

Электроразведка

Г.А. Лобова

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

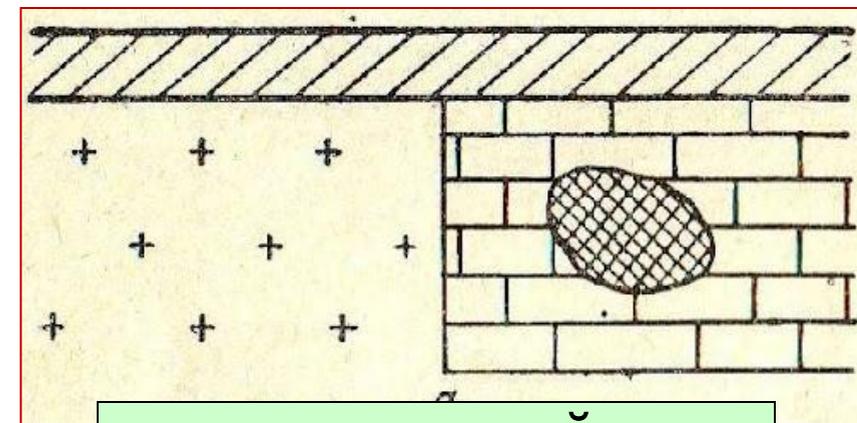
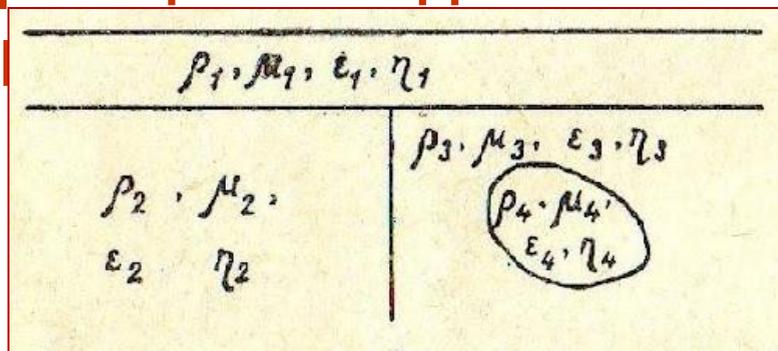
Источники естественных электрических полей:

- 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 |
|--|--|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|--|
| Метод сопротивлений (основан на измерении R_K) | | Метод поляризации | Частотный метод | Метод становления поля | Метод поляризационный (электрохимический) |
| Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) | Дипольное электрическое зондирование (ДЕЗ) | Электрическое профилирование (ЭП) | Метод заряженного тела (МЗТ) | Метод вызванных потенциалов (ВП) | Частотное зондирование (ЧЗ) |
| | | | | | Метод становления поля (МСП) |
| | | | | | Метод естественного поля (ЕП) или поля самопроизвольной поляризации (ПС) |
| | | | | | Метод теллурического зондирования (МТЗ) |
| | | | | | Метод теллурического профилирования (МТП) |
| | | | | | 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
- ρ – 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) | диэлектрики |
| Кварц | - $\rho = 10^{12} - 10^{16}$ (Ом·м) | |

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

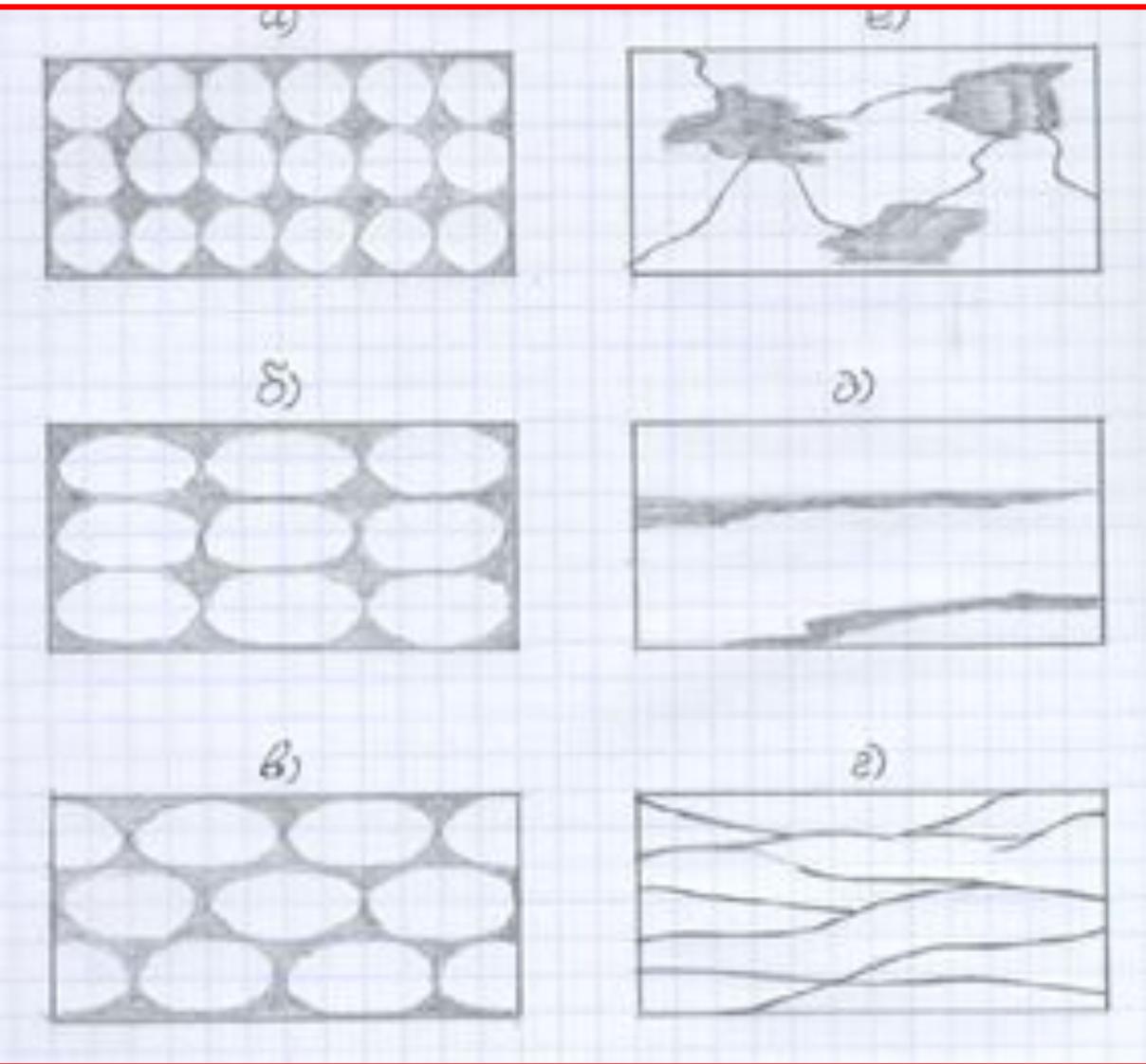
- Эти минералы характеризуют восстановительную

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/см³ при T=0(const)

ρ_B изменяется от 1 до 0,5 Омм

б) от температуры флюида

T изменяется от 0°C до 180 °C

При C=5(const)

ρ_B изменяется от 0,2 до 2 Омм

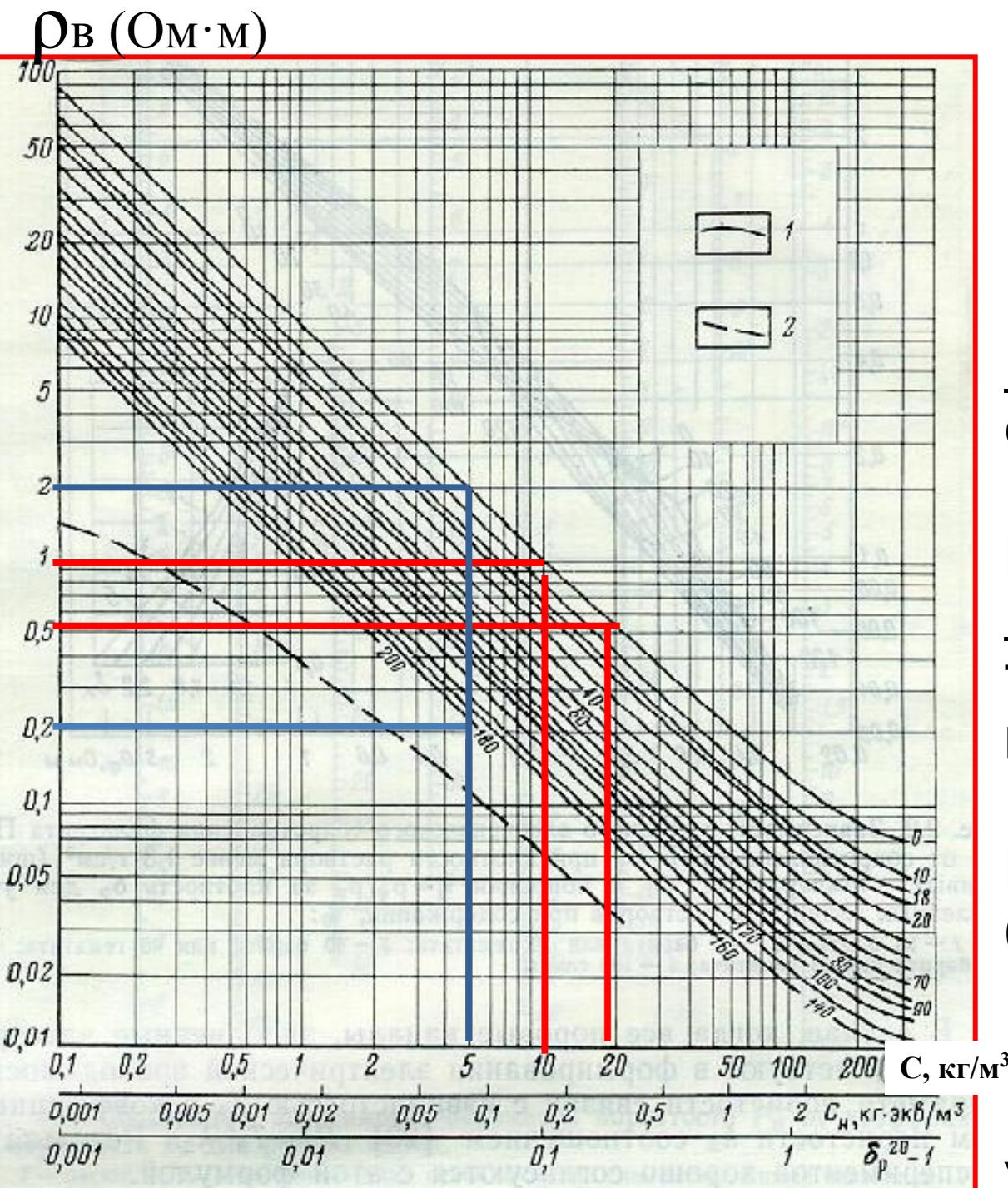
(в нефтяном пласте T = 50÷200 °C)

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.



