

Электроразведка

Г.А. Лобова

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

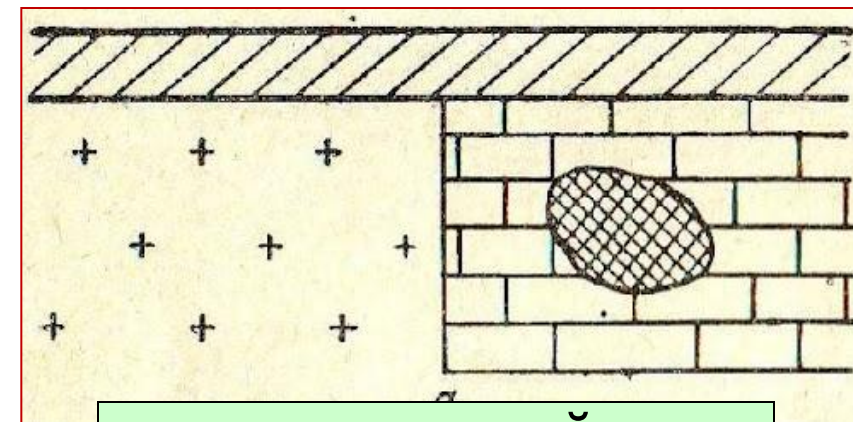
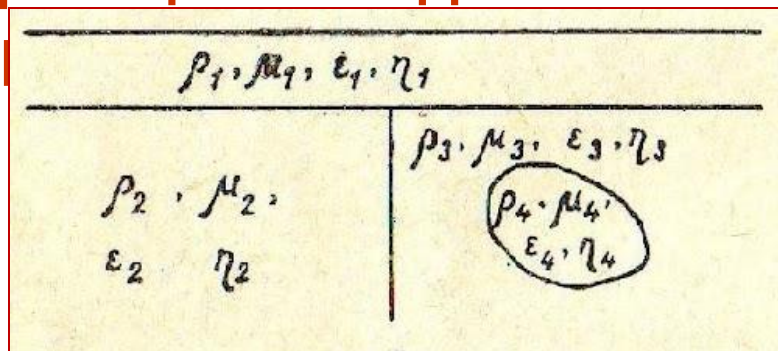
Источники естественных электрических полей:

- 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)		Частотный метод	Метод становления поля	Метод поляризационный (электрохимический)	Магнитотеллурические токи
Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ)	Дипольное электрическое зондирование (ДЕЗ)	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
- 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

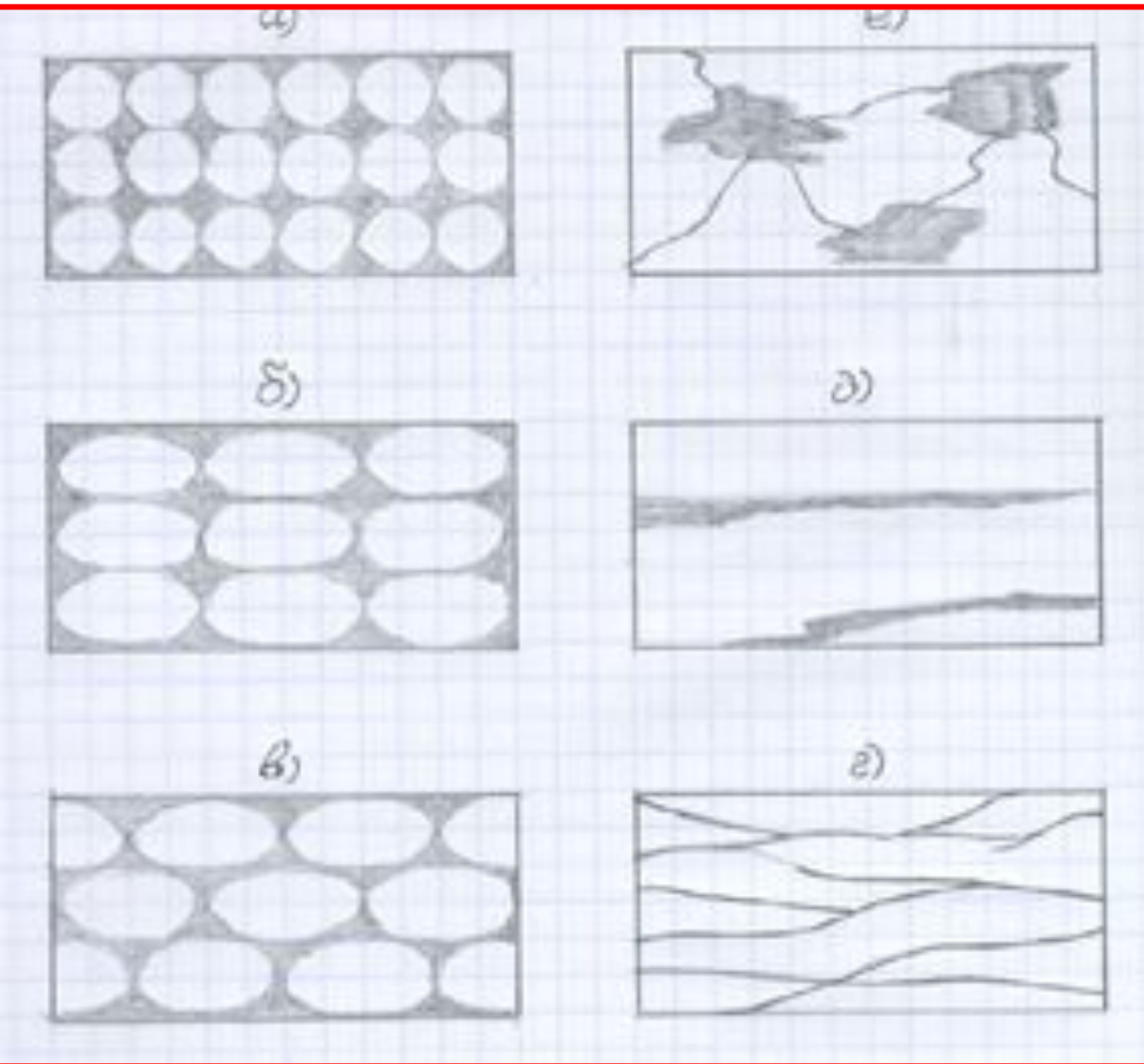
- Эти минералы характеризуют восстановительную

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

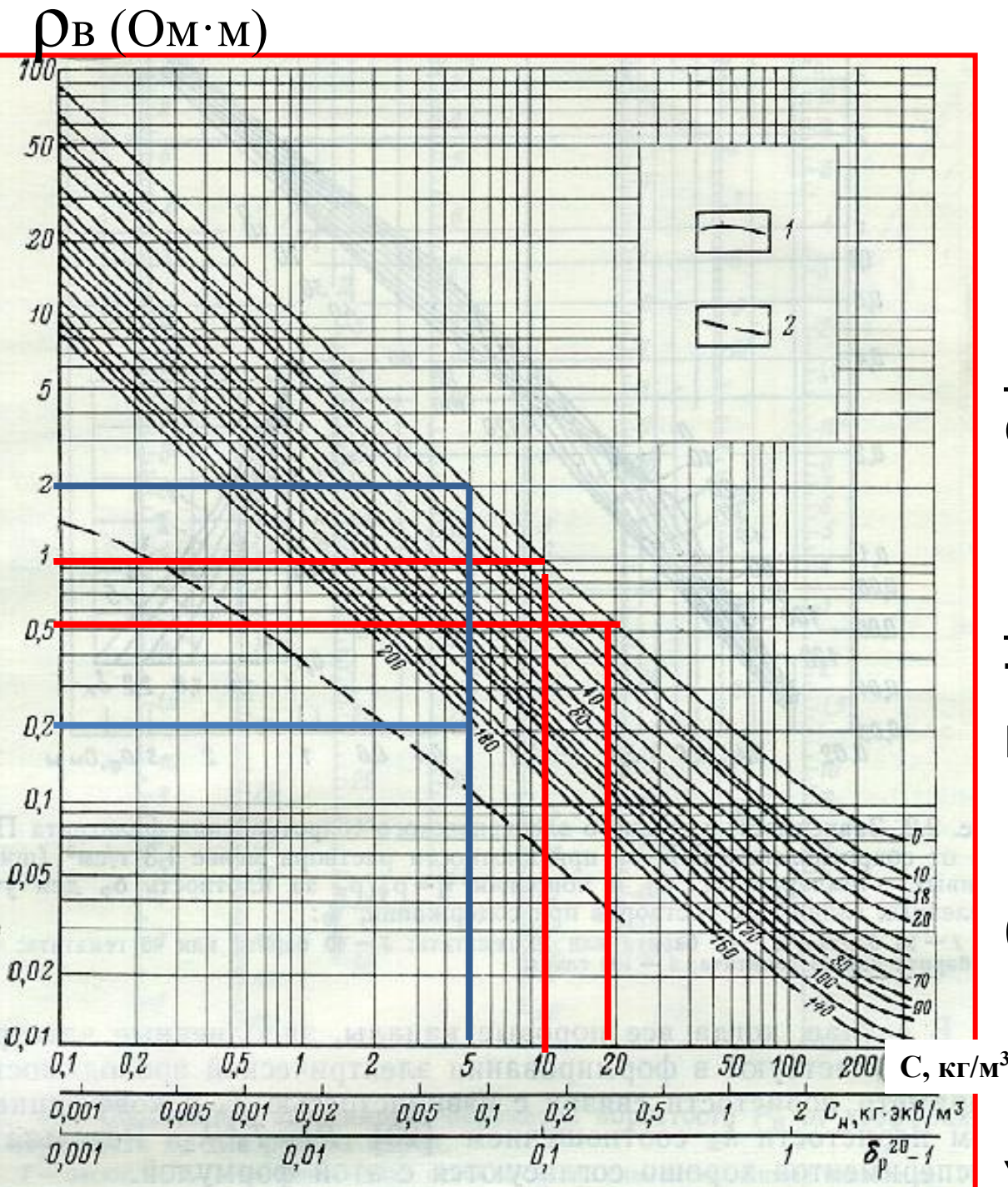
(в нефтяном пласте T = 50÷200 °C)

