

Курс  
«Теория методов ГИС»

# КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

занятий по курсу «Теория методов ГИС» на весенний семестр 2008/2009 уч. года

№ п/п	Наименование темы занятий	Кол-во часов	Неделя
1	2	3	4
	Теоретические занятия		
1	Характеристика объектов ГИС и решаемые задачи. Радиальная характеристика сопротивления пласта-коллектора.	2	20
2	Распределение электрического поля в трехмерном пространстве. Потенциал, напряженность и плотность тока в однородной среде.	2	21
3	Измерения кажущегося удельного сопротивления. Зонды КС.	2	21
4	Кривые КС против пластов ограниченной мощности.	2	22
5	Теория бокового каротажа. Понятие геометрического фактора.	2	23
6	Теория индукционного каротажа. Радиальная и вертикальная характеристики зондов ИК. Комплексование КС, БК и ИК.	2	23
<b>7</b>	<b>Контрольная работа</b>	<b>2</b>	<b>24</b>
8	Теория двойных электрических слоев и потенциалов самопроизвольной поляризации.	2	25
9	Диаграммы метода ПС.	2	25
10	Радиоактивность горных пород. Теория интегрального и спектрометрического гамма-каротажа.	2	26
11	Взаимодействие радиоактивного излучения с горными породами.	2	27
12	Теория гамма-гамма-каротажа. Особенности регистрации излучений.	2	27
13	Теория нейтронных методов. ИННК и ИНГК.	4	28
14	Модификации ИНГК.	2	29
<b>15</b>	<b>Контрольная работа</b>	<b>2</b>	<b>29</b>
16	Теоретические основы акустического метода.	2	30
17	Волновой акустический каротаж.	2	31
18	Теория ядерно-магнитного резонанса.	2	31
19	Ядерно-магнитный метод.	2	32
20	Задачи, решаемые ЯМК.	2	33
21	Теория теплового поля в скважине.	2	33
22	Теплофизические свойства горных пород.	2	34
23	Методы термометрии.	2	35
24	Теория геохимических методов. Газовый каротаж.	2	35
<b>25</b>	<b>Контрольная работа</b>	<b>2</b>	<b>36</b>
	<b>ИТОГО</b>	<b>52</b>	

1	2	3	4
	<b>Лабораторные работы</b>		
1	Исследование характеристик постоянного электрического поля в радиальном направлении.	2	2
2	Расчет коэффициентов многоэлектродных зондов.	2	21
3	Расчет и анализ пространственных факторов бокового каротажа.	2	22
4	Расчет и исследование радиального пространственного фактора индукционного зонда.	4	23-24
5	Определение минерализации пластовой воды	2	25
6	Расчет интенсивности естественного гамма-излучения в пластах различной мощности.	4	26-27
7	Расчет кинетической энергии электронов, образованных рассеянными гамма-квантами.	2	28
8	Определение времени жизни нейтронов в водородосодержащих средах.	2	29
9	Расчет и анализ начальной амплитуды сигнала свободной прецессии метода ЯМР.	2	30
10	Исследование собственных колебаний излучателя акустических волн.	2	31
11	Разработка алгоритмов расчетов по данным акустического метода.	2	32
12	Расчет геотермограмм.	2	33
13	Решение прямой и обратной задачи геотермии для осадочного разреза глубокой скважины.	6	34-36
	<b>ИТОГО</b>	<b>34</b>	

**Преподаватель: профессор Исаев Валерий Иванович, докт. геол.-мин. наук**

**группа 2050, весна 2008/2009**

### **К у р с «Теория методов ГИС»**

**(23 лекции, 3 контрольные работы, 17 занятий лабораторных работ, курсовой проект, ЭКЗАМЕН)**

#### **Условия допуска к экзамену:**

1. Прием преподавателем курсового проекта
2. Выполнение всех лабораторных работ
3. Прием преподавателем отчетов по всем лабораторным работам

#### **Условия получения «автомата»:**

1. Выполнение курсового проекта, лабораторных работ, сдача отчетов и приемка отчетов преподавателем в соответствии с календарным планом занятий (отчет по предыдущей лабораторной работе сдается преподавателю к началу следующей лабораторной работы).
2. Положительные оценки всех контрольных работ.
3. Посещаемость лекций, лабораторных и контрольных работ не менее 75%.

*Оценка «автомата» («3», «4», «5») определяется как среднее арифметическое из оценок за каждый отчет по лабораторным работам, за каждую контрольную работу.*

Наряду с правильностью выполнения заданий, правильностью ответов на поставленные вопросы, **основания для оценки на «5» курсового проекта, отчета по лабораторной, результатов контрольной работы, результатов сдачи экзамена следующие:**

1. Высокий уровень оформления.
2. Наличие анализа с привлечением сведений из учебных курсов смежных дисциплин.
3. Наличие самостоятельных выводов.
4. Наряду с лекционным курсом и материалами методичек, привлечение дополнительных материалов (пособия, монографии, сборники, журналы).

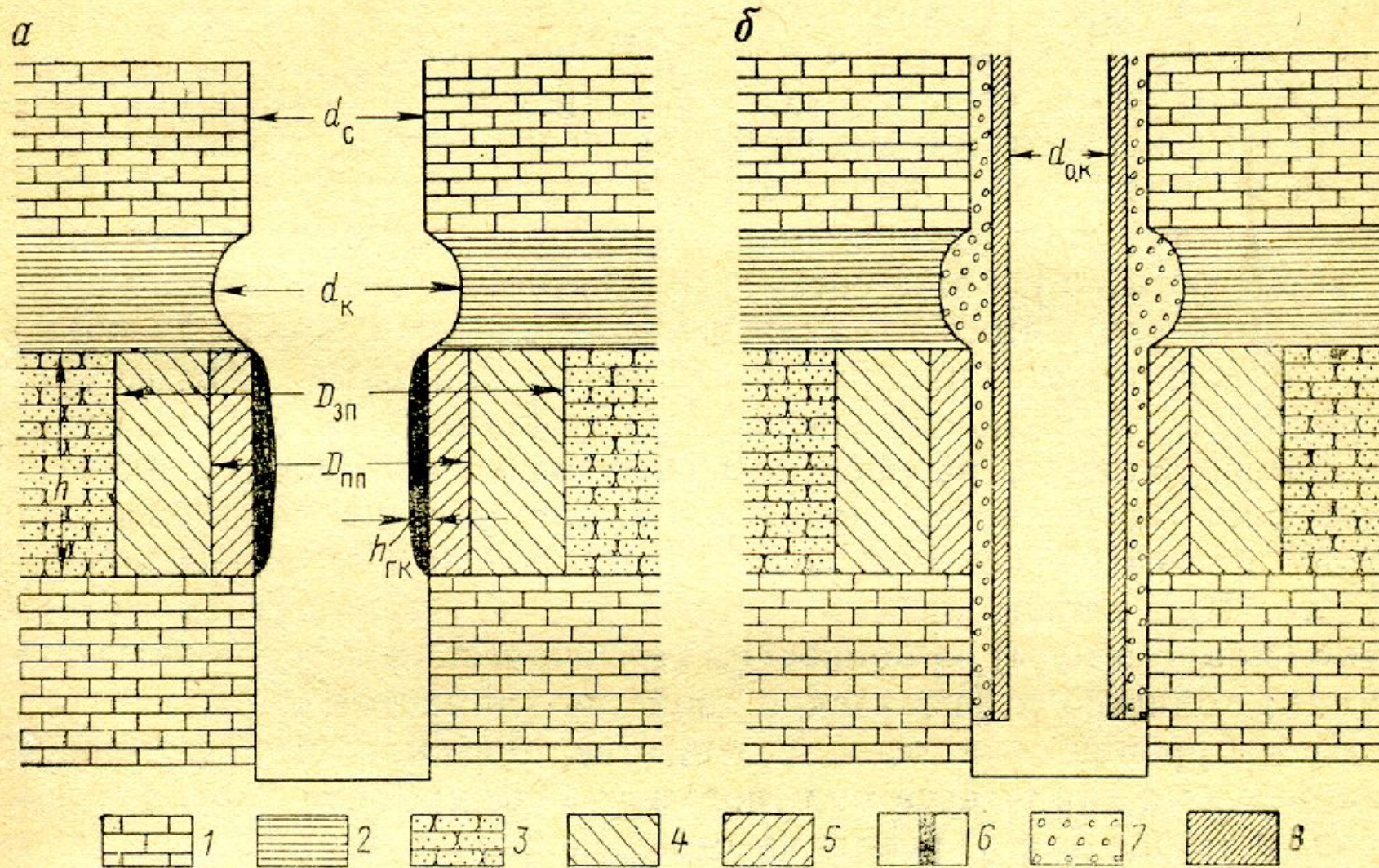


Рис. 1. Схема участка разреза горных пород в необсаженной (а) и обсаженной колонной (б) скважинах.