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

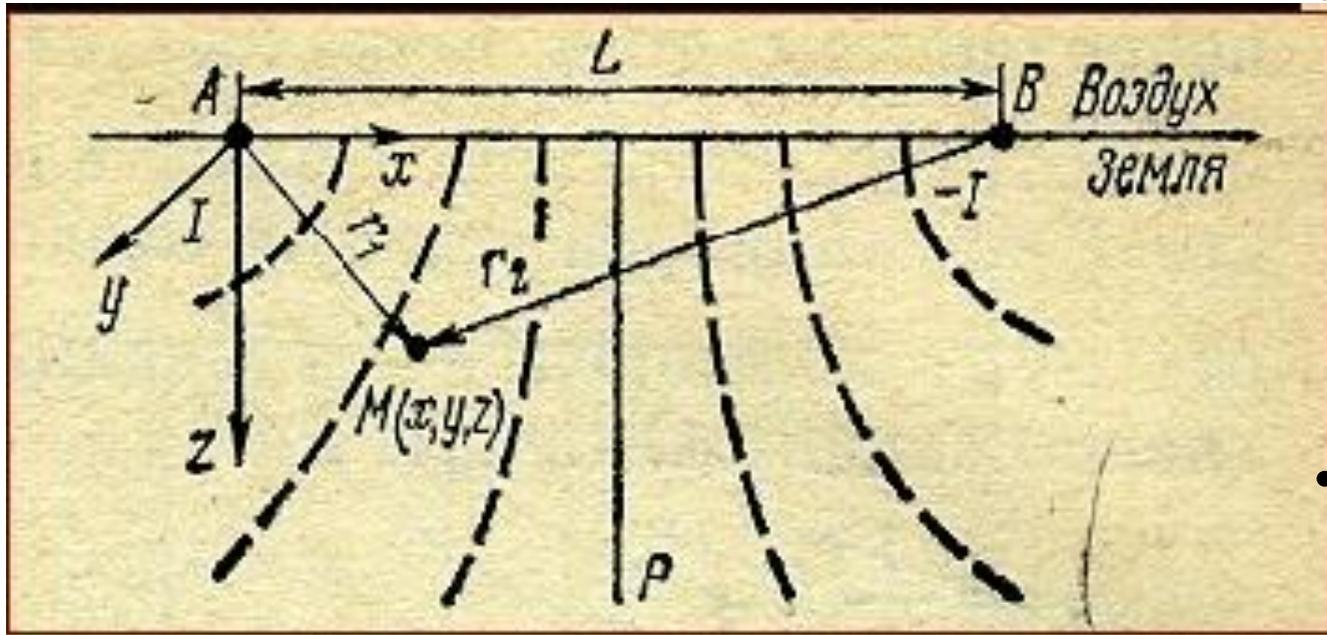
$$E = \rho \cdot j = \frac{I \cdot \rho}{2\pi r^2}$$

ρ -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

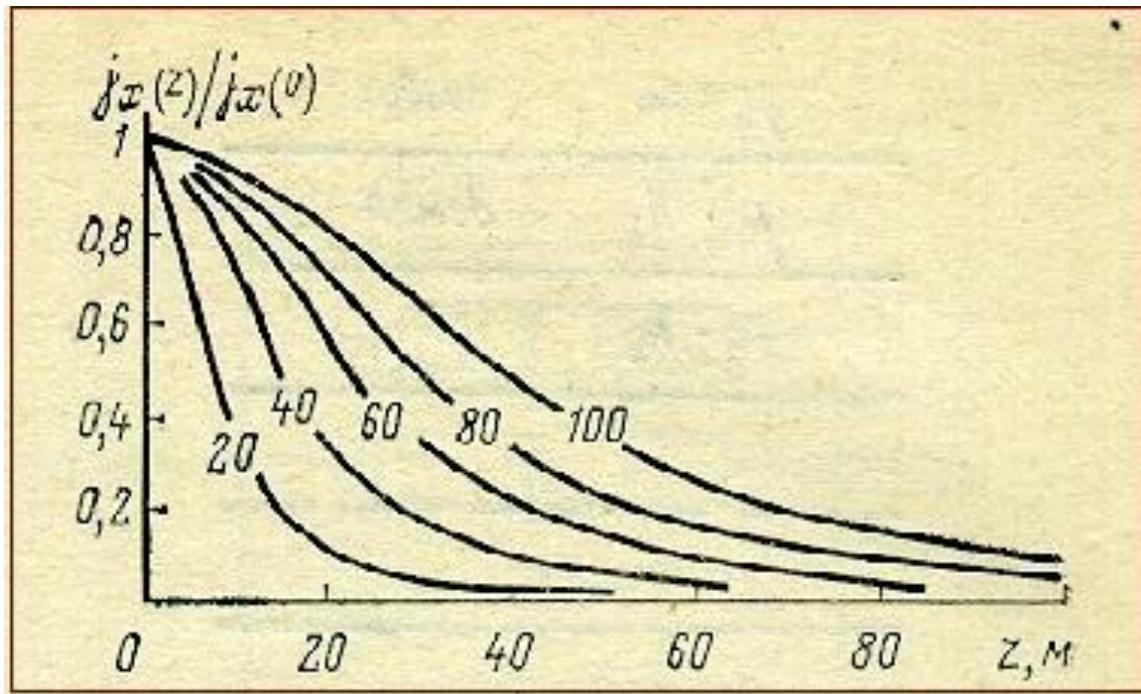
$$U(M) = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

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

где Z- глубина, м

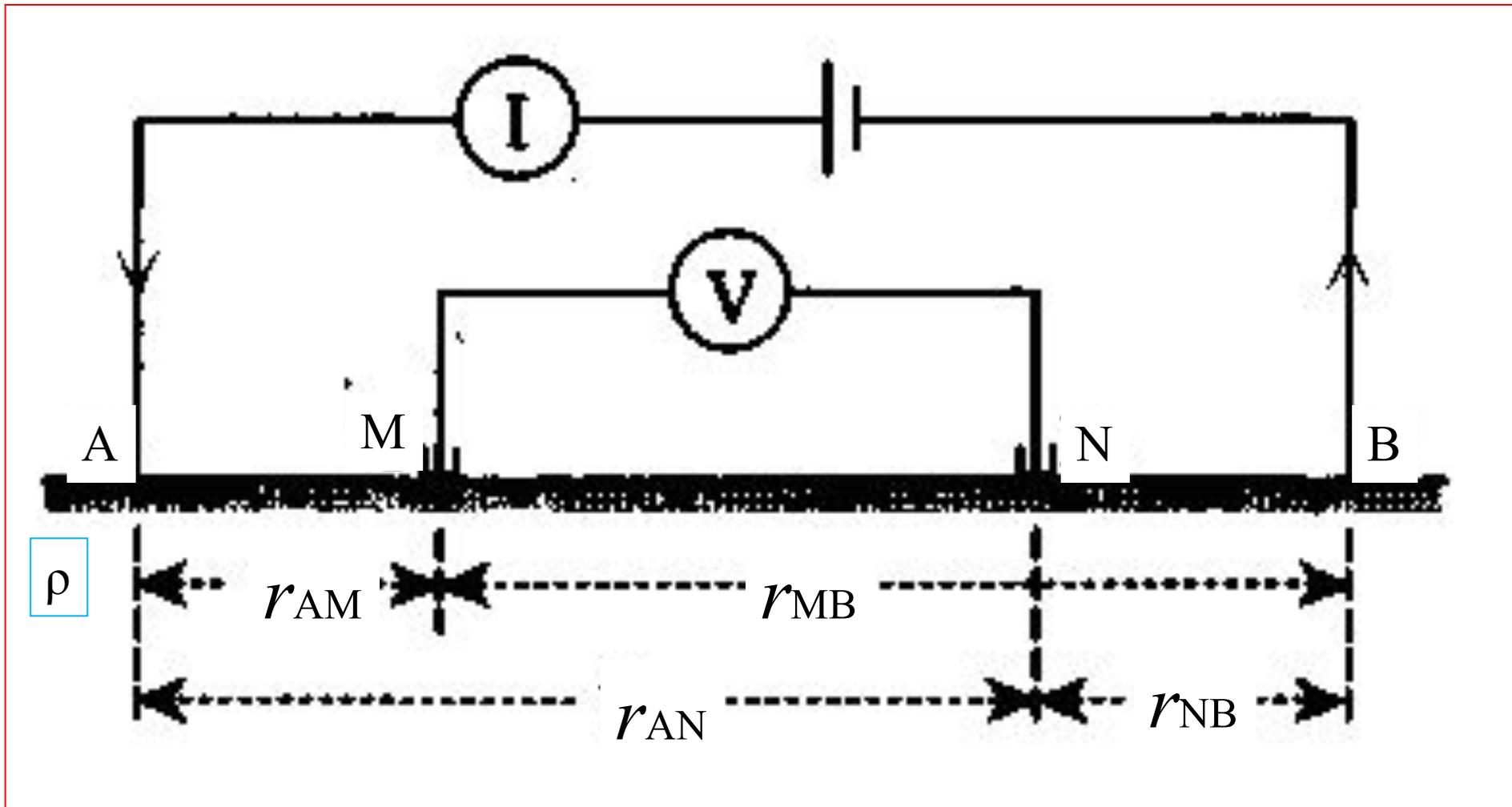
L- расстояние между питающими электродами

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

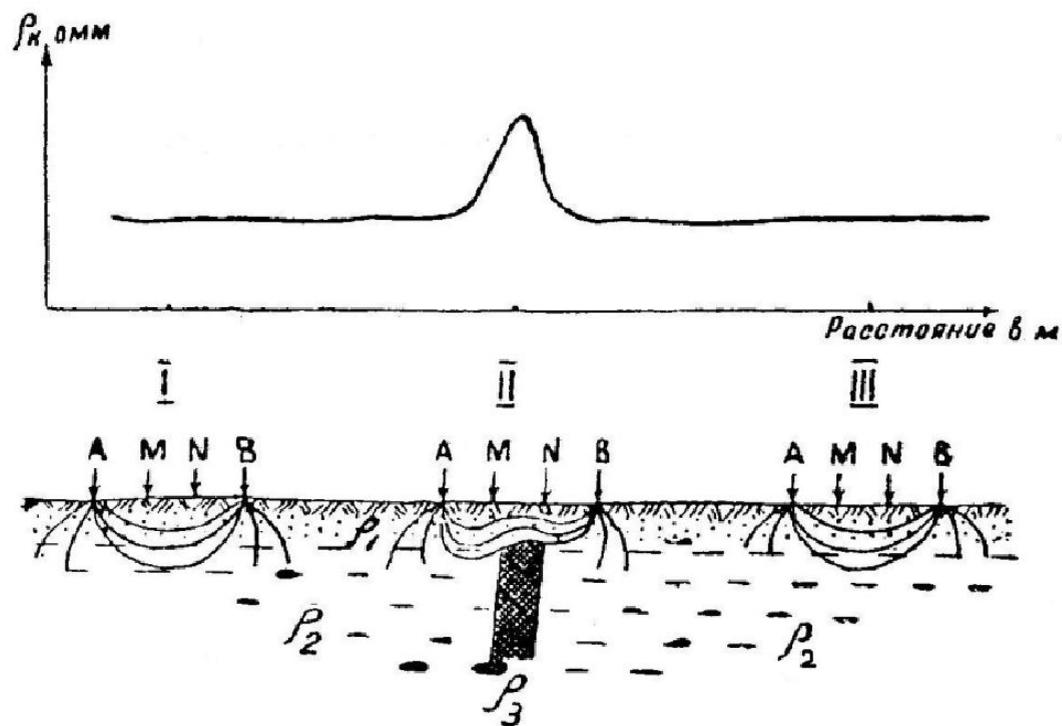


A, B- питающие электроды; M, N- измерительные электроды

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

При условии $AM=BN$, $AN=MB$

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



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

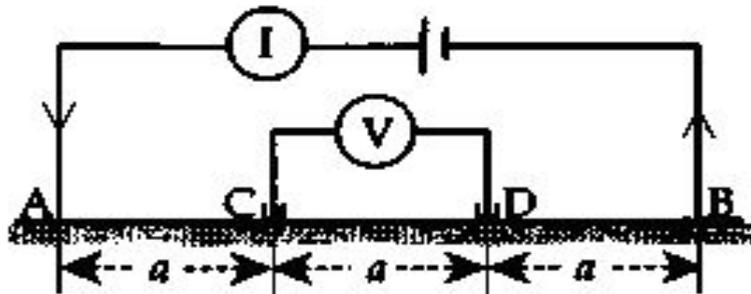
где j - плотность тока в области измерительных электродов
 K - геометрический коэффициент установки

