



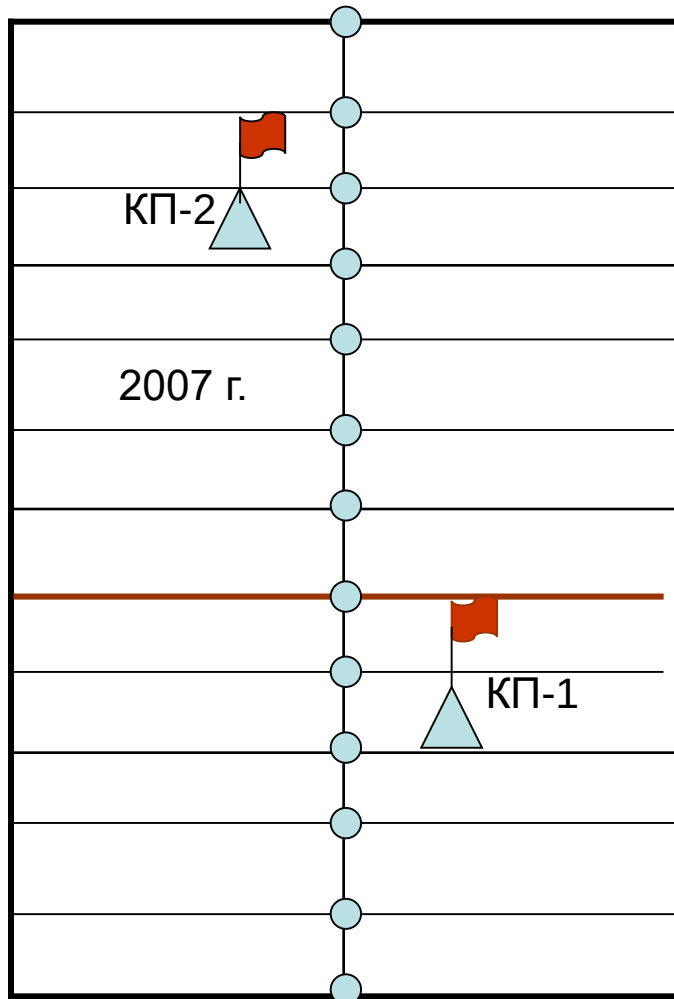
*Институт природных ресурсов
Кафедра геофизики*

ЕГ

Гусев Евгений Владимирович

Геофизические методы и интерпретация данных при разведке и разработке месторождений радиоактивного сырья

Все наблюдения проводятся относительно КП, который создается в спокойном магнитном поле. Если КП несколько – необходима их увязка или уравнивание.



При съемках средней и высокой точности записываются магнитные вариации и вводится поправка. Во избежание перекосов поля необходимо при использовании любых магнитометров создавать опорную сеть.

Обработка данных

$$\Delta T = T_{\text{изм}} - T_{\text{КП}} + \delta T_{\text{ВАР}} + \delta T_{\text{СМ 0}}$$

Погрешность измерений на КП:

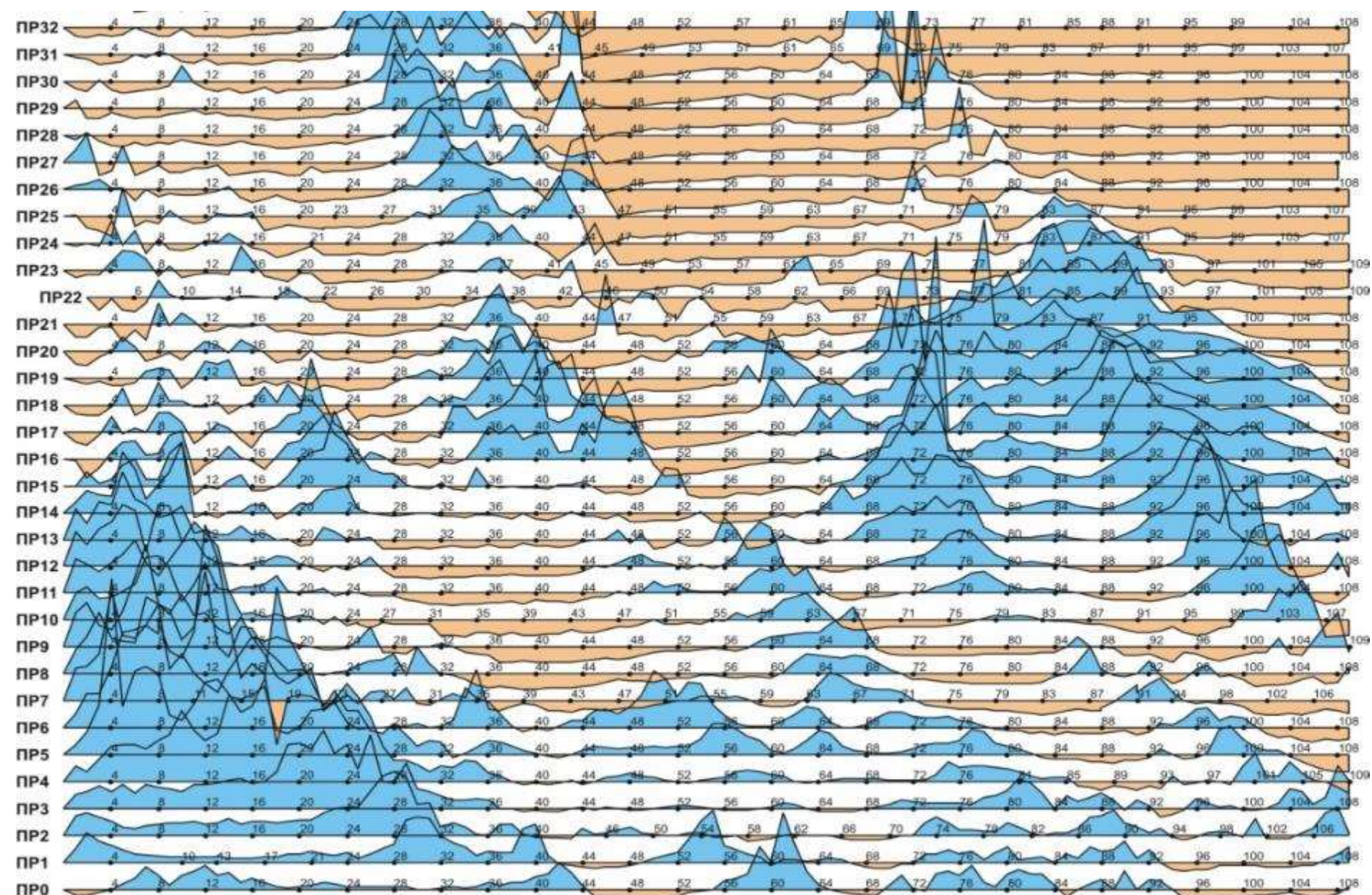
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n(n-1)}}$$

Погрешность рядовых измерений:

$$\varepsilon_c = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{2n}}$$

План графиков магнитного поля, полученный при наземной съемке

Е Г

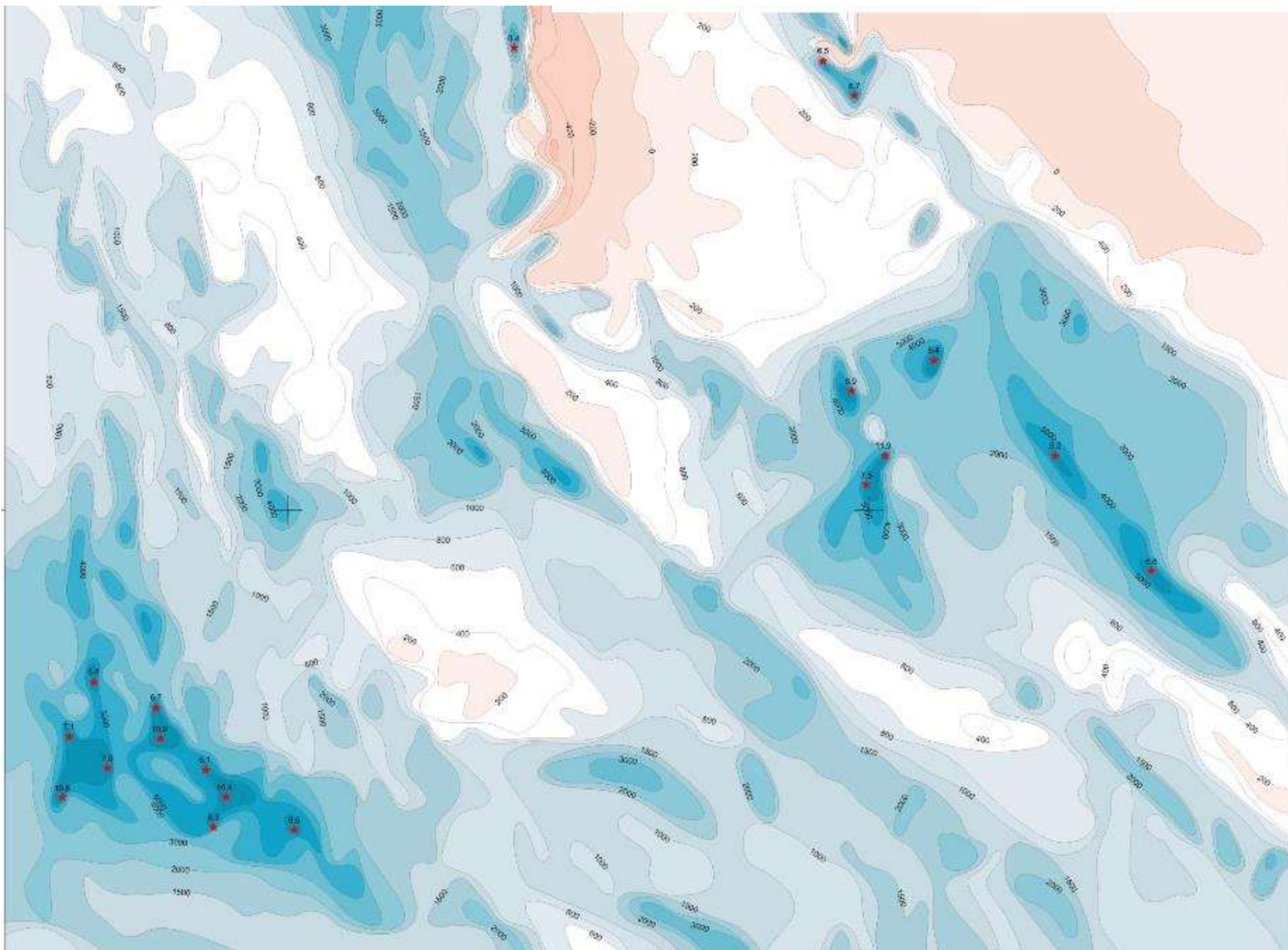


Линия профиля магнитного поля соответствует 1000 нТл
Вертикальный масштаб в 1см 3000 нТл

Составил Е.В. Гусев

Карта изодинам ΔT

EГ



Аэрогеофизический комплекс КАС-1

ЕГ



Спутниковая навигационно
-геодезическая система “АБРИС-ГЕО”

Высокоточный квантовый
магнитометр-градиентометр МГМ-05.

Девиация – магнитное влияние корпуса носителя аппаратуры.

Крепление датчика на трос-кабеле

ЕГ





Протонный морской магнитометр Sea Spy 300M

Характеристики: чувствительность – 0,01 нТл,
погрешность - 0,2 нТл,
частота опроса – 4 – 0,1 Гц,
диапазон - 18000 – 128000 нТл
максимальная потребляемая
мощность - 3 Вт
Вес – 27 кг



Автомagnetная съёмка



Одно из первых применений автомагнитной съёмки при поисках уранового оруденения на Памире. 1957 год.

Магнитные свойства горных пород

Е Г

Классификация горных пород по магнитной восприимчивости α :

- | | | |
|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. Практически немагнитные | -до $50 \cdot 10^{-6}$ СГС | (до $40 \cdot 10^{-5}$ СИ), |
| 2. Слабомагнитные | - $50 - 500 \cdot 10^{-6}$ СГС | ($40 - 400 \cdot 10^{-5}$ СИ), |
| 3. Среднемагнитные | - $500 - 5000 \cdot 10^{-6}$ СГС | ($400 - 4000 \cdot 10^{-5}$ СИ) |
| 4. Сильномагнитные | более $5000 \cdot 10^{-6}$ СГС | (более $4000 \cdot 10^{-5}$ СИ) |

Магнитные аномалии определяются величиной и направлением намагниченности (J) горных пород.

Намагниченность

Наведенная J_i
(индукционная)

Остаточная J_n

Магнитные аномалии зависят от полной намагниченности, определяемой векторной суммой

$$\vec{J}_{\text{полн}} = \vec{J}_i + \vec{J}_n$$

Для пород, не относящихся к сильномагнитным

$$J_i = \alpha T_{\text{ВН}}$$

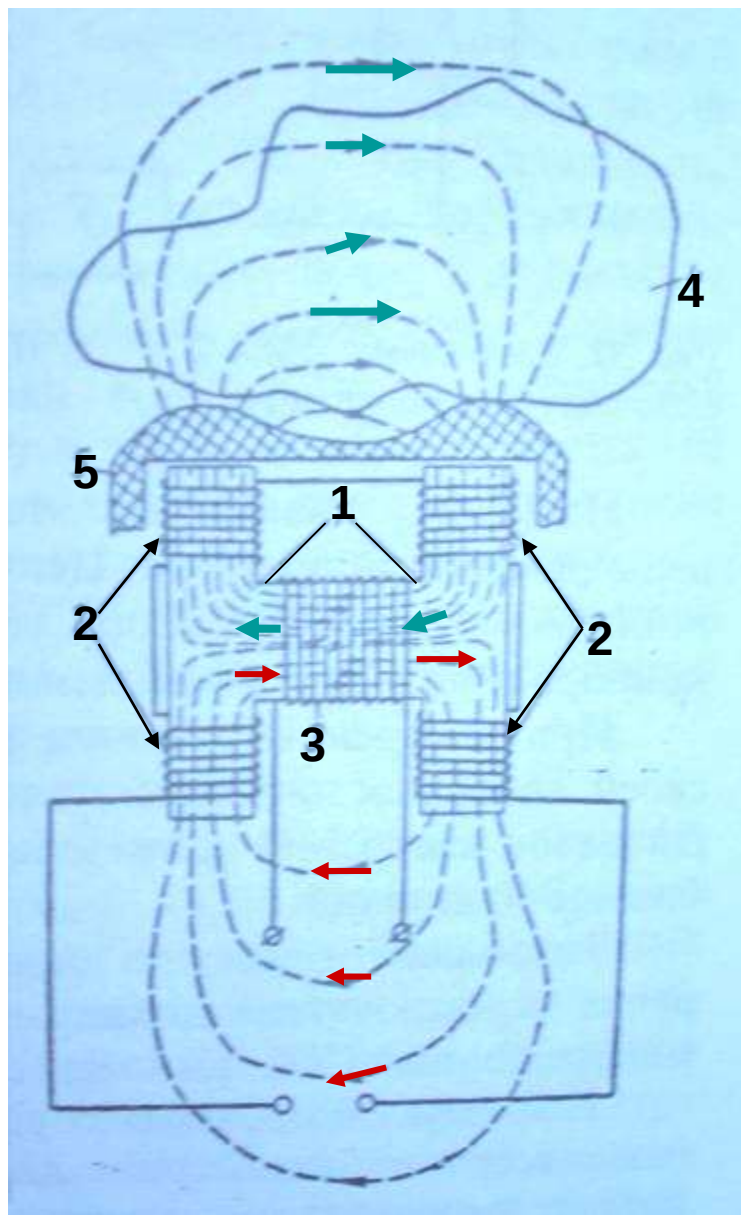
Для сильномагнитных пород

$$J_i = (\alpha T_{\text{ВН}}) / (1 + N\alpha)$$

N - коэффициент размагничивания

Аппаратура для измерения магнитных свойств горных пород

ЕГ



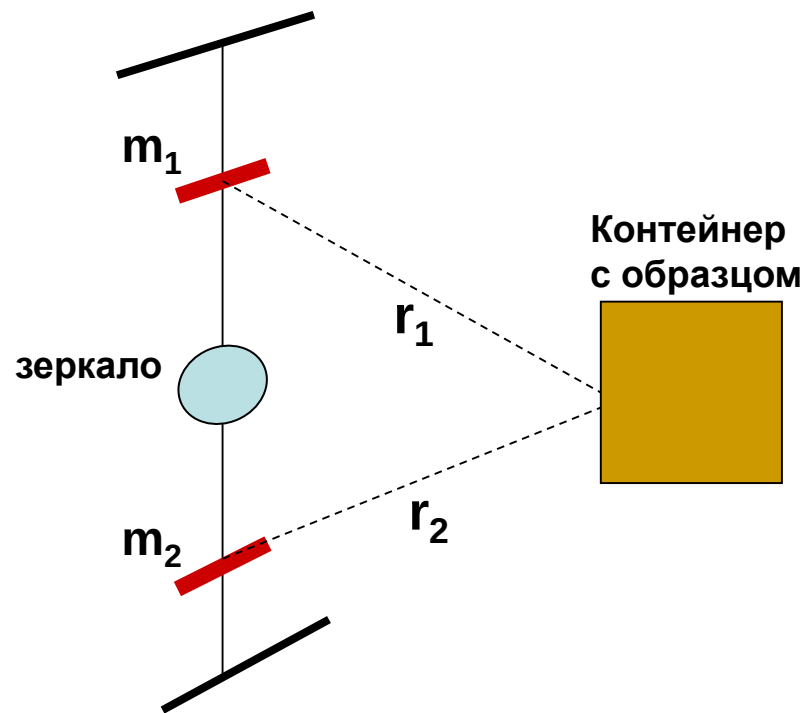
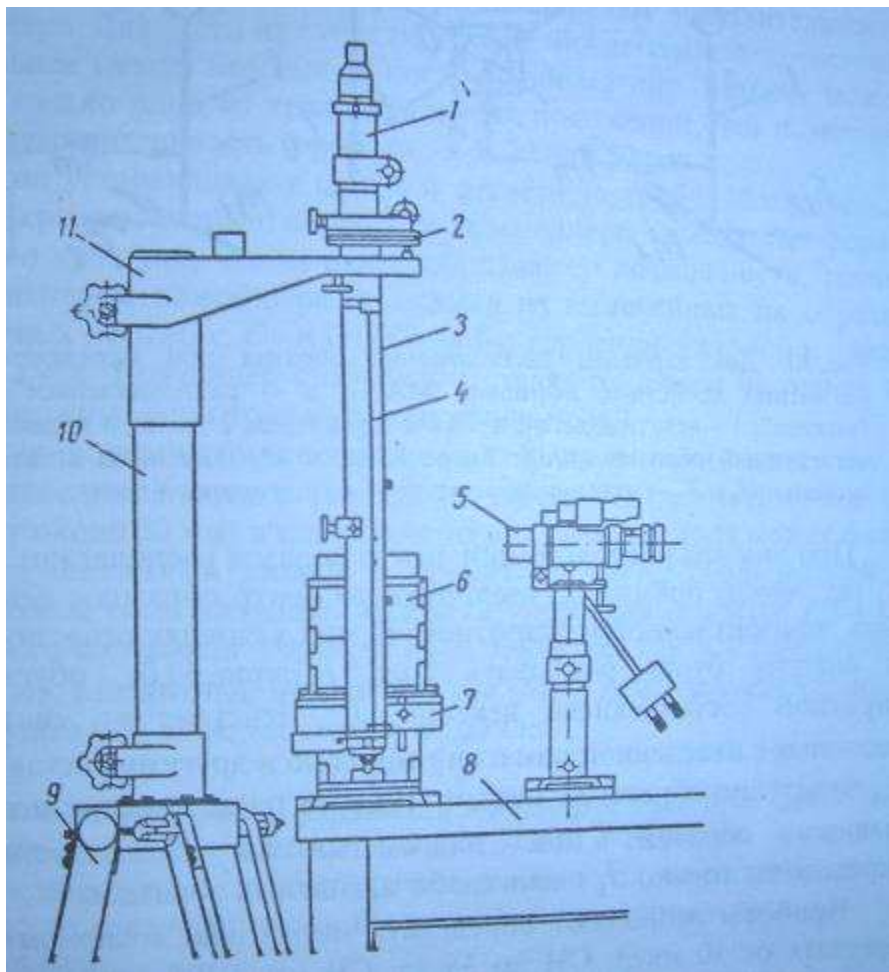
Измерители магнитной восприимчивости (каппаметры) ИМВ – 1, ПИМВ - 2

- 1 – H-образный пермалловый сердечник,
- 2 – обмотки возбуждения,
- 3 – измерительная обмотка,
- 4 - исследуемый образец,
- 5 – немагнитная крышка МЧП.

Способ измерений – индукционный. При отсутствии образца магнитные потоки в диагонали моста компенсируются и в измерительной обмотке сигнала нет. Присутствие образца нарушает равенство магнитных потоков и в измерительной обмотке появляется ЭДС, пропорциональная магнитной восприимчивости образца.

Астатический магнитометр МА - 21

Е Г



1 – магнитометр, 2 – юстировочный столик, 3 – тубус магнитометра,
4 – астатическая система, 5 – отсчетная труба, 6 – контейнер для образца,
7 – шасси для установки контейнера, 8 – стол, 9 – тренога, 10 – труба штатива,
11 кронштейн