в) от состава флюида

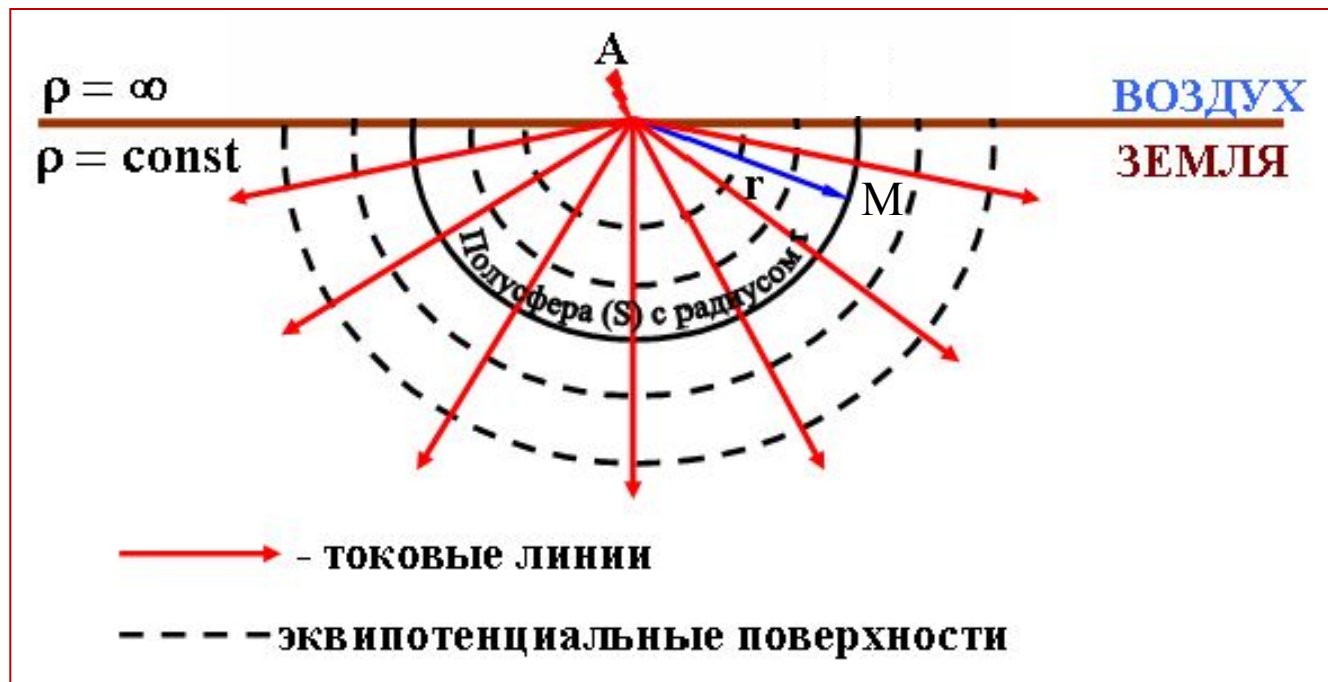
У У.Э.С. нефти $10^9 \div 10^{16}$ Омм

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

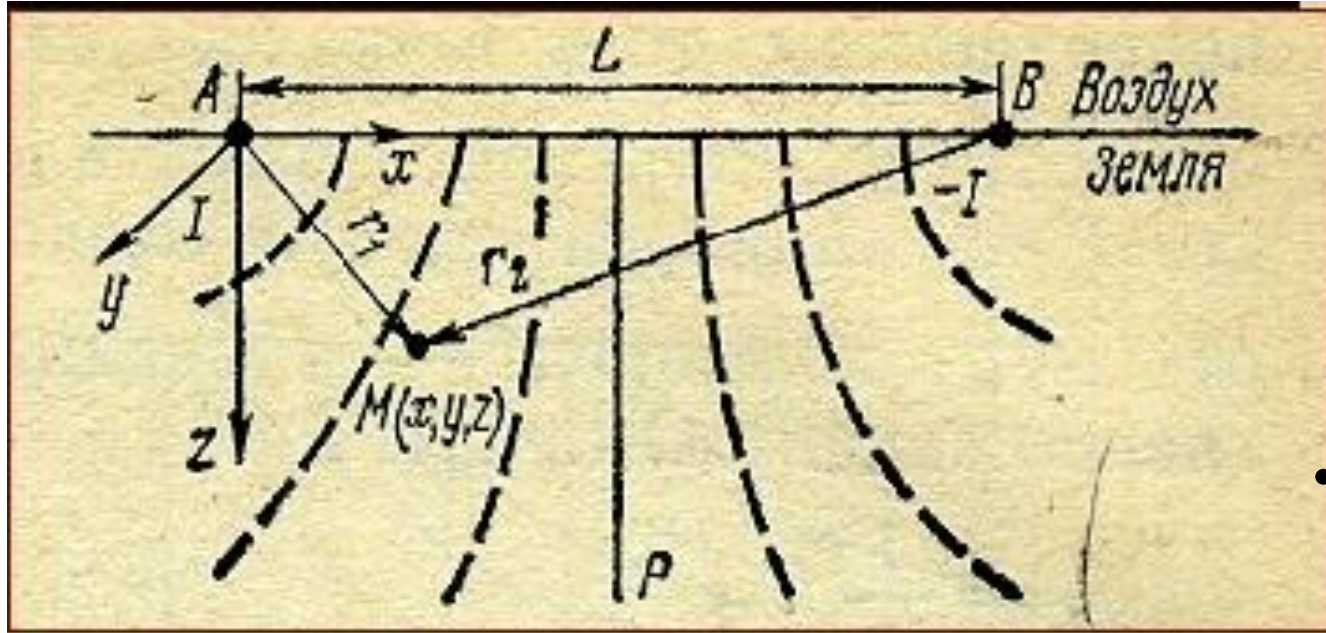
$$E = \rho \cdot j = \frac{I \cdot \rho}{2\pi r^2}$$

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

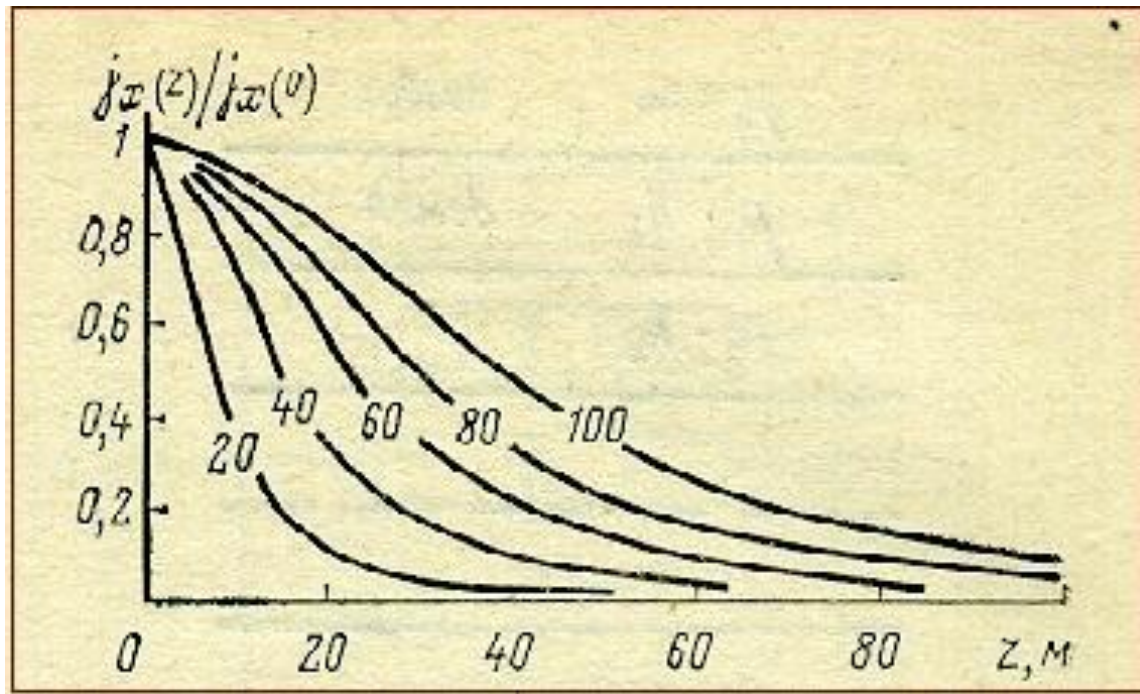
$$U(M) = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

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

где Z- глубина, м

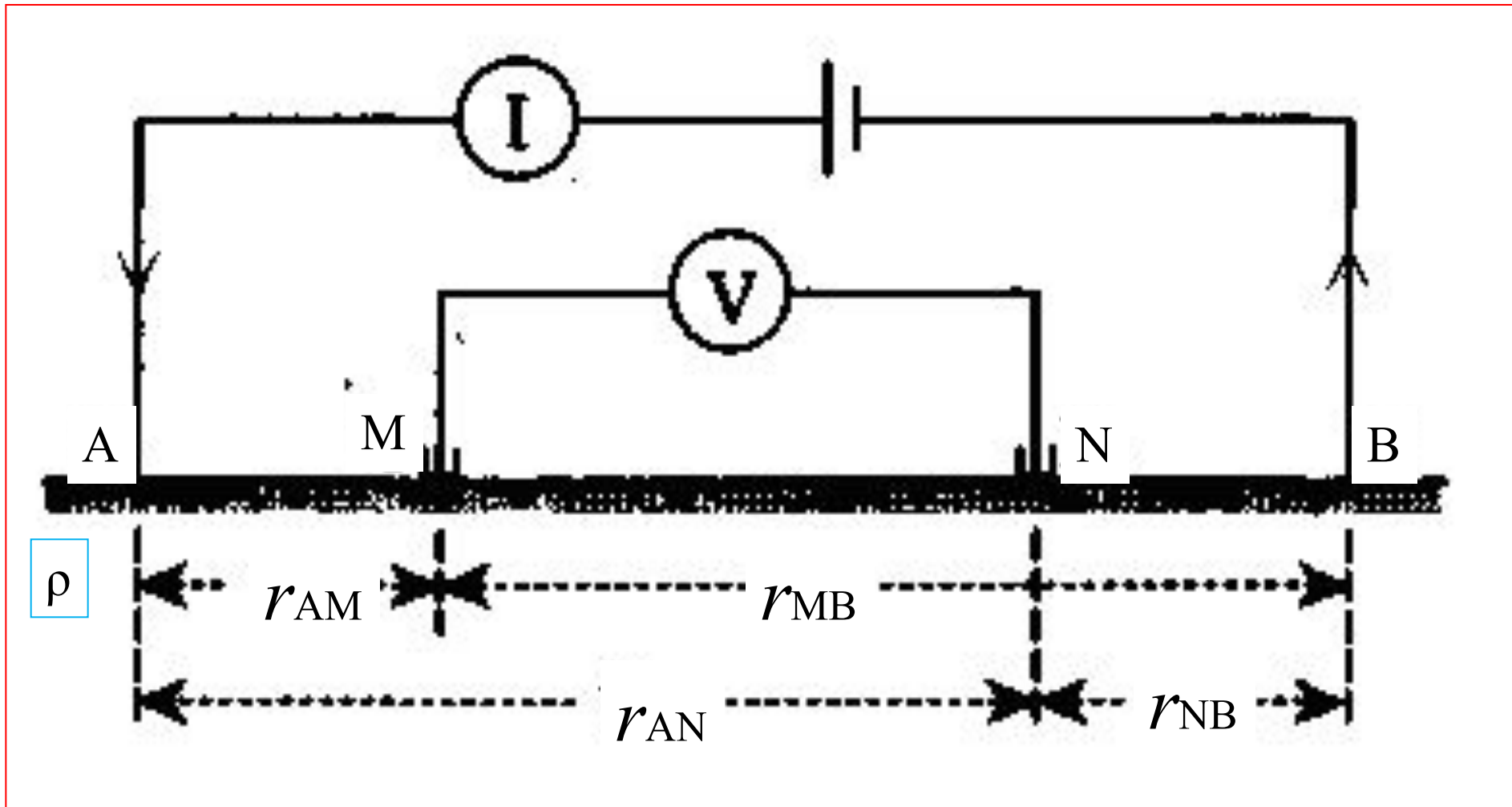
L- расстояние между питающими электродами