Если I поддерживать постоянным, то замеры ΔU будут выполняться в масштабе ρ_K ,

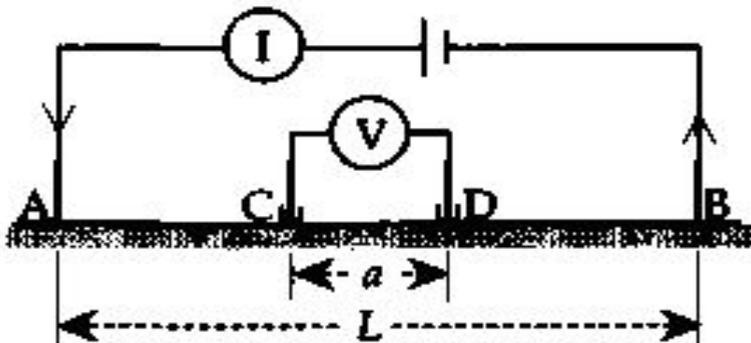
$$\text{т.е. } \Delta U \sim \rho_K$$

Специальные электродные конфигурации.

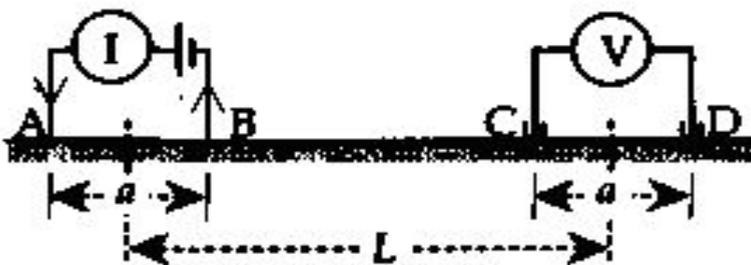
(a) Wenner



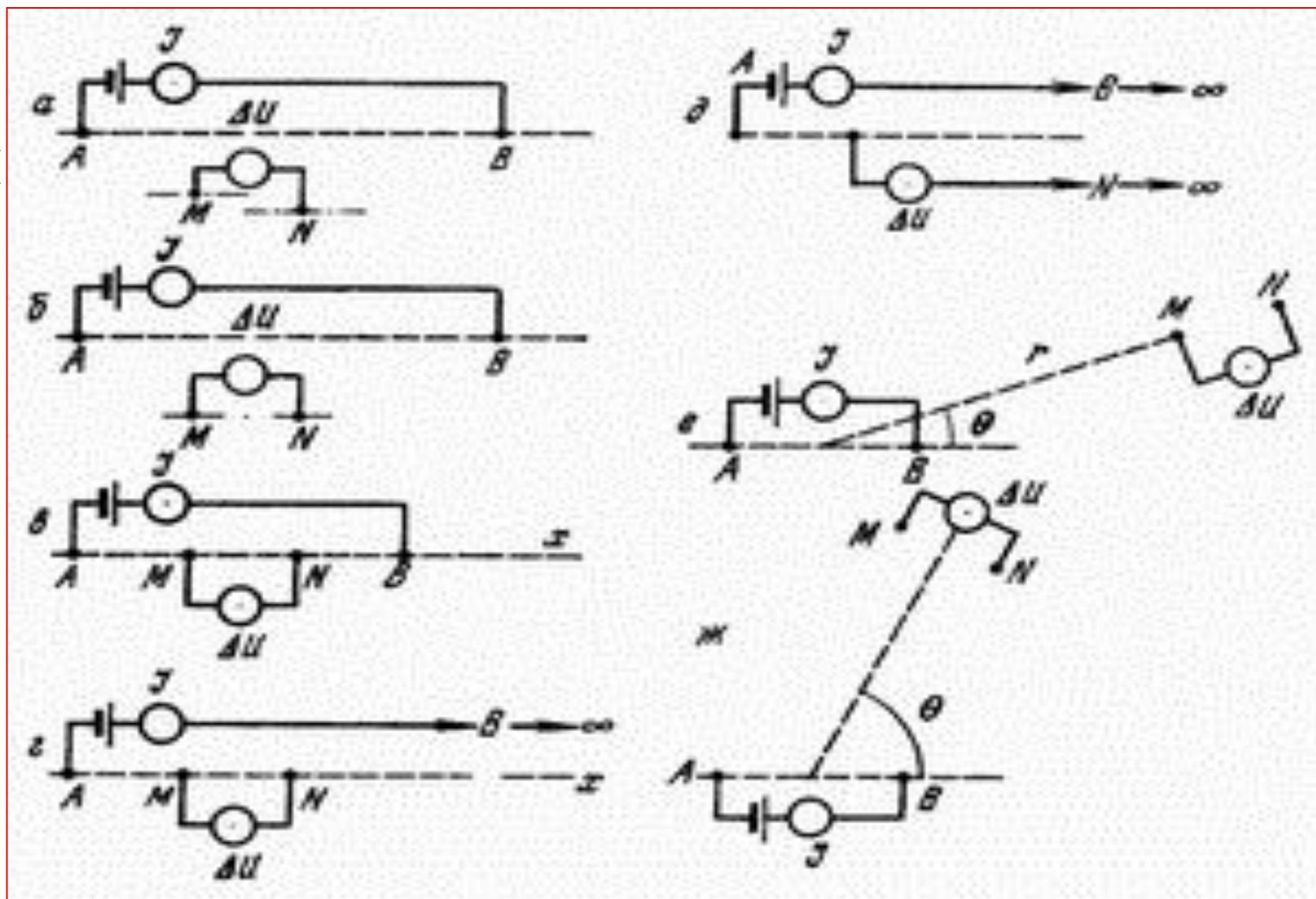
(b) Schlumberger



(c) Double-dipole



МЕТОД СОПРОТИВЛЕНИЙ

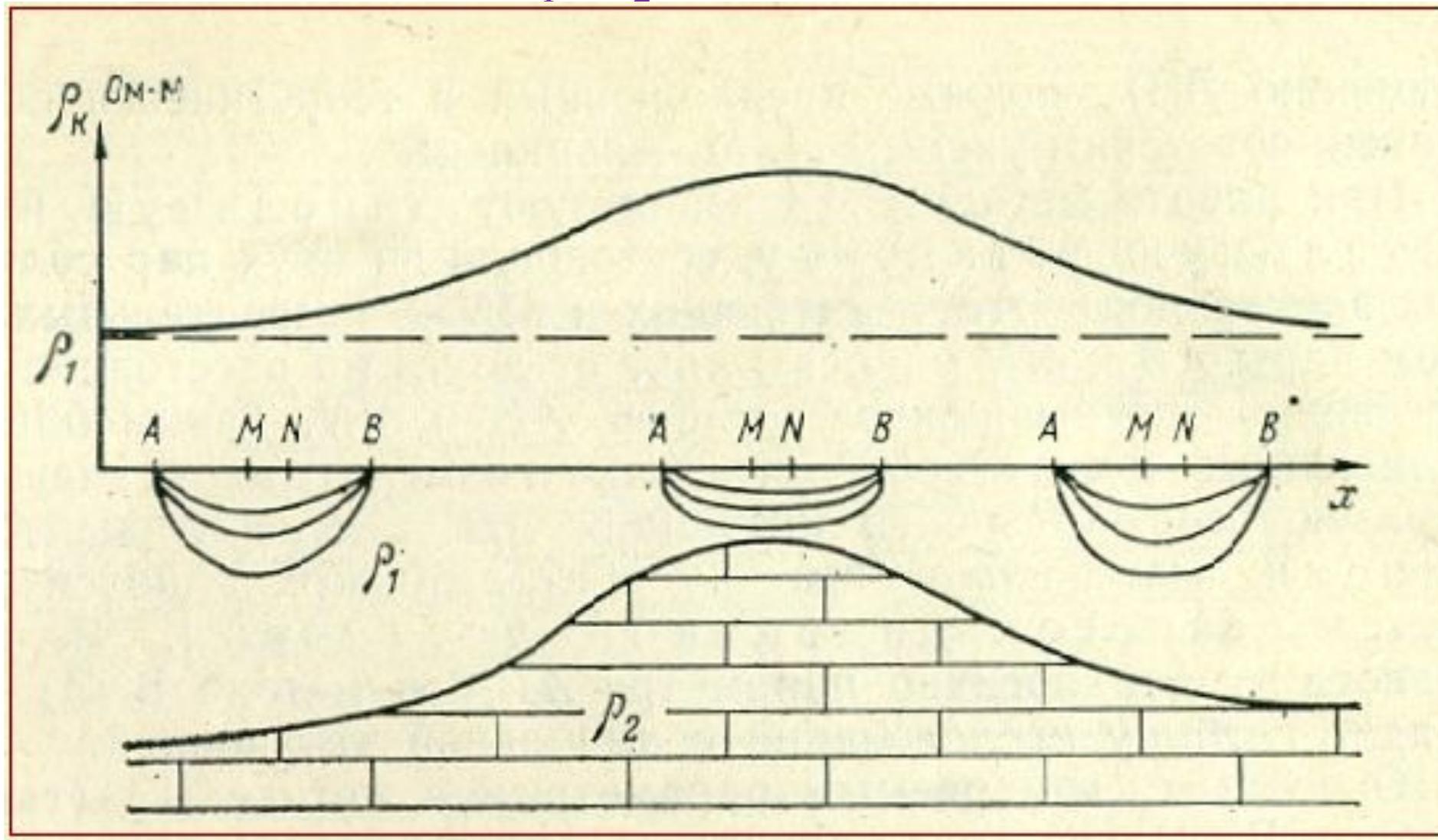


План расположения питающих (А и В) и приемных (М и N) электродов в разных установках метода сопротивлений:

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 (ρ_k), полученный по результатам электрического профилирования над двухслойным разрезом ($\rho_1 < \rho_2$)



ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЕ НАД ВЕРТИКАЛЬНЫМ КОНТАКТОМ