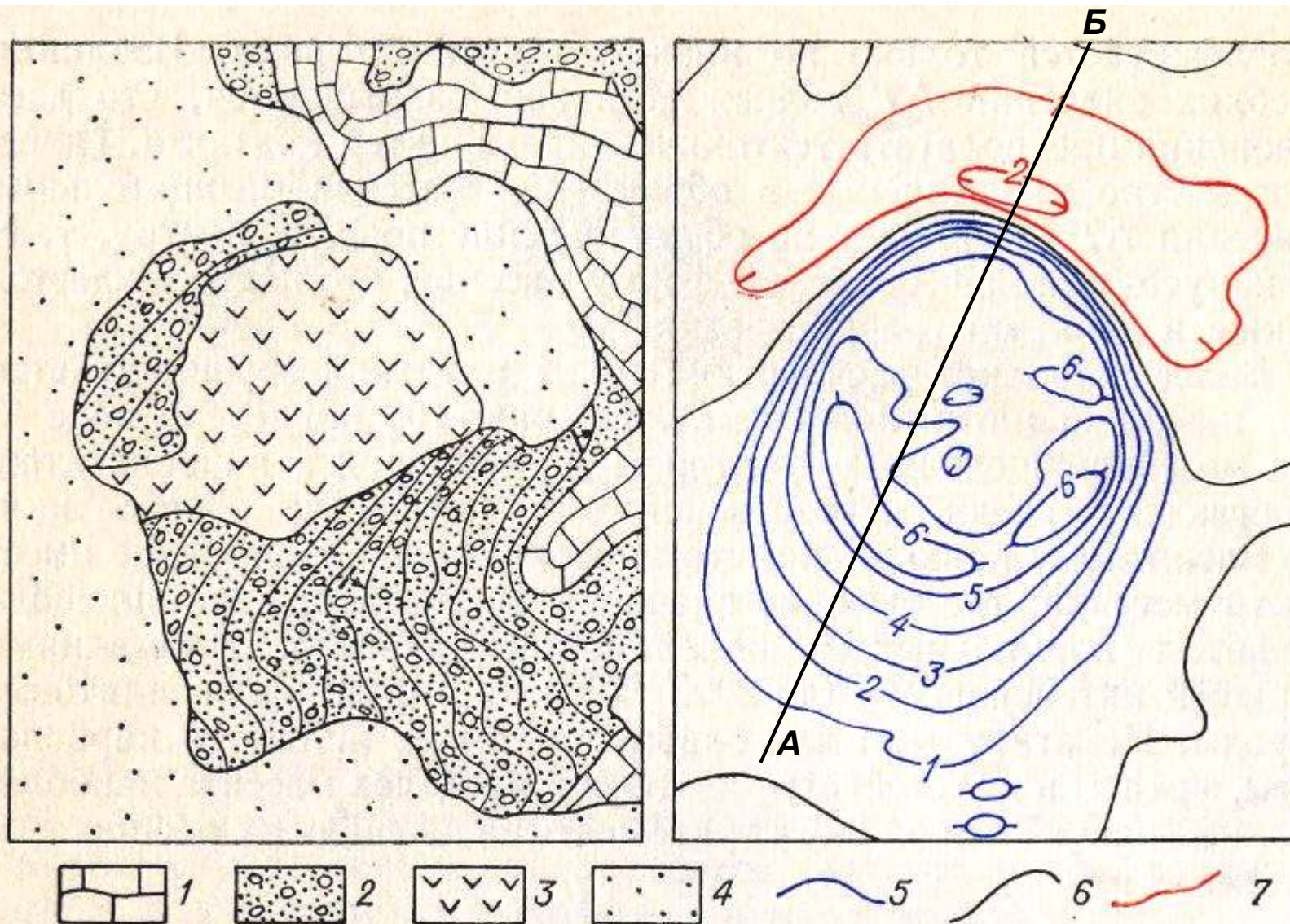
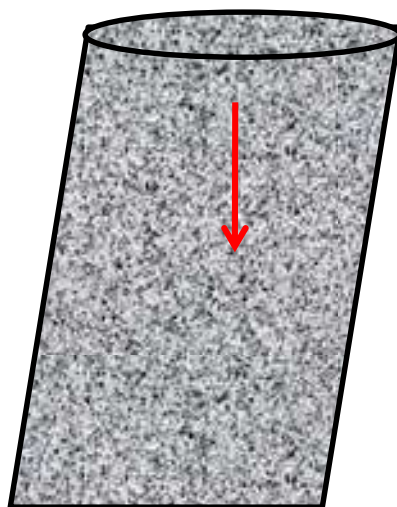
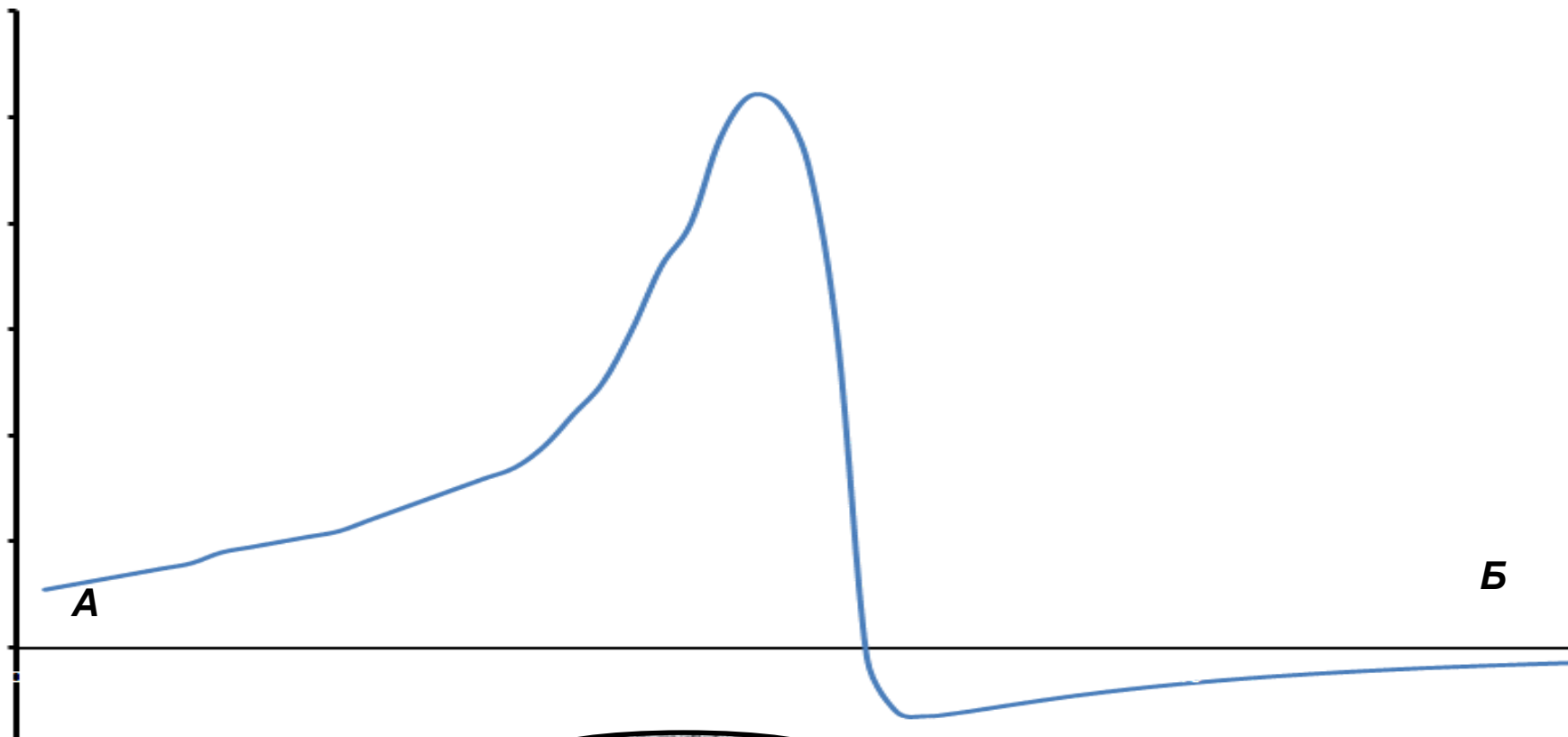


Рис. 109. Магнитное поле ΔT над граносиенитовой интрузией.

1 — известняки; 2 — песчаники; 3 — граносиениты; 4 — наносы; изолинии ΔT , усл. ед.:
5 — положительные, 6 — нулевые, 7 — отрицательные.

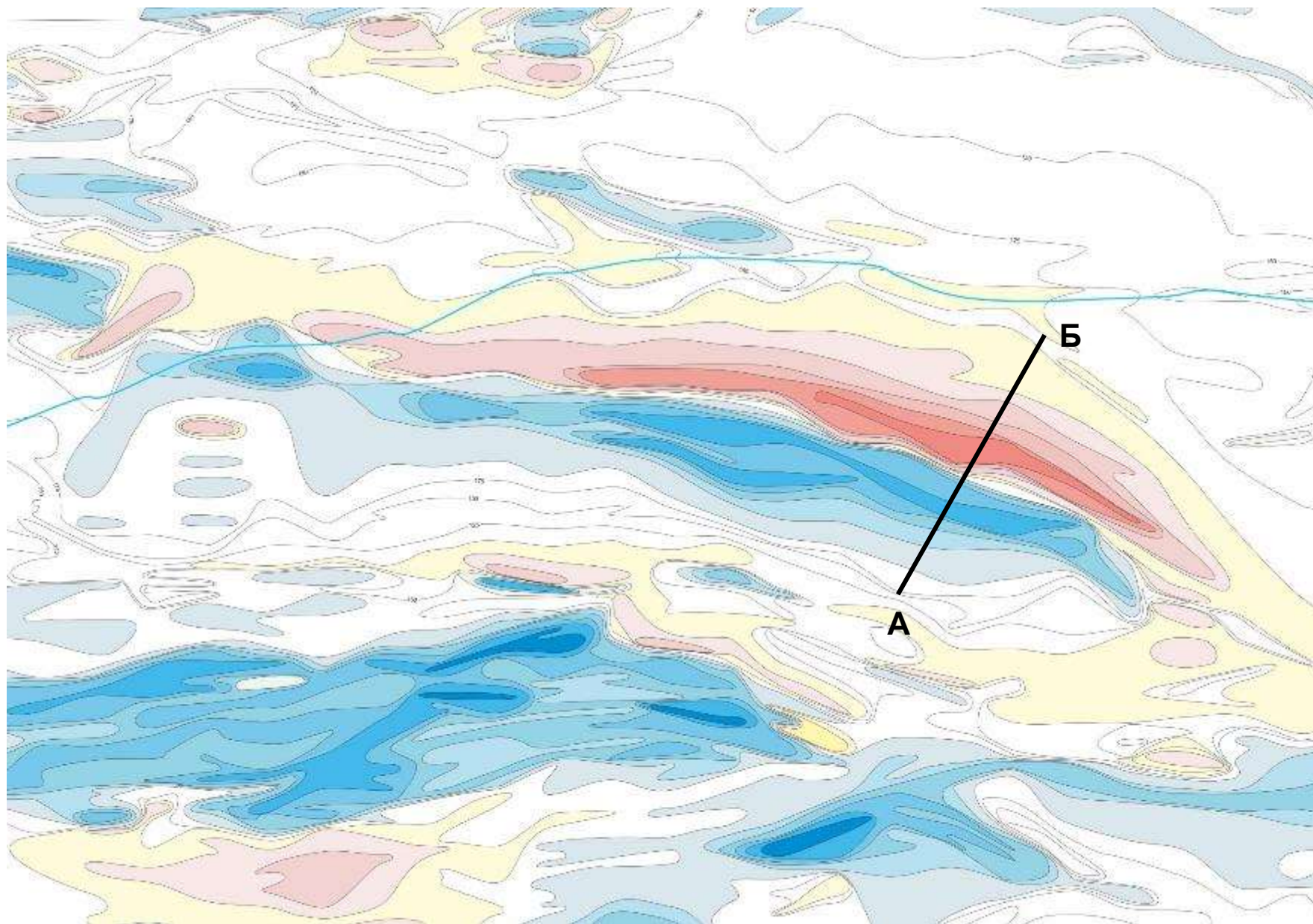
Разрез по линии АБ

ЕГ

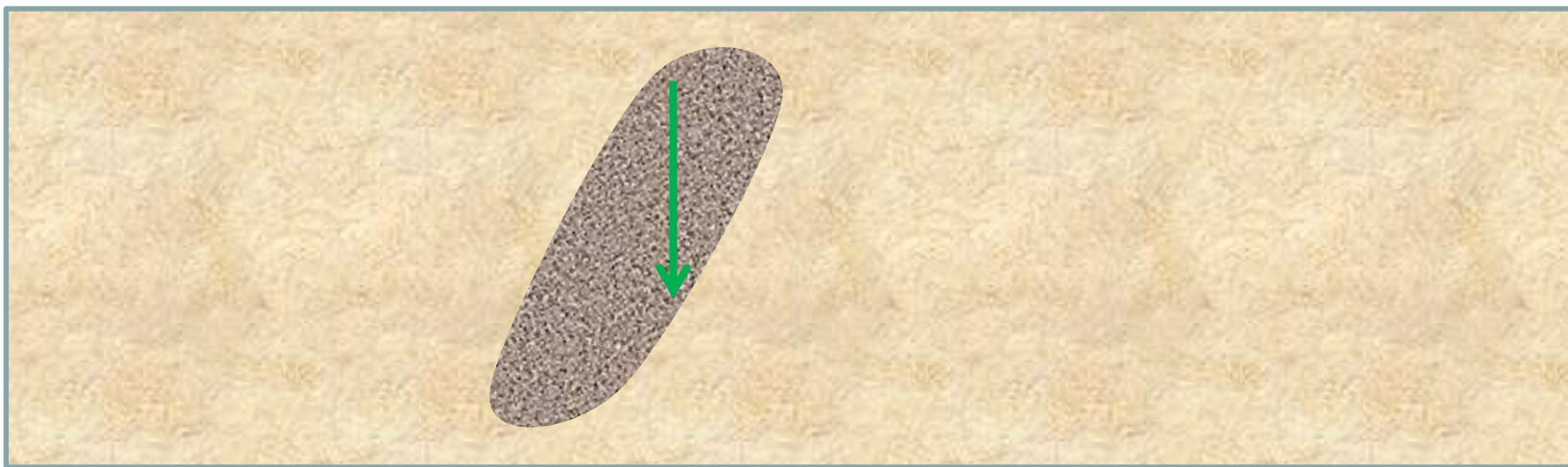
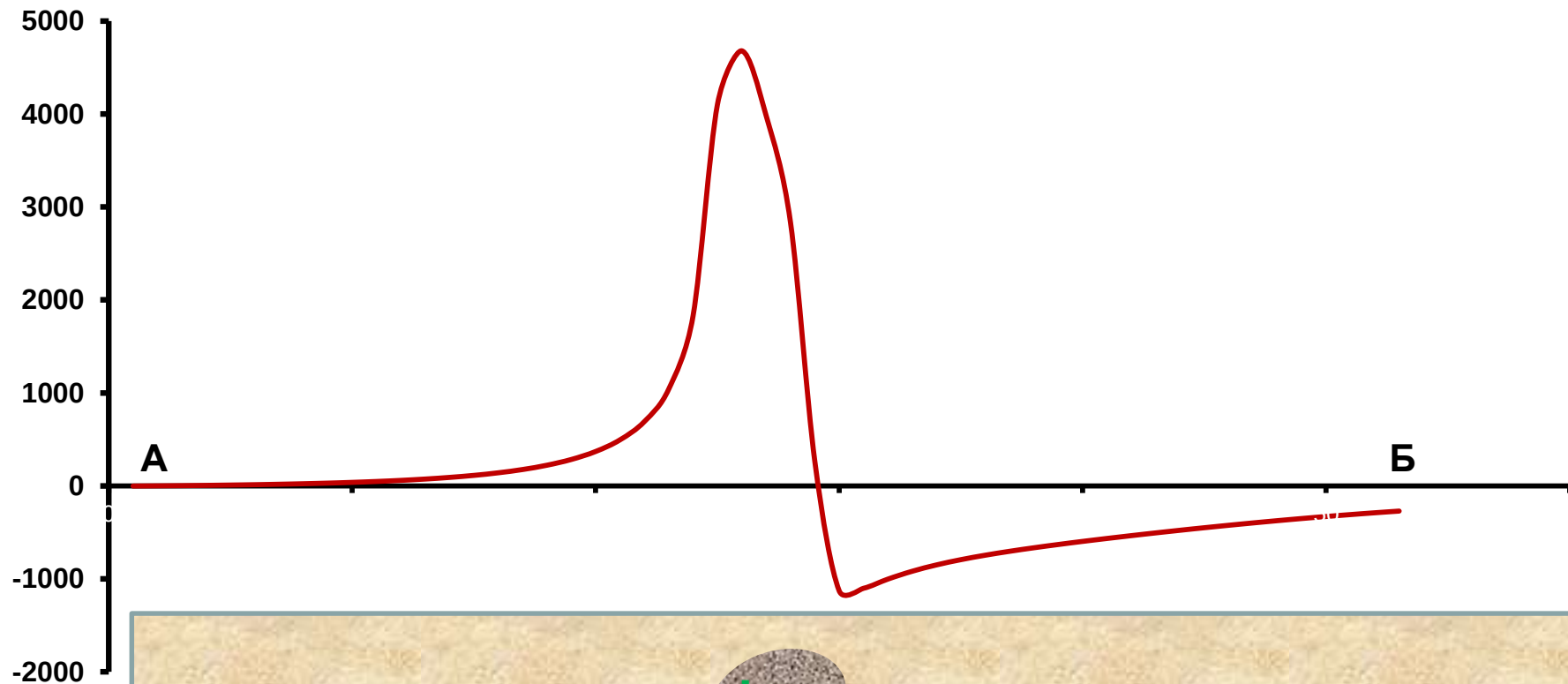


