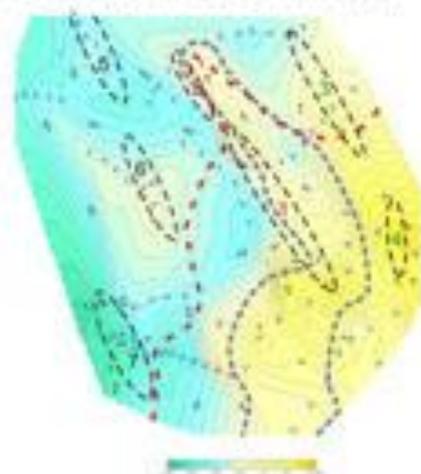


Схема перспектив нефтегазоносности

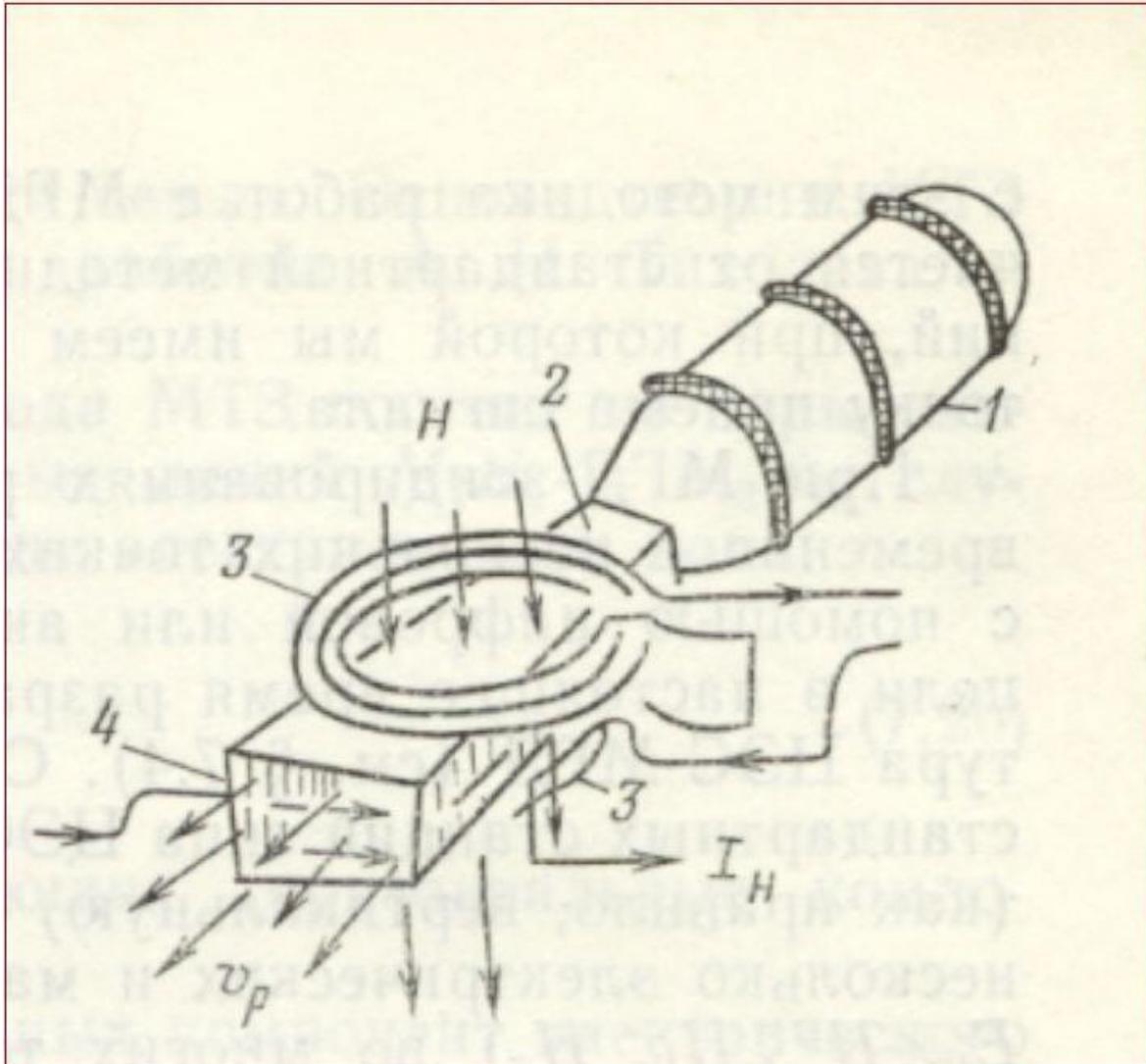






Для технического обеспечения импульсной электроразведки (методов сопротивления, ВП и МПП) разработана электроразведочная аппаратура АИЭ-2. Она представляет собой комплекс взаимосвязанных технико-методических и программных средств: техника измерений, методика полевых работ, программное обеспечение обработки и интерпретации собранных данных.

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ МГД-ГЕНЕРАТОРА



- Схема устройства МГД-генератора
- 1- генератор плазмы
- 2- МГД-канал
- 3-бессердечниковые соленоиды
- 4- токосъемные электроды