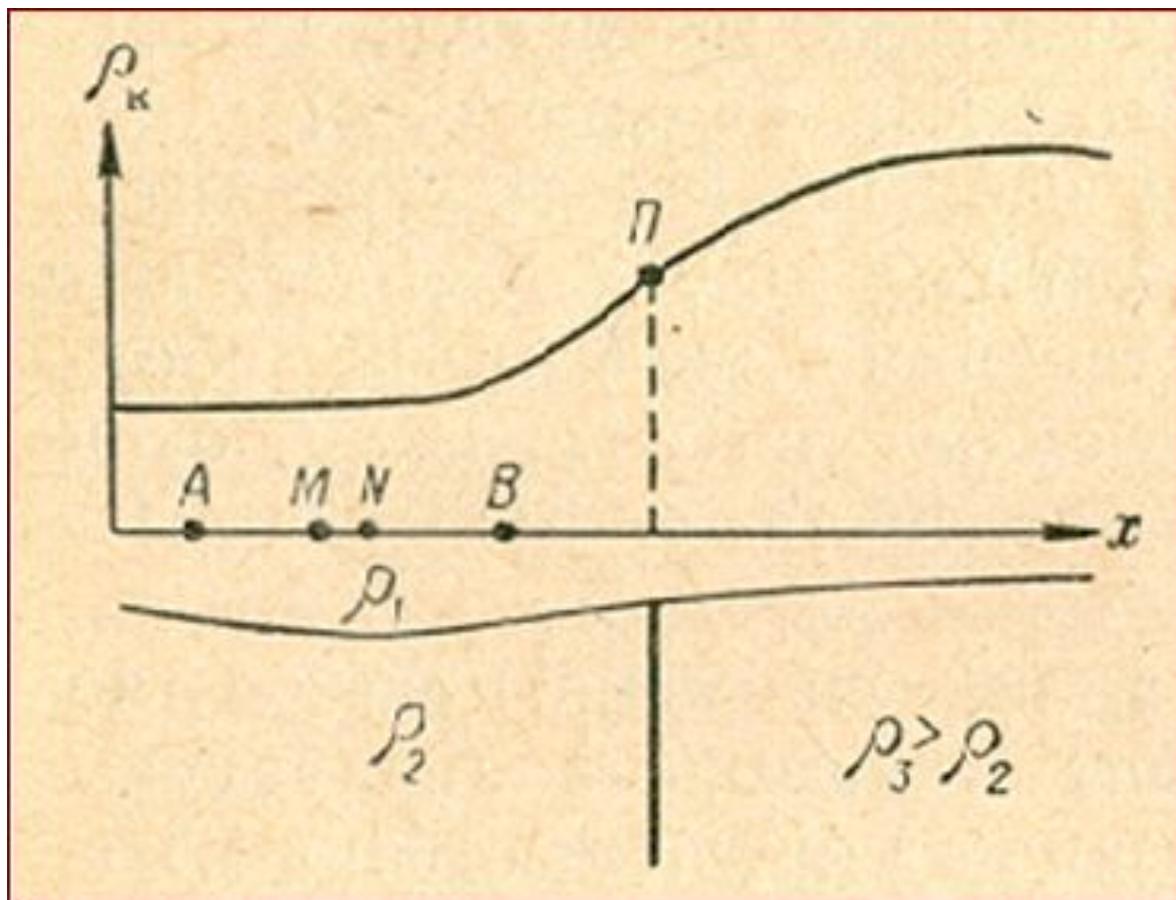
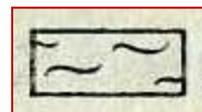
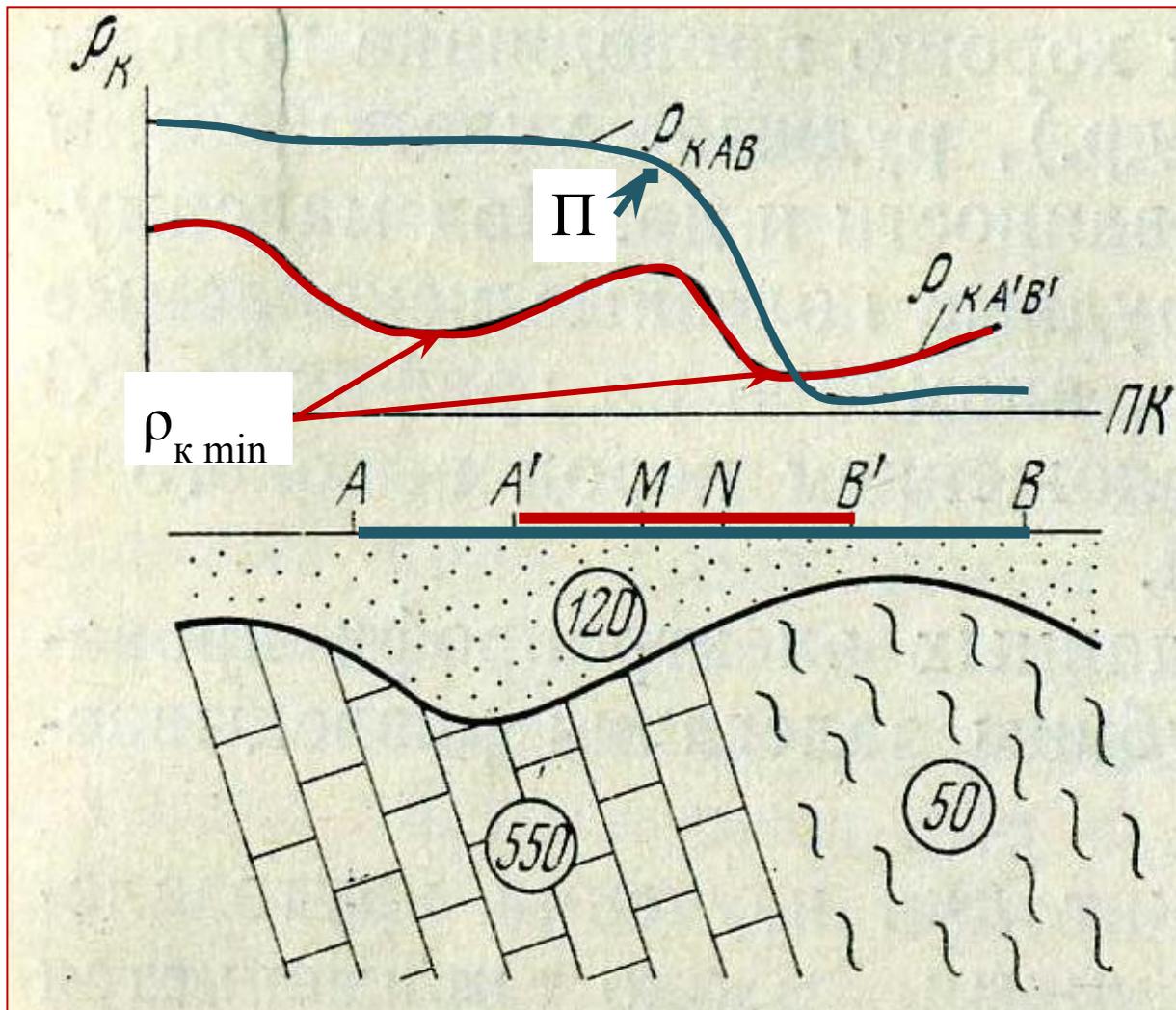
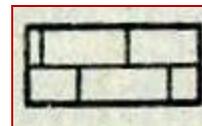


График
электропрофиле
ирования
установкой АМНВ
над контактом под
перекрывающим слоем
пород

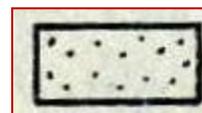
ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКОЙ А А' М N В' В (с двумя питающими линиями)



сланцы (У.Э.С.=50 ом·м)



известняки (У.Э.С.=550 ом·м)

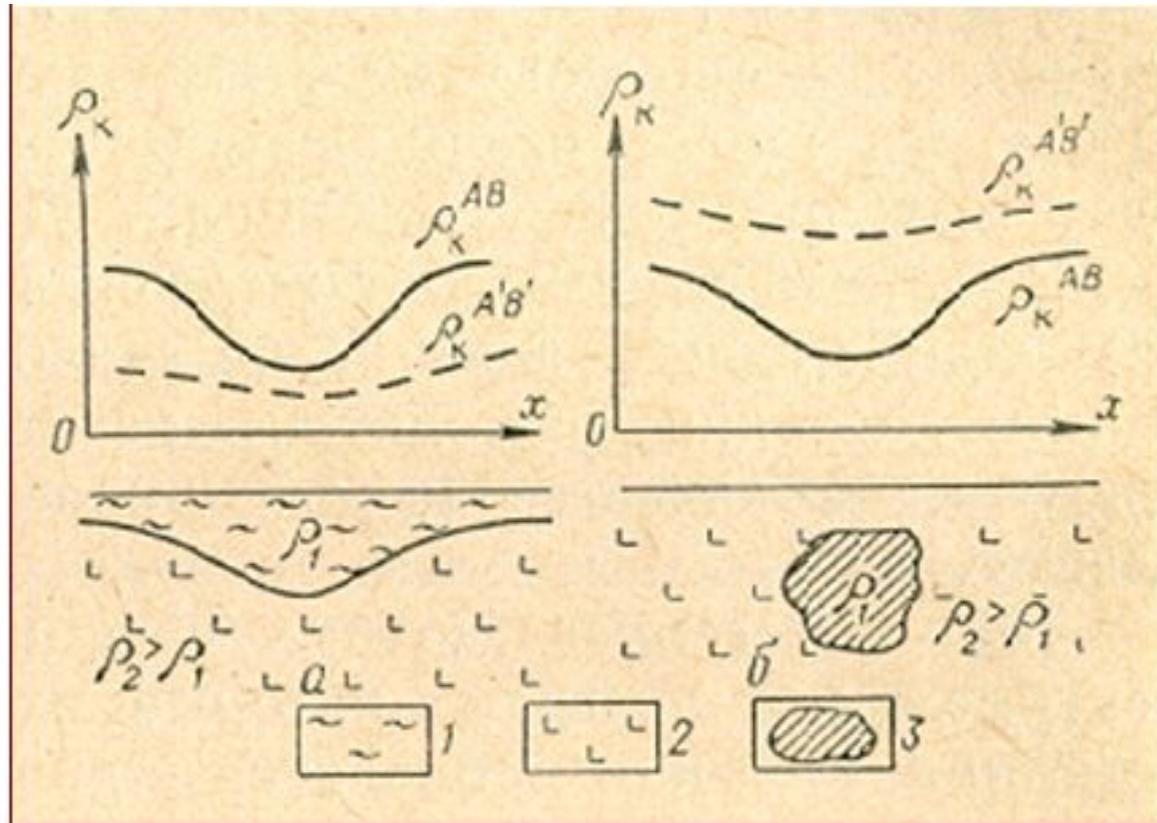


пески (У.Э.С.=120 ом·м)

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

В результате строят два графика для двух разносов.