Эффект наклонного намагничения

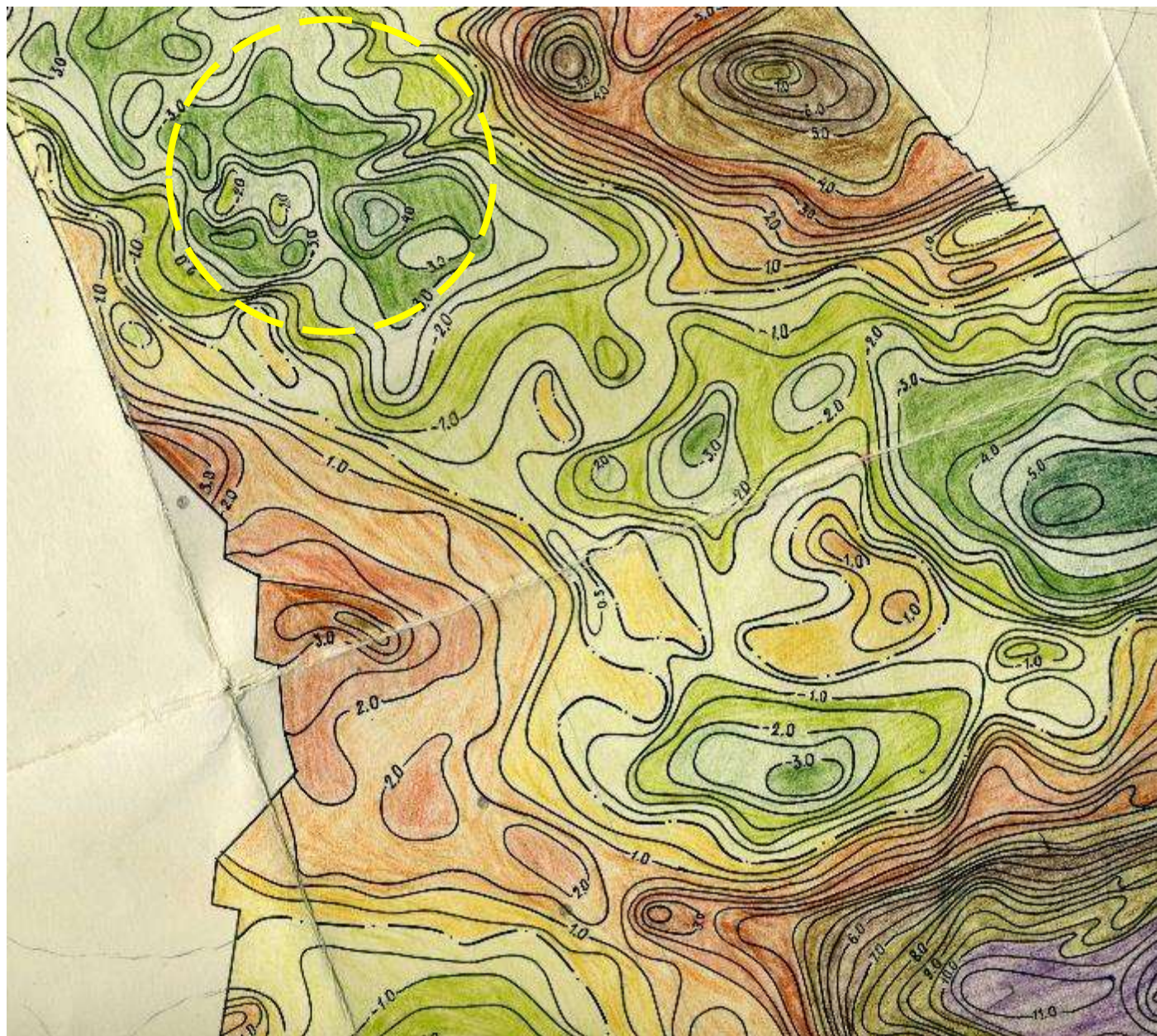
ЕГ

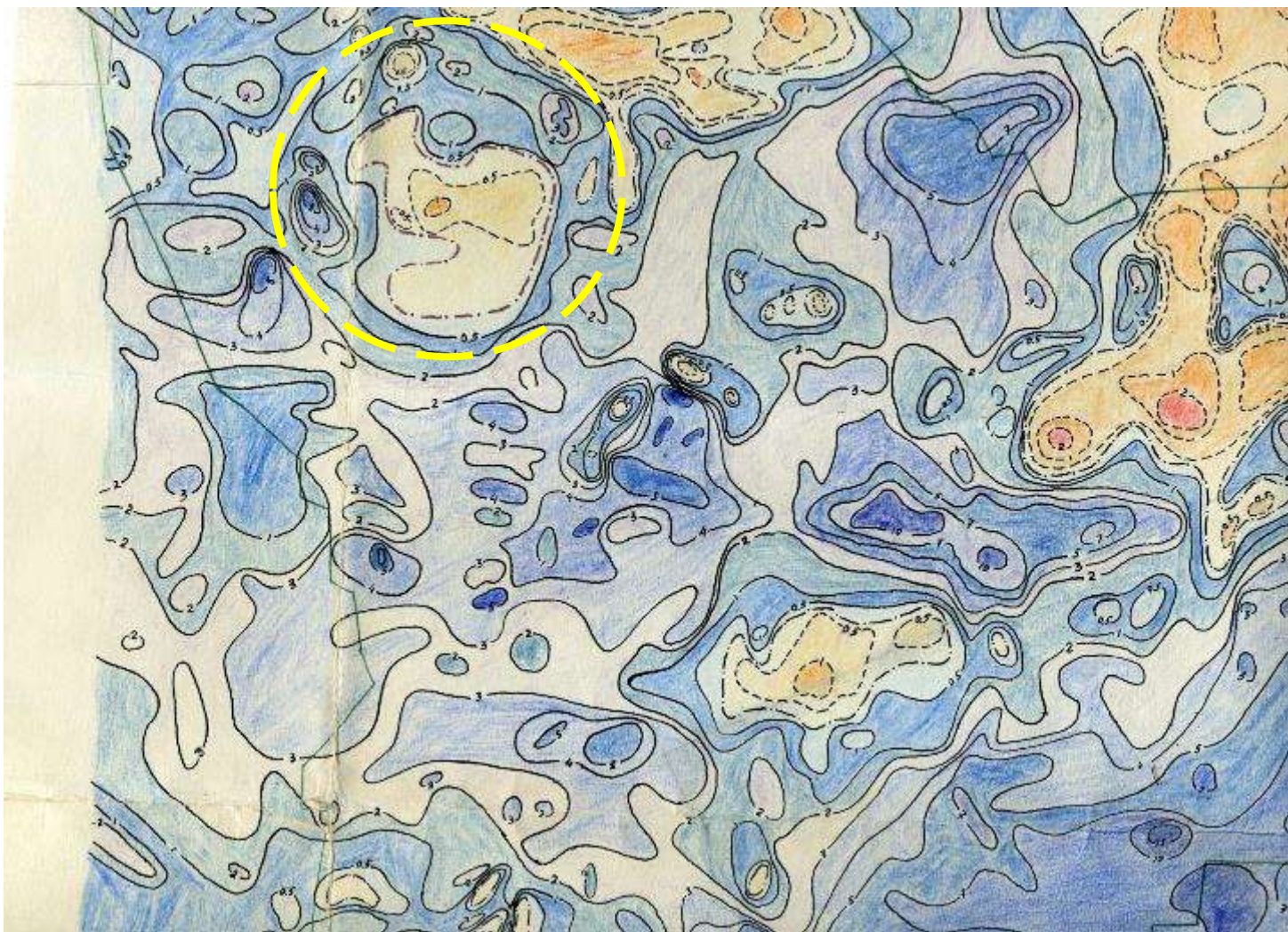


Разрез по линии АБ



Палеовулканический аппарат в гравитационном поле



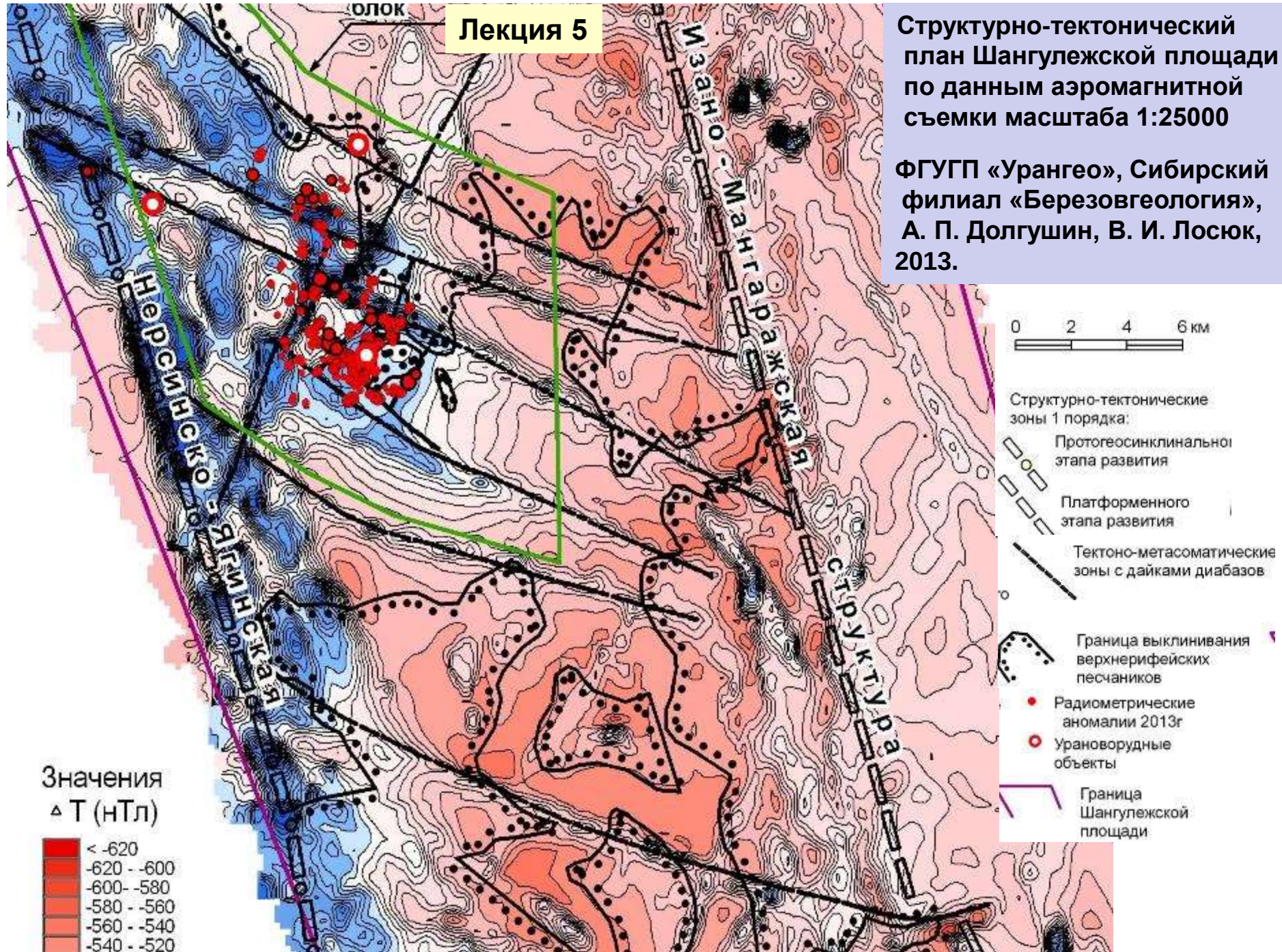


Тот же палеовулкан в магнитном поле

Лекция 5

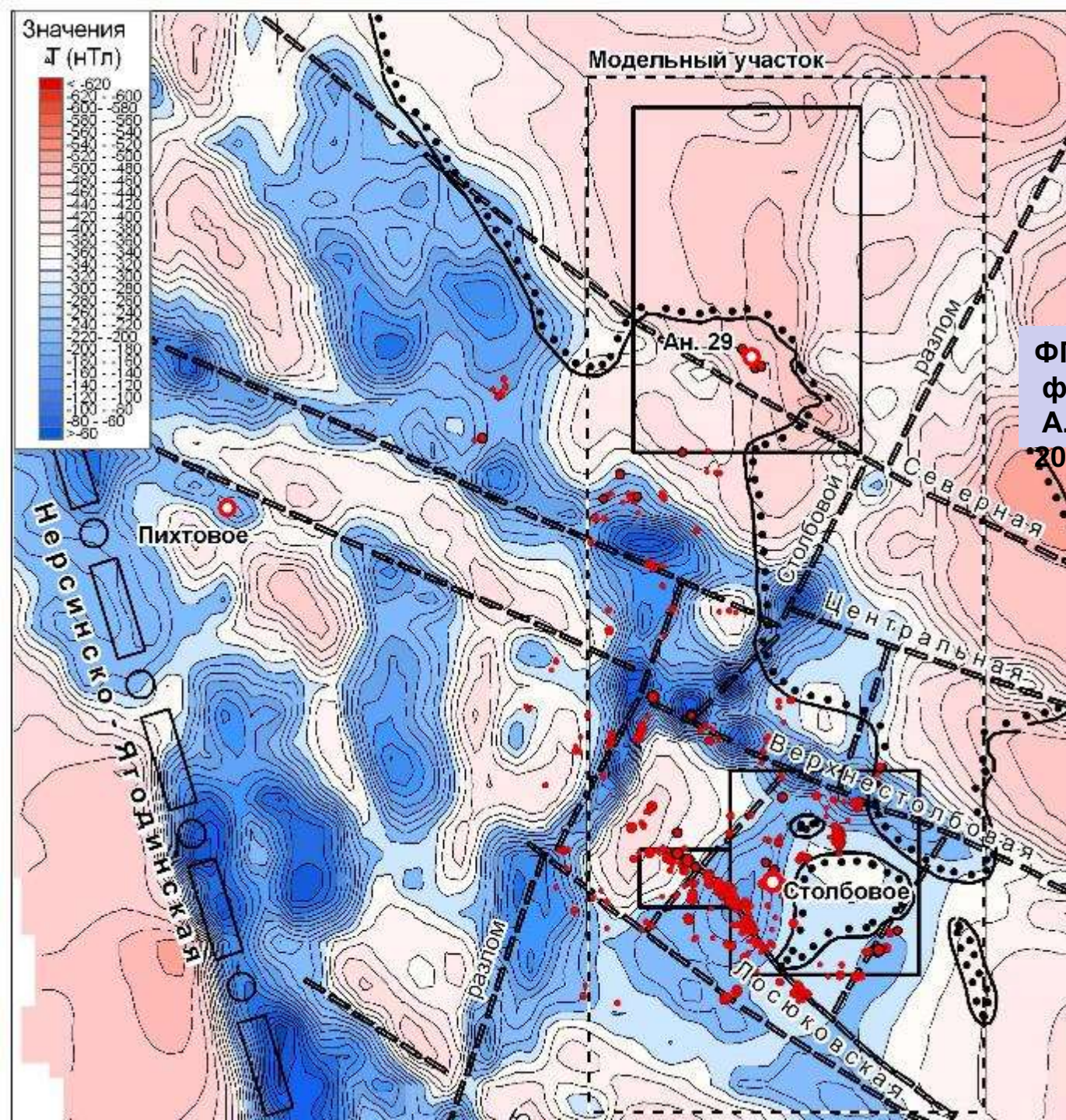
Структурно-тектонический план Шангулежской площади по данным аэромагнитной съемки масштаба 1:25000

ФГУГП «Урангео», Сибирский филиал «Березовгеология»,
А. П. Долгушин, В. И. Лосюк,
2013.



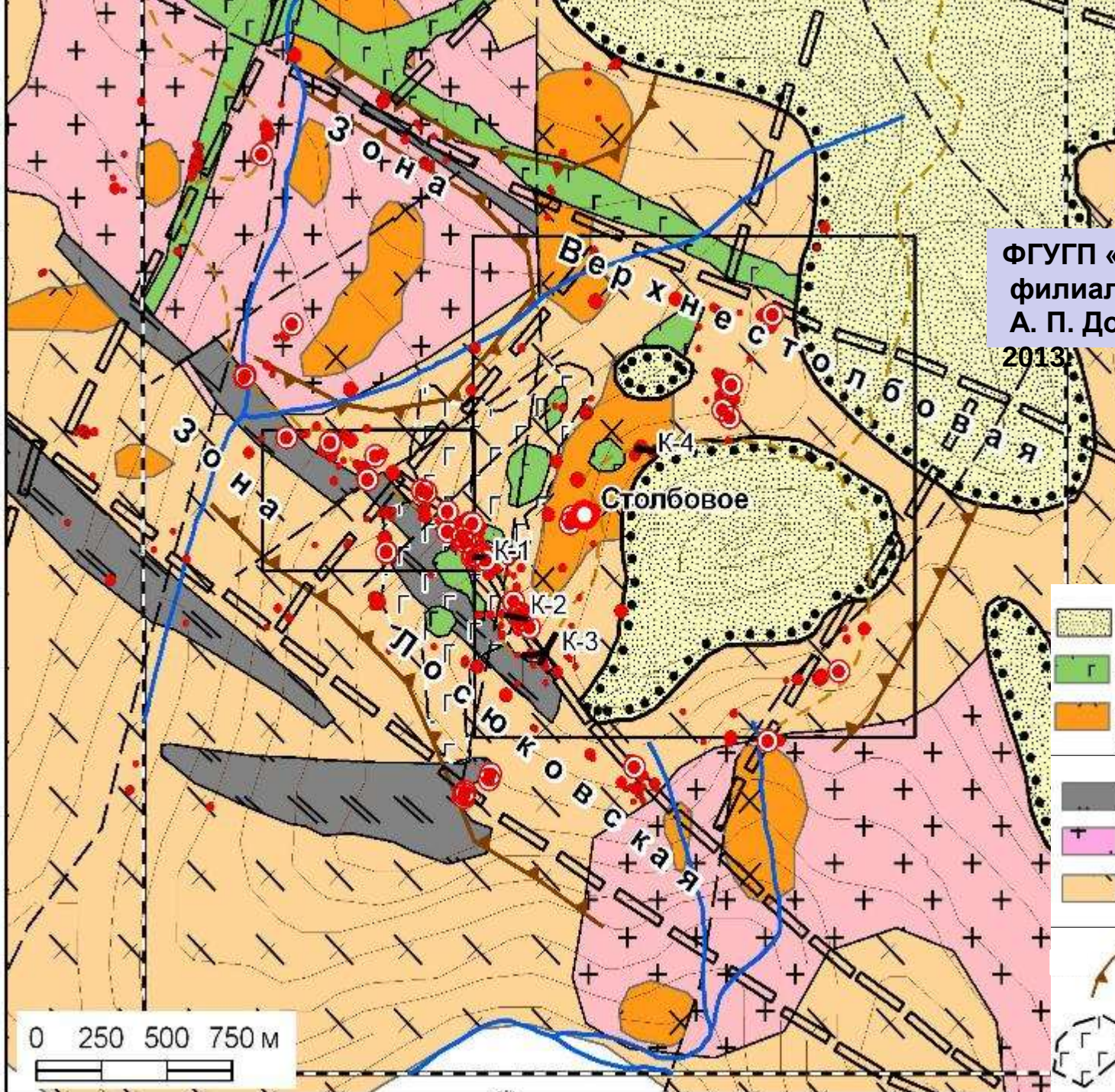
Основные структуры и ураноносность на Модельном участке в магнитном поле по данным аэрофотомасштаба 1:25000 (2013г)

ФГУП «Урангео», Сибирский филиал «Березовгеология», А. П. Долгушин, В. И. Лосюк, 2013.



**Геологическая
карта южной
части
Модельного
участка**

ФГУП «Урангео», Сибирский
филиал «Березовгеология»,
А. П. Долгушин, В. И. Лосюк,
2013



Метапесчаники

Г Диабазы

Граниты
субщелочные

Бiotит-амфиболовые гнейсы

Граниты крупнозернистые
калищпатовые

Граниты серые
мелкозернистые

Границы выщелоченных
пород фундамента
с гнездами лимонита

Предполагаемые на глубине
сложно построенные тела
магнитных пород (2013 г)



Тема 3
Физические основы
и применение
электроразведки



Объект изучения – геоэлектрический
разрез

геологический разрез

Группа методов

Метод
электроразведки

Модификации

1. По характеру используемого пространства группы методов:

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

2. По области применения электроразведка:

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

По характеру
используемых полей

Методы искусственных полей

Методы естественных полей

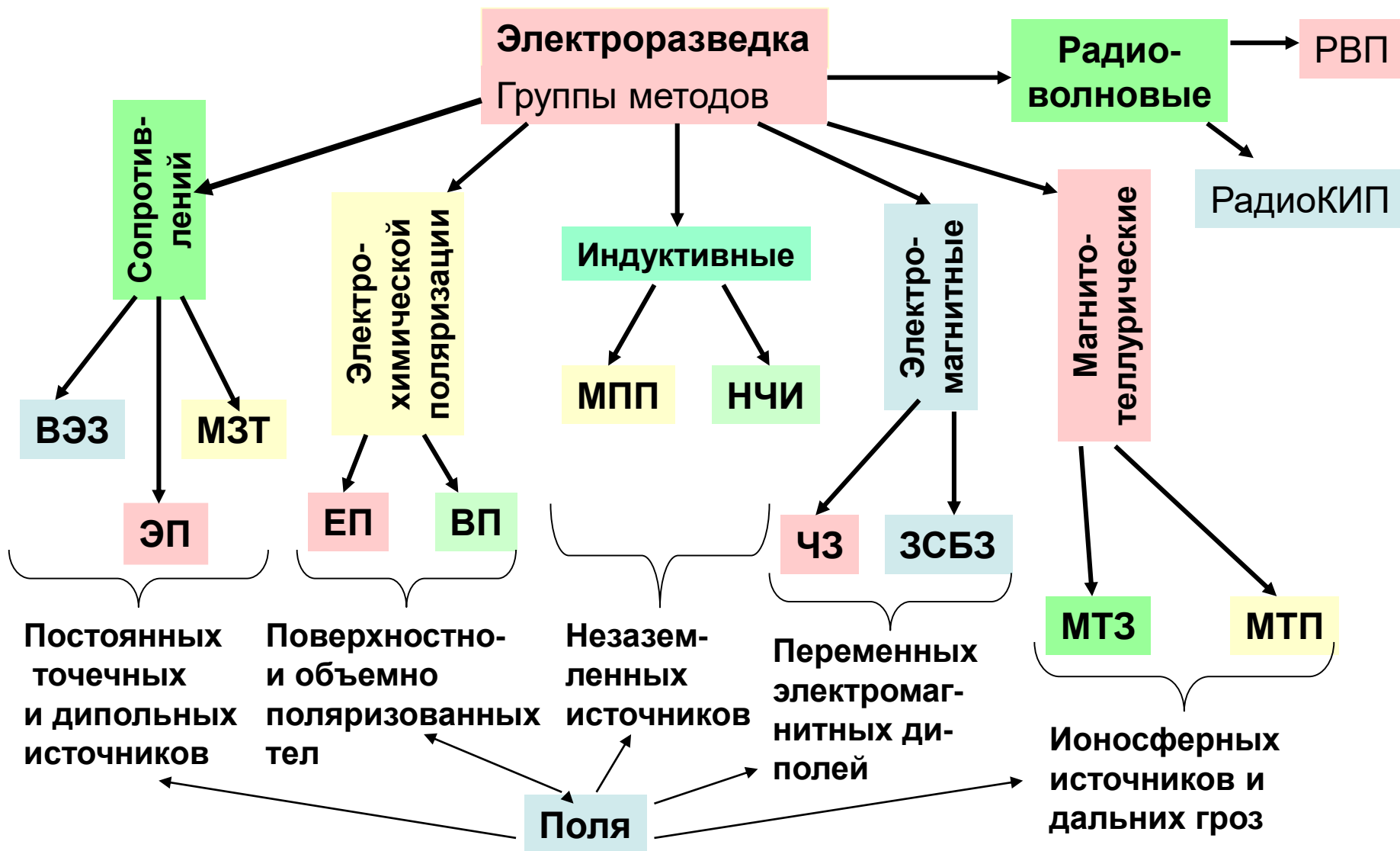
По типу решаемых
геологических задач

Зондирование

Профилирование

Классификация методов электроразведки

По типу, происхождению используемых полей
и измеряемым параметрам:



1. МЕТОД СОПРОТИВЛЕНИЙ

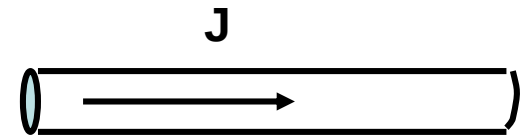
Удельное электрическое сопротивление ρ

В физике

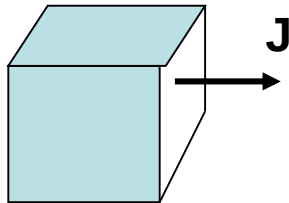
$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

$$\rho = R \frac{S}{\ell}$$

(Ом мм²)/м



В геофизике



ρ - в Ом м

Проводимость (электропроводность) $\gamma = 1/\rho$ (См/м)

Коэффициент анизотропии

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_T}{\rho_L}}$$

Удельное электрическое сопротивление минералов

Самородные элементы

(проводники с электронной проводимостью)

Минерал	ρ , Ом м
Графит	$10^{-4} - 1$
Железо	$(9 - 12) 10^{-8}$
Никель	$(6 - 7) 10^{-8}$
Медь	$1,6 10^{-8}$
Серебро	$1,5 10^{-8}$
Золото	$2 10^{-8}$
Платина	$9,8 10^{-8}$
Ртуть	$95 10^{-8}$
Висмут	$13 10^{-8}$

Непроводящие

Сера	$10^{12} - 10^{15}$
------	---------------------

Рудные минералы

Минерал	ρ , Ом м
Пирит	$10^{-5} - 1$
Галенит	$10^{-5} - 1$
Киноварь	$10^6 - 10^{10}$
Халькопирит	$10^{-4} - 10^{-1}$
Пирротин	$10^{-6} - 10^{-4}$
Арсенопирит	$10^{-5} - 10^{-1}$
Молибденит	$10^3 - 10^2$
Антимонит	$10^4 - 10^6$
Магнетит	$10^{-2} - 10^{-5}$
Лимонит	$10^2 - 10^6$
Гематит	$10^{-1} - 10^2$

Характеристика удельных электрических сопротивлений минералов и горных пород

Е Г

Породообразующие минералы

Минерал	ρ , Ом м
Кварц	$10^{12} - 10^{16}$
Кальцит	$10^9 - 10^{14}$
Оливин	$10^8 - 10^{10}$
Роговая обманка	$10^8 - 10^{14}$
Биотит	$10^{12} - 10^{15}$
Ортоклаз	$10^{10} - 10^{14}$
Эпидот	$10^9 - 10^{14}$
Кальцит	$10^9 - 10^{14}$
Доломит	$10^7 - 10^{16}$

Жидкости

Нефть	$10^{12} - 10^{14}$
Речные воды	$10 - 1000$
Морские воды	$0,15 - 1,5$

Горные породы

Порода ρ , Ом м

Изверженные

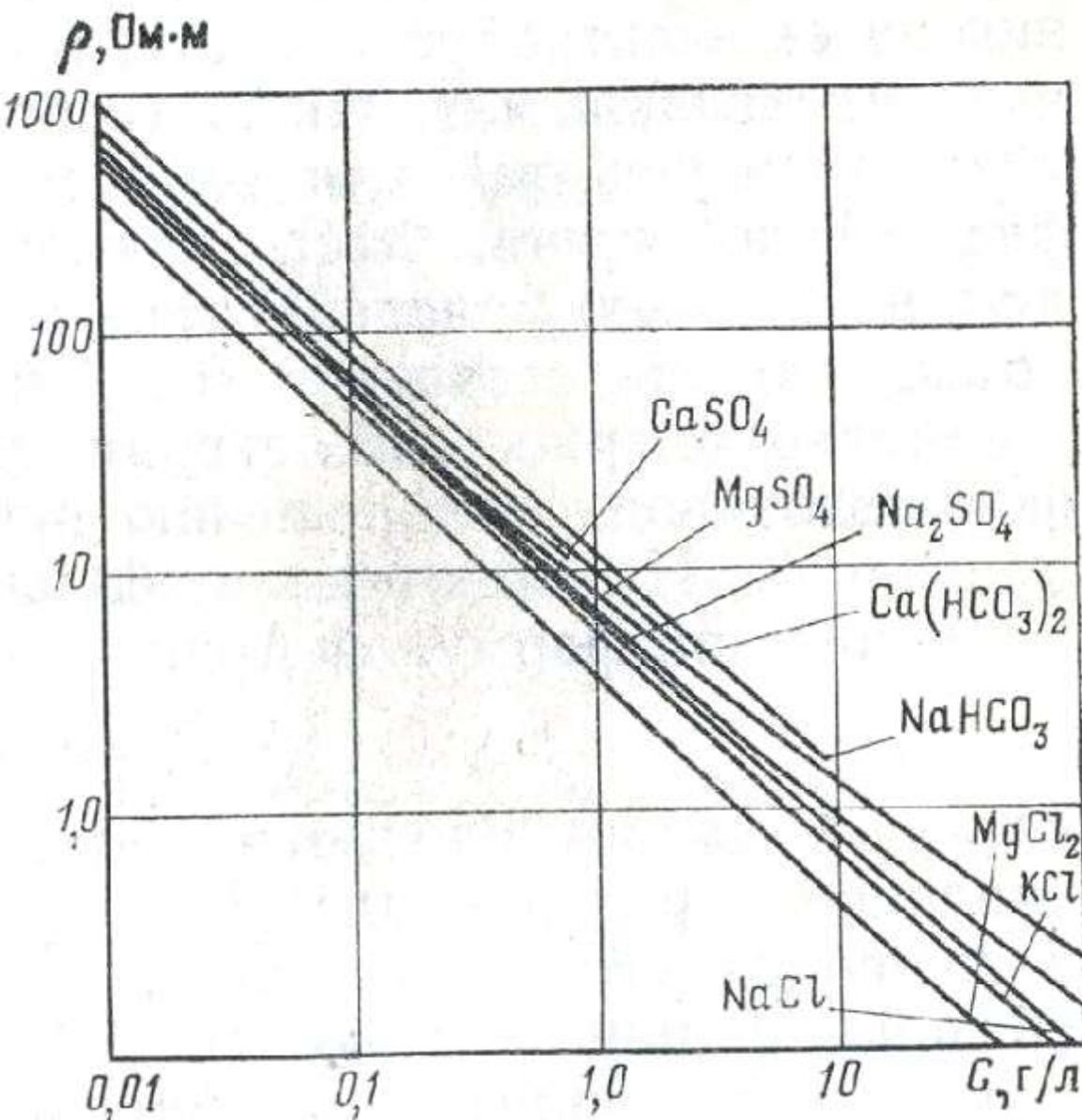
Сиенит	$10^3 - 10^6$
Граносиенит	$10^3 - 10^6$
Гранит	$10^3 - 10^6$
Диорит	$10^3 - 10^7$
Габбро	$10^2 - 10^6$
Базальт	$10^4 - 10^7$

Метаморфические

Амфиболит	$10^3 - 10^6$
Гнейс	$10^3 - 10^6$
Глин сланец	$10^2 - 10^3$
Мрамор	$10^3 - 10^8$

Осадочные

Известняк	$100 - 1000$
Песчаник	$10 - 1000$
Глины	$1 - 50$
Бурый уголь	$10 - 1000$
Каменный уголь	$100 - 10^4$
Антрацит	$0,01 - 100$



**Зависимость УЭС водных растворов солей
от концентрации раствора**

Относительное сопротивление
осадочных горных пород
(эмпирическая формула Арчи):

$$P = \frac{\rho_{ПВ}}{\rho_B}$$

$\rho_{ПВ}$ — сопротивление
водонасыщенной породы

ρ_B — сопротивление воды

$$P = \frac{a}{n^m}$$

a — структурный коэффициент
(от 0,5 до 1,0), n — пористость,
 m — показатель цементации
(от 1,3 до 2,3)

Методы сопротивлений

Нормальные поля точечных и дипольных источников

Точечный источник поля – источник, линейные размеры которого намного меньше расстояния от этого источника до точек, в которых исследуется поле

Закон Ома в дифференциальной форме

$$\vec{\gamma} = \frac{1}{\rho} \vec{E}$$

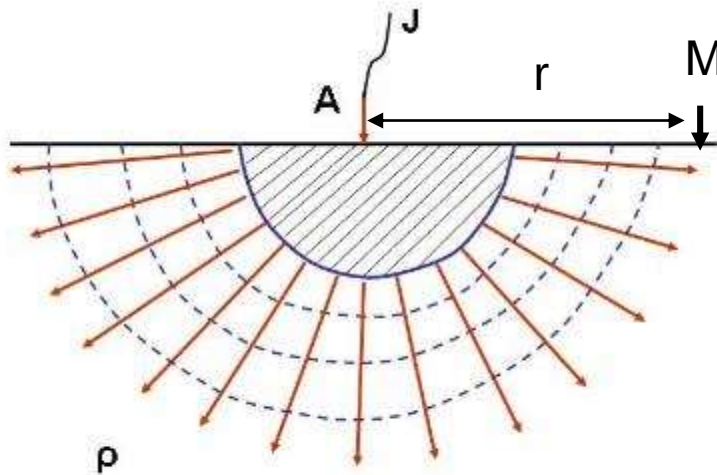
γ – вектор плотности тока

E – напряженность электрического поля

Потенциал точечного (или полусферического) электрода

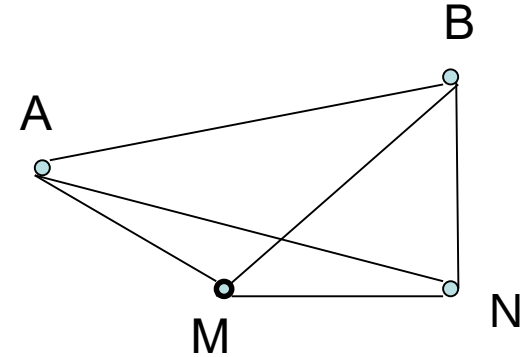
$$U = \frac{\rho \cdot J}{2\pi} \cdot \frac{1}{r}$$

$$E = \frac{\partial U}{\partial r} = \frac{\rho \cdot J}{2\pi} \cdot \frac{1}{r^2}$$



$$U_M^A = \frac{\rho \cdot J}{2\pi} \cdot \frac{1}{AM} \quad U_M^B = \frac{\rho \cdot J}{2\pi} \cdot \frac{1}{BM}$$

$$U_N^A = \frac{\rho \cdot J}{2\pi} \cdot \frac{1}{AN} \quad U_N^B = \frac{\rho \cdot J}{2\pi} \cdot \frac{1}{BN}$$



$$U_M^{AB} = \frac{\rho \cdot J}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad U_N^{AB} = \frac{\rho \cdot J}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)$$

$$\Delta U_{MN} = (U_M^{AB} - U_N^{AB}) = \frac{\rho \cdot J}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