1 — известняк плотный; 2 — глина; 3 — песчаник проницаемый; 4 — зона проникновения фильтрата промывочной жидкости; 5 — промытая зона; 6 — глинистая корка; 7 — цемент; 8 — колонна.  $d_c$ ,  $d_k$ ,  $d_{о.к}$ ,  $D_{3п}$ ,  $D_{пп}$  — диаметры скважины, каверны, обсадной колонны, зоны проникновения и промытой зоны соответственно;  $h_{ГК}$  — толщина глинистой корки;  $h$  — мощность пласта

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН:

1. ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ СКВАЖИН
2. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СКВАЖИН
3. КОНТРОЛЬ ЗА РАЗРАБОТКОЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И  
ГАЗА
4. ПРОВЕДЕНИЕ ПРОСТРЕЛОЧНЫХ, ВЗРЫВНЫХ И ДРУГИХ  
РАБОТ В СКВАЖИНАХ (?)

## У.Э.С. осадочных горных пород

- 1. У.Э.С. породообразующих минералов (минерального скелета)
- 2. % примеси рудных минералов и самородных элементов (проводников)
- 3. Коэффициент пористости и структура пористости
- 4. У.Э.С. пластовых флюидов (пластовая вода, нефть, газ)
- 5. Пластовая температура

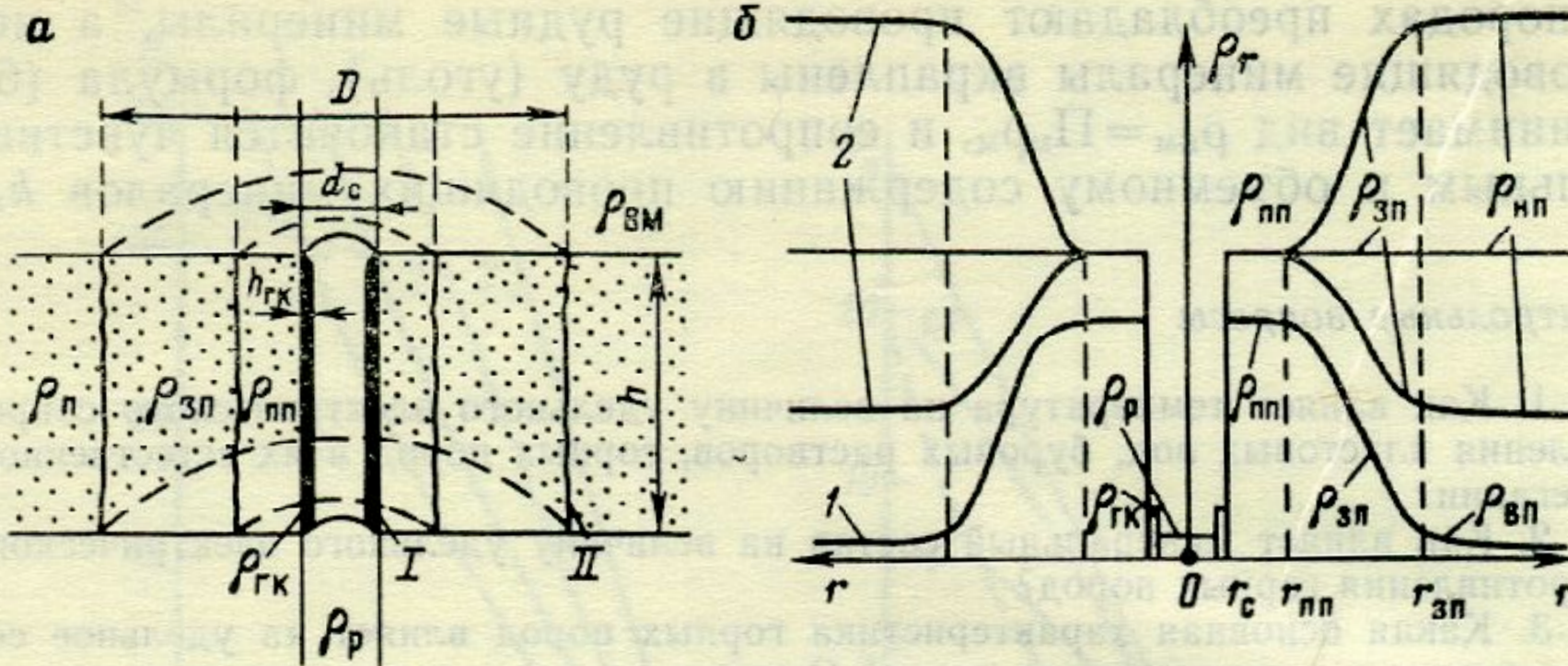


Рис. 8. Характеристика объекта исследования при изучении разреза методом сопротивления.

*a* — коллектор, вскрытый скважиной: *I* — стенка скважины, *II* — граница между зоной проникновения и неизменной частью пласта; *б* — радиальные характеристики в водоносном (1) и нефтеносном (2) коллекторах



## Общие сведения о распределении электрического поля в горных породах

$$E = -\text{grad}U = -\frac{dU}{dn}$$

$$j = \sigma E \quad \text{èëè}E = j\rho$$

$$\begin{aligned} \text{div } j &= \text{div } \sigma (\text{grad } U) = \\ \text{grad } \sigma \text{ grad } U - \sigma \Delta U &= 0 \end{aligned}$$

## Однородная и изотропная среда

Для однородной среды ( $\sigma = 1/\rho = \text{const}$ )  
третье уравнение преобразуется в  
дифференциальное уравнение Лапласа

$$\operatorname{div} \sigma (\operatorname{grad} U) = \Delta U = 0.$$

В прямоугольной системе координат уравнение

имеет вид

$$d^2 U/dx^2 + d^2 U/dy^2 + d^2 U/dz^2 = 0,$$

УРАВНЕНИЯ, УСТАНОВЛИВАЮЩИЕ НЕПРЕРЫВНОСТЬ  
ПОТЕНЦИАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

$$\mathit{div} \mathit{j} = \mathit{div} \sigma (\mathit{grad} U) =$$
$$\mathit{grad} \sigma \mathit{grad} U - \sigma \Delta U = 0$$

$$\mathit{div} \sigma (\mathit{grad} U) = \Delta U = 0$$

$$d^2U/dx^2 + d^2U/dy^2 + d^2U/dz^2 = 0$$

**Функция  $U$  должна удовлетворять следующим граничным условиям:**

1. Вблизи от источника тока  $A$ , с которым совмещается начало координат, потенциальная функция  $U$  должна стремиться к выражению потенциалов в однородной и изотропной среде, т. е. при

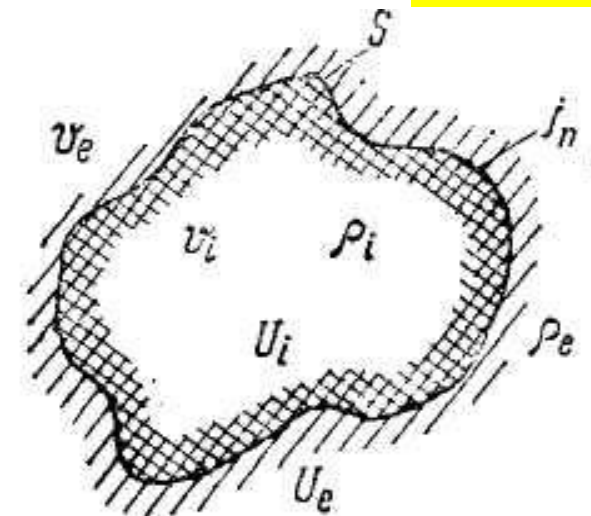
$$R = \text{sqr}(x^2+y^2+z^2) \rightarrow 0 \quad U \rightarrow I\rho / 4\pi R \rightarrow \infty.$$