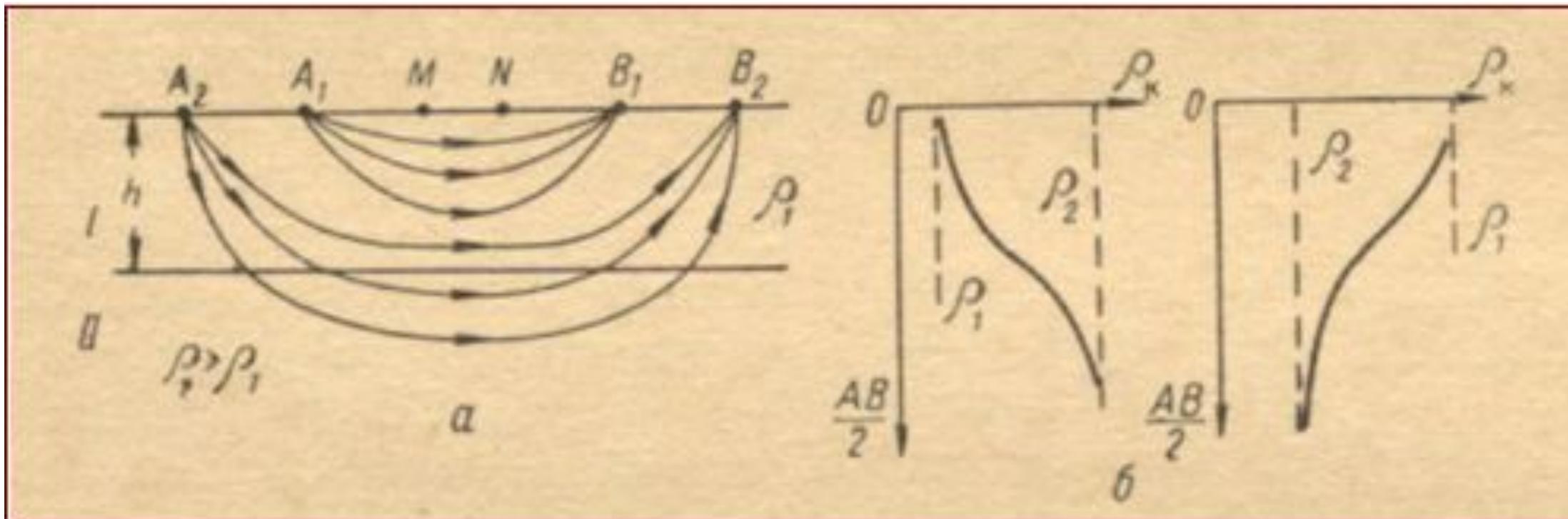
ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЕ НАД СИНКЛИНАЛЬНЫМ ПРОГИБОМ И РУДНЫМ ТЕЛОМ



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

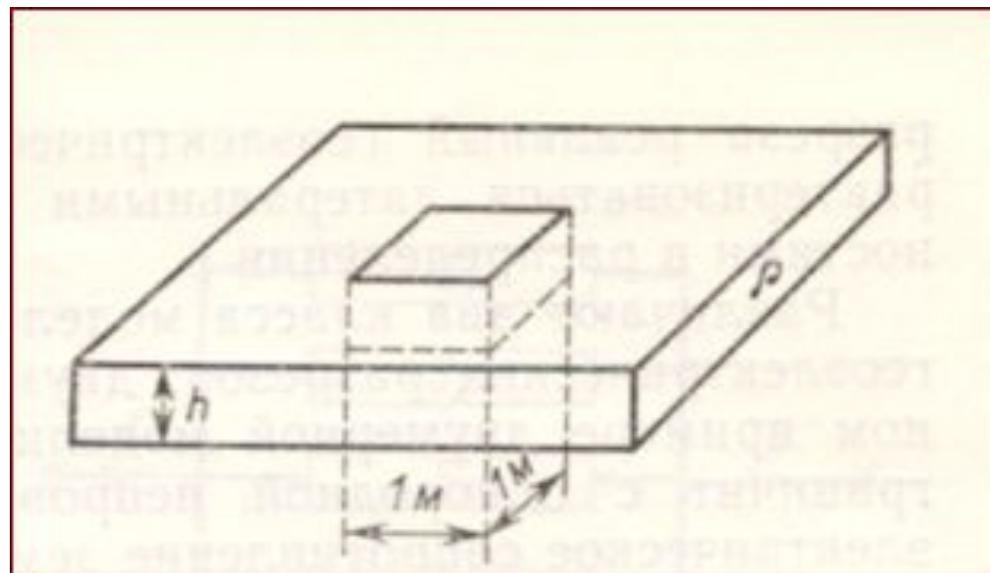
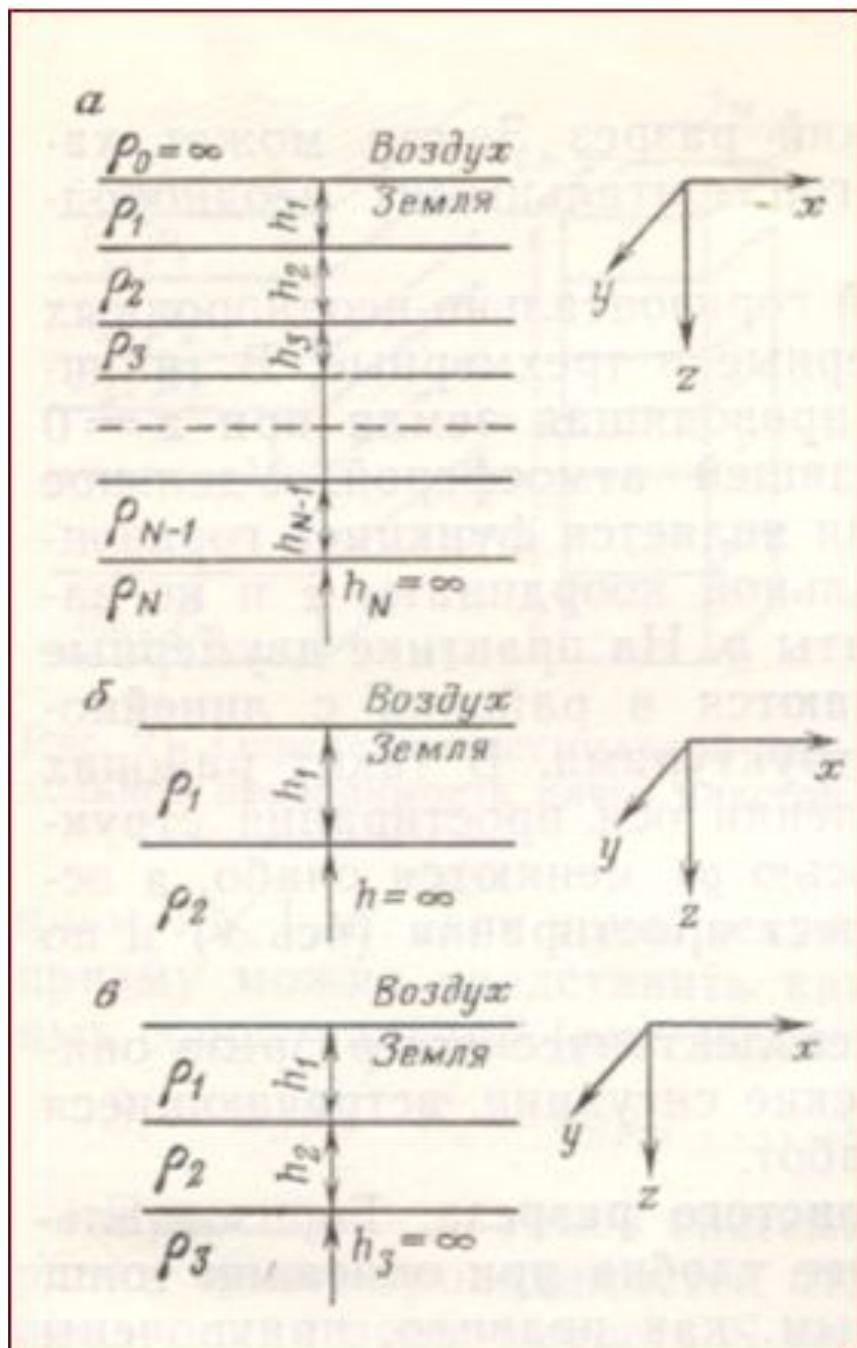
- 1- наносы
- 2- эффузивы
- 3- рудная залежь

2. ВЕРТИКАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ. ДВУХСЛОЙНЫЙ РАЗРЕЗ



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

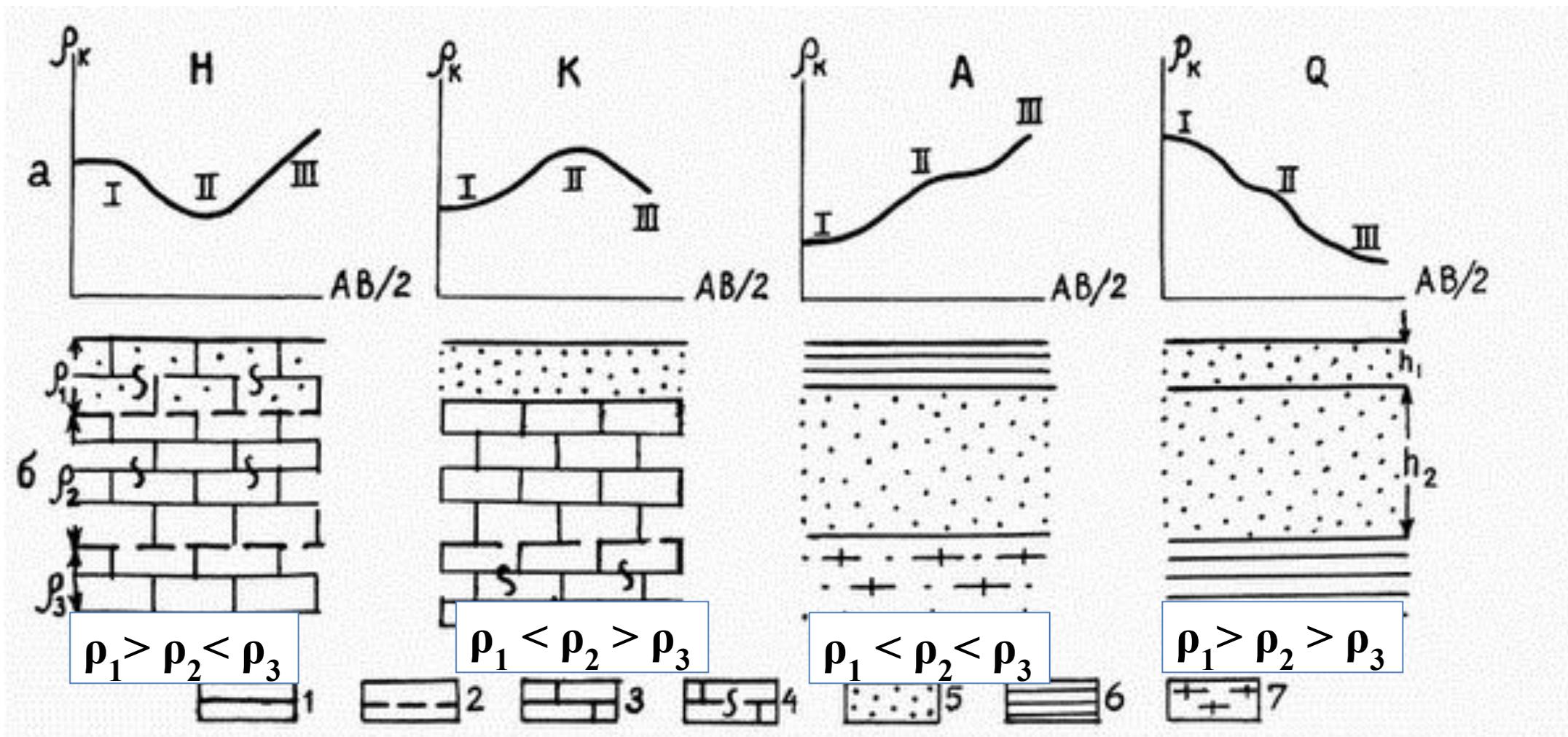
МОДЕЛИ ГОРИЗОНТАЛЬНО-СЛОИСТОГО РАЗРЕЗА



Определение продольного сопротивления пласта

Модели геоэлектрического разреза

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



Типичные трехслойные кривые ВЭЗ:

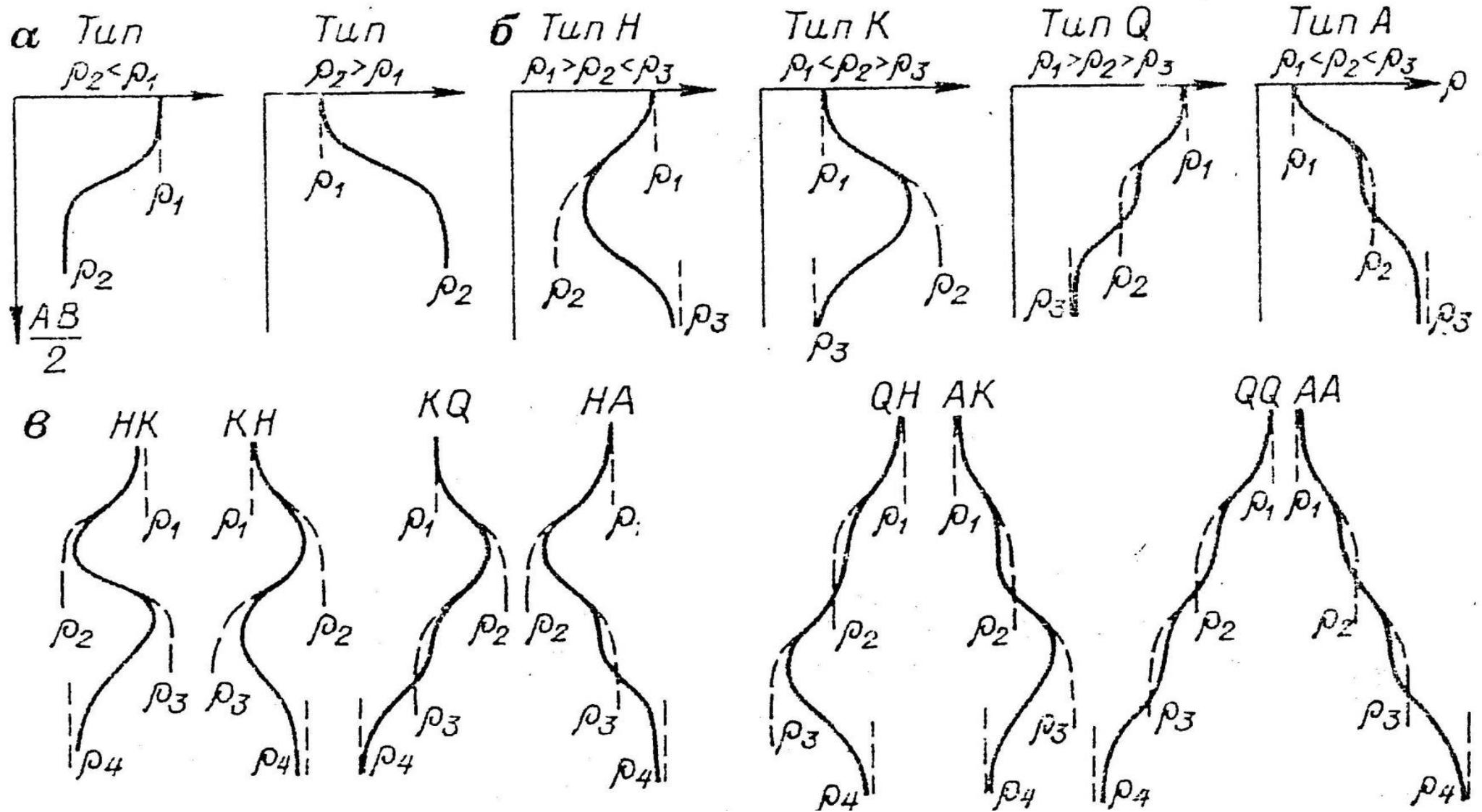
а - графики КС,

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.

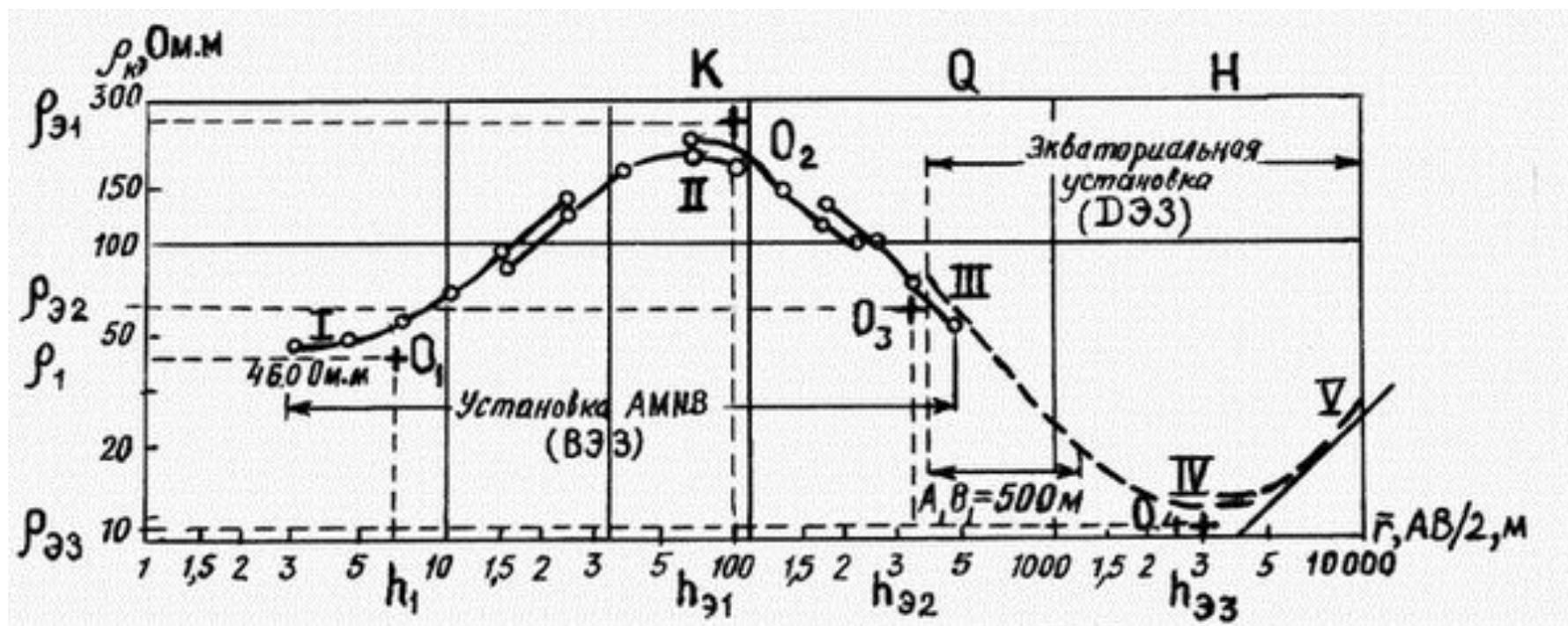
а – двухслойные: 1 – ($\rho_1 > \rho_2$), 2 – ($\rho_1 < \rho_2$);

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

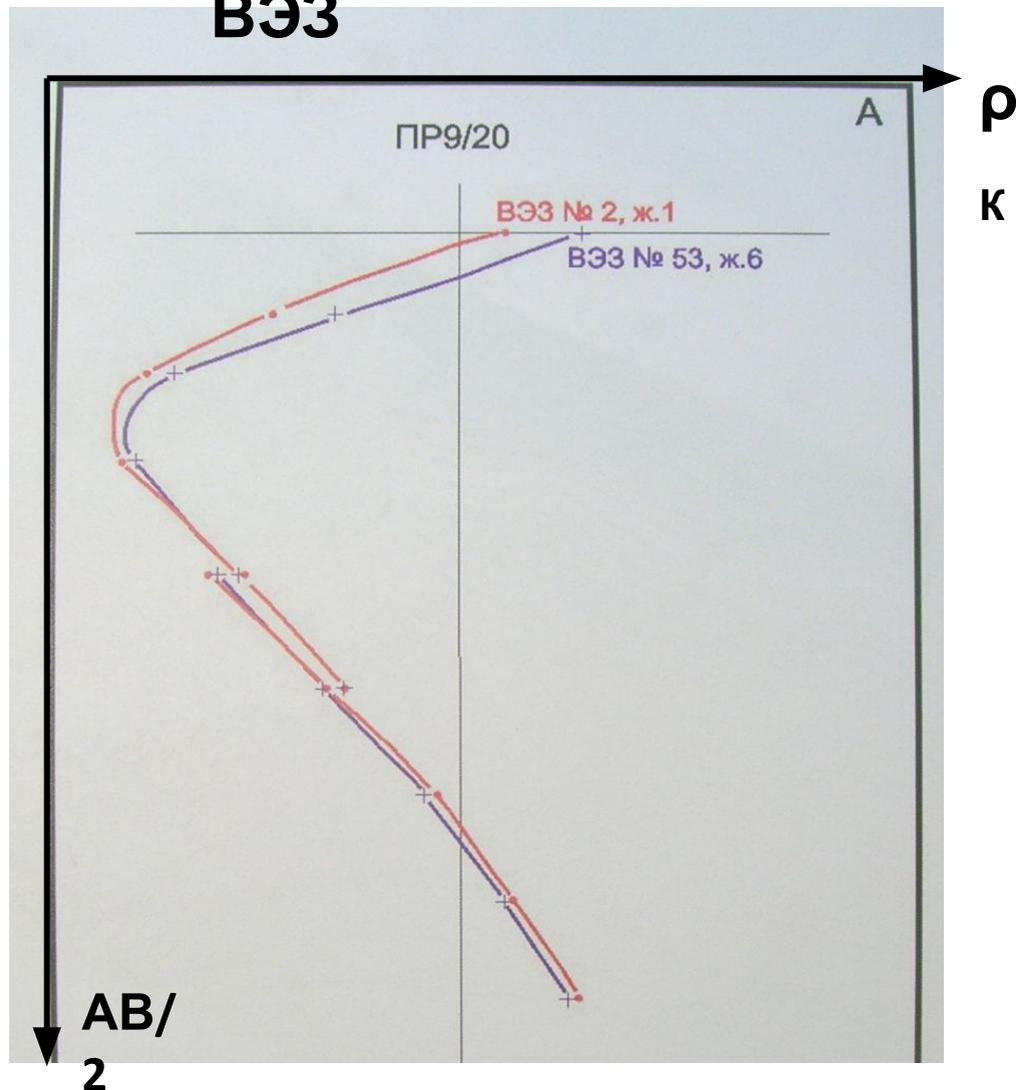
2 – тип **К** ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$), 3 – тип **Q** ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$),