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

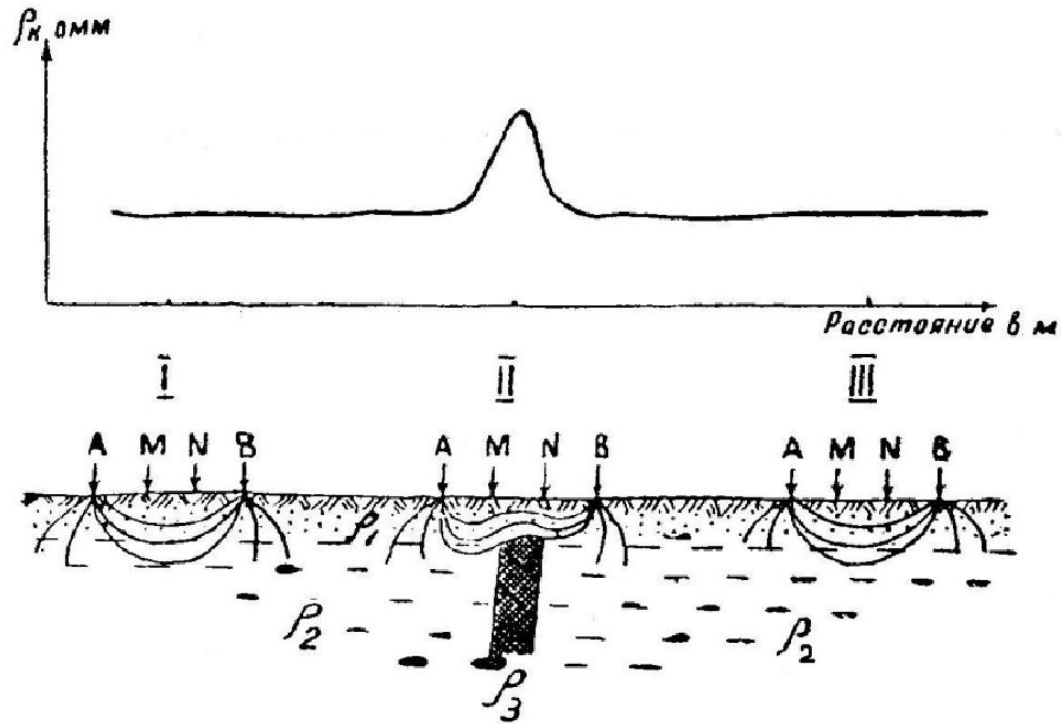


A, B- питающие электроды; M, N- измерительные электроды

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

При условии $AM=BN$, $AN=MB$

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



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

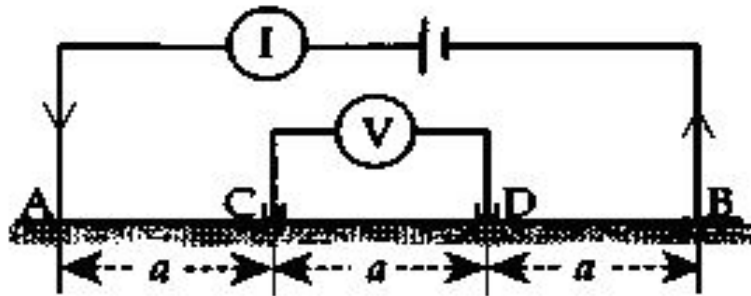
где j - плотность тока в области измерительных электродов
 K - геометрический коэффициент установки

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

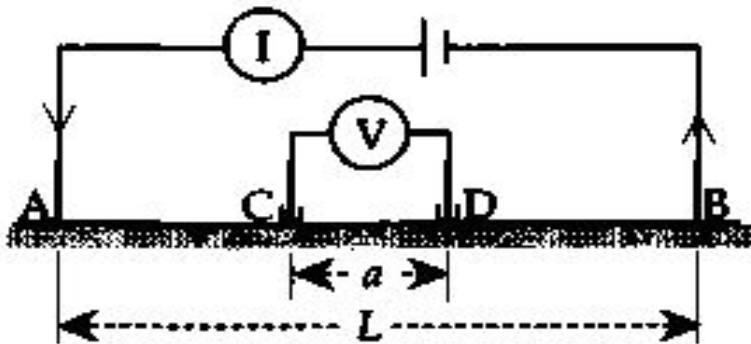
т.е. $\Delta U \sim \rho_K$

Специальные электродные конфигурации.

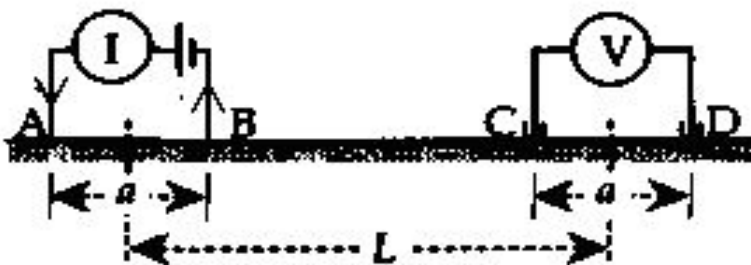
(a) Wenner



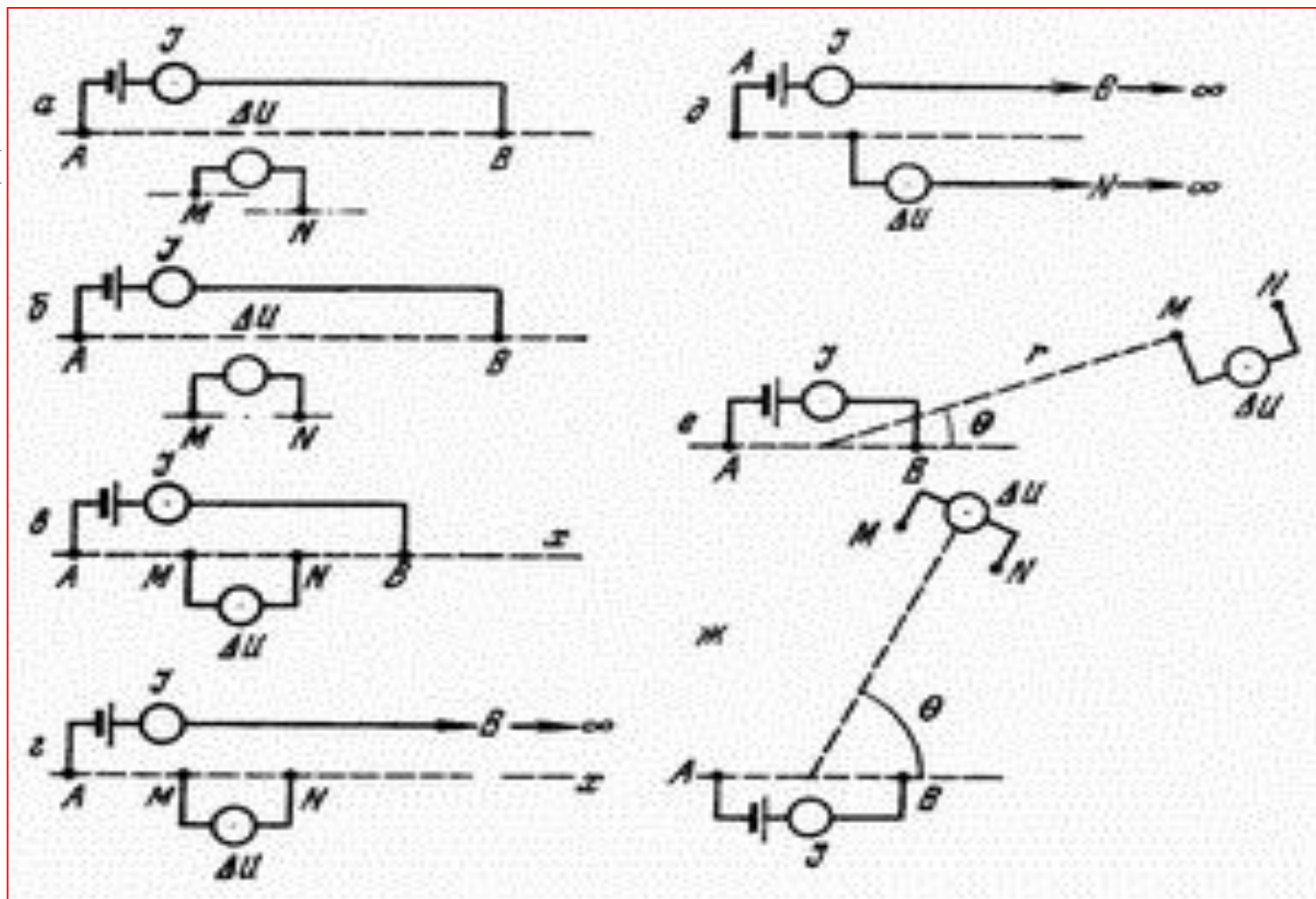
(b) Schlumberger



(c) Double-dipole



МЕТОД СОПРОТИВЛЕНИЙ

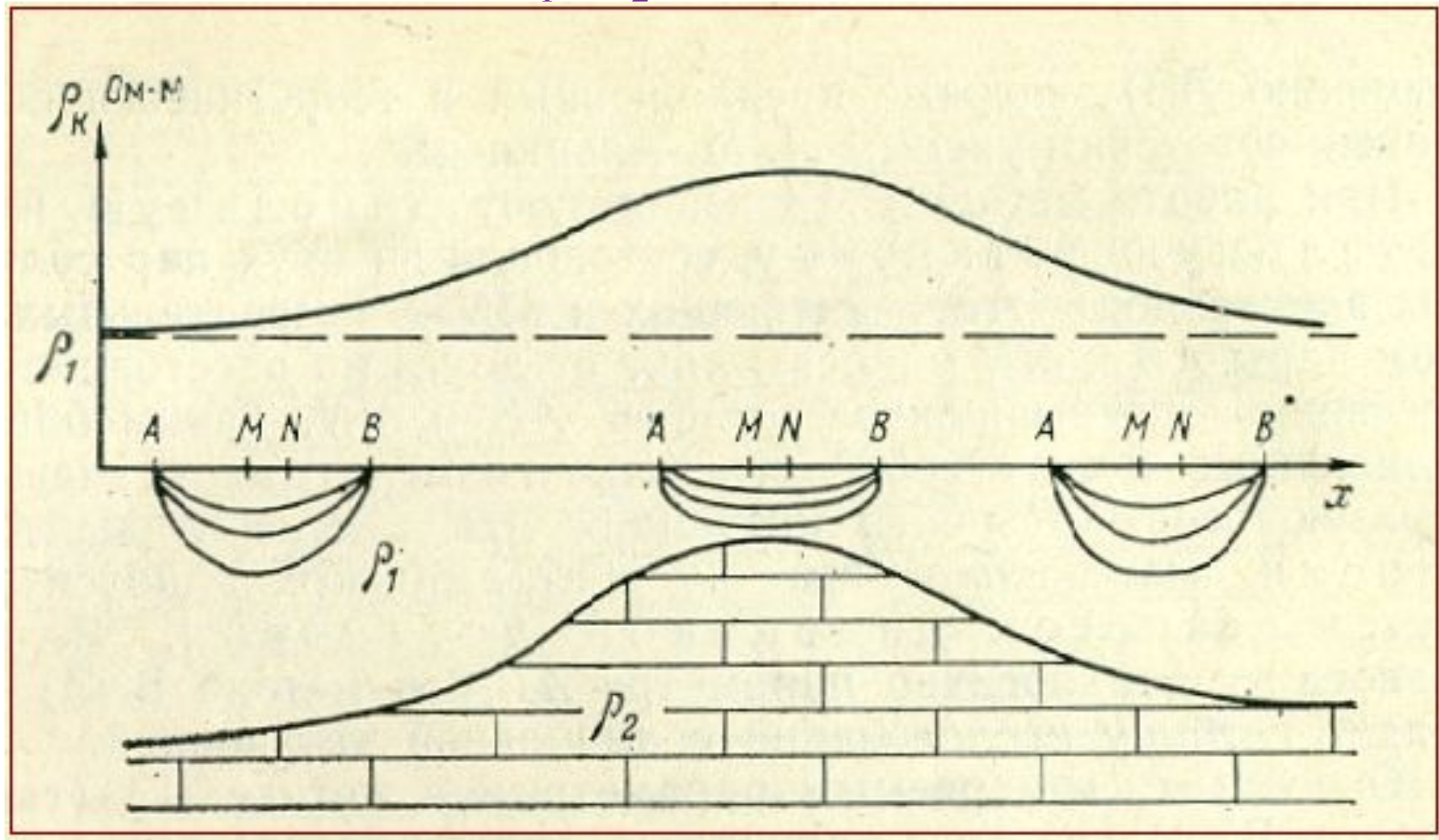


План расположения питающих (А и В) и приемных (М и N) электродов в разных установках метода сопротивлений:

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

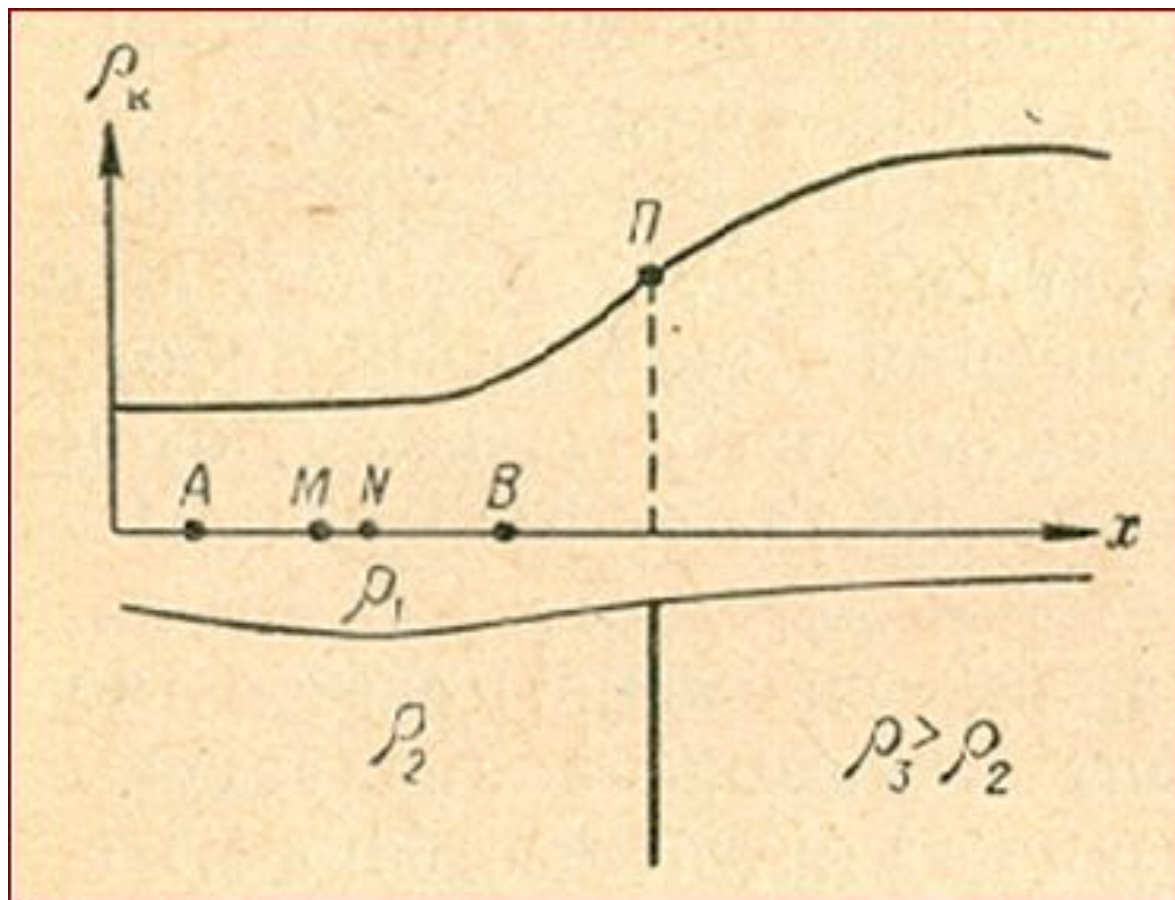
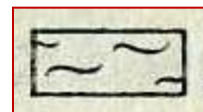
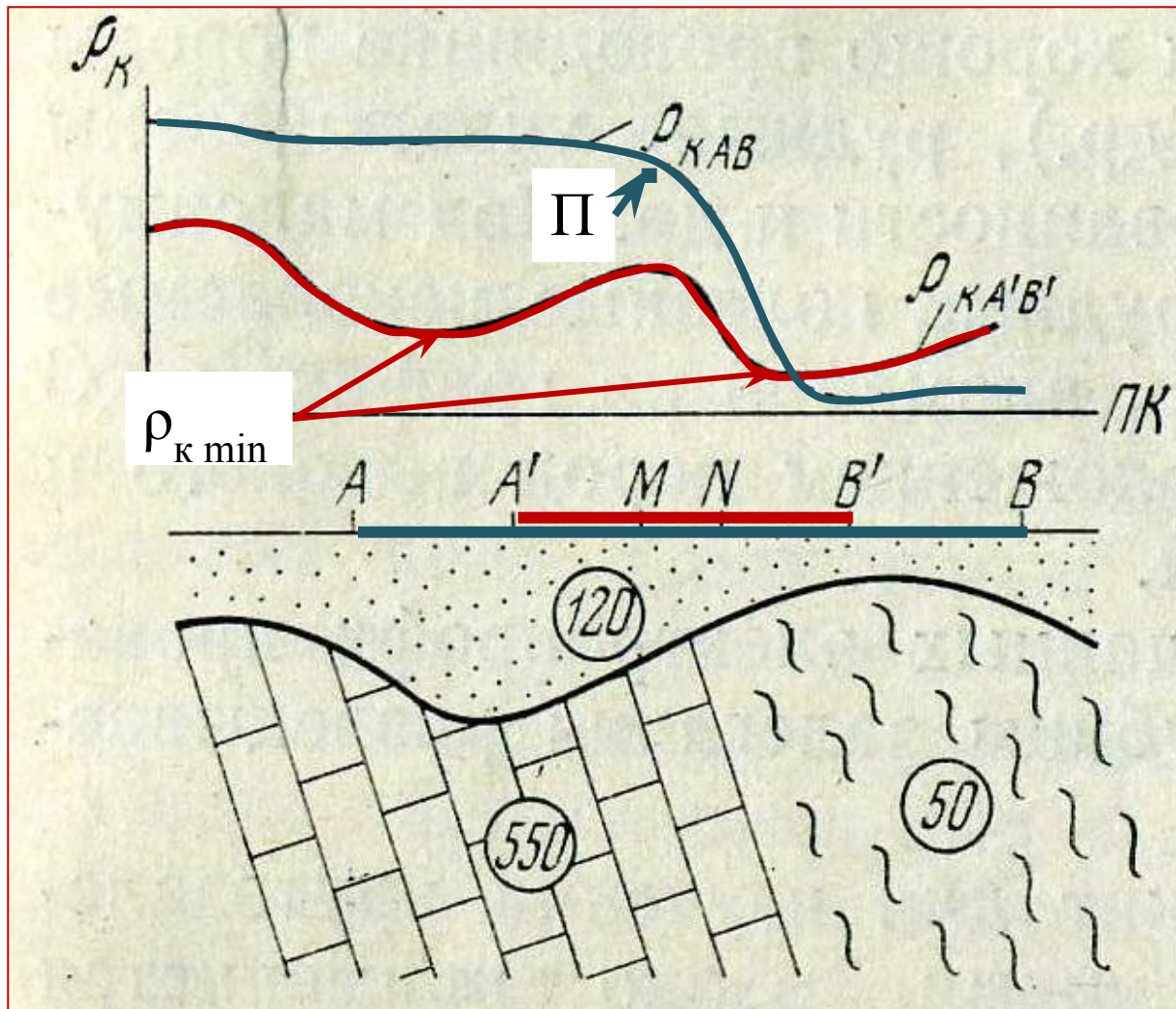
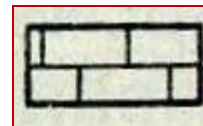


График
электропрофиле
ирования
установкой АМНВ
над контактом под
перекрывающим слоем
пород

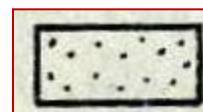
ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКОЙ А А' М N В' В (с двумя питающими линиями)



сланцы (У.Э.С.=50 ом·м)



известняки (У.Э.С.=550 ом·м)



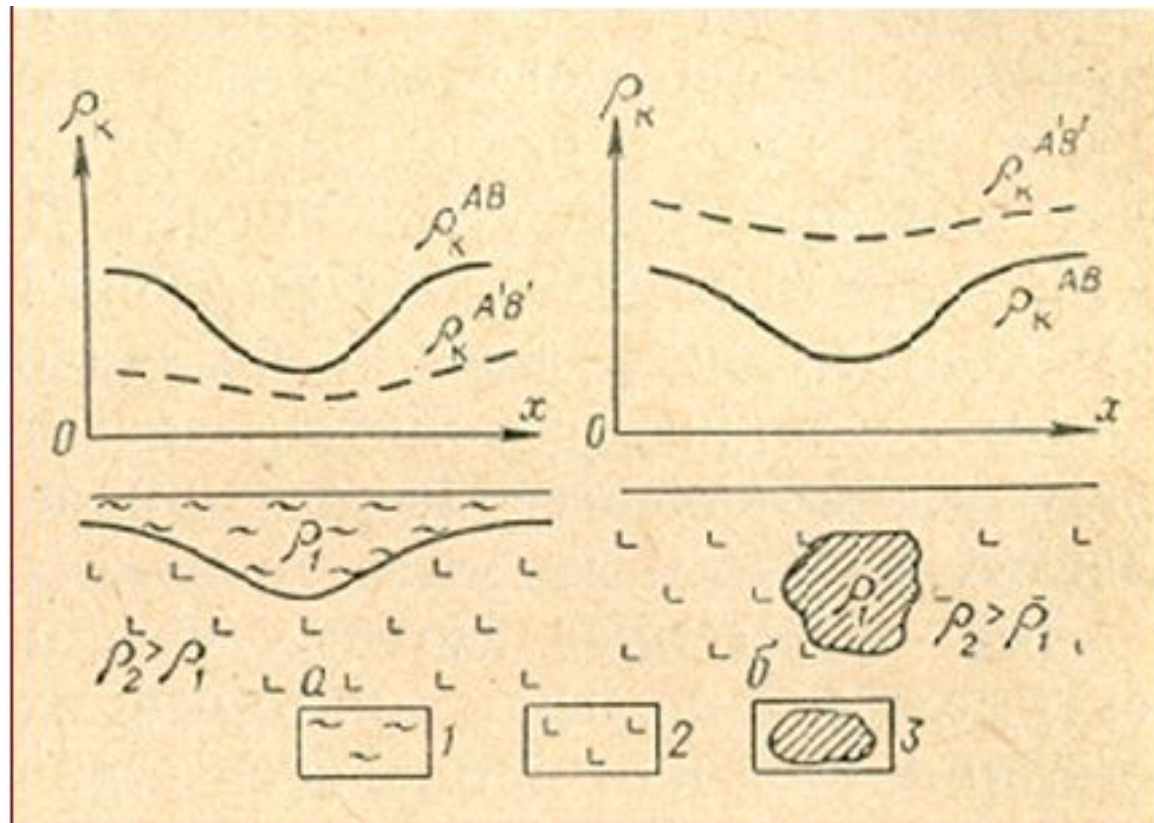
пески (У.Э.С.=120 ом·м)

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

В результате строят два графика для двух разносов.