Обозначим:

$$\frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} = K$$

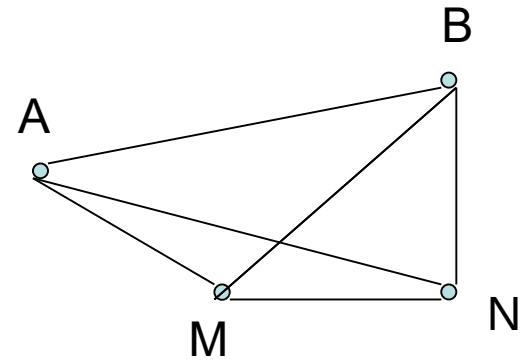
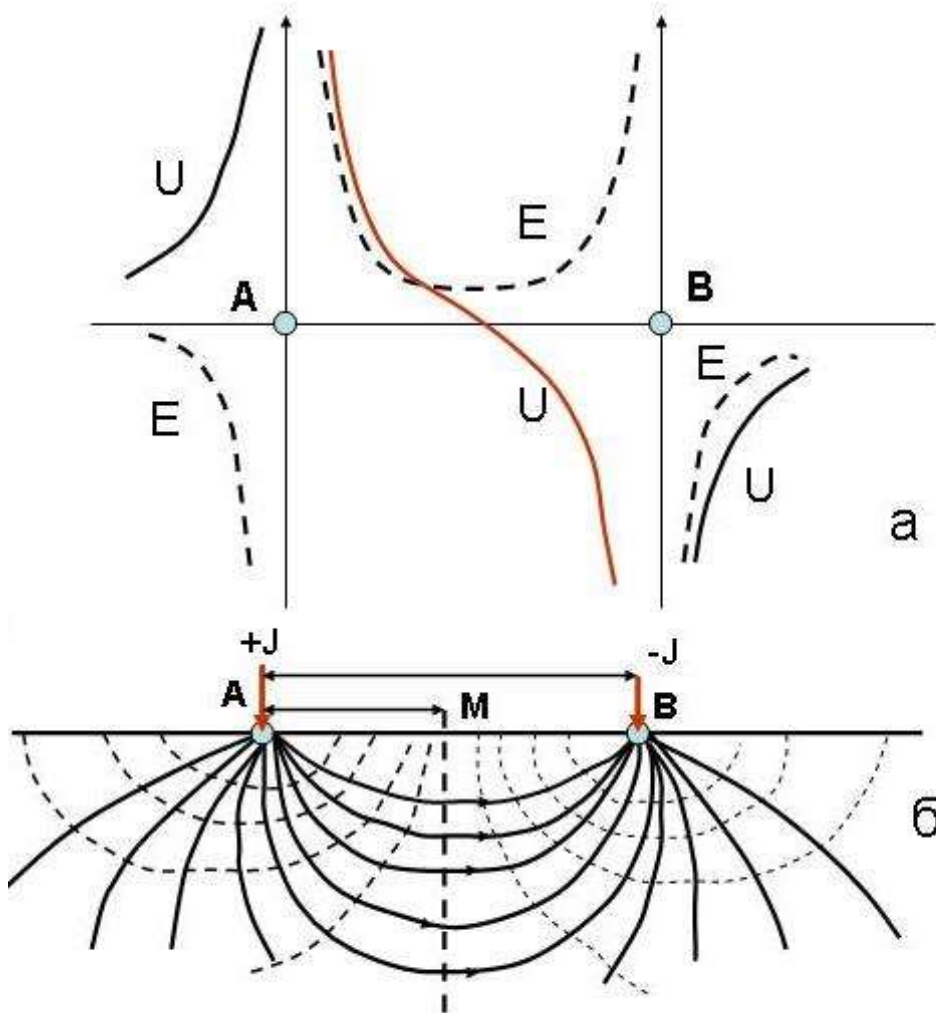
Тогда:

$$\Delta U_{MN} = \frac{\rho \cdot J}{K}$$

Откуда

$$\rho = K \frac{\Delta U_{MN}}{J}$$

Принцип измерения удельного сопротивления среды



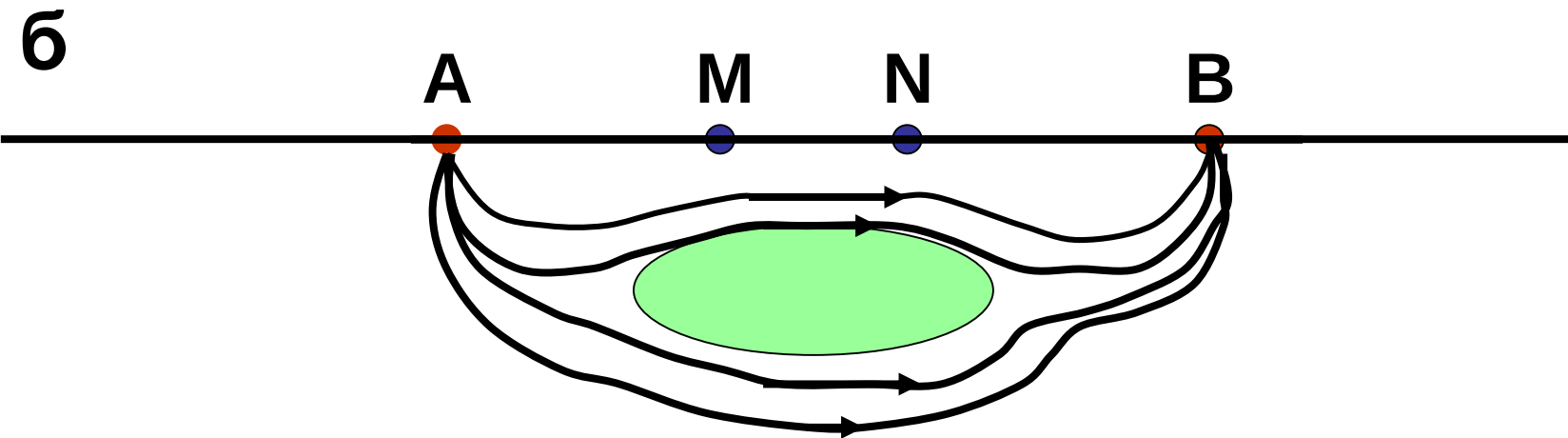
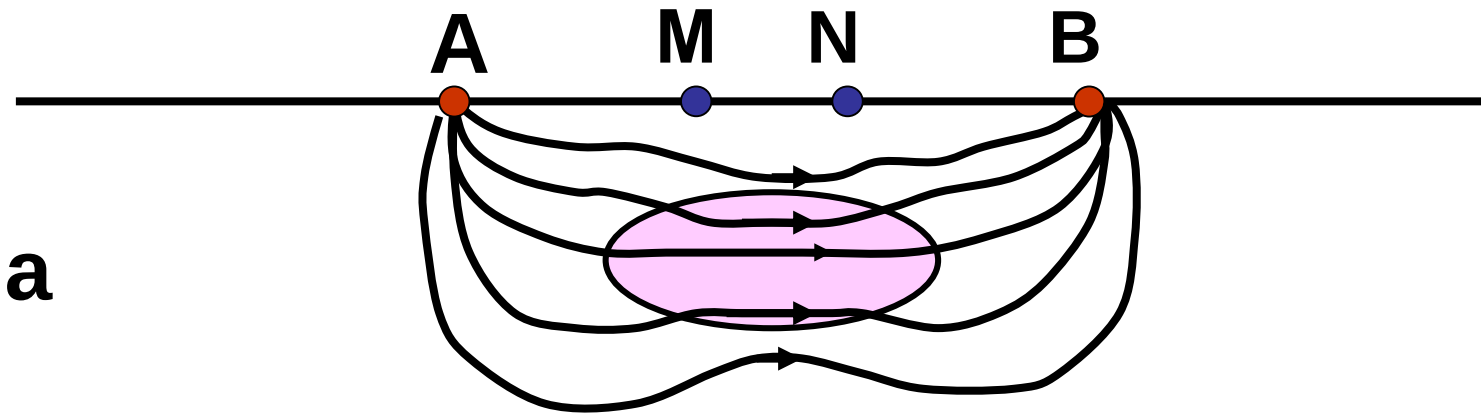
$$\rho = K \cdot \frac{\Delta U}{J}$$

При малых расстояниях MN по сравнению с AB $E \approx \Delta U$



Электроды:

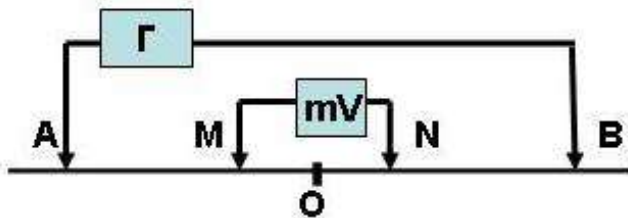
AB – питающие (токовые)
MN – приемные (измерительные)



1. Электропрофилирование (ЭП)

Основная особенность – расстояния между электродами при измерениях на каждой точке не меняются, чем обеспечивается примерно постоянная глубина исследования на всей площади. Взаимное расположение питающих и приемных электродов называется установкой.

1. Четырехэлектродная симметричная

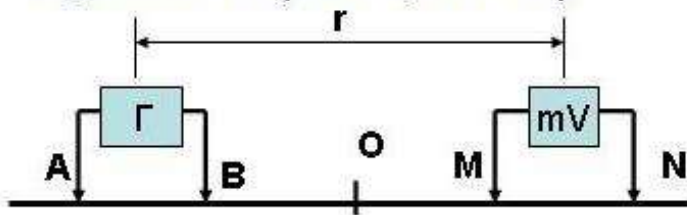


$$AO = OB, MO = ON$$

$$\rho_R = K \cdot \frac{\Delta U}{J}$$

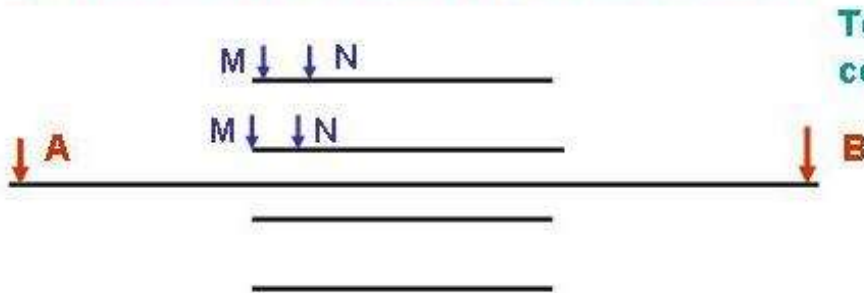
$$K = \frac{\pi \cdot AM \cdot AN}{MN}$$

2. Дипольная (AB < r, MN < r)



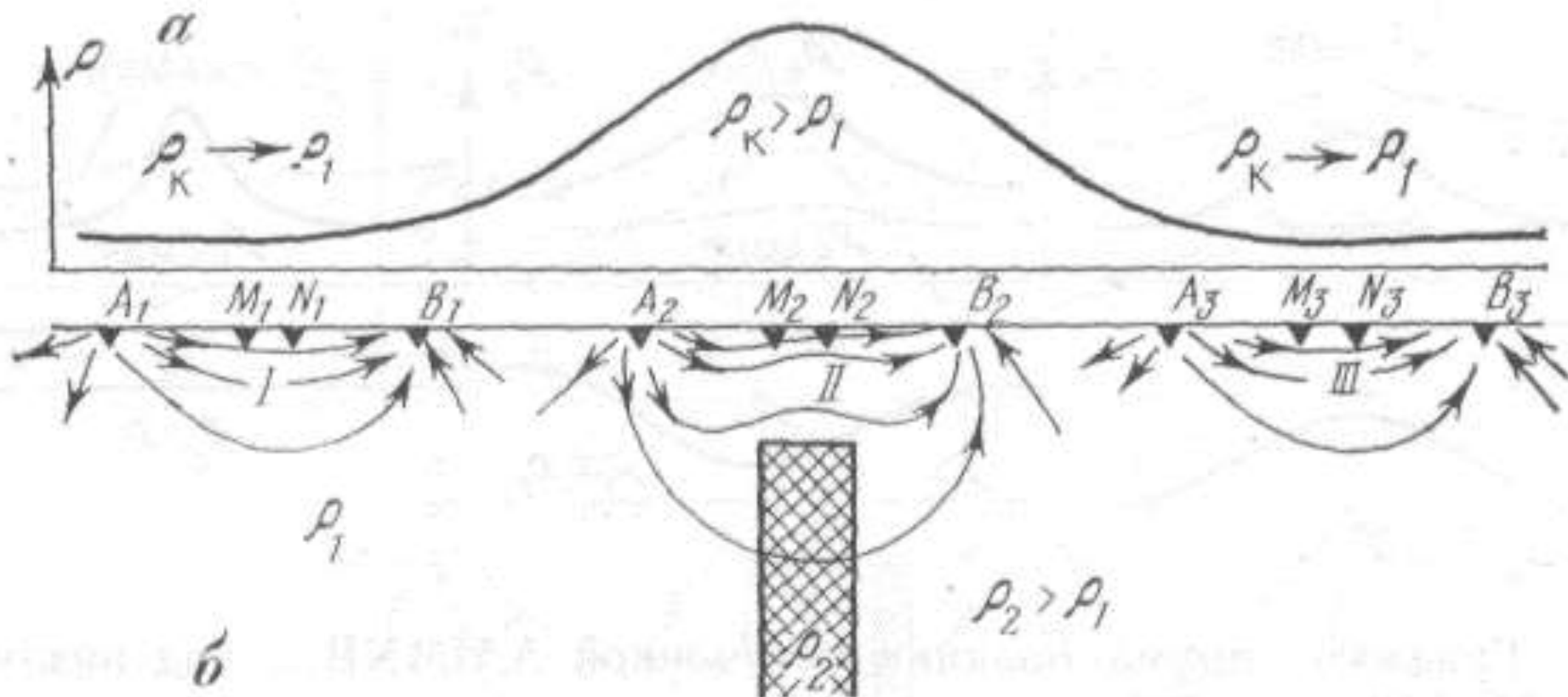
O – точка относимости
(центр установки)

3. Установка срединного градиента (ЭП СГ)

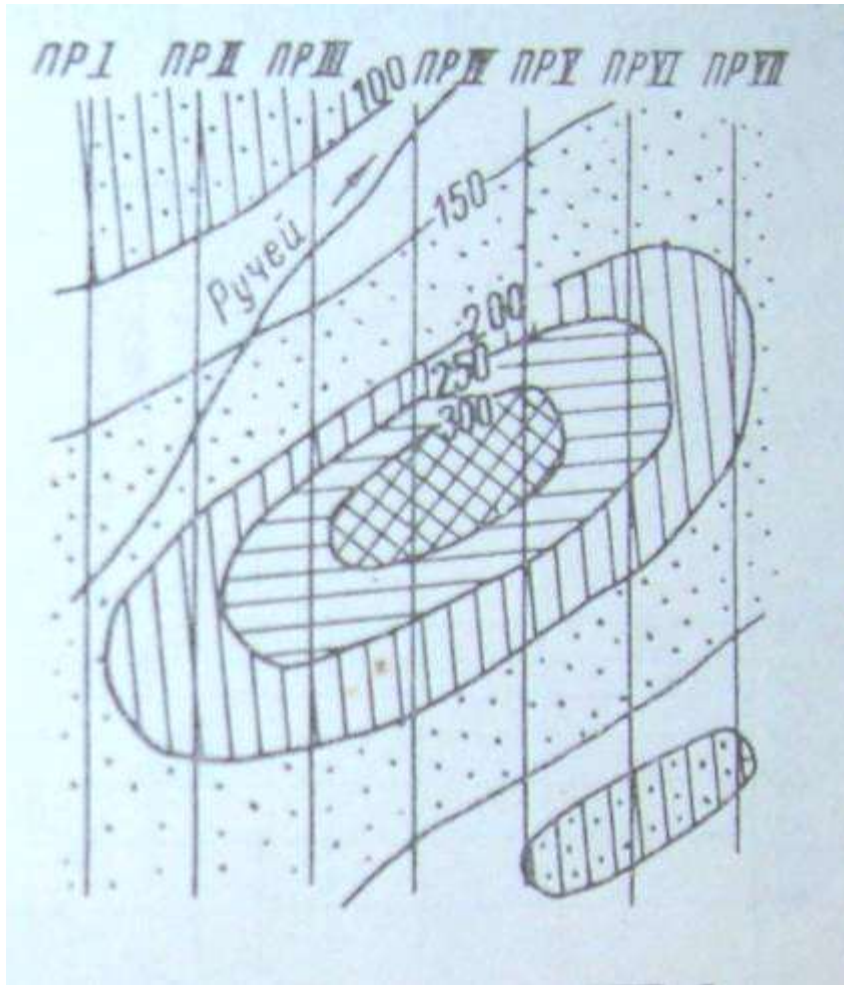


Точка относимости –
середина MN

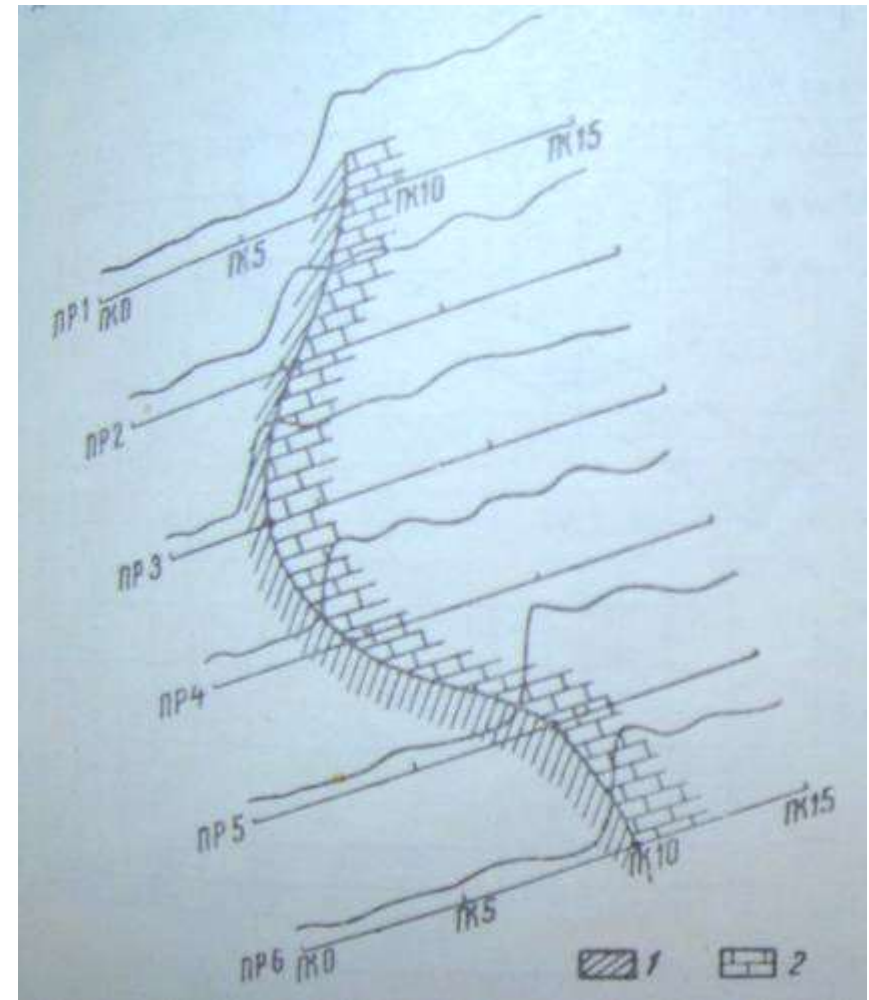
График ρ_K симметричного ЭП
над высокоомным пластом



Карта изоом над антиклинальным поднятием с высокоомными породами в ядре. АВ = 200 м, MN = 40 м.



Карта графиков ρ_k над контактом известняков и сланцев. АВ = 200 м, MN = 40 м.



Метод ЭП предназначен для картирования субвертикально ориентированных объектов (дайки, тектонические нарушения, контакты пород разного состава).

Условные обозначения

МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

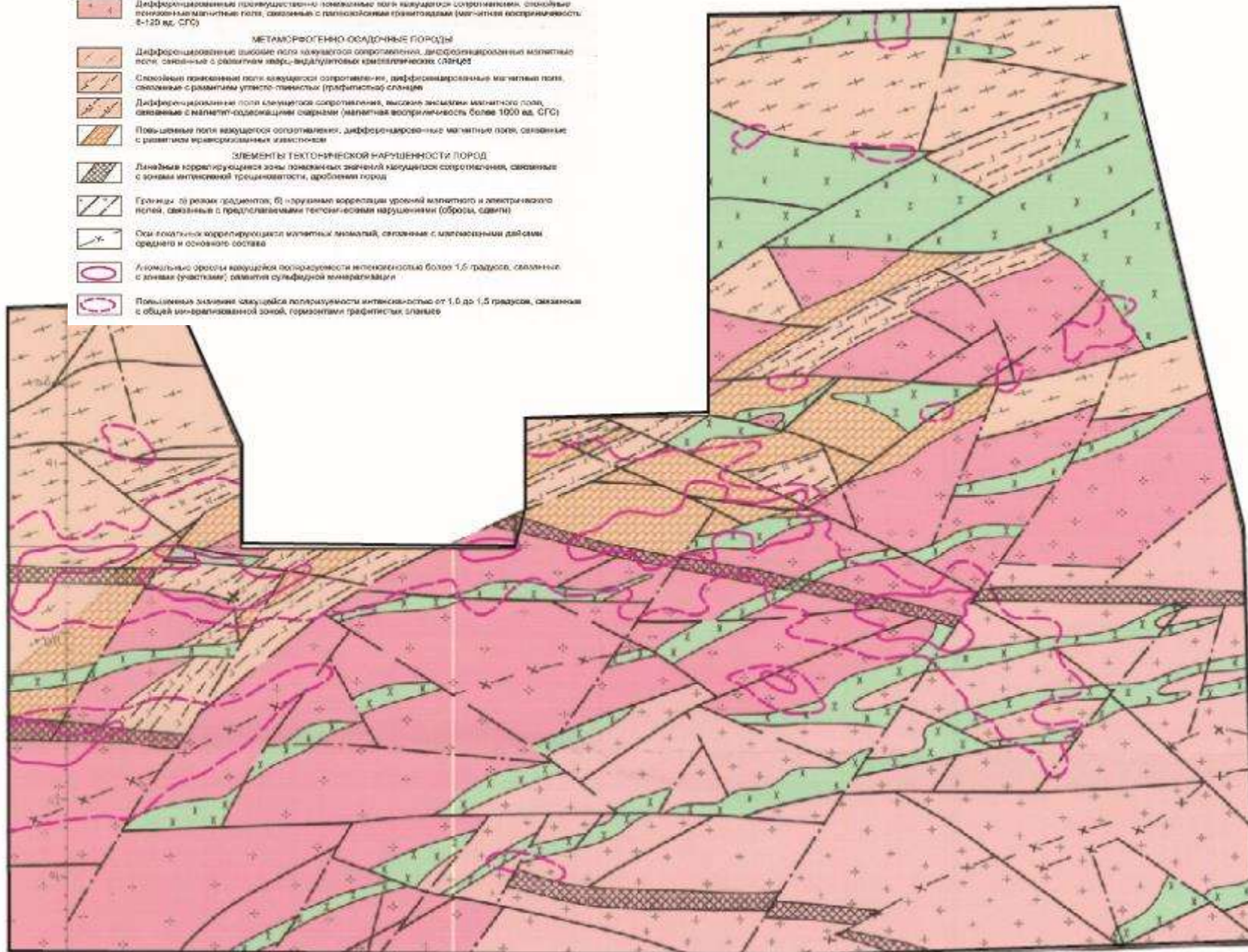
-  Лавовые коррелирующие аномалии магнитного поля, связанные с толщами и дайками (сортами диек) диоритов, микродиоритов, дисперсных порфиритов (магнитная восприимчивость - 81-1200 ед. СГС)
-  Дифференцированные полевые породы (кварцевые порфириты, анориты, полевые породы магнитного поля, связанные с массивными гранитоидами (магнитная восприимчивость 8-12 ед. СГС)
-  Дифференцированные полевые породы (кварцевые порфириты, анориты, полевые породы магнитного поля, связанные с массивными гранитоидами (магнитная восприимчивость 8-12 ед. СГС)