в – четырехслойные – на восемь типов – **НК, НА, КН, КQ, АА, QH, QQ, АК**

Пятислойная кривая ВЭЗ-ДЭЗ типа



Реальная кривая ВЭЗ



Интерпретация данных ВЭЗ

Качественная

Количественная

По палеткам

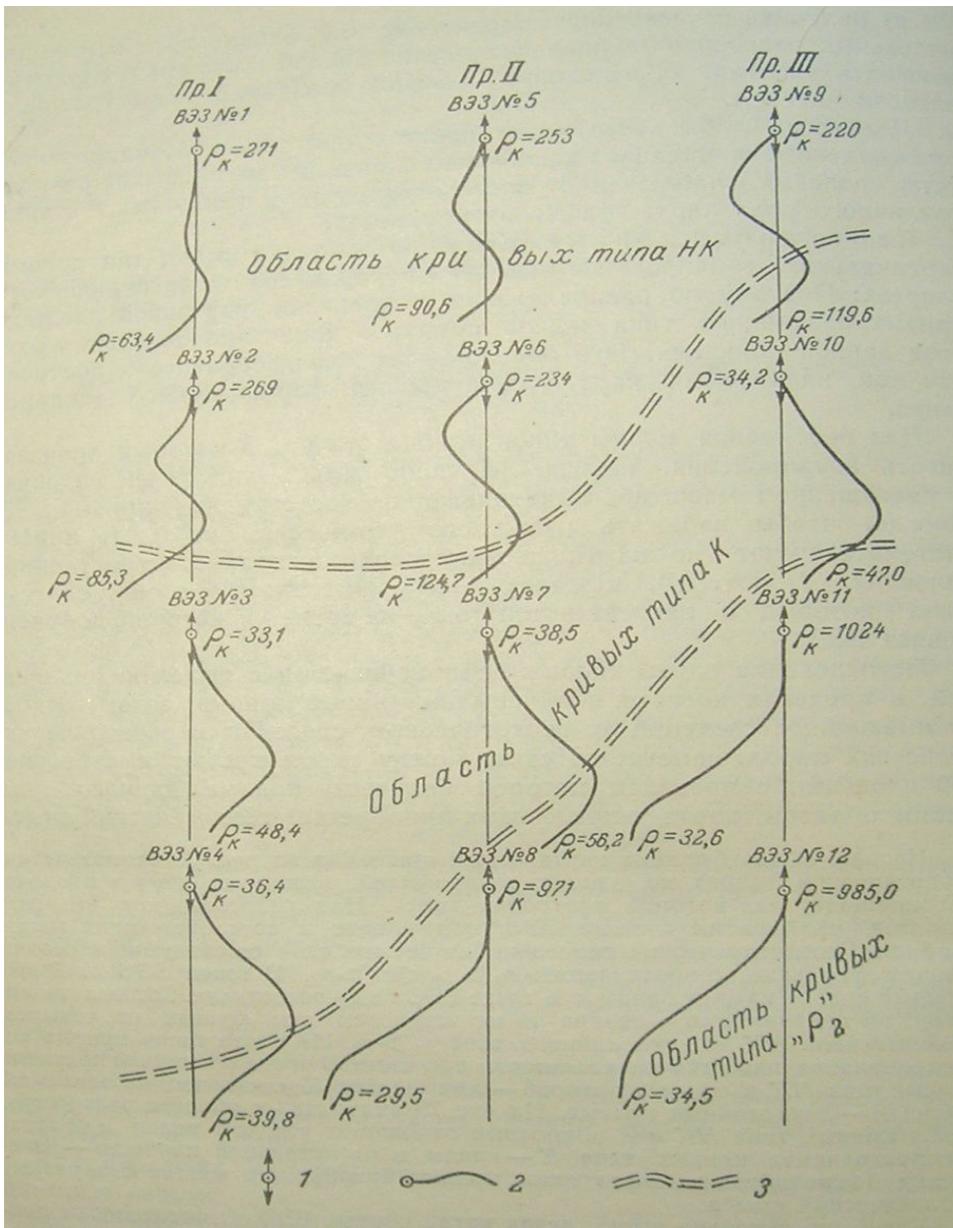
1. Карты типов кривых
2. Разрезы изоом
3. Карты изоом
4. Карты $\rho_{k \text{ мин}}$ или $\rho_{k \text{ макс}}$
5. карты изолиний проводимости

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,

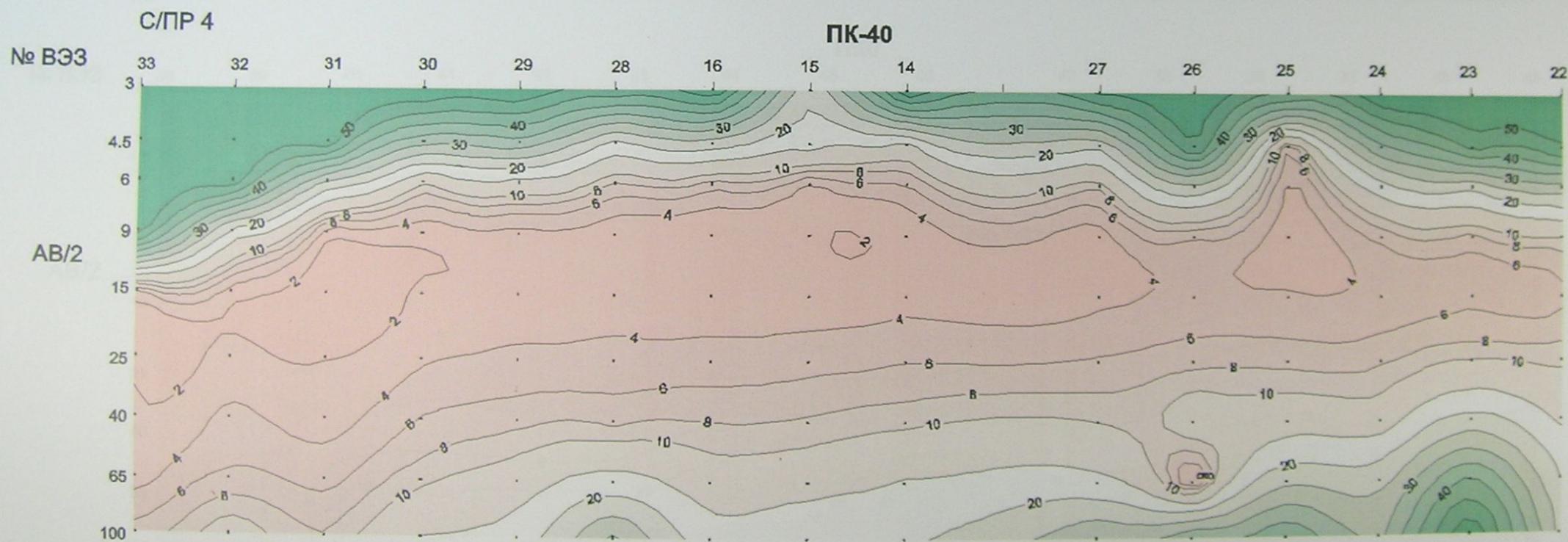
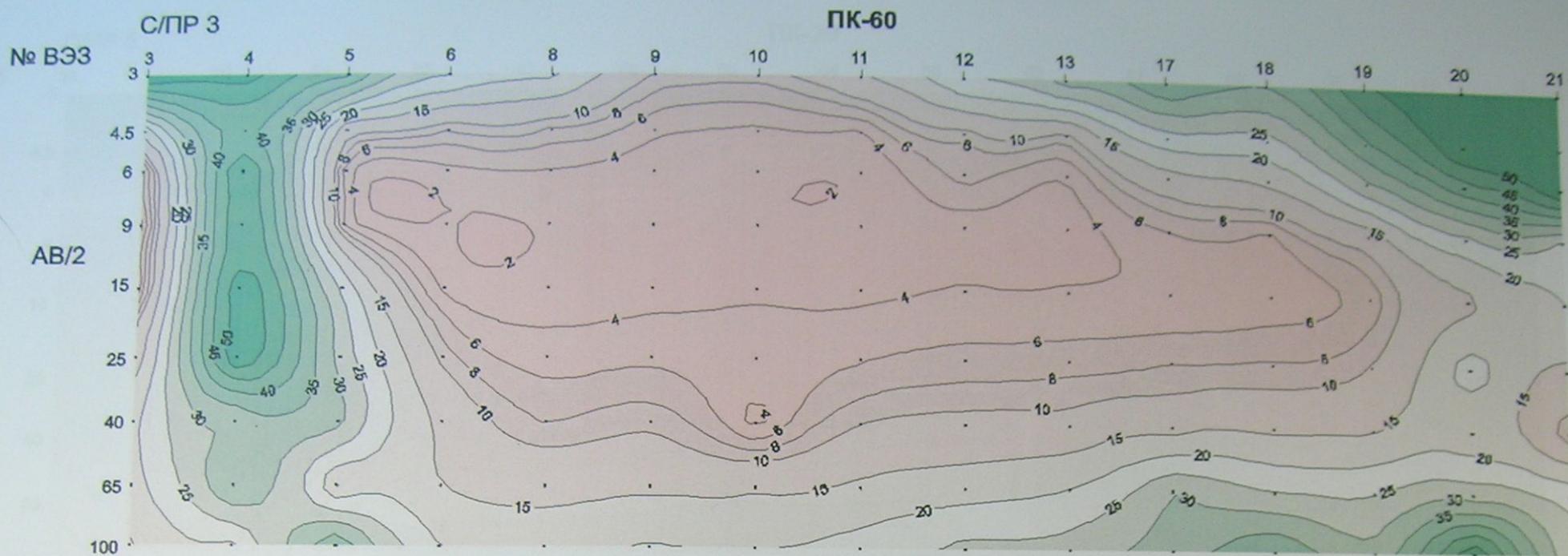
отстроенный по виду кривых ВЭЗ