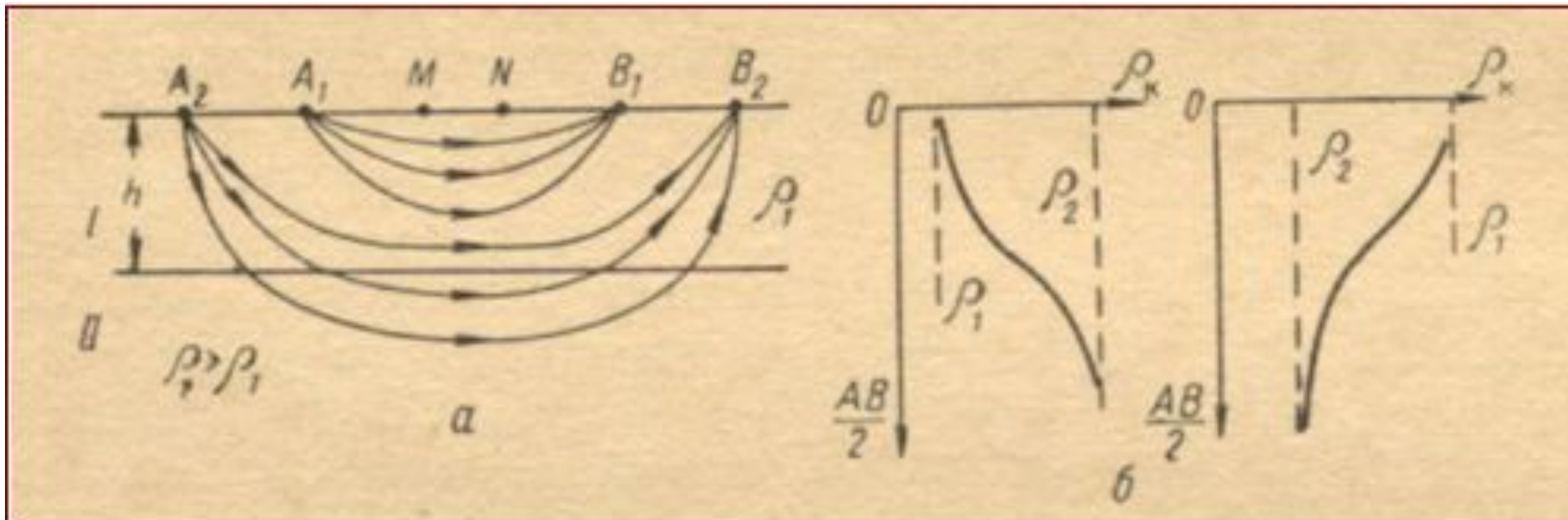
ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЕ НАД СИНКЛИНАЛЬНЫМ ПРОГИБОМ И РУДНЫМ ТЕЛОМ

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



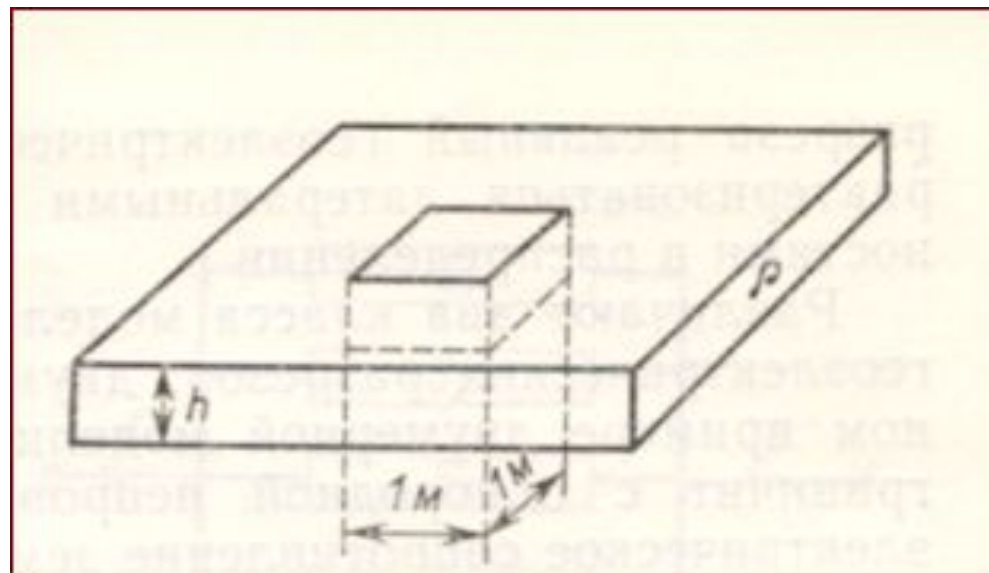
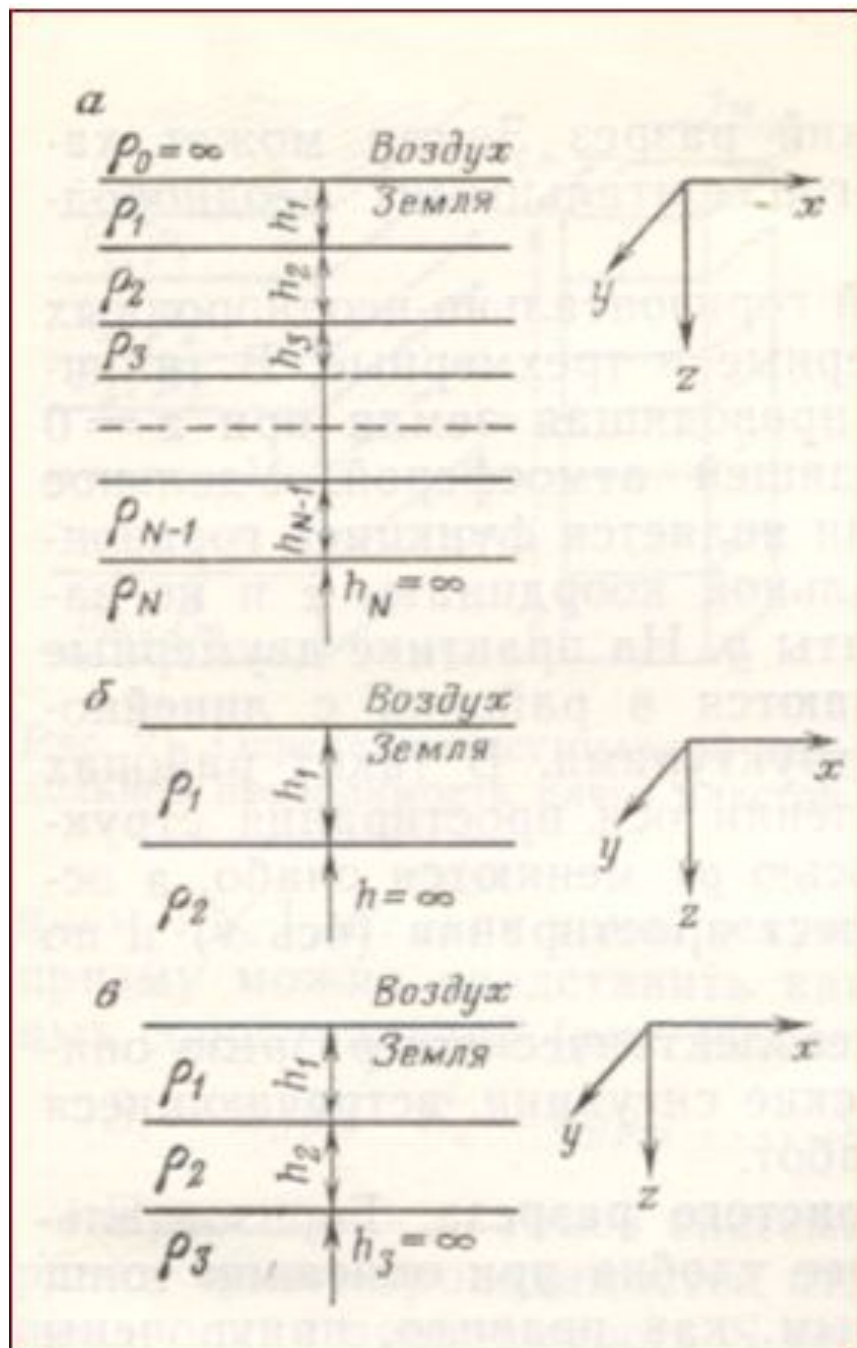
- 1- наносы
- 2- эффузивы
- 3- рудная залежь

2. ВЕРТИКАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ. ДВУХСЛОЙНЫЙ РАЗРЕЗ



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

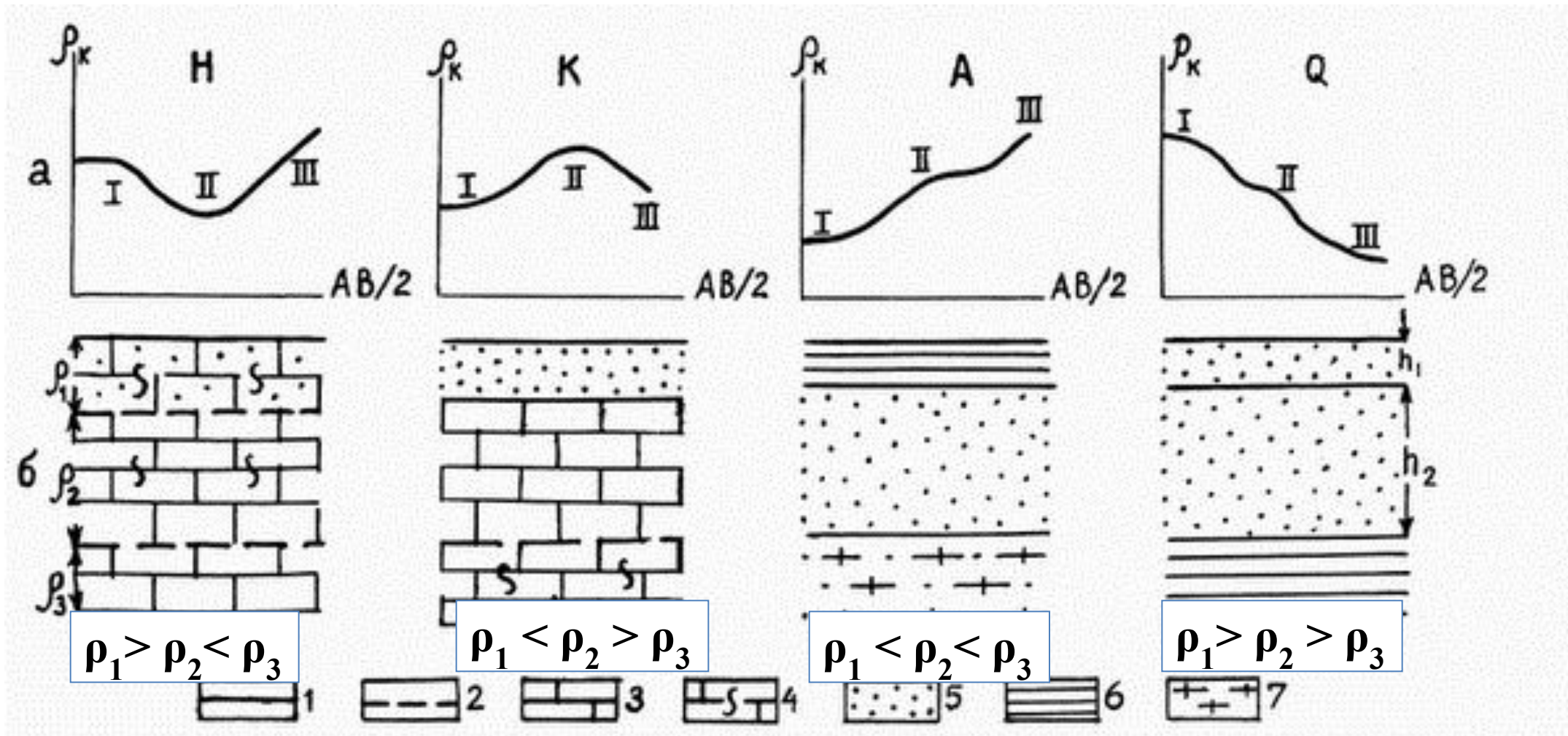
МОДЕЛИ ГОРИЗОНТАЛЬНО-СЛОИСТОГО РАЗРЕЗА



Определение продольного сопротивления пласта

Модели геоэлектрического разреза

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



Типичные трехслойные кривые ВЭЗ:

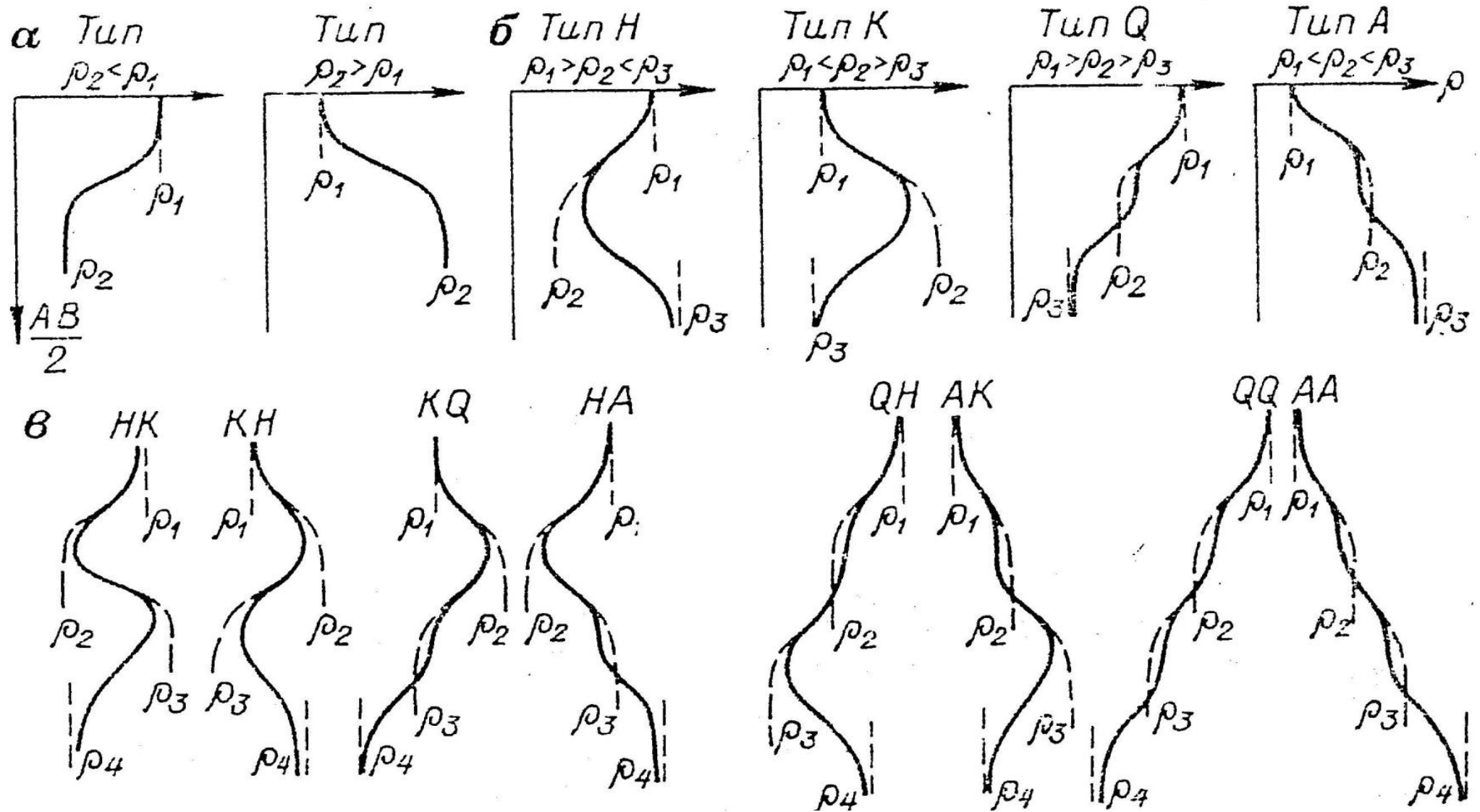
а - графики КС,

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.

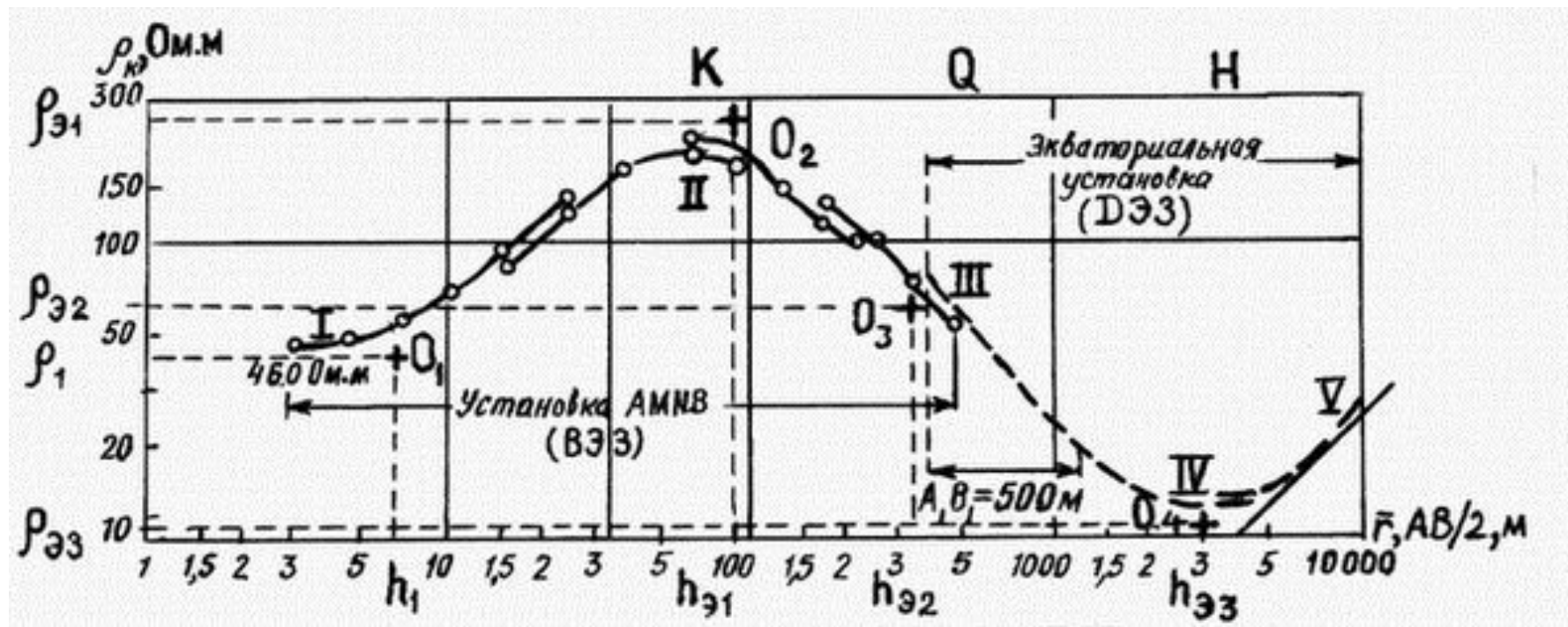
а – двухслойные: 1 – ($\rho_1 > \rho_2$), 2 – ($\rho_1 < \rho_2$);

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

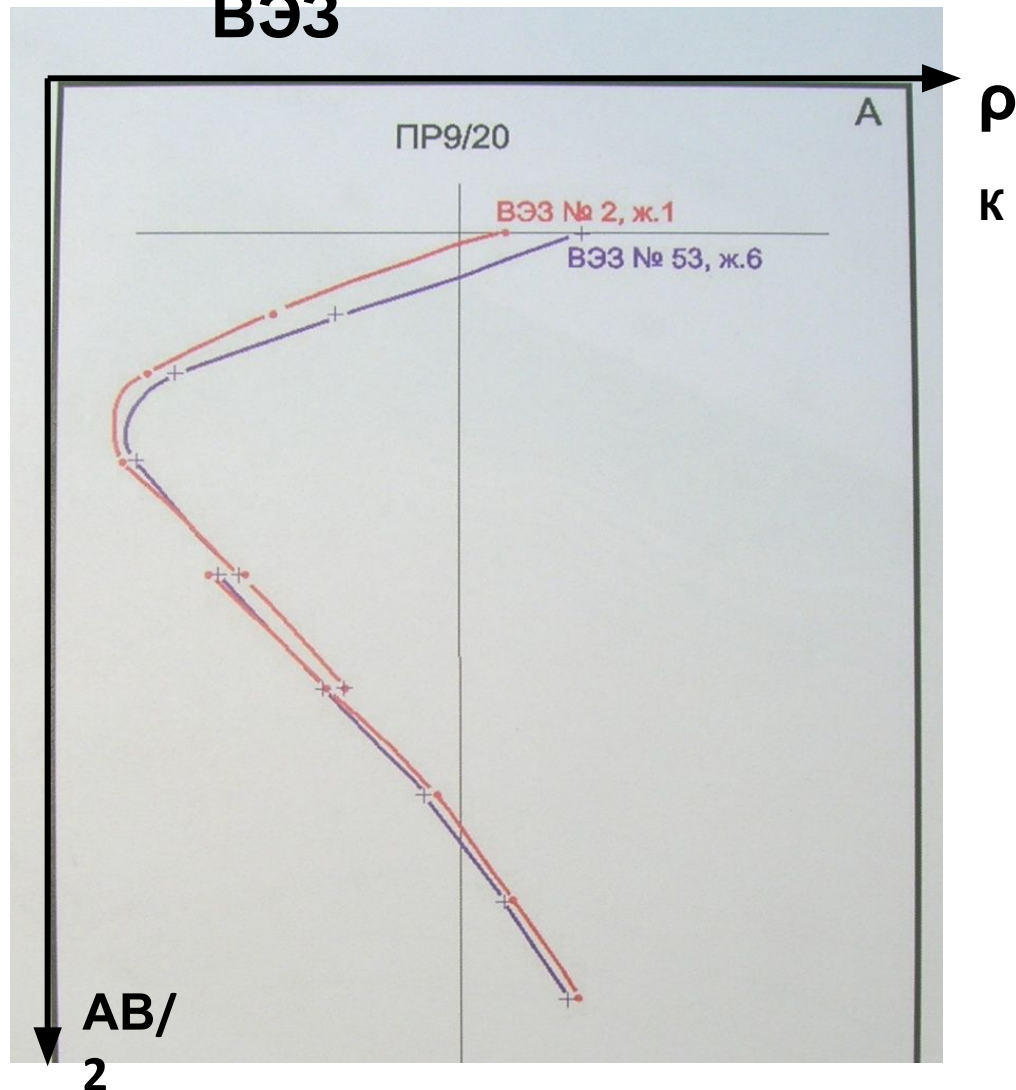
2 – тип **К** ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$), 3 – тип **Q** ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$),