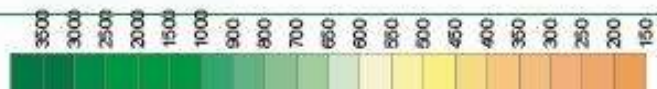
МЕТАМОРФОВЕНО-ОСАДНЫЕ ПОРОДЫ

-  Дифференцированные высокие породы кварцевых порфиритов, дифференцированные магнитные породы, связанные с развитыми кварц-видальтовыми кристаллическими сланцами
-  Сложные полевые породы кварцевых порфиритов, дифференцированные магнитные породы, связанные с развитыми углест-песчаными (графитовыми) сланцами
-  Дифференцированные высокие породы кварцевых порфиритов, высокие аномалии магнитного поля, связанные с магнитит-содержащими скарнами (магнитная восприимчивость более 1000 ед. СГС)
-  Повышенные породы кварцевых порфиритов, дифференцированные магнитные породы, связанные с развитыми кварцевыми кристаллическими сланцами

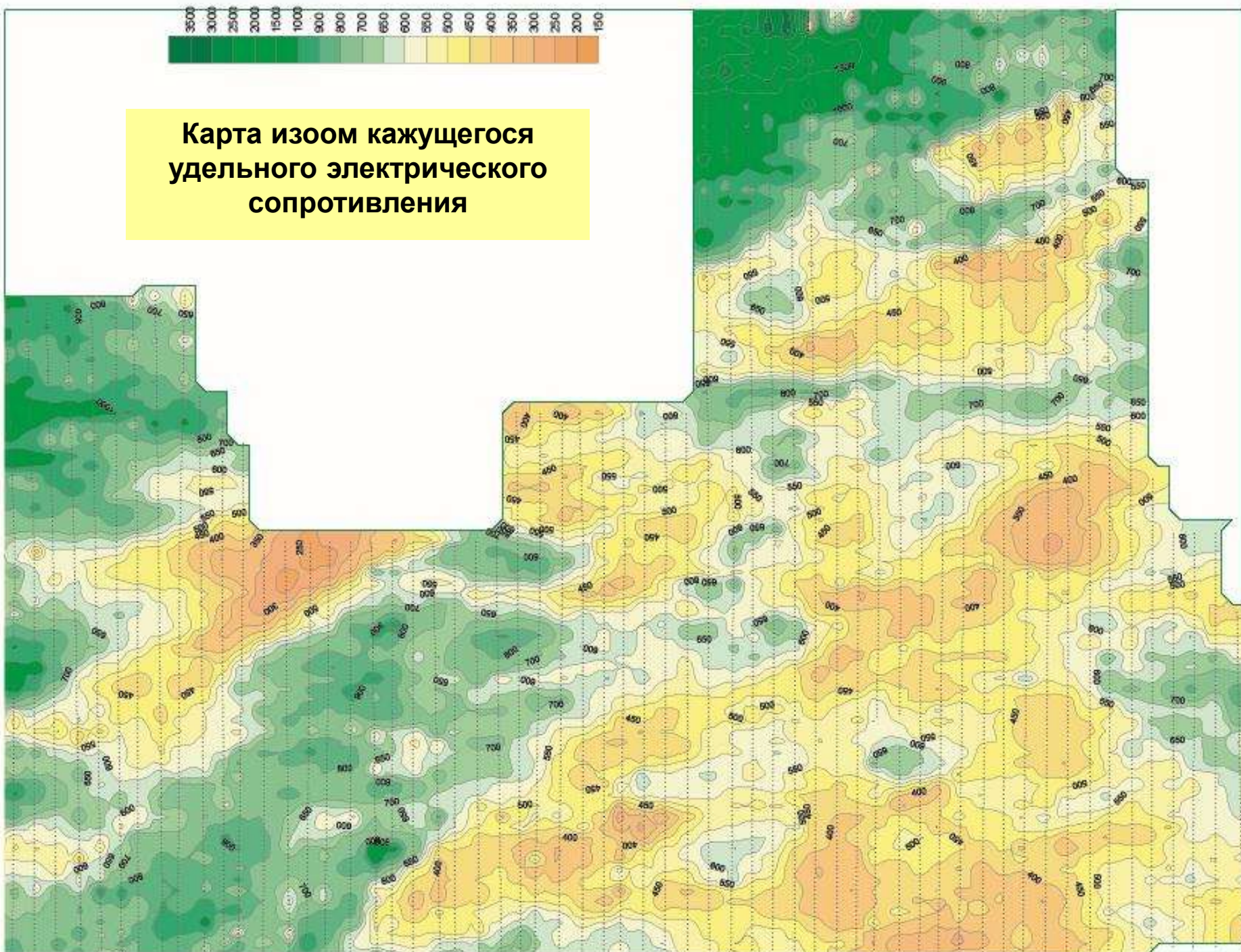
ЭЛЕМЕНТЫ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ НАРУШЕННОСТИ ПОРОД

-  Лавовые коррелирующие зоны полевых пород кварцевых порфиритов, связанные с зонами интенсивной трещиноватости, дробления пород
-  Границы: а) разлом, б) нарушение корреляции уровней магнитного и электрического полей, связанные с предполагаемыми тектоническими нарушениями (оборы, сдвиги)
-  Оси лавовых коррелирующих магнитных аномалий, связанные с магнитными дайками, средним и основным составом
-  Аномально высокие значения полярности интенсивности более 1,5 градусов, связанные с зонами (участками) развития сульфидной минерализации
-  Повышенные значения, связанные полярности интенсивности от 1,0 до 1,5 градусов, связанные с общей минерализованной зоной, горизонтальной графитизацией сланцев





**Карта изоом кажущегося
удельного электрического
сопротивления**

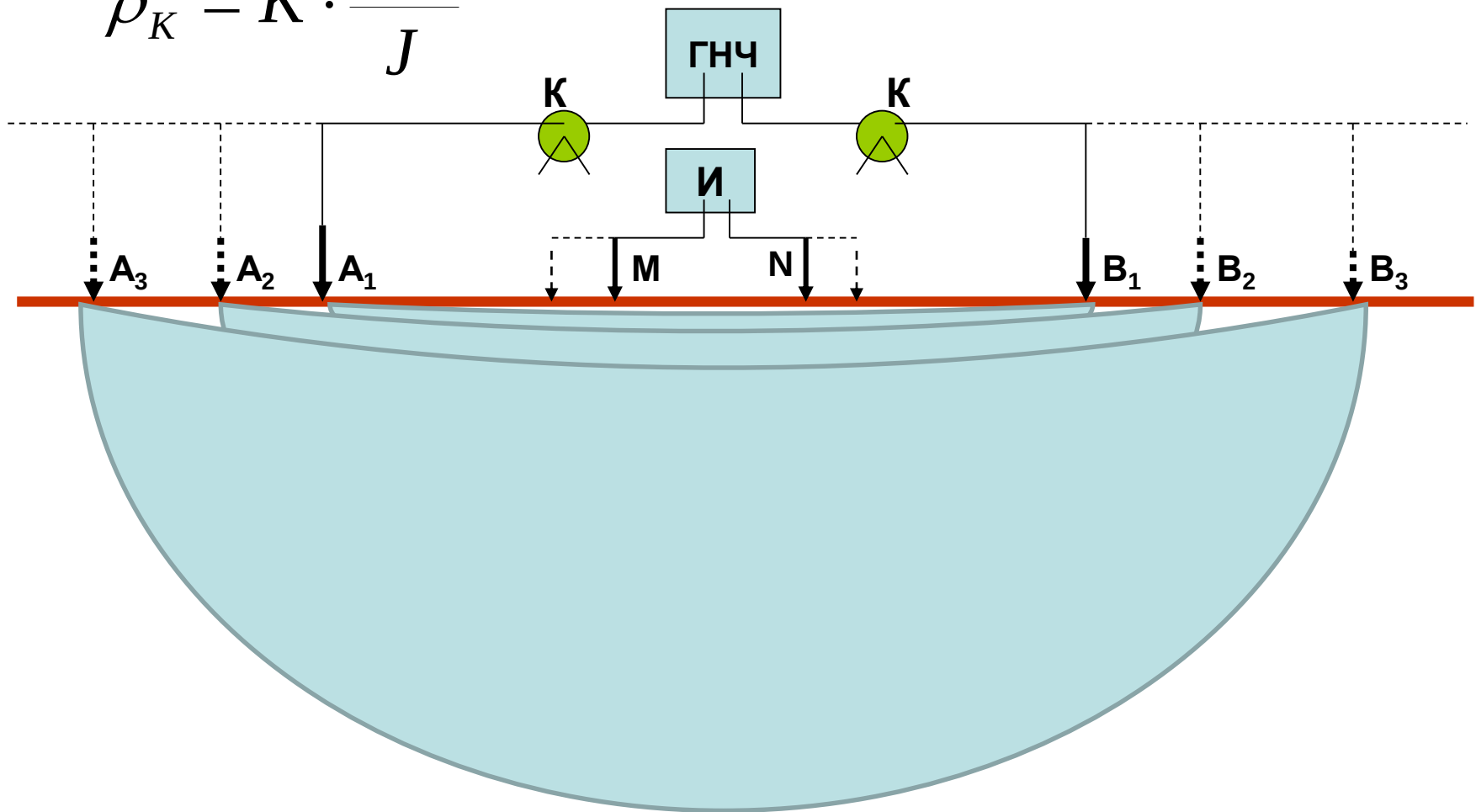


Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) (геометрическое зондирование)

Е Г

$$\rho_K = K \cdot \frac{\Delta U}{J}$$

$f = 4.88 \text{ Гц}$



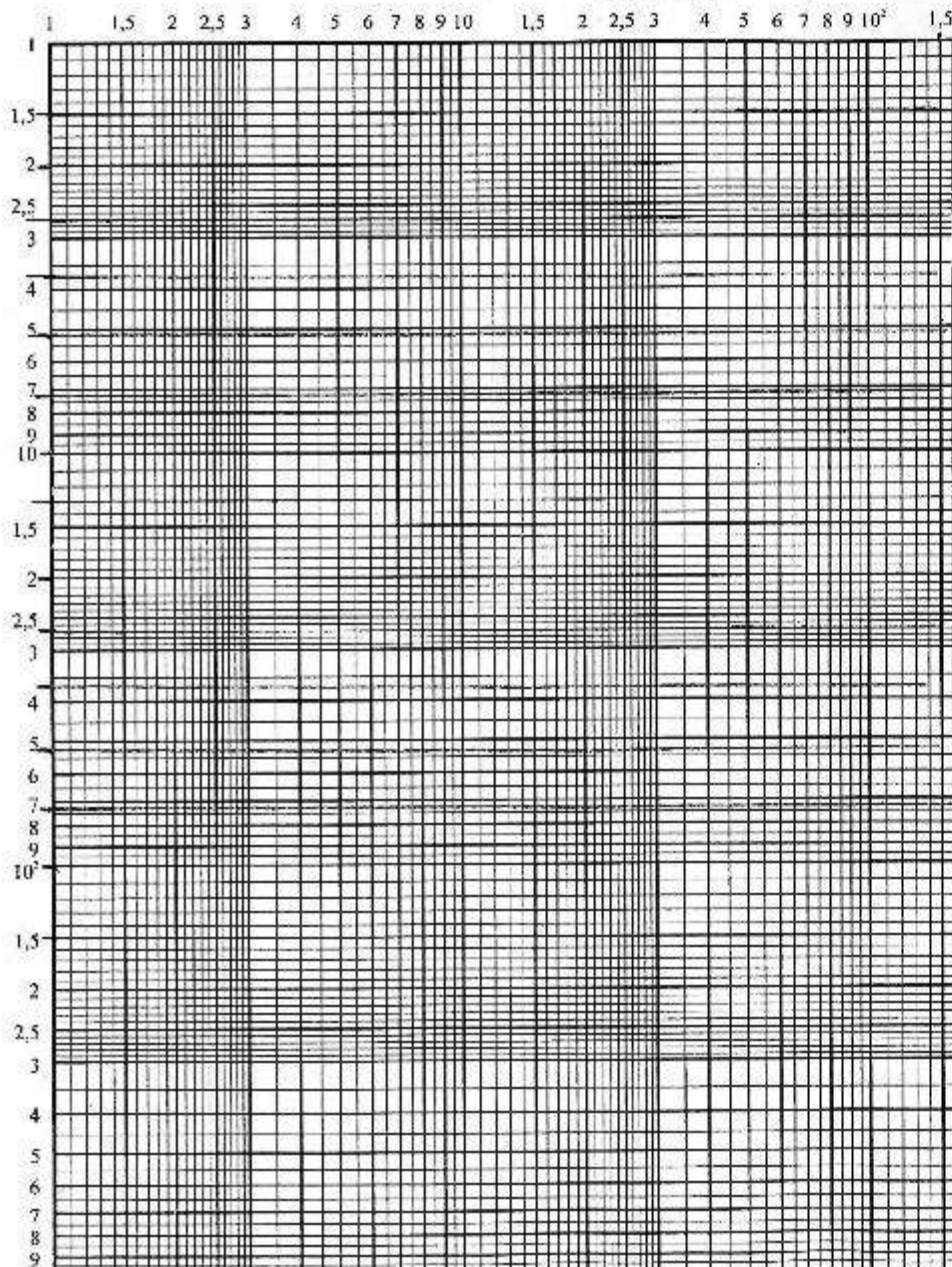
Работы методом ВЭЗ



Электротомография



BЭЗ №



B33 M

Дата _____

Operator _____

Аппаратура _____

Погода _____

[illegible]

Скв. 124 (Аз = 120)

Дата: 12.10.11

Оператор: Беспалов

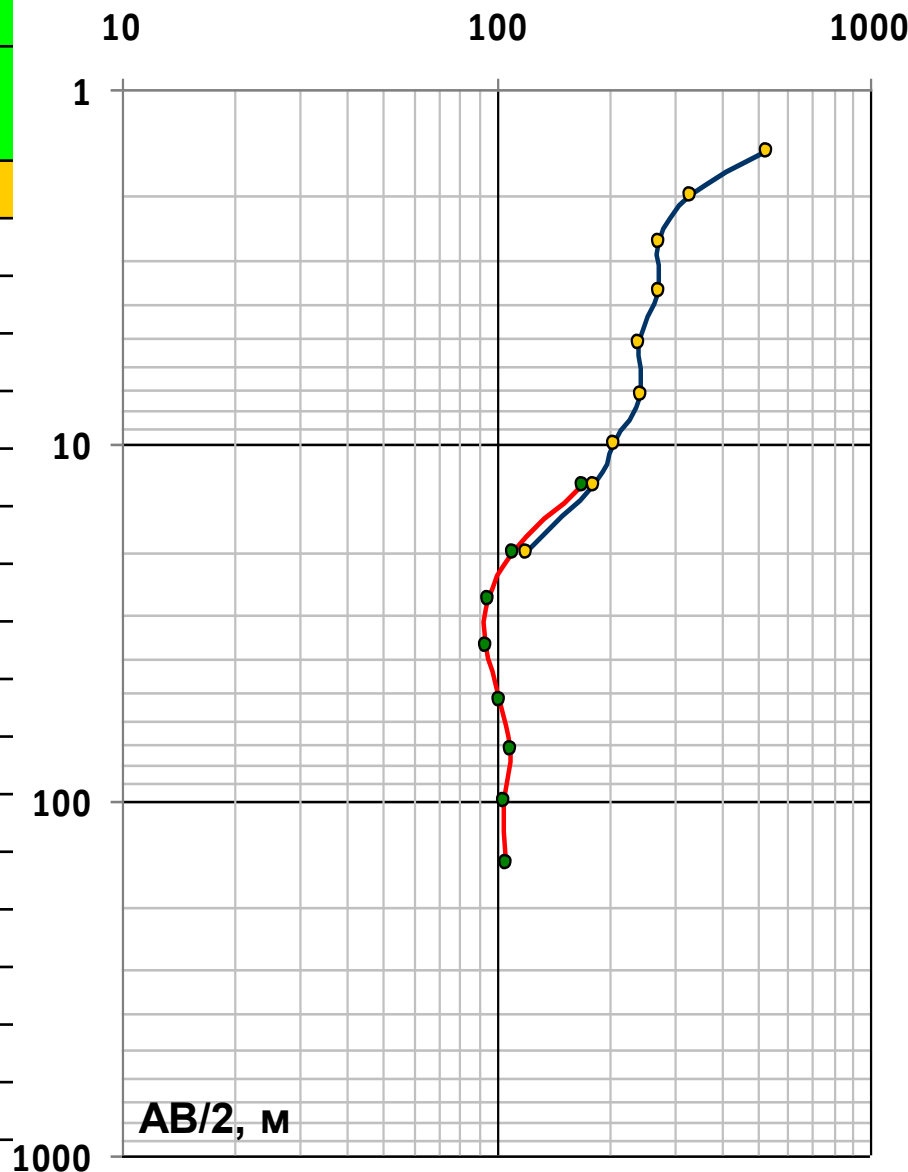
Аппаратура:
ЭРГ-5

Погода: пасмурно

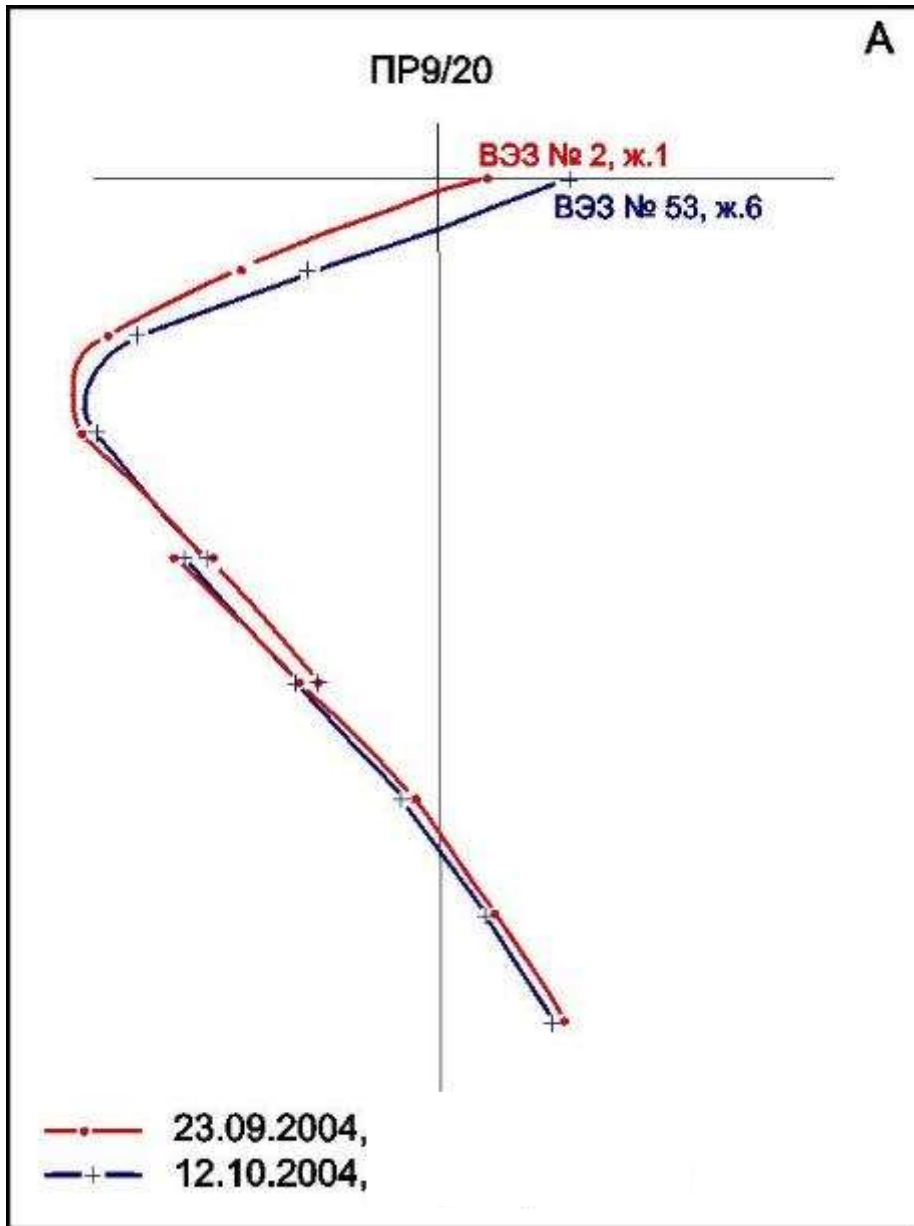
AB/2, м	MN/2, м	K	Uк	I, мА	R, Ом*м
1,5	0,5	6,28	240,0	2,9	528,84
2	0,5	11,78	79,0	2,8	332,36
2,7	0,5	22,11	34,0	2,8	273,36
3,7	0,5	42,2	18,0	2,8	271,29
5,2	0,5	84,12	8,0	2,8	240,34
7,2	0,5	162	4,2	2,8	243,00
10	0,5	313,2	1,85	2,8	206,94
13	0,5	529,9	0,97	2,8	183,57
13	5	45,22	10,5	2,8	169,58
20	5	117,8	2,65	2,8	111,49
20	0,5	1255	0,27	2,8	121,02
27	5	221,1	1,20	2,8	94,76
37	5	422	0,62	2,8	93,44
52	5	841,2	0,34	2,8	102,15
72	5	1620	0,19	2,8	109,93
100	5	3132	0,20	6,0	104,40
150	5	7057	0,140	9,25	106,81

ЕГ

R, Ом*м



Реальная кривая ВЭЗ



Типы кривых ВЭЗ

Двухслойные

Трехслойные

Н

К

Q

А

Многослойные

Интерпретация данных ВЭЗ

Е Г

Качественная

Количественная

На этапе качественной интерпретации строятся:

1. Карты типов кривых ВЭЗ

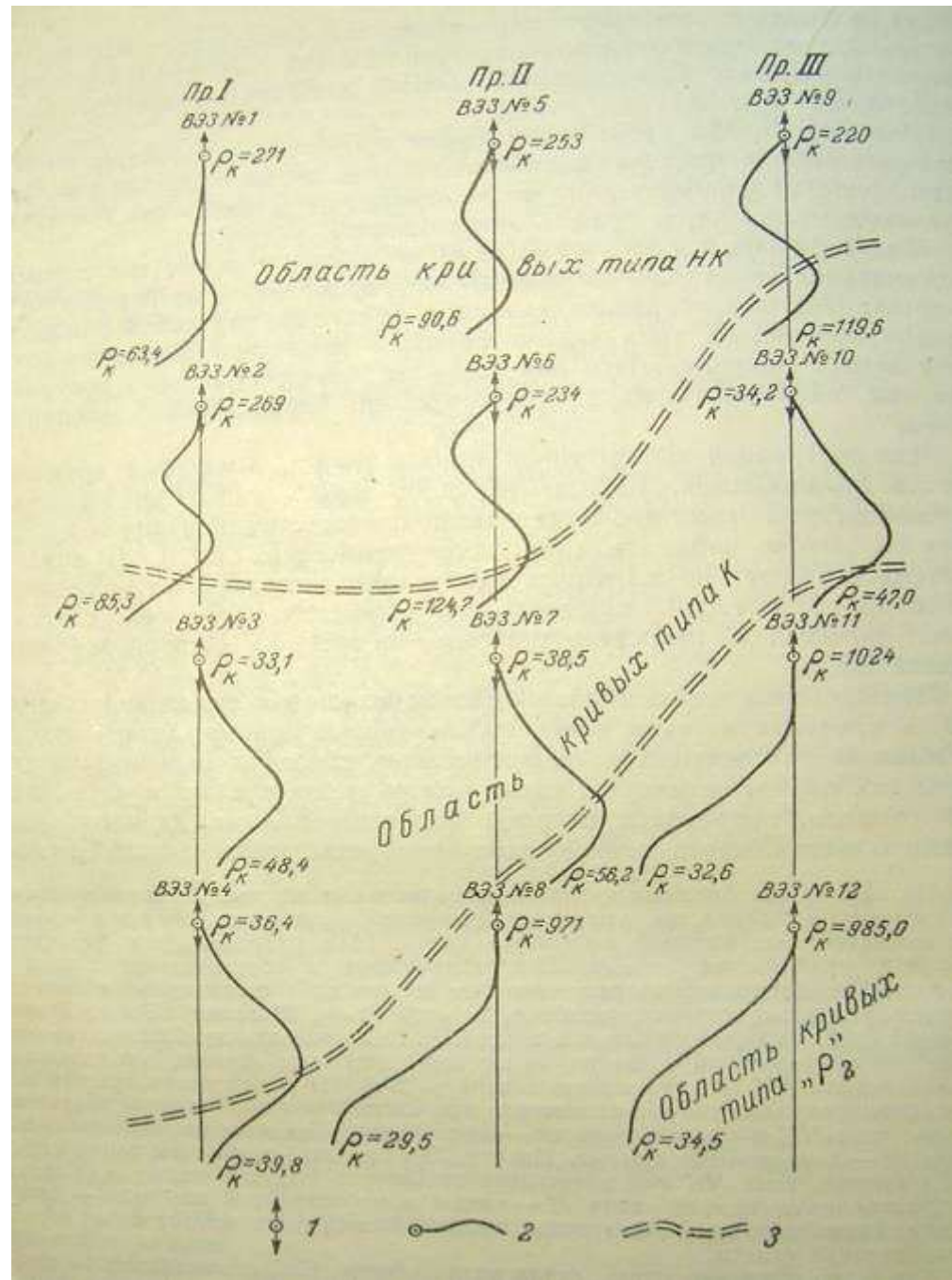
2. Разрезы изоом

3. Карты изоом

4. Карты продольной проводимости (S) разреза

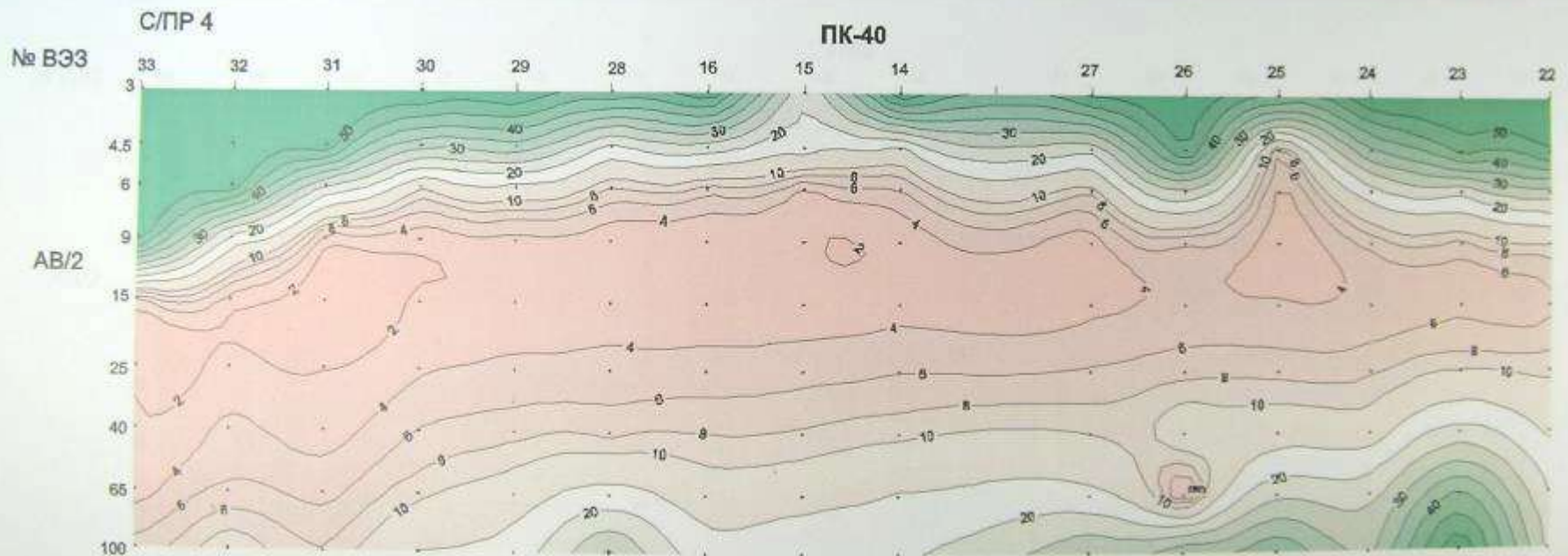
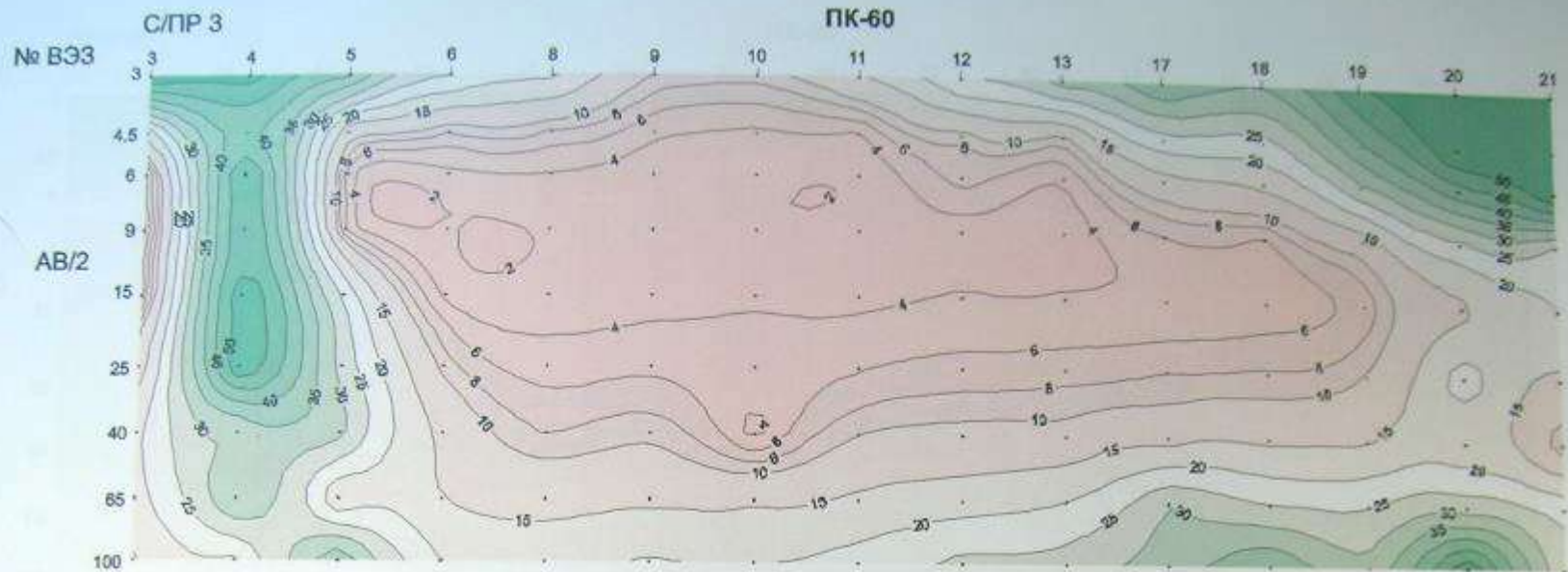
Карта типов кривых ВЭЗ

Е Г

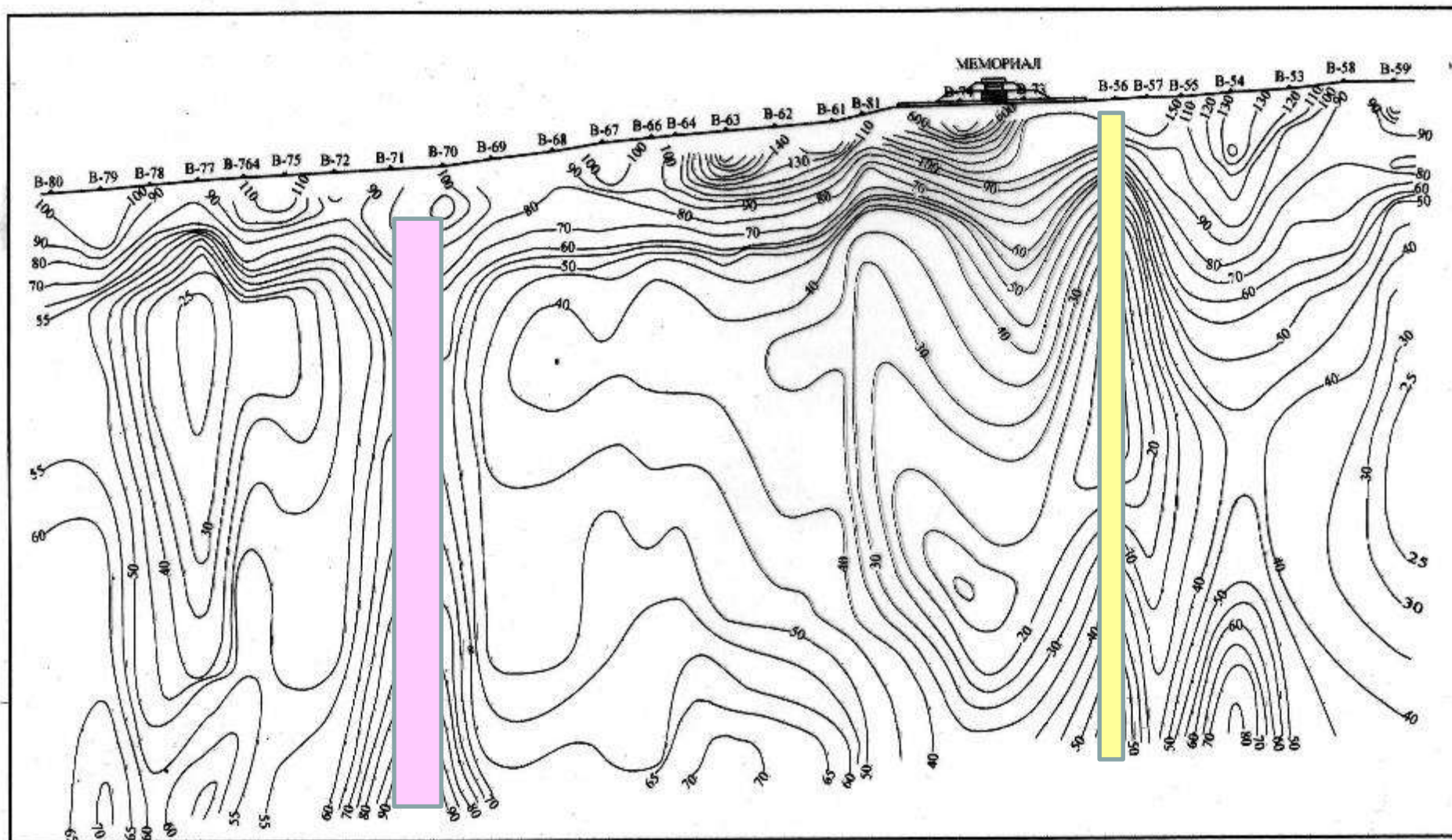


Разрезы изом по данным ВЭЗ

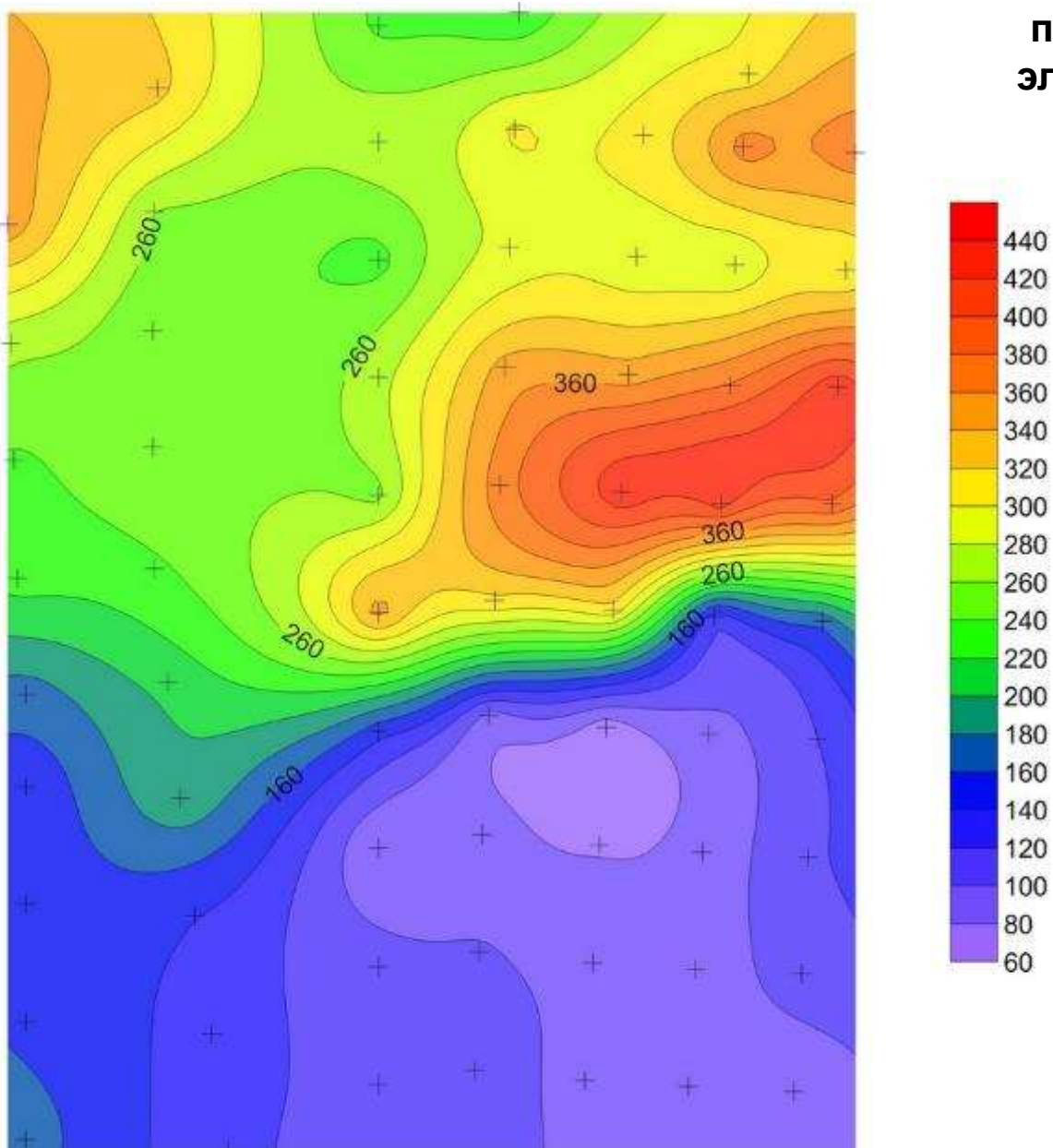
Е Г



Разрез изоом по правому берегу р. Томи (Лагерный сад)



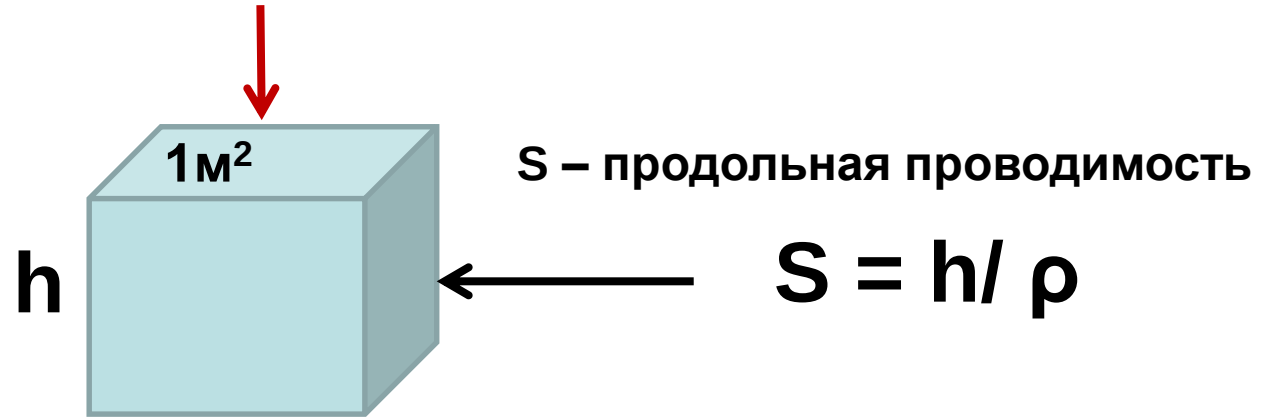
Карта изоом для
полуразноса питающих
электродов $AB/2 = 250$ м.



Продольная проводимость и поперечное сопротивление

T – поперечное сопротивление

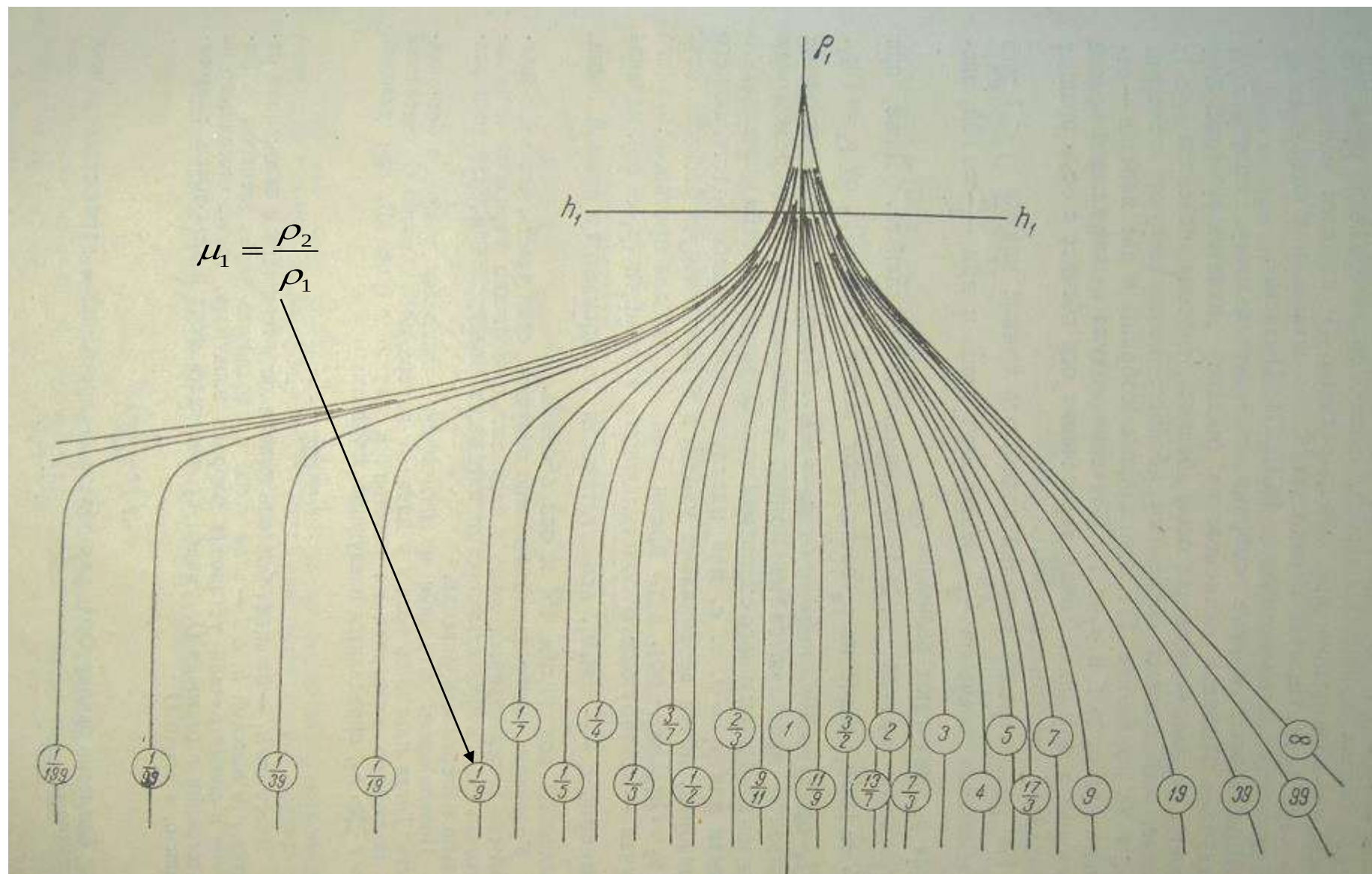
$$T = h * \rho$$



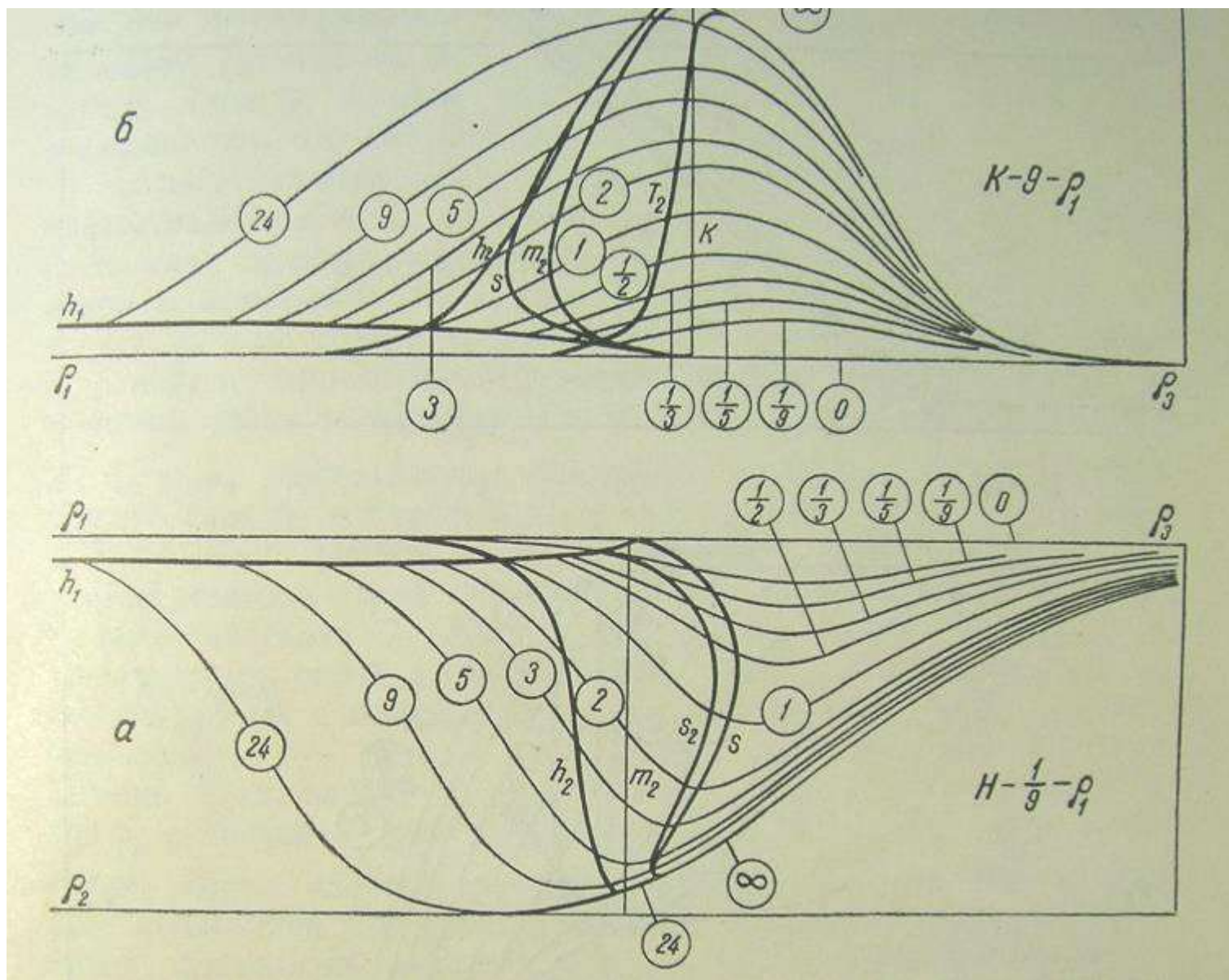
$$h^2 = S * T$$

$$\rho^2 = T / S$$

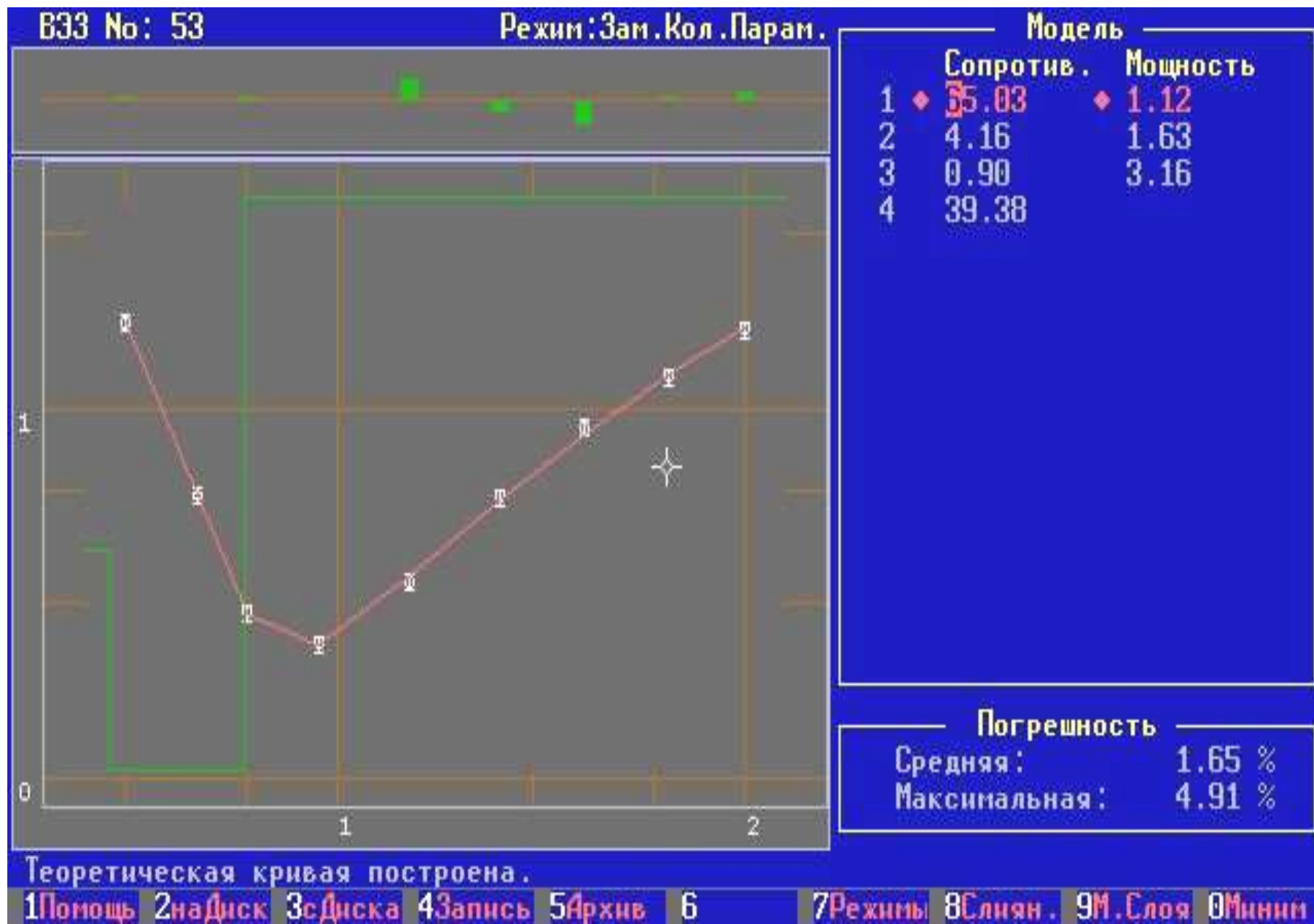
Вид двухслойной палетки для интерпретации кривых ВЭЗ