2. В бесконечно удаленных точках  $U \rightarrow 0$ .
3. В точках, бесконечно близко расположенных к поверхности  $S$  (см. рис.), ограничивающей любую область  $v_i$  удельного

электрического сопротивления  $\rho_i$  от окружающего пространства  $v_e$  удельного сопротивления  $\rho_e$ , и разделенных этой поверхностью, потенциальные функции  $U_i$  (в области  $v_i$ ) и  $U_e$  (в области  $v_e$ ), согласно условию непрерывности потенциала, должны быть равными друг другу. То есть на поверхности  $S$ :  $(U_i)_s = (U_e)_s$

4. На этой же поверхности  $S$  должно соблюдаться постоянство нормальной составляющей плотности тока  $j$ , т. е.

$$(1/\rho_i) \cdot (dU_i/dn) = (1/\rho_e) \cdot (dU_e/dn).$$



Распределение параметров электрического поля точечного источника тока в трехмерном проводящем пространстве получено в **явном аналитическом виде** для следующих частных случаев:

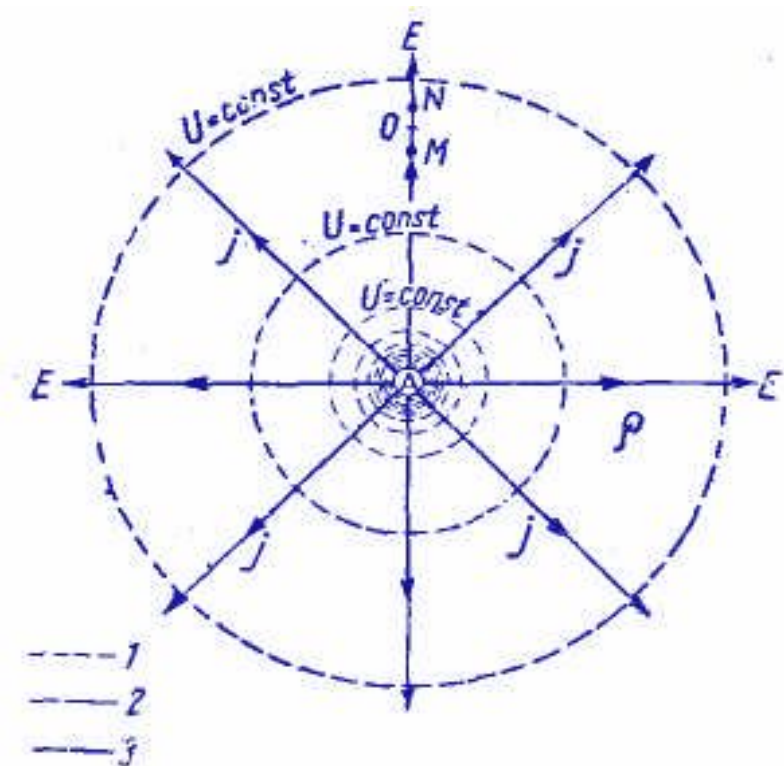
- 1) однородного изотропного пространства;
- 2) однородного анизотропного пространства;
- 3) среды, состоящей из плоско-параллельных слоев различных мощностей и электрических сопротивлений;
- 4) коаксиальных-бесконечно длинных цилиндрических слоев при расположении источника тока на их оси.



# Однородная и изотропная среда

Решение задачи о распределении электрического поля в однородной изотропной и безграничной среде (см. рис.) может быть получено путем интегрирования дифференциального уравнения Лапласа

$$\operatorname{div} \sigma (\operatorname{grad} U) = \Delta U = 0.$$



В однородной среде, вследствие сферической симметрии, потенциал  $U$  любой точки  $M$ , удаленной на расстоянии  $R$  от начала координат, не зависит от полярного угла  $\theta$  и азимутального угла  $\varphi$ . Уравнение Лапласа примет более простой следующий вид

$$\frac{\partial}{\partial R} \left( R^2 \frac{\partial U}{\partial R} \right) = 0$$

## Однородная и изотропная среда

Интегрируя уравнение

$$\frac{\partial}{\partial R} \left( R^2 \frac{\partial U}{\partial R} \right) = 0$$

дважды по  $R$ , после первого интегрирования получим **(9)**

$$R^2 \frac{\partial U}{\partial R} = C \quad \text{ИЛИ}$$
$$\frac{\partial U}{\partial R} = -E = \frac{C}{R^2}$$

После второго интегрирования будем иметь **(10)**

$$U = -\frac{C}{R} + D$$

Постоянную  $D$  находят из условия равенства потенциала  $U$  нулю в бесконечно удаленных точках. Полагая в формуле  $R = \infty$  и  $U = 0$ , получаем  $D = 0$ .



# Однородная и изотропная среда

$$j = \frac{\bar{E}}{\rho} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial U}{\partial R} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{C}{R^2}$$
$$\bar{I} = \int_S j ds = -\frac{C}{\rho R^2} \int_S ds = -\frac{4\pi C}{\rho}$$
$$1. C = -\frac{\rho \bar{I}}{4\pi} \quad 2. \bar{E} = -\frac{\partial U}{\partial r} = j\rho$$
$$3. \bar{U} = \frac{\rho \bar{I}}{4\pi R} \quad 4. j = \frac{\bar{I}}{4\pi R^2}$$

$$= const$$

$$\int ds = 4\pi R^2$$

$$E = \frac{\rho I}{4\pi R^2}$$

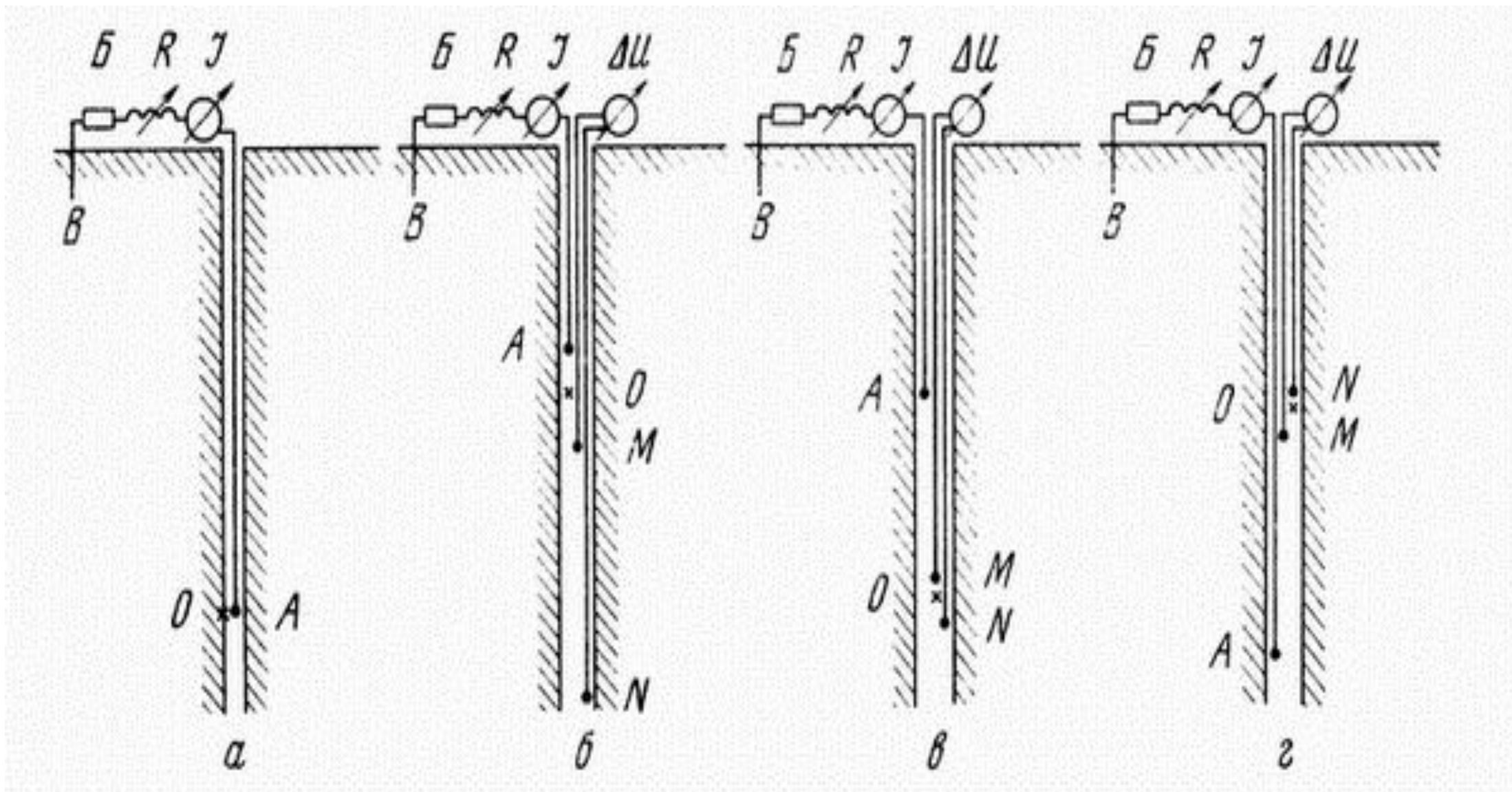
Решая равенство [3.] относительно  $R$  и полагая  $U = const$ , получаем уравнение, определяющее вид эквипотенциальных поверхностей:

$$R = \frac{\rho I}{4\pi U}$$

$$x^2 + y^2 + z^2 = \frac{\rho I}{4\pi U} = const$$

**Измерение кажущегося  
удельного сопротивления  $\rho_k$**

## Измерение кажущегося удельного сопротивления обычными зондами. Зонды.



## Измерение кажущегося удельного сопротивления обычными зондами. Измеряемая разность потенциалов.

$$j = \frac{E}{\rho} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial U}{\partial R} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{C}{R^2}$$

$$I = \int_s j ds = -\frac{C}{\rho R^2} \int_s ds = -\frac{4\pi C}{\rho}$$

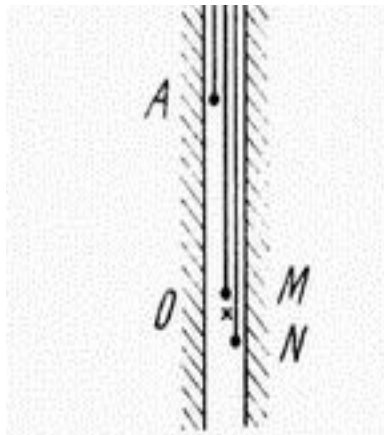
$$1. C = -\frac{\rho I}{4\pi} \quad 2. E = -\frac{\partial U}{\partial r} = j\rho$$

$$3. U = \frac{\rho I}{4\pi R} \quad 4. j = \frac{I}{4\pi R^2}$$

$$U_M = \frac{\rho I}{4\pi R_M}$$

$$U_M = \frac{\rho I}{4\pi AM}, \quad U_N = \frac{\rho I}{4\pi AN}.$$

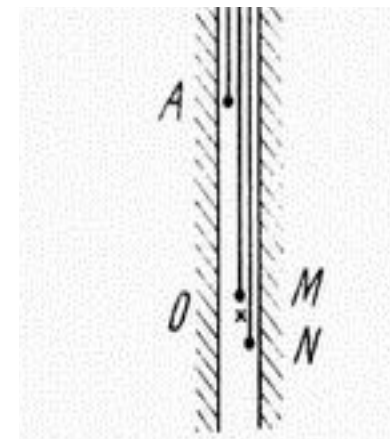
$$\Delta U = U_M - U_N = \frac{\rho I}{4\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right) = \frac{\rho I}{4\pi} \frac{(AN - AM)}{AM \cdot AN},$$



$$\Delta U = \frac{\rho I}{4\pi} \frac{MN}{AM \cdot AN}.$$

## Измерение кажущегося удельного сопротивления обычными зондами. Вычисление удельного сопротивления.

$$\rho = \frac{\Delta U}{I} \frac{4\pi AM \cdot AN}{MN}.$$



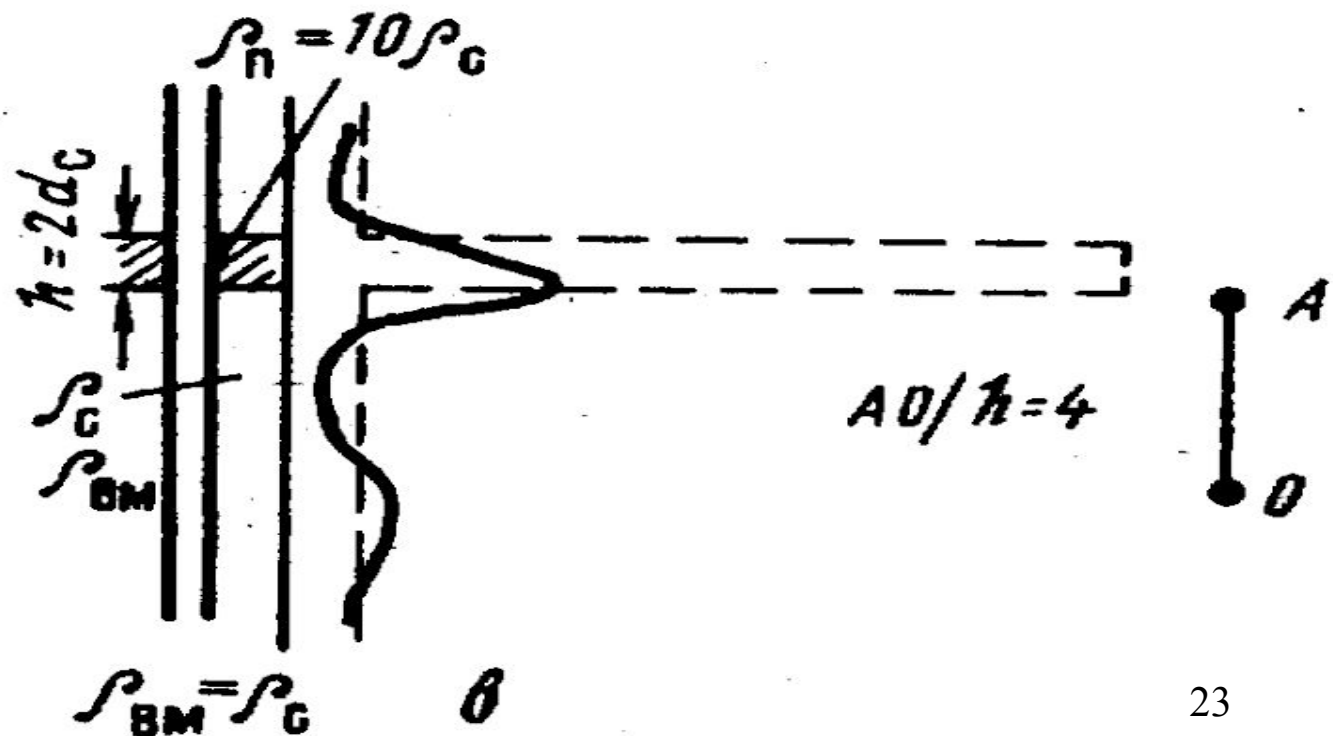
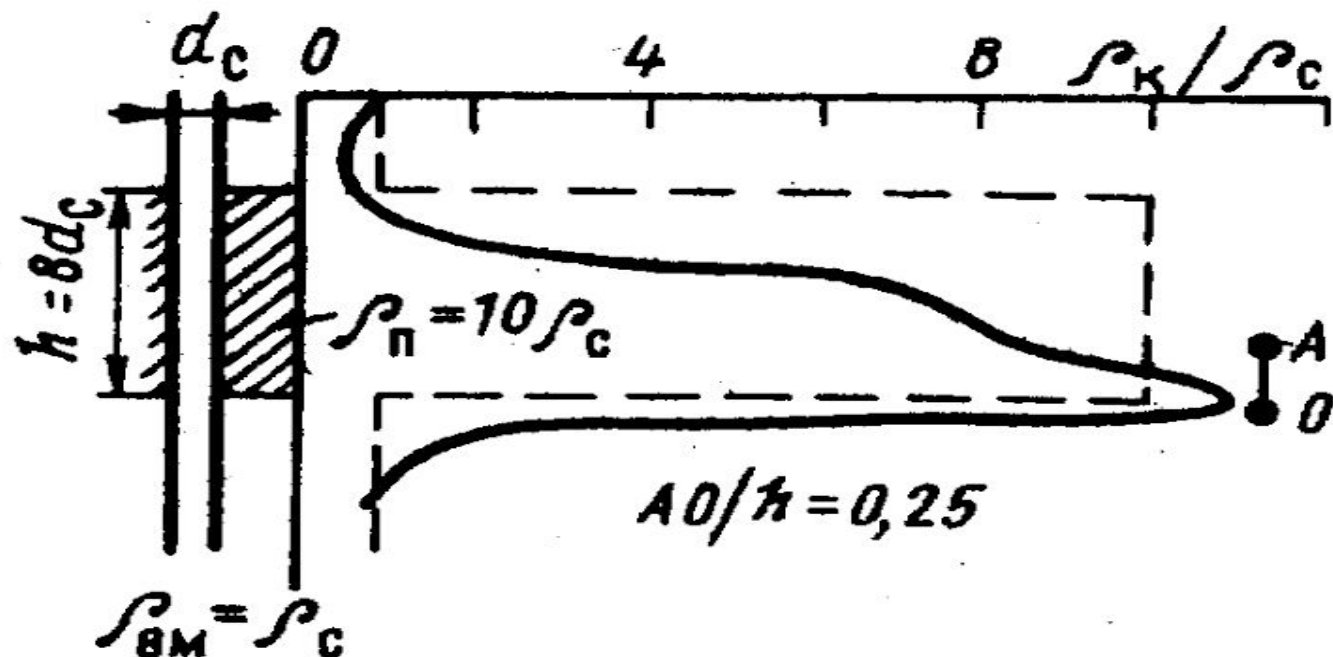
$$\frac{4\pi AM \cdot AN}{MN} = K, \quad \rho = K \frac{\Delta U}{I}, \quad (20)$$