в – четырехслойные – на восемь типов – **HK, HA, KH, KQ, AA, QH, QQ, AK**

Пятислойная кривая ВЭЗ-ДЭЗ типа



Реальная кривая ВЭЗ



Интерпретация данных ВЭЗ

Качественная

Количественная

По палеткам

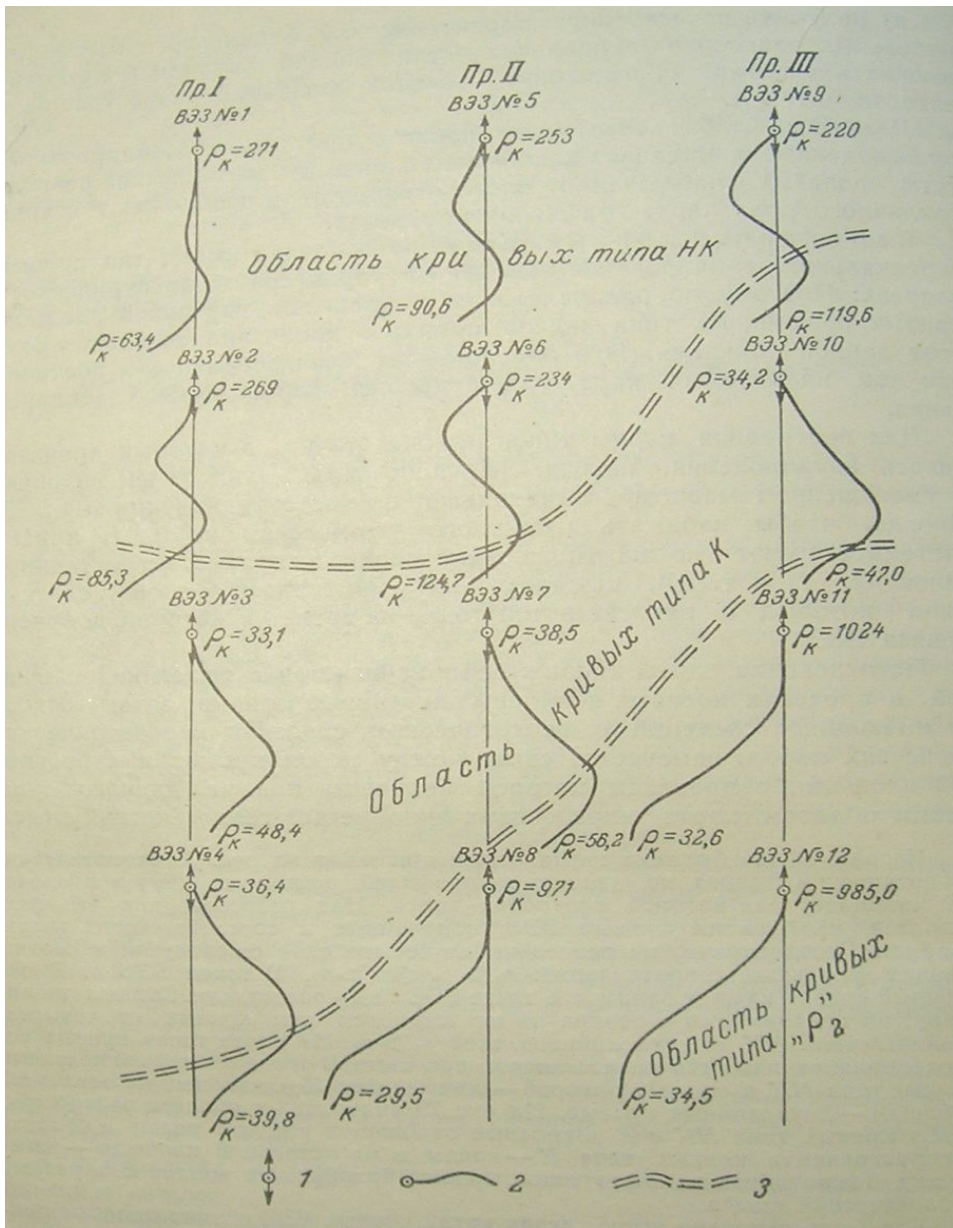
1. Карты типов кривых
2. Разрезы изоом
3. Карты изоом
4. Карты $\rho_{k \text{ мин}}$ или $\rho_{k \text{ макс}}$
5. карты изолиний проводимости

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,

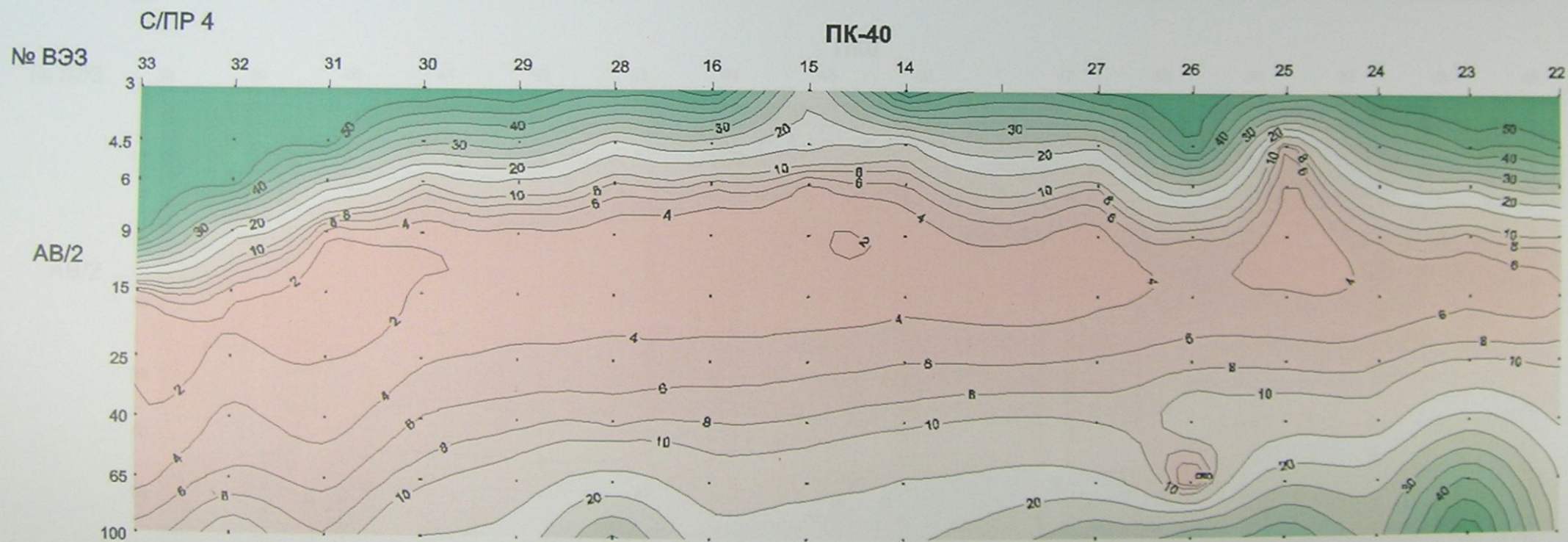
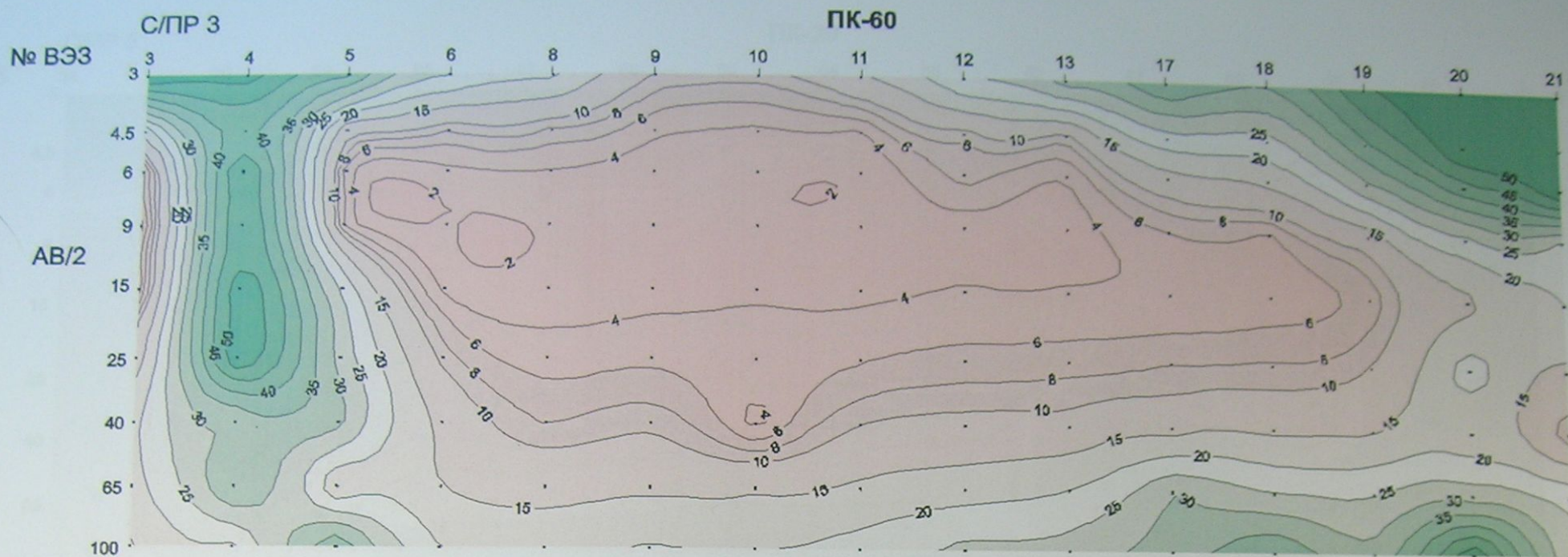
отстроенный по виду кривых ВЭЗ