Вид трехслойных палеток для интерпретации кривых ВЭЗ типов Н и К



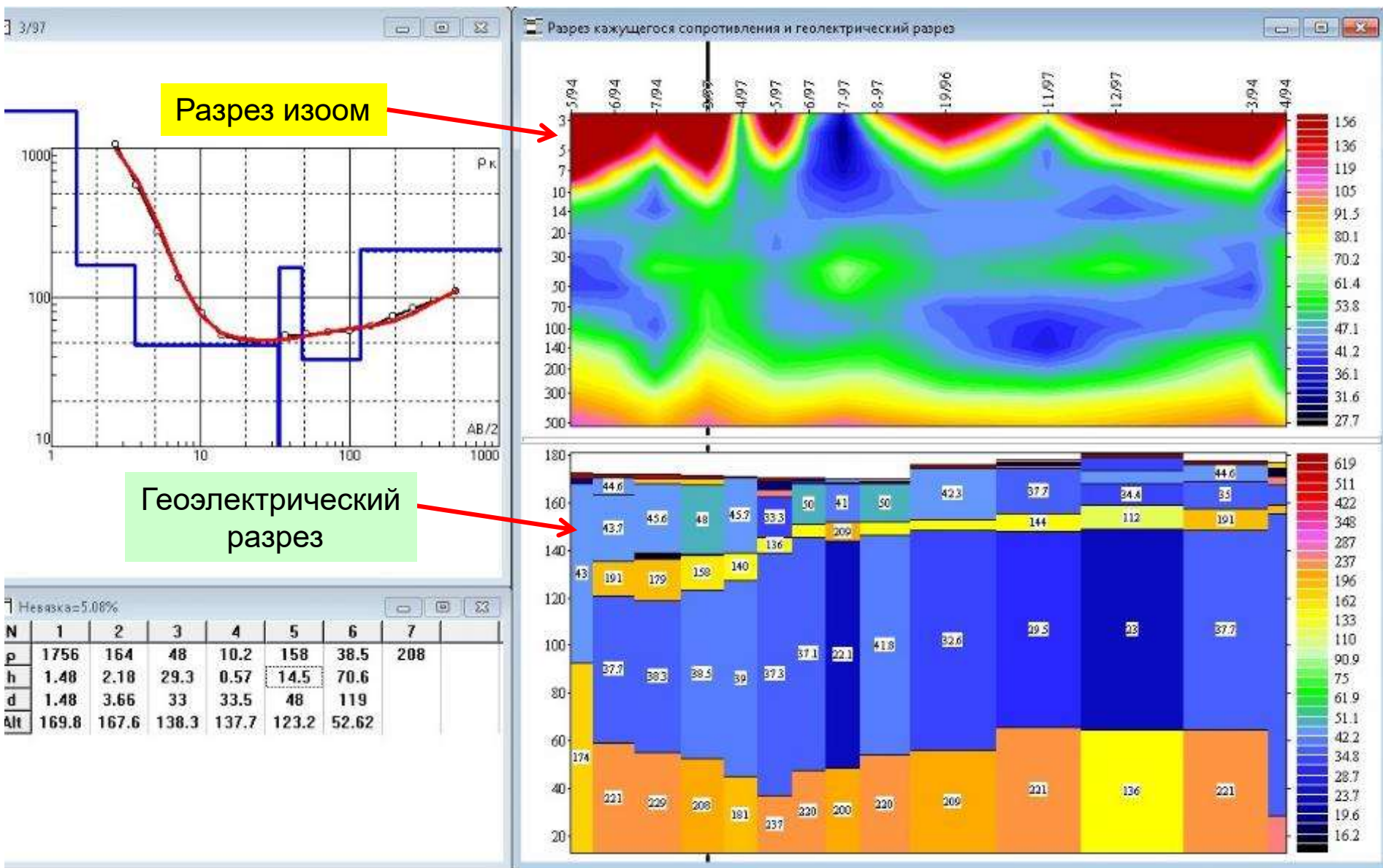
Результаты интерпретации кривой ВЭЗ методом подбора по программе SONET (трехслойная кривая)



Результаты интерпретации кривой ВЭЗ методом подбора по программе SONET (четырёхслойная кривая)



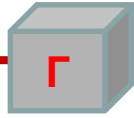
Количественная интерпретация данных ВЭЗ



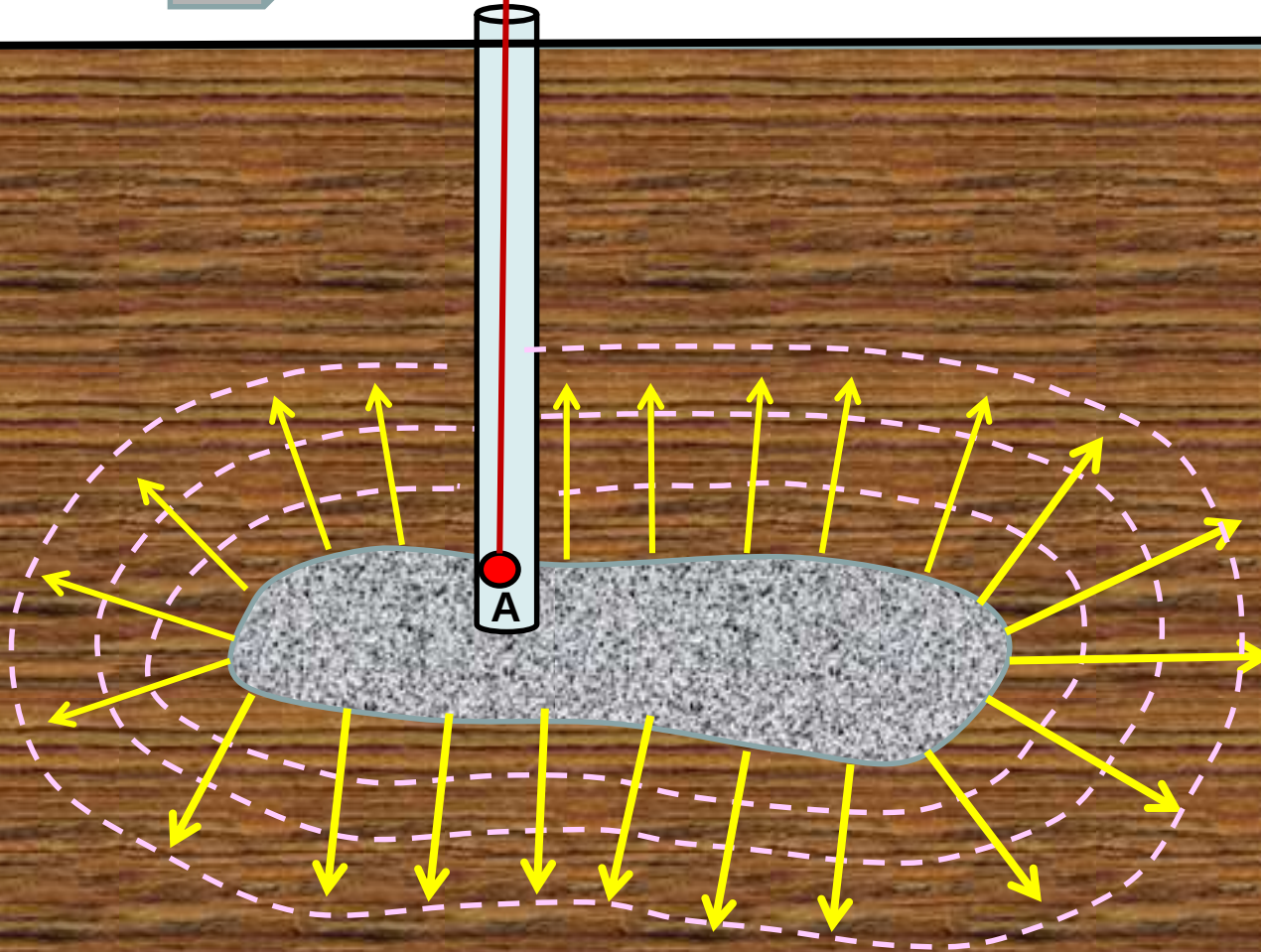
Метод заряженного тела (заряда) рудный вариант

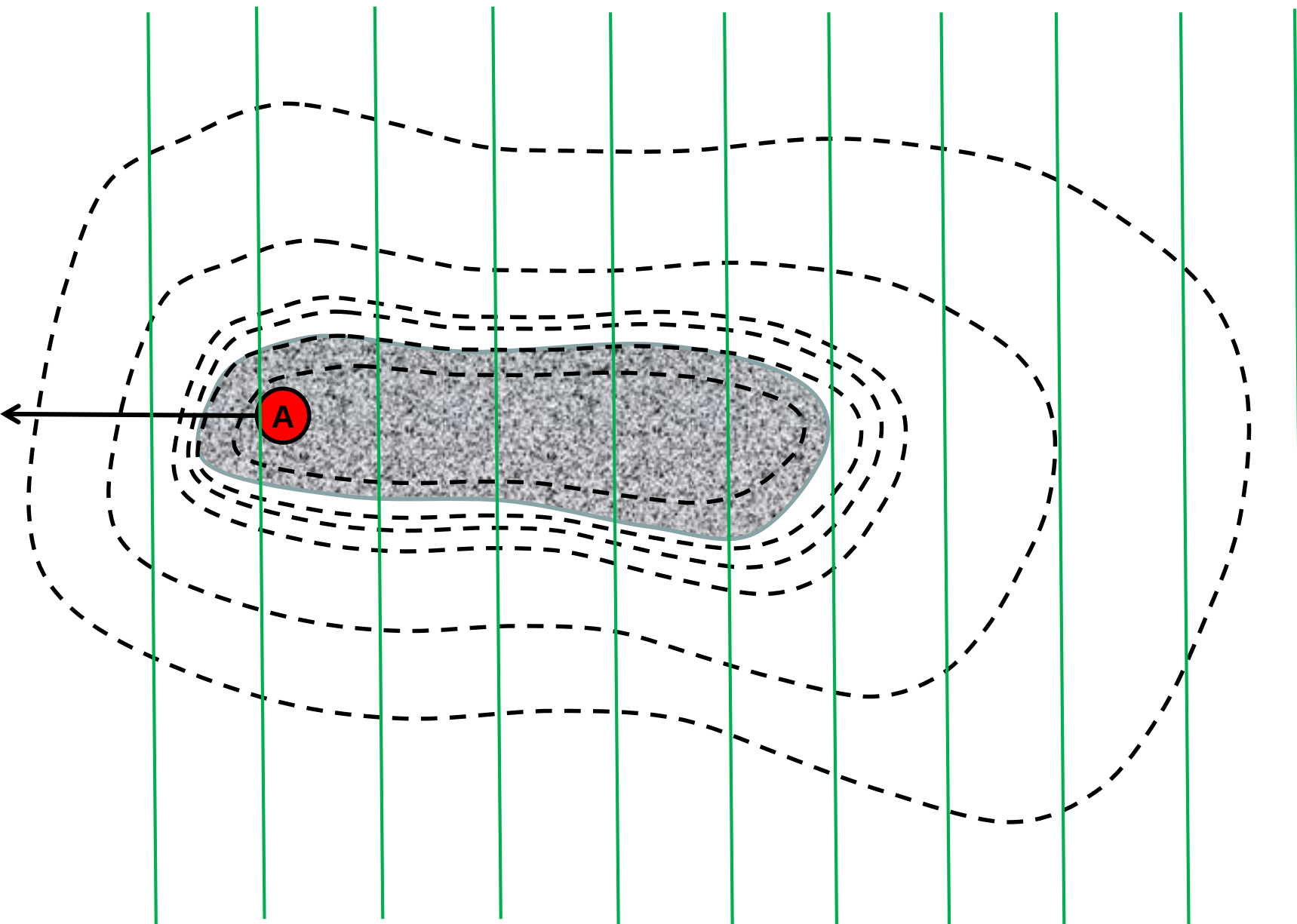


$BO \geq 10 h$



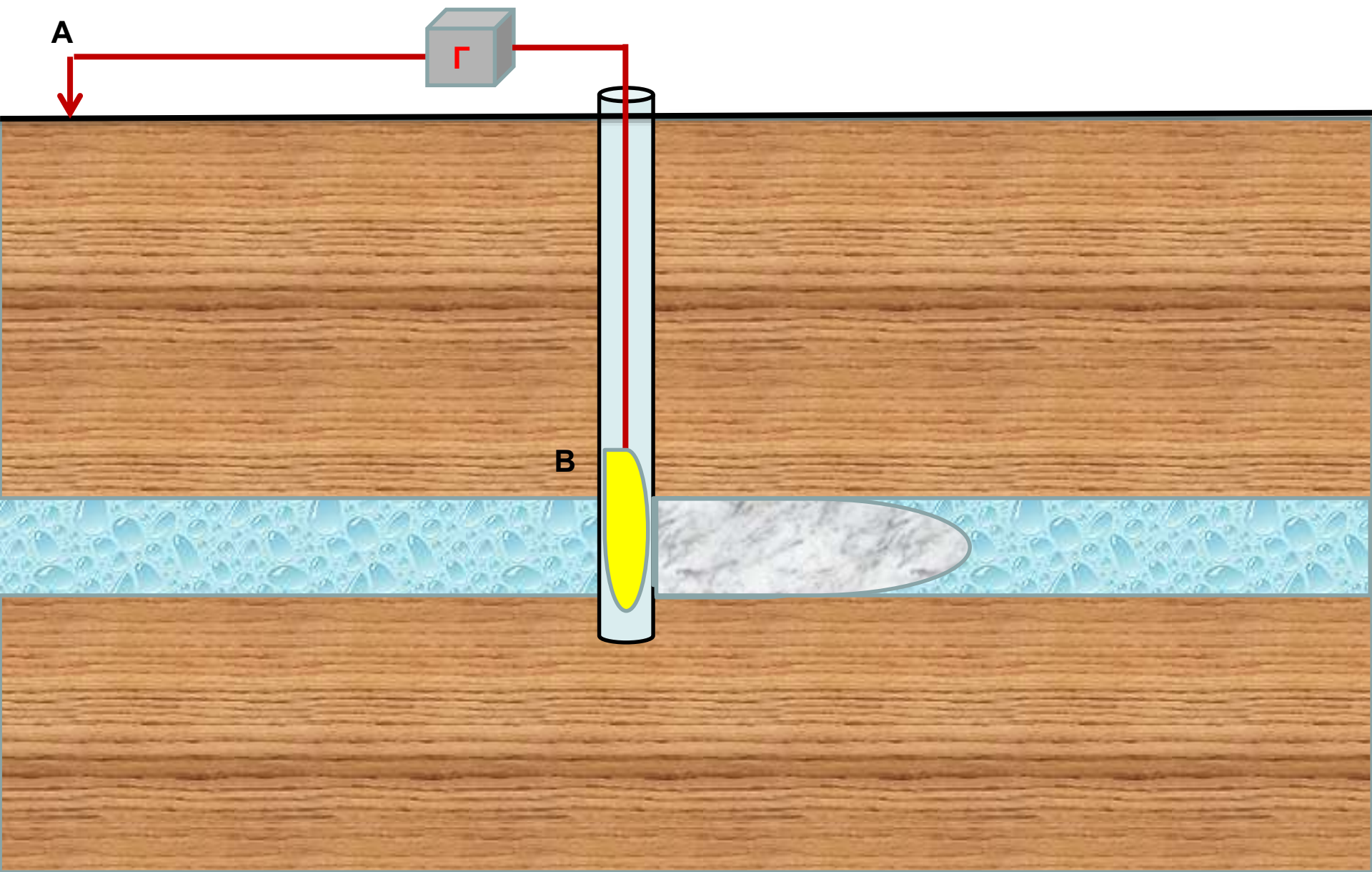
0



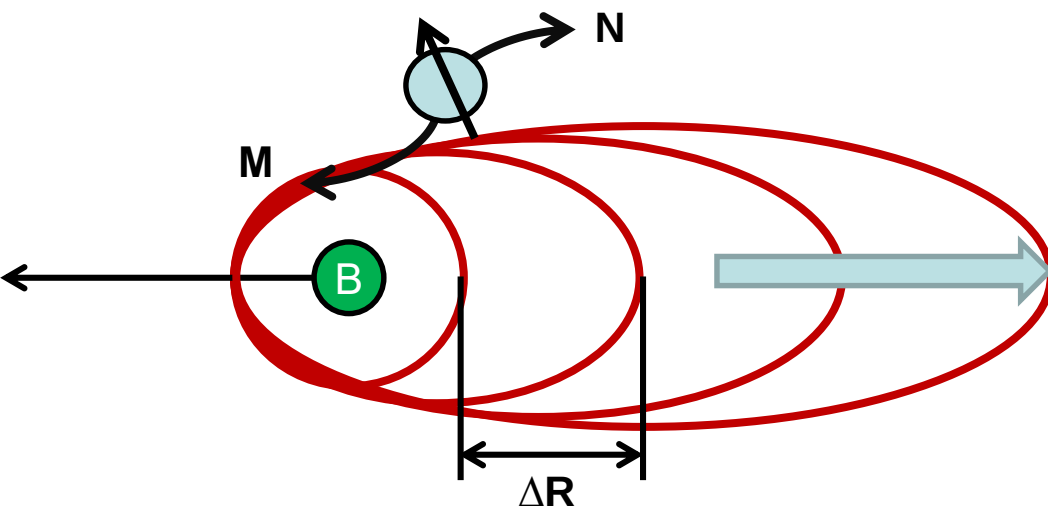


Гидрогеологический вариант метода заряда (определение направления и скорости движения потока подземных вод)

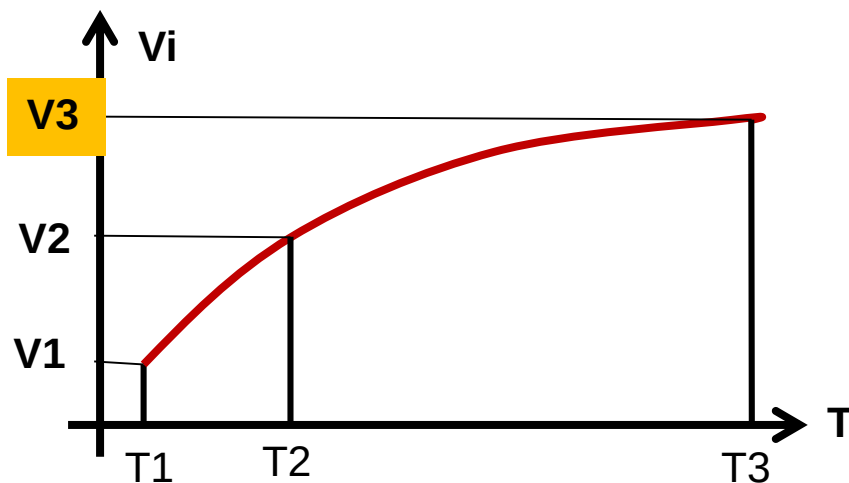
ЕГ



Определение направления и скорости движения подземных вод



$$V = \frac{\Delta R}{T_{i+1} - T_i}$$



МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Метод ЕП

Метод ВП

МЕТОД ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ (ЕП)

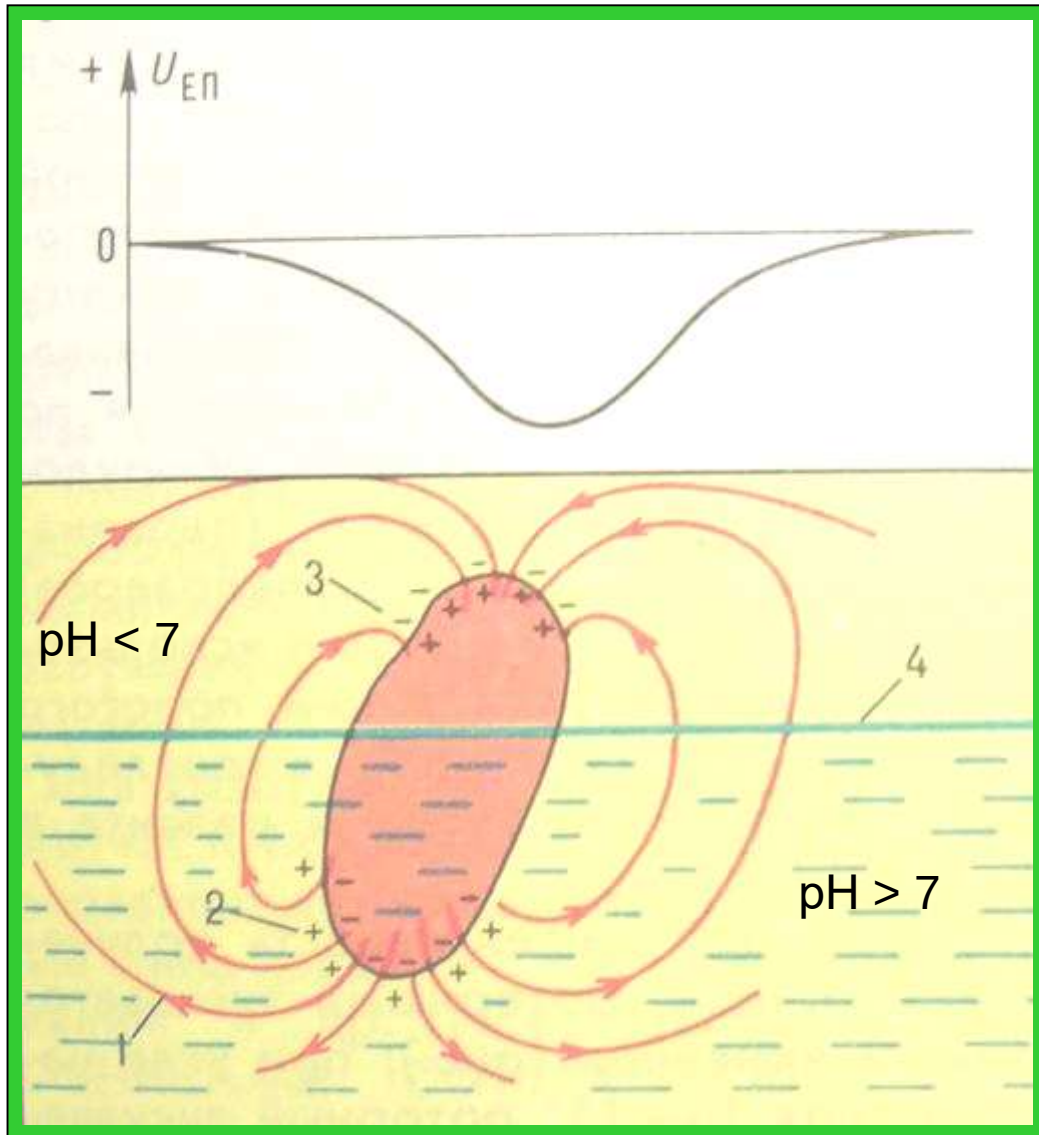
Типы естественных электрических потенциалов:

Окислительно-восстановительные.