Разность потенциалов  $\Delta U$  выражается в тысячных долях вольта — милливольты ( $mB$ ), сила тока  $I$  в тысячных долях ампера — миллиамперах ( $mA$ ), расстояние будет выражено в метрах ( $m$ ), а удельное сопротивление  $\rho$  в ом-метрах ( $Om \times m$ ).

# Диаграммы $\rho_k$ против пластов ограниченной мощности

ВЫСОКООМНЫЙ ПЛАСТ  
ОГРАНИЧЕННОЙ  
МОЩНОСТИ.

ПОДОШВЕННЫЙ  
ГРАДИЕНТ-ЗОНД



**ВЫСОКООМНЫЙ ПЛАСТ ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ.  
ПОДОШВЕННЫЙ ГРАДИЕНТ-ЗОНД**

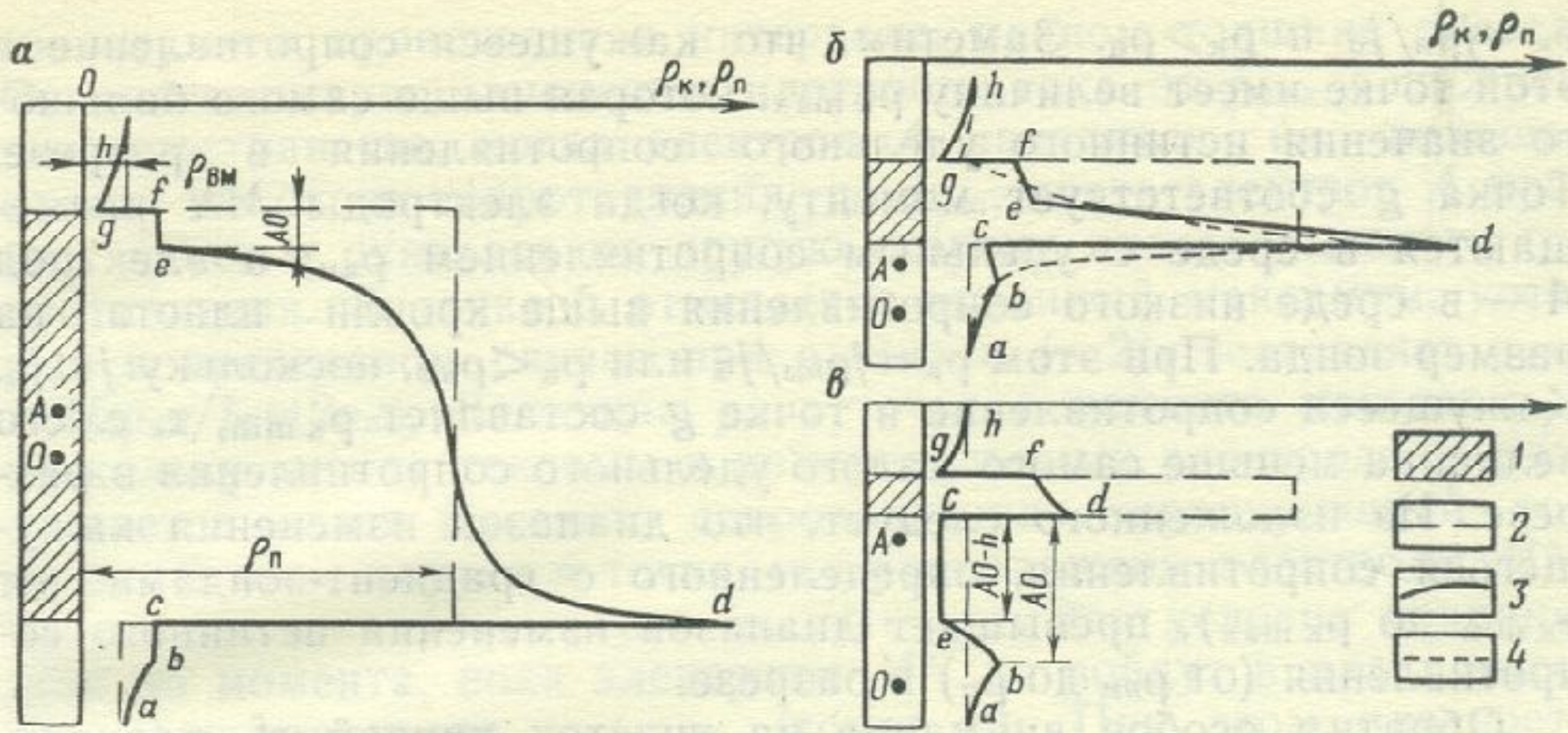
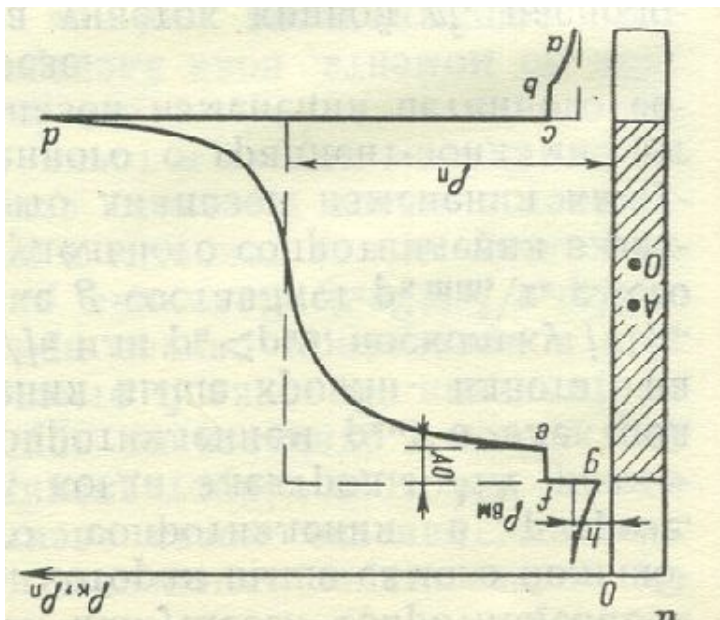
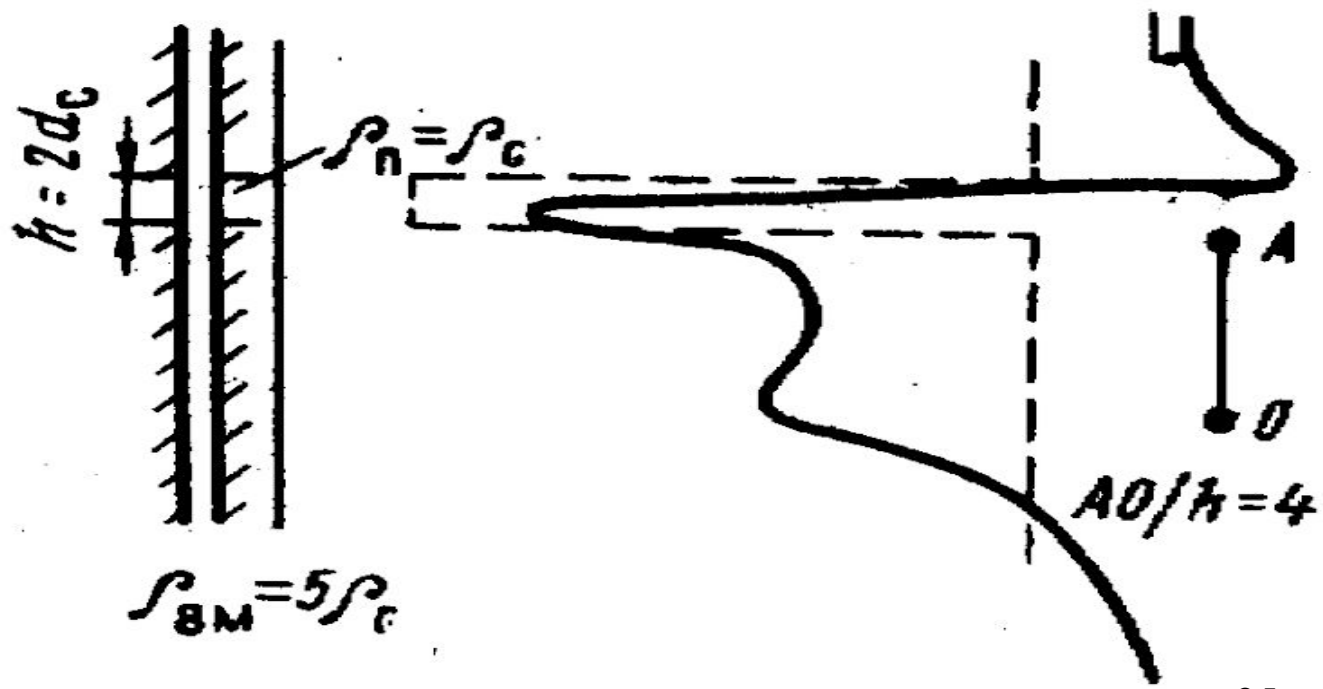
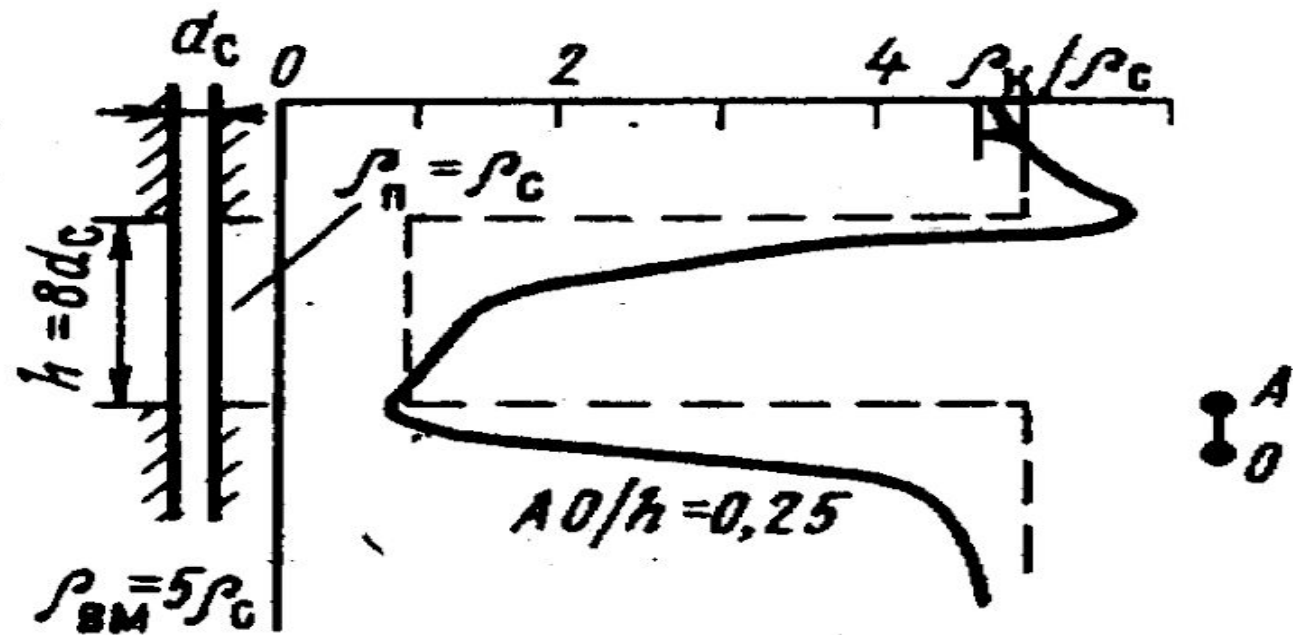


Рис. 10. Кривые кажущегося сопротивления против пластов высокого удельного сопротивления  $\rho_{п} > \rho_{вм}$  для последовательного градиент-зонда.  
 $a - h = 10 AO$ ;  $b - h = 2 AO$ ;  $в - h < AO$ . Условные обозначения см. на рис. 9



ПЛАСТ НИЗКОГО  
СОПРОТИВЛЕНИЯ  
ОГРАНИЧЕННОЙ  
МОЩНОСТИ.