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

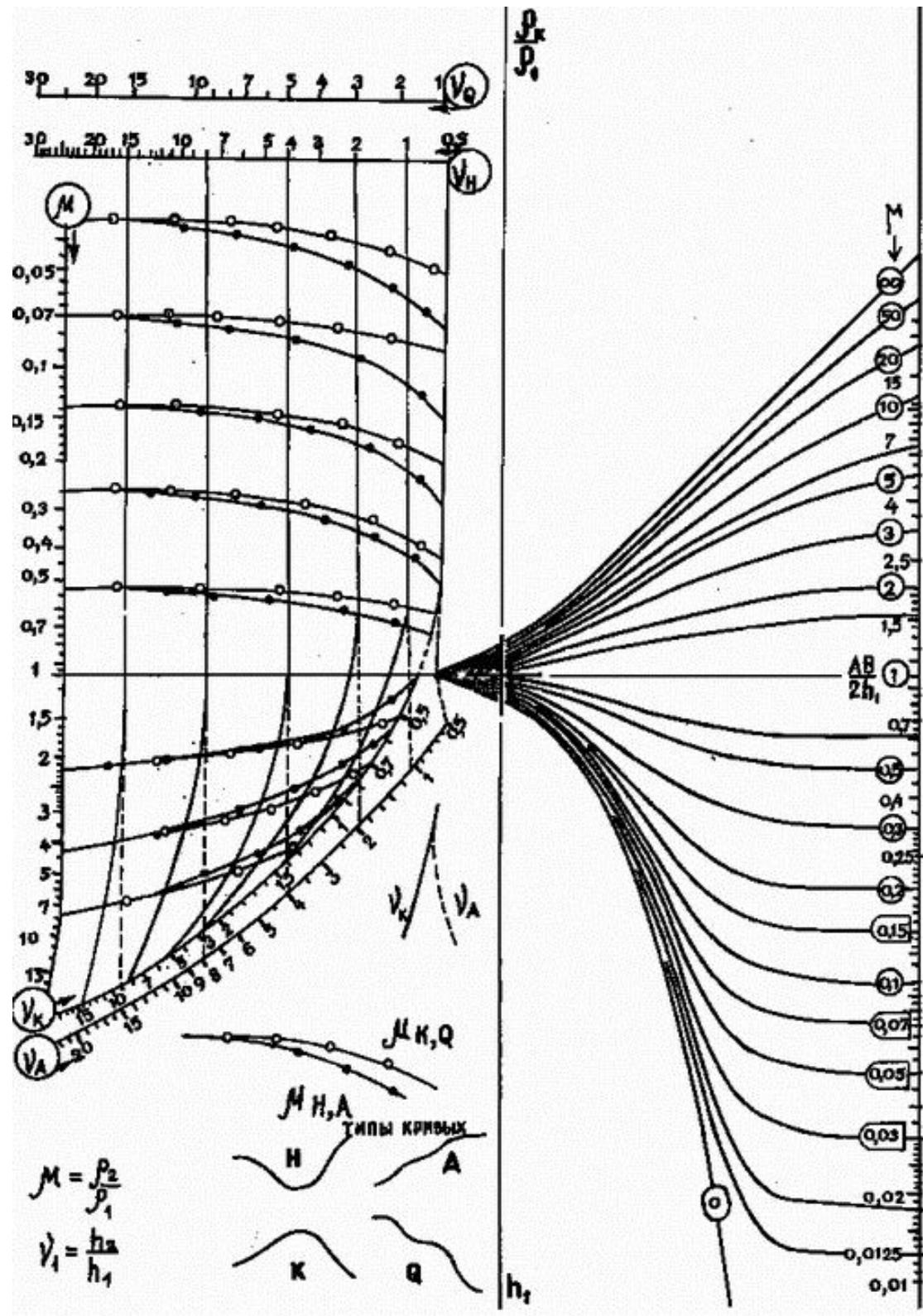


Разрезы изоом по данным ВЭЗ

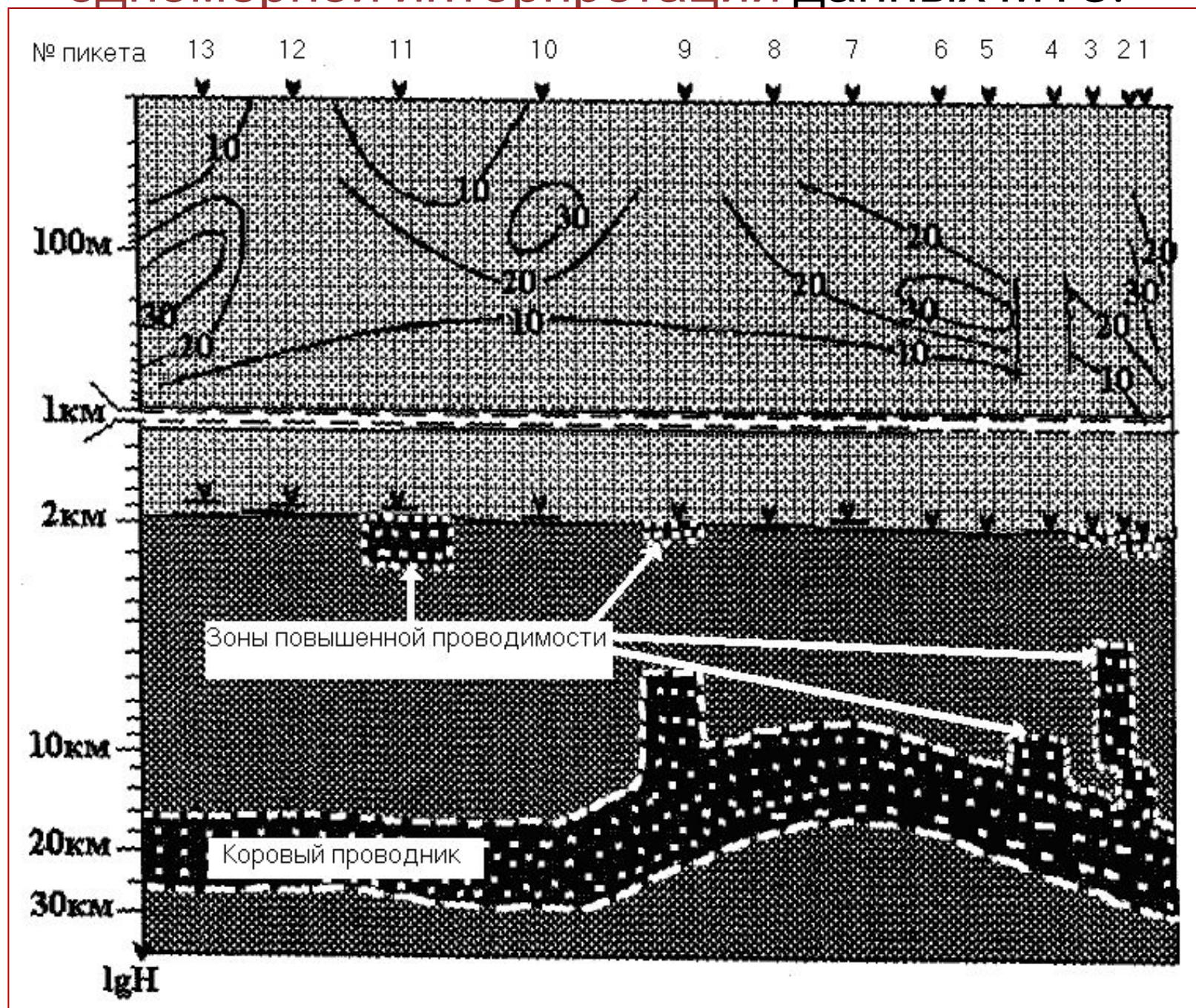


Количественная интерпретация

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

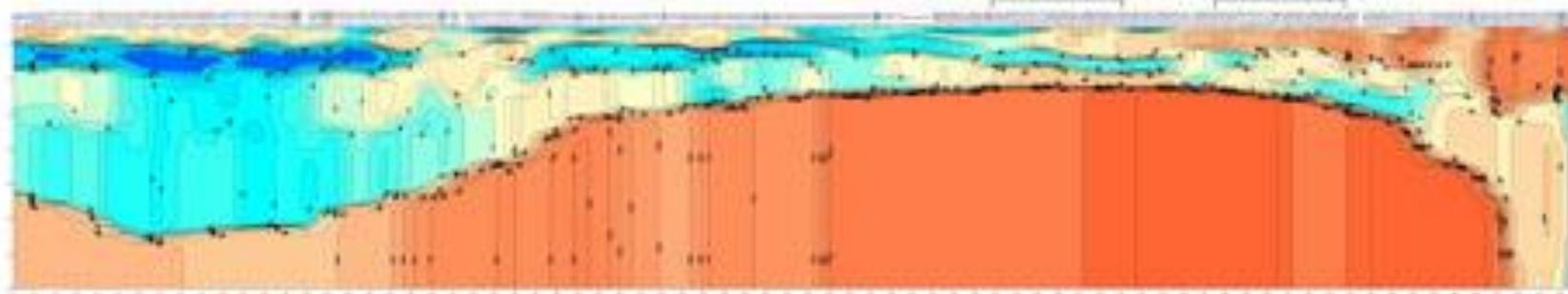
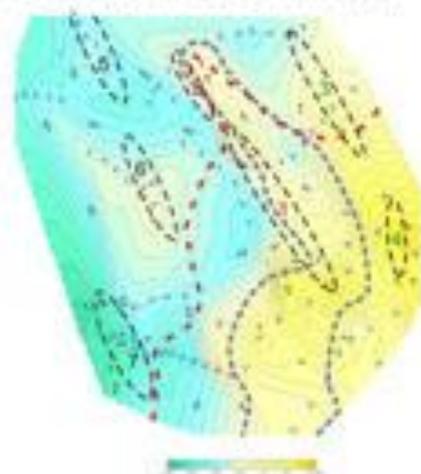


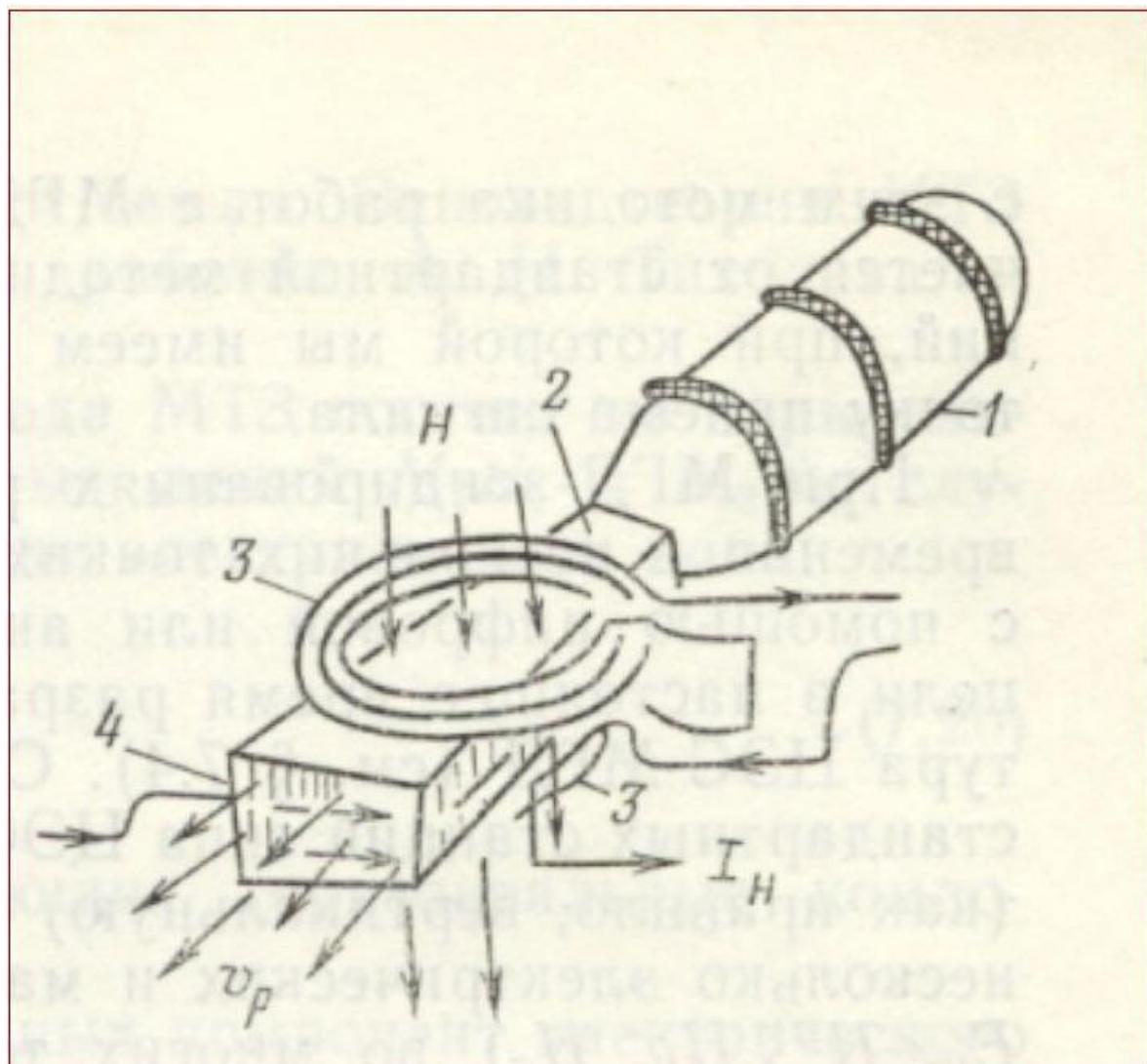
Схема перспектив нефтегазоносности





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