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

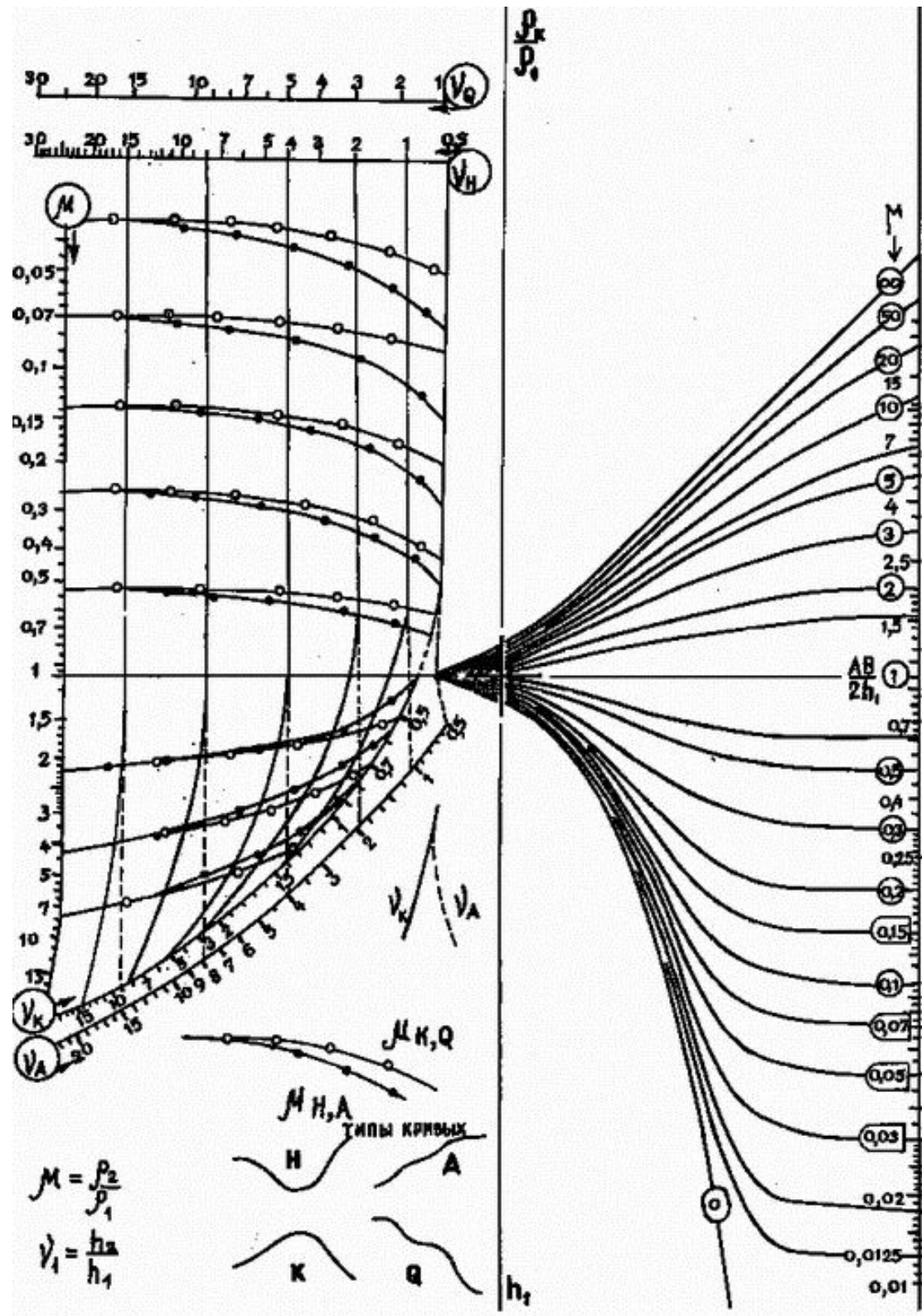


Разрезы изоом по данным ВЭЗ

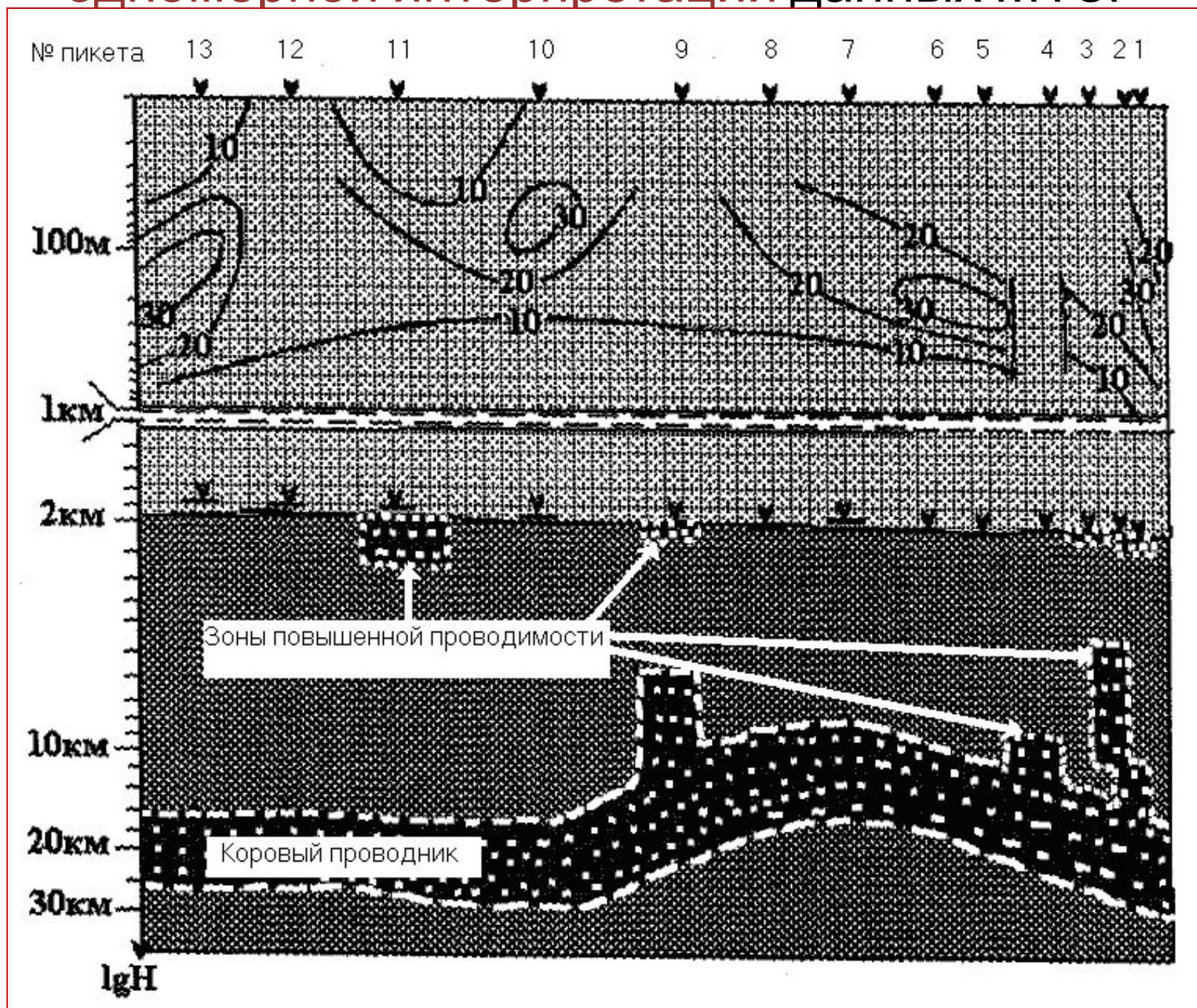


Количественная интерпретация

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

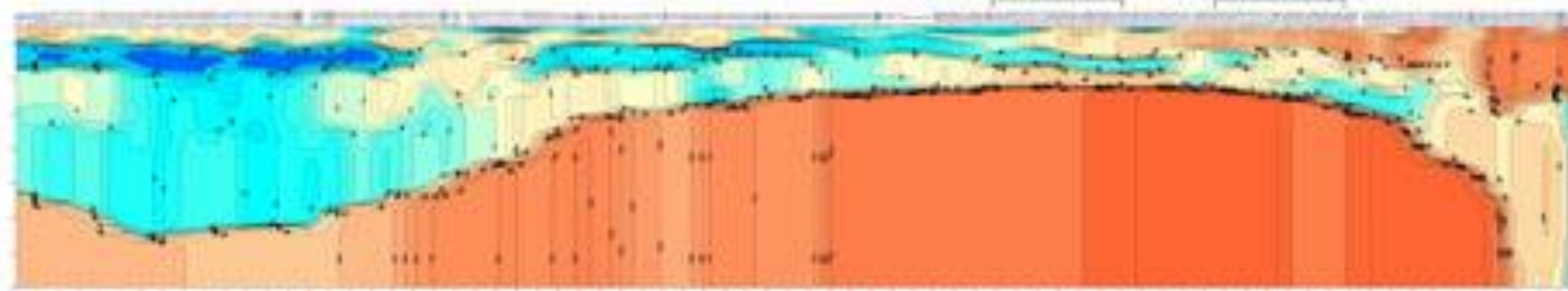
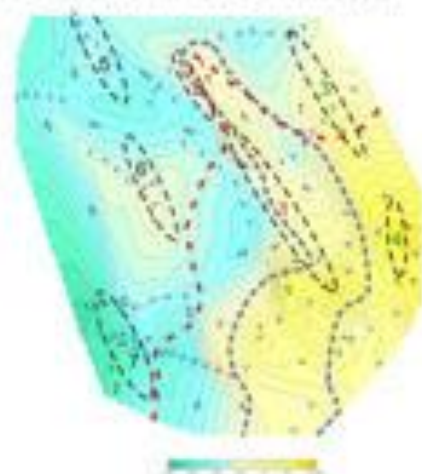


Схема перспектив нефтегазоносности

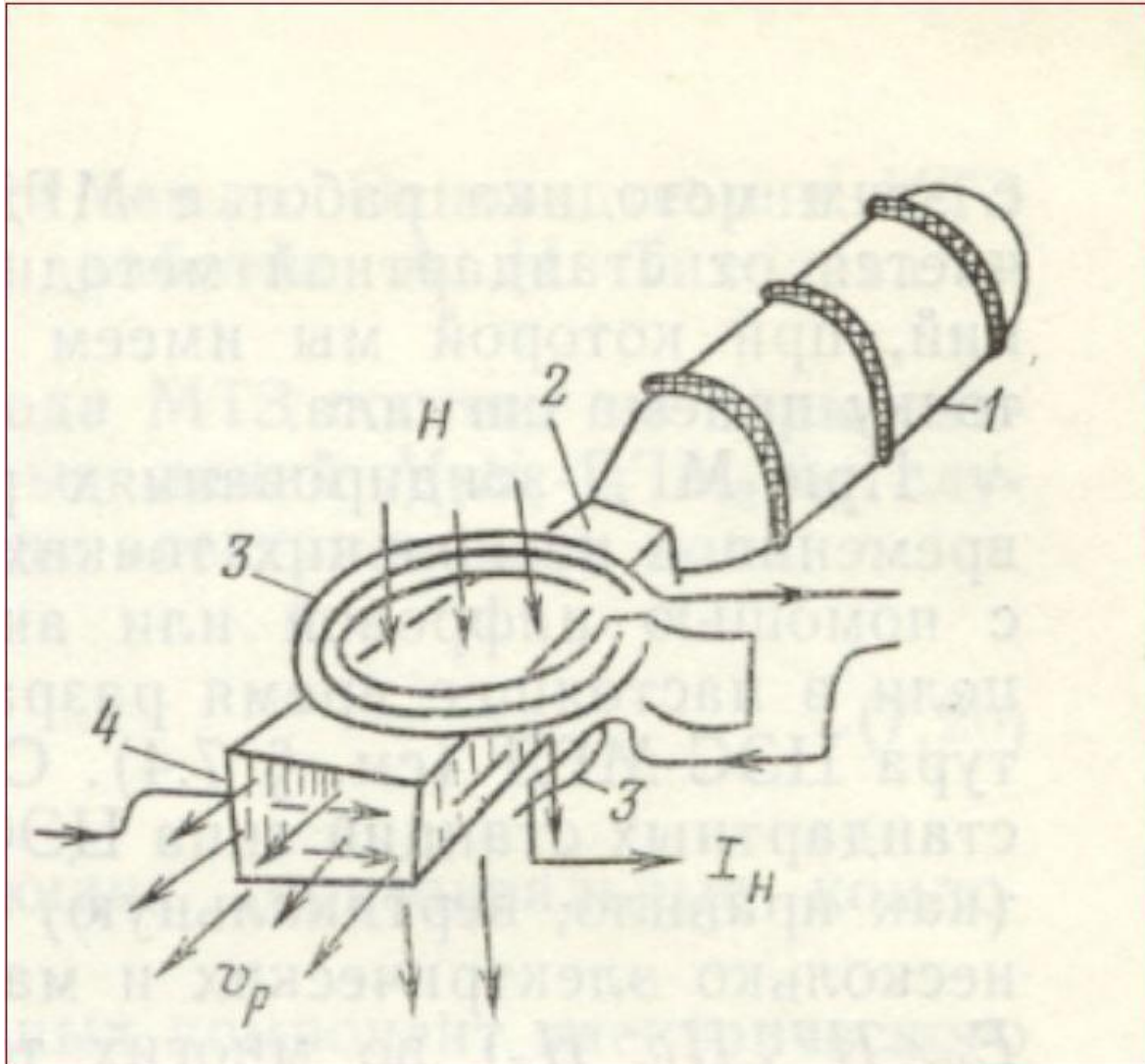






Для технического обеспечения импульсной электроразведки (методов сопротивления, ВП и МПП) разработана электроразведочная аппаратура АИЭ-2. Она представляет собой комплекс взаимосвязанных технико-методических и программных средств: техника измерений, методика полевых работ, программное обеспечение обработки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