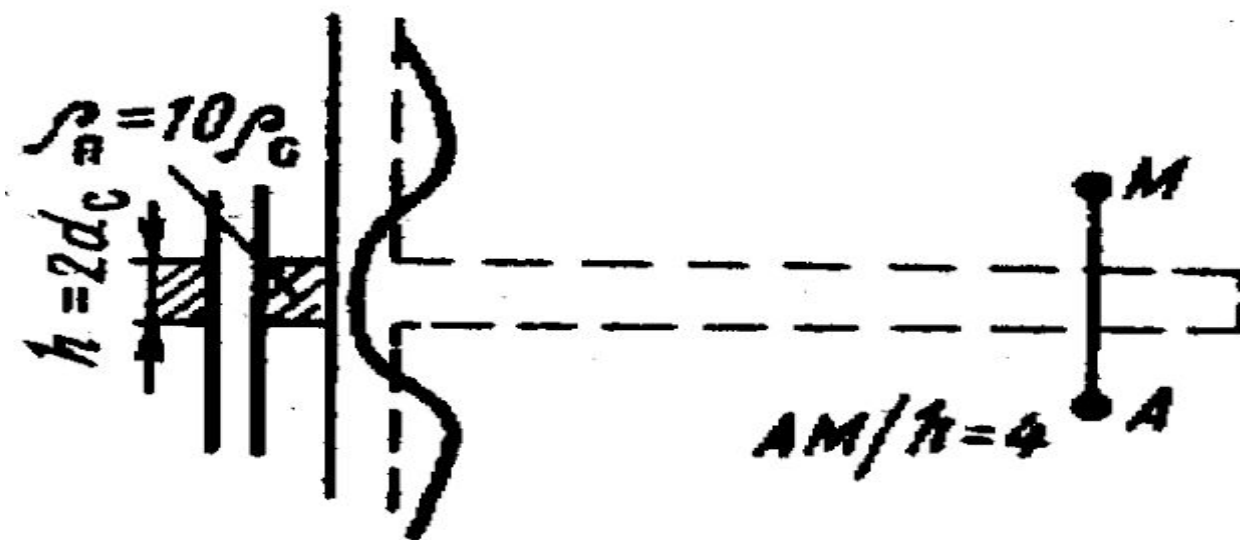
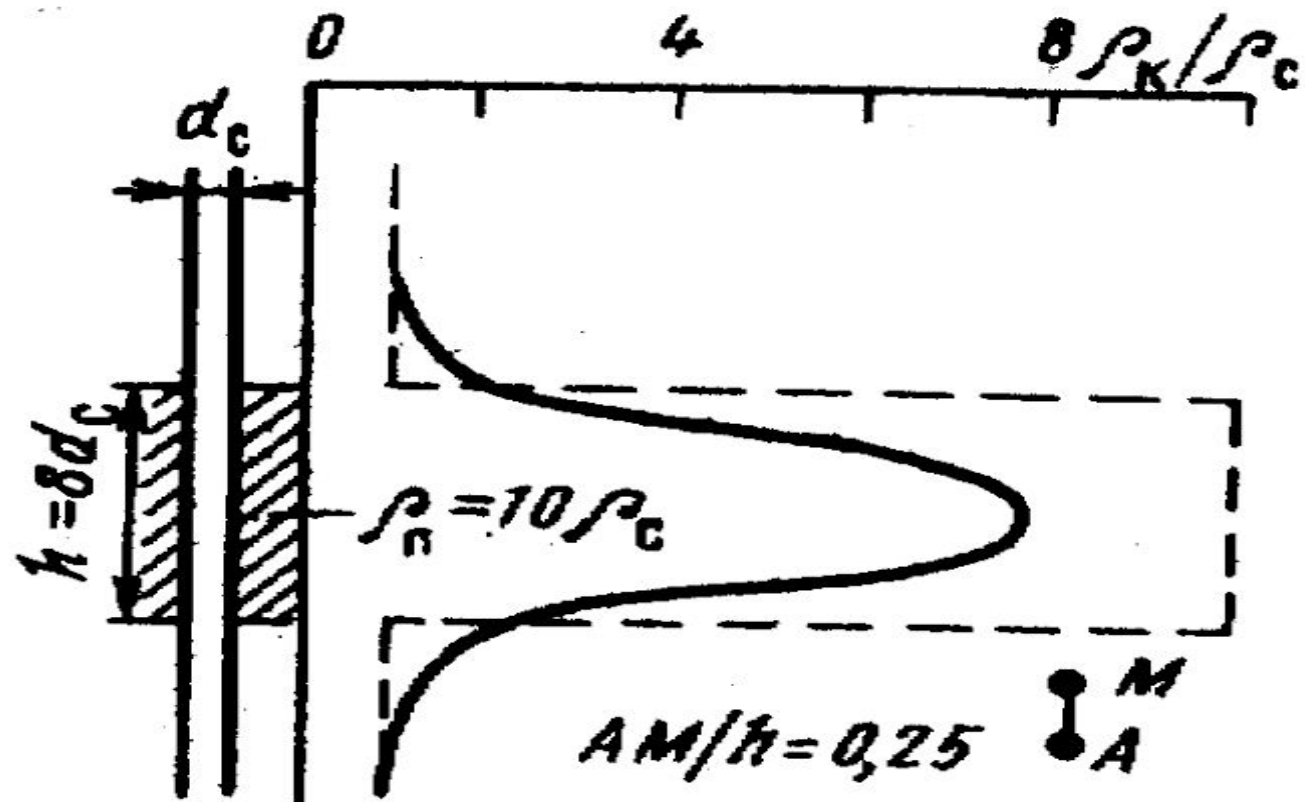
ПОДОШВЕННЫЙ  
ГРАДИЕНТ-ЗОНД





ВЫСОКООМНЫЙ ПЛАСТ  
ОГРАНИЧЕННОЙ  
МОЩНОСТИ.

ПОТЕНЦИАЛ ЗОНД.



**ВЫСОКООМНЫЙ ПЛАСТ ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ.  
ПОТЕНЦИАЛ-ЗОНД**

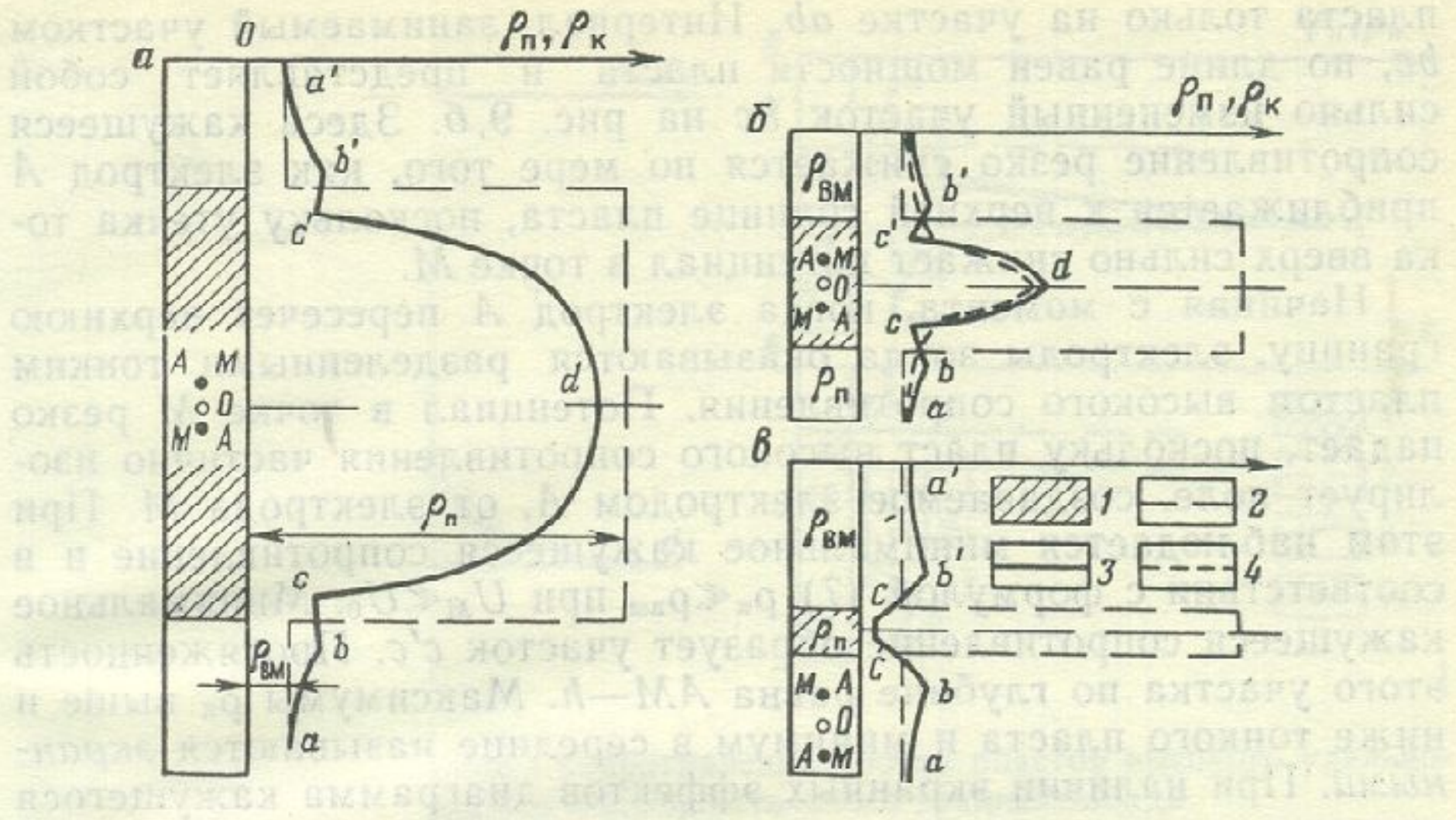
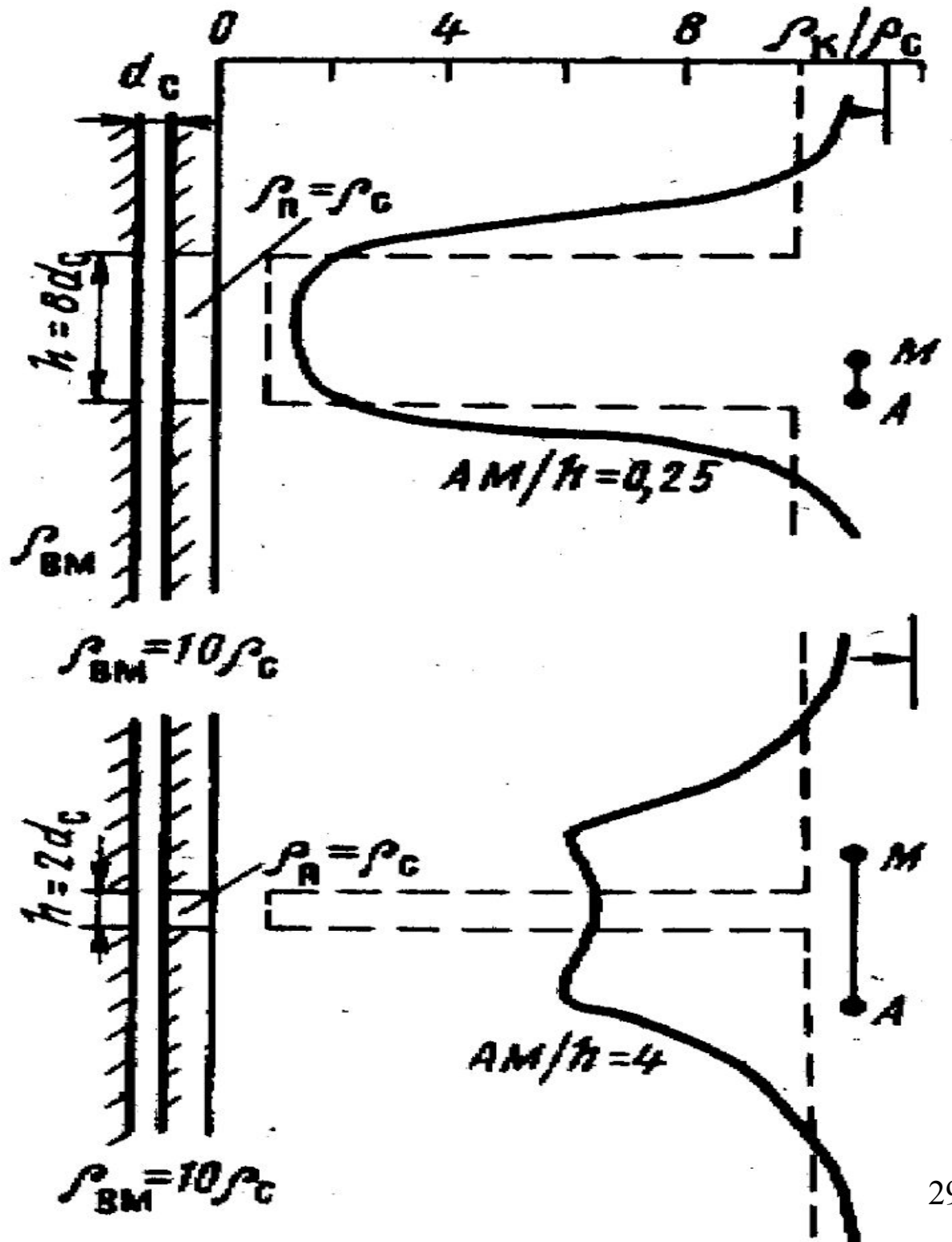


Рис. 9. Кривые кажущегося сопротивления против пластов высокого удельного сопротивления  $\rho_n > \rho_{вм}$  для потенциал-зонда.

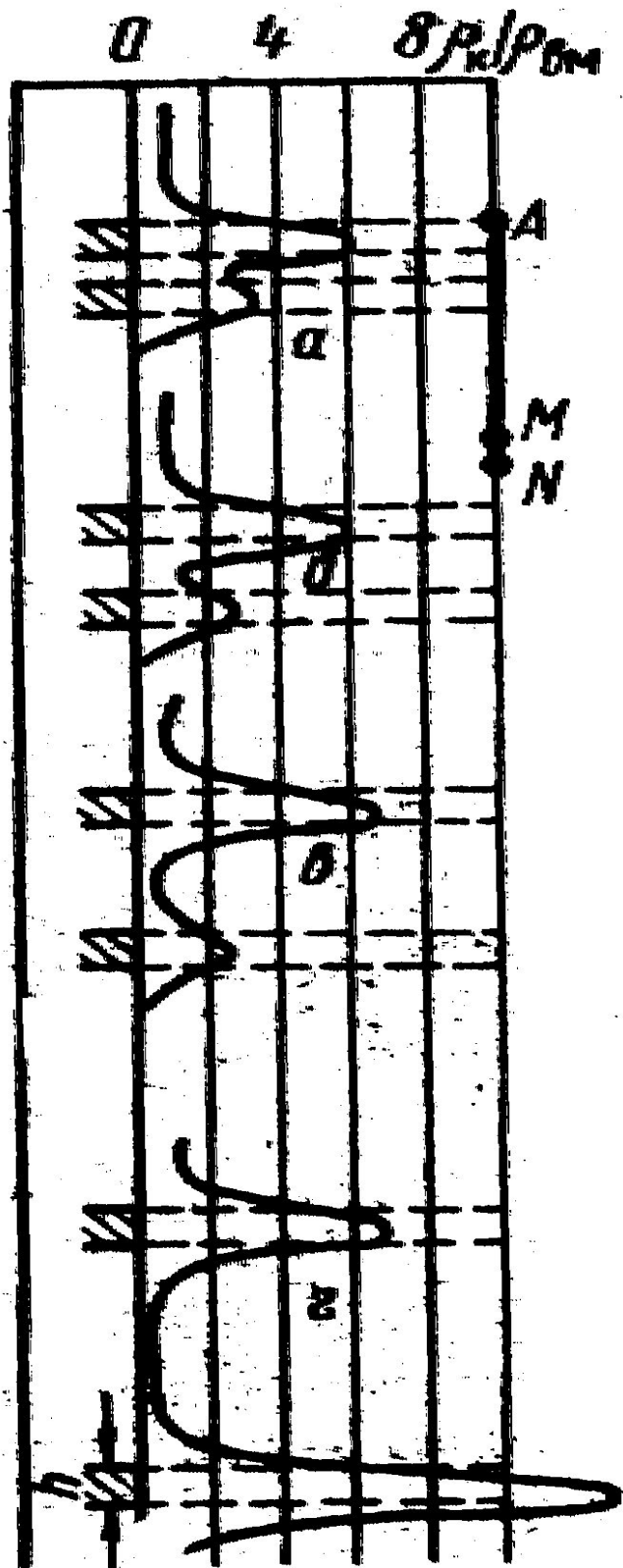
$a - h = 10 AM$ ,  $b - h = 3 AM$ ,  $в - h = 2/3 AM$ ; 1 — пласты высокого сопротивления; 2 — график изменения истинного удельного сопротивления в разрезе; 3 — диаграмма кажущегося сопротивления для теоретического случая ( $d_c = 0$ ); 4 — диаграмма кажущегося сопротивления при условии влияния скважины

ПЛАСТ НИЗКОГО  
СОПРОТИВЛЕНИЯ  
ОГРАНИЧЕННОЙ  
МОЩНОСТИ.

ПОТЕНЦИАЛ ЗОНД.







**Кривые  
сопротивления  
двух ТОНКИХ  
пластов  
ВЫСОКОГО  
сопротивления.  
Подшвенный  
градиент-зонд.**

**Фактические кривые  $\rho_K$  для двух пластов высокого сопротивления и мощностью, большей и меньшей длины зонда. 1 – глина; 2 – песчаник**