Диффузионно-адсорбционные

Фильтрационные.

Окислительно-восстановительные потенциалы



Над проводниками (рудные тела) возникают естественные электрические поля, связанные с окислительно-восстановительными процессами.

- 1 – токовые линии,
- 2 – зона восстановления,
- 3 – зона окисления,
- 4 – уровень грунтовых вод.

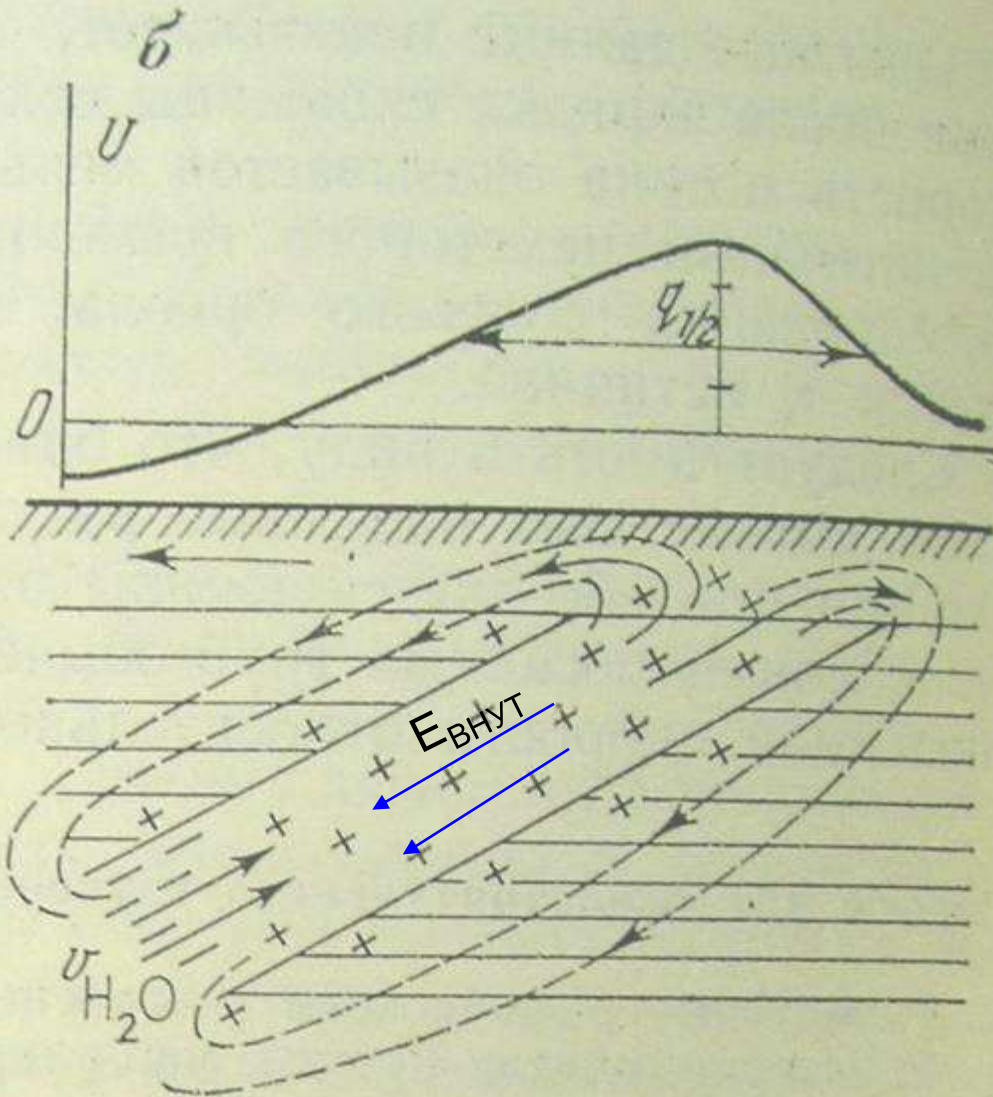
Фильтрационные поля

В областях распространения осадочных пород возникают естественные поля, связанные с фильтрационными процессами

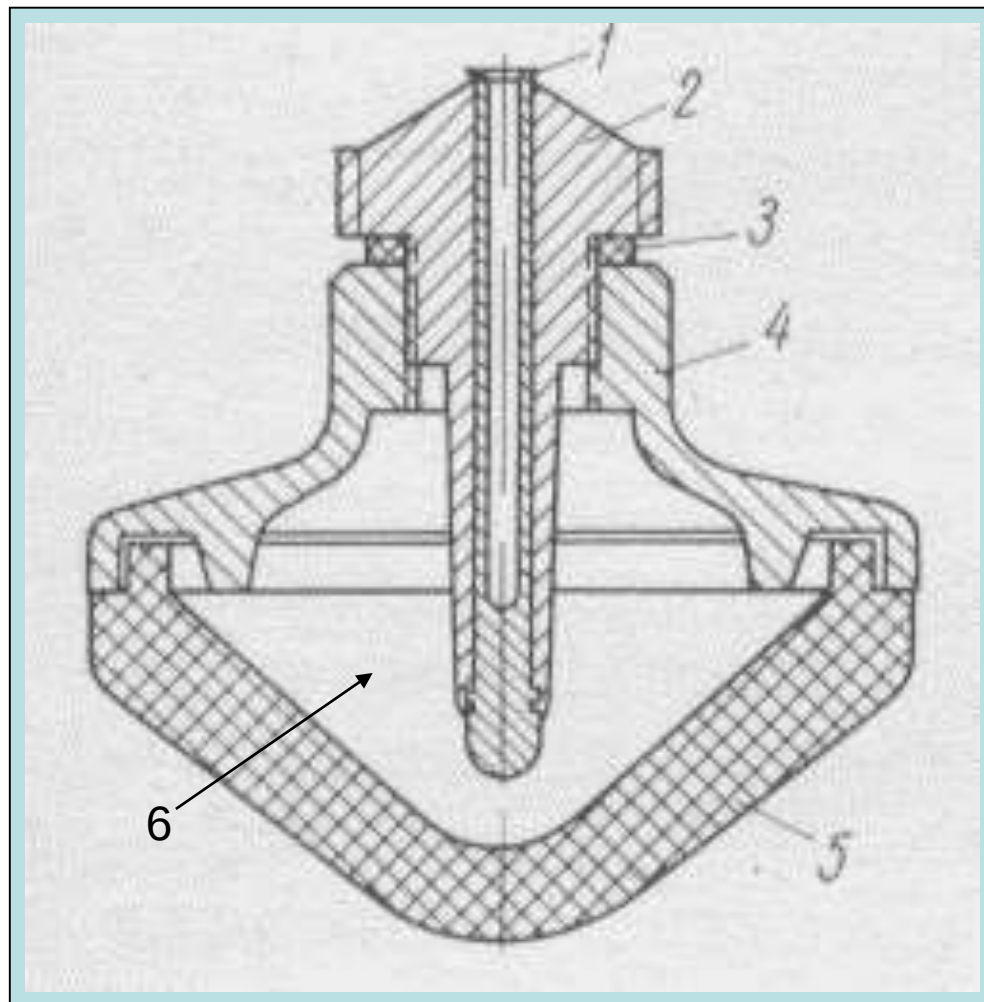
$$\vec{E} = \frac{2 \cdot \varepsilon \cdot \rho \cdot \zeta \cdot \vec{V}}{\pi \cdot r_0^2}$$

ε — диэлектрическая постоянная жидкости, заполняющей капилляр;
 ρ — удельное сопротивление этой жидкости; ζ — разность потенциалов между подвижной и неподвижной обкладками двойного слоя (дзета-потенциал);
 V — средняя скорость движения жидкости; r_0 — радиус неподвижной части двойного слоя.

При нисходящей фильтрации потенциал уменьшается, при восходящей — увеличивается, поэтому для фильтрационных потенциалов характерна обратная корреляция с рельефом



Устройство неполяризующегося электрода системы Полякова для измерений методом естественного электрического поля



Эти электроды применяются для уменьшения собственной ЭДС поляризации электродов.

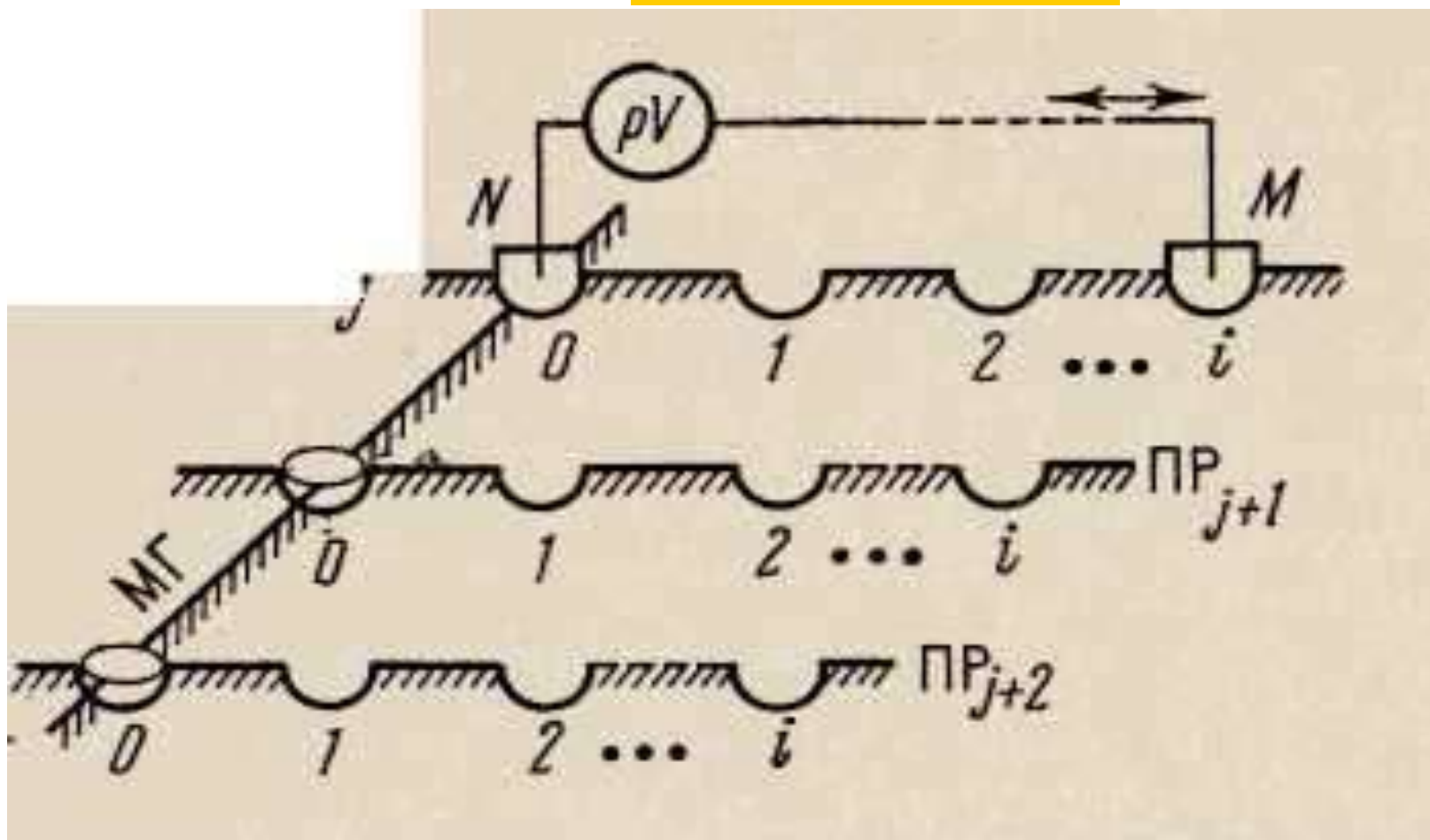
- 1 – медный электрод.
- 2 – изолирующая пробка.
- 3 – герметизирующая резиновая прокладка.
- 4 – пластмассовый корпус.
- 5 – пористый керамический сосуд.
- 6 – раствор медного купороса.

Методика полевых работ методом ЕП

Особенность – необходимо учитывать собственную ЭДС поляризации электродов.

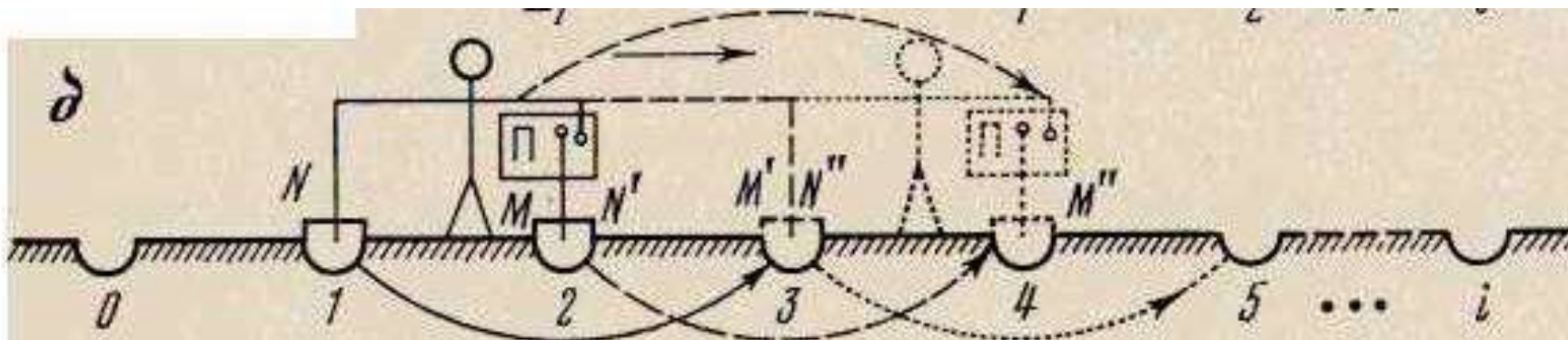
Способы наблюдений: 1. Способ потенциалов
2. Способ градиентов

1.Способ потенциалов



Методика полевых работ методом ЕП

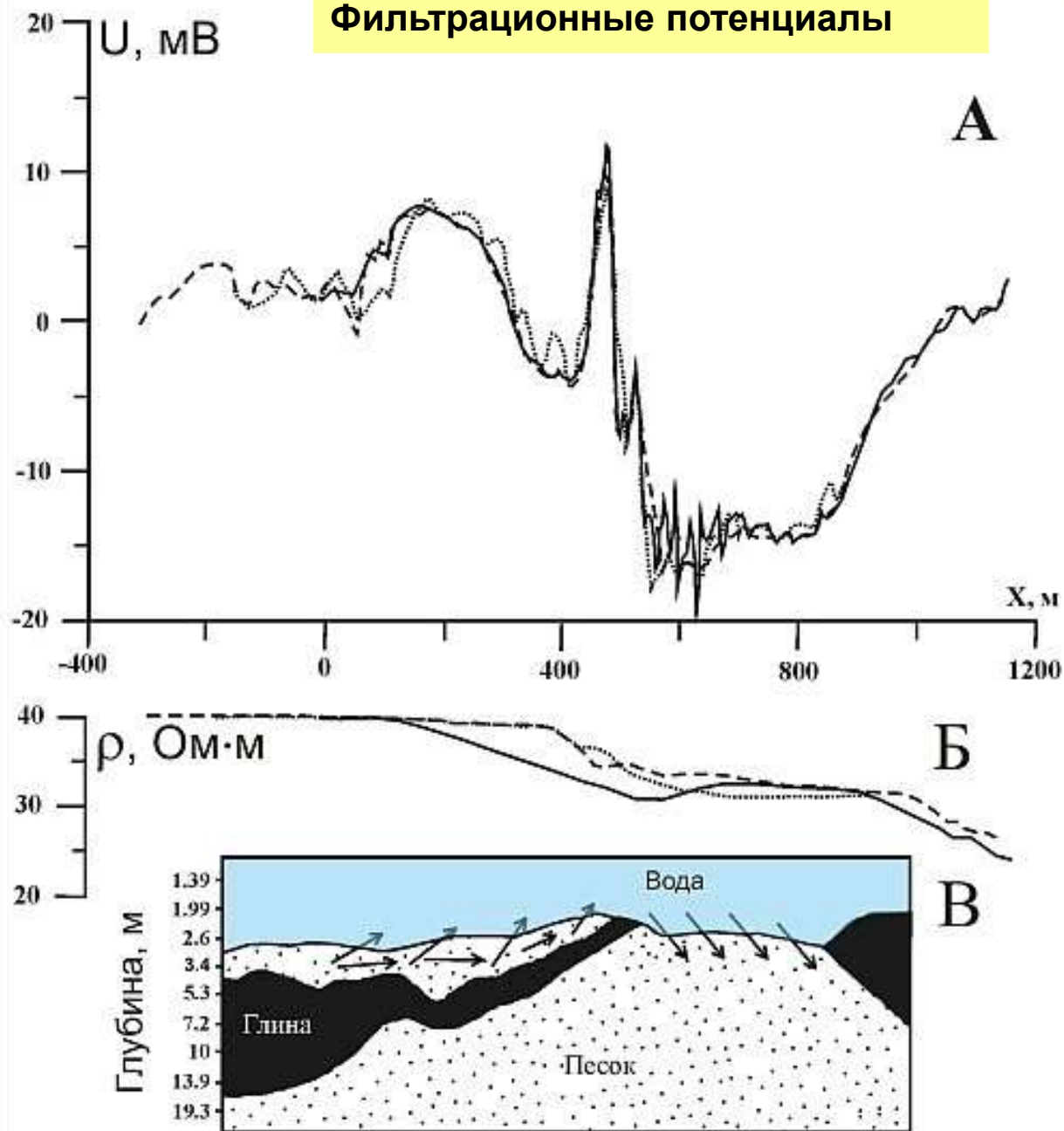
2.Способ градиентов



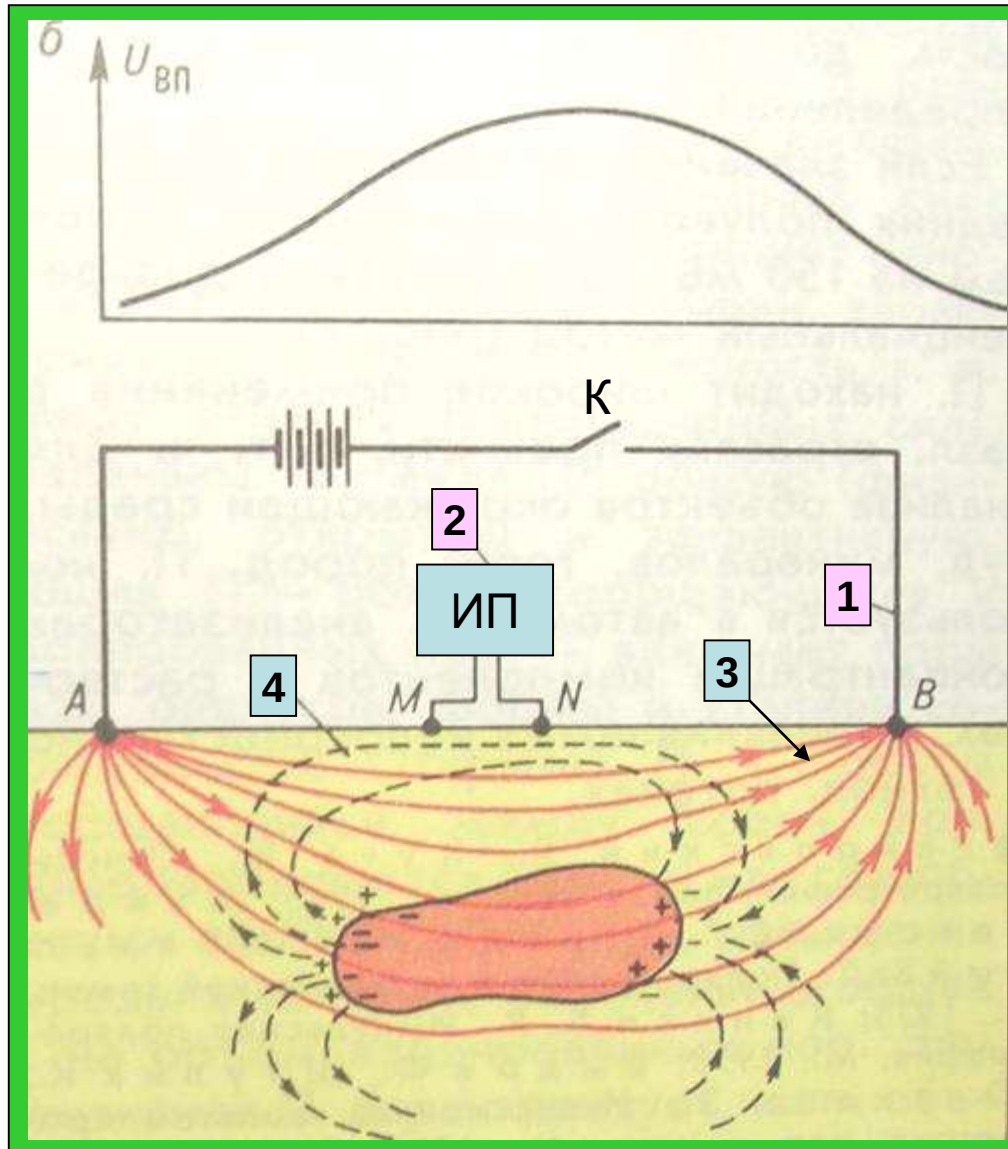
Работы методом ЕП



Фильтрационные потенциалы



МЕТОД ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ (ВП)



Основан на исследовании полей, создаваемых искусственно поляризованными горными породами и рудами.

В питающей линии пропускают импульс тока длительностью от нескольких сек до 5 минут. Во время пропускания тока измеряют ΔU_{MN} .

1- питающая линия, 2 – измерительный прибор, 3 – токовые линии поляризирующего поля, 4- токовые линии вторичного поля.

После выключения тока измеряют спад вторичной ЭДС в линии MN

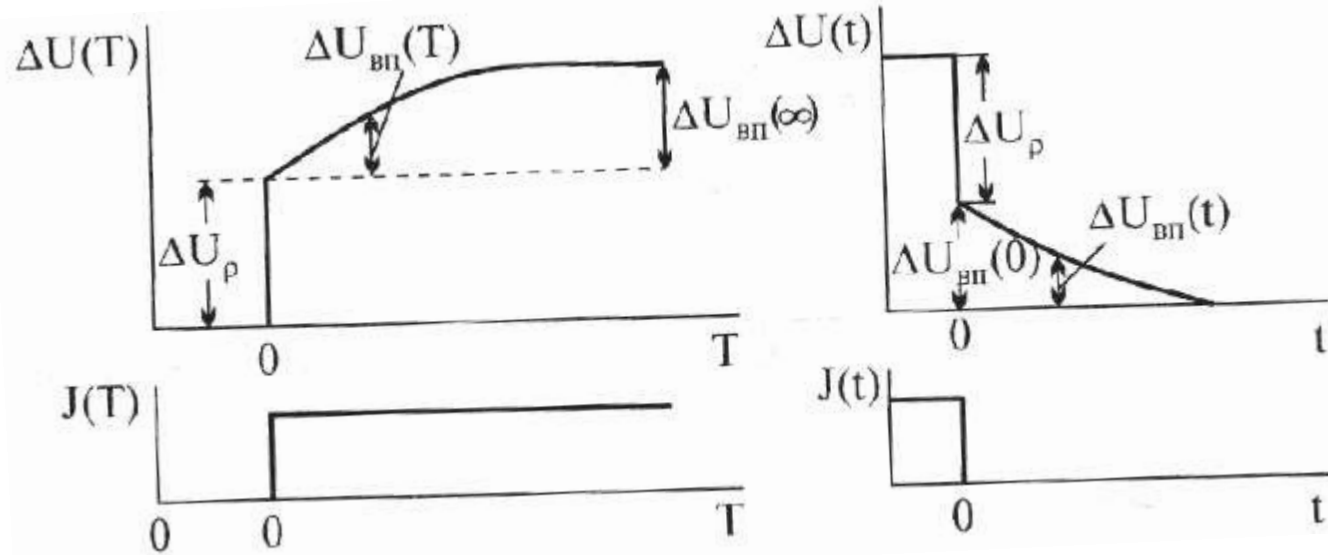
В результате определяют два параметра

$$\rho_k = k \frac{\Delta U_{ПР}}{J}$$

$$\eta_k = \frac{\Delta U_{ВП}(t)}{\Delta U_{ПР}} 100\%$$

Линия MN

Линия АВ

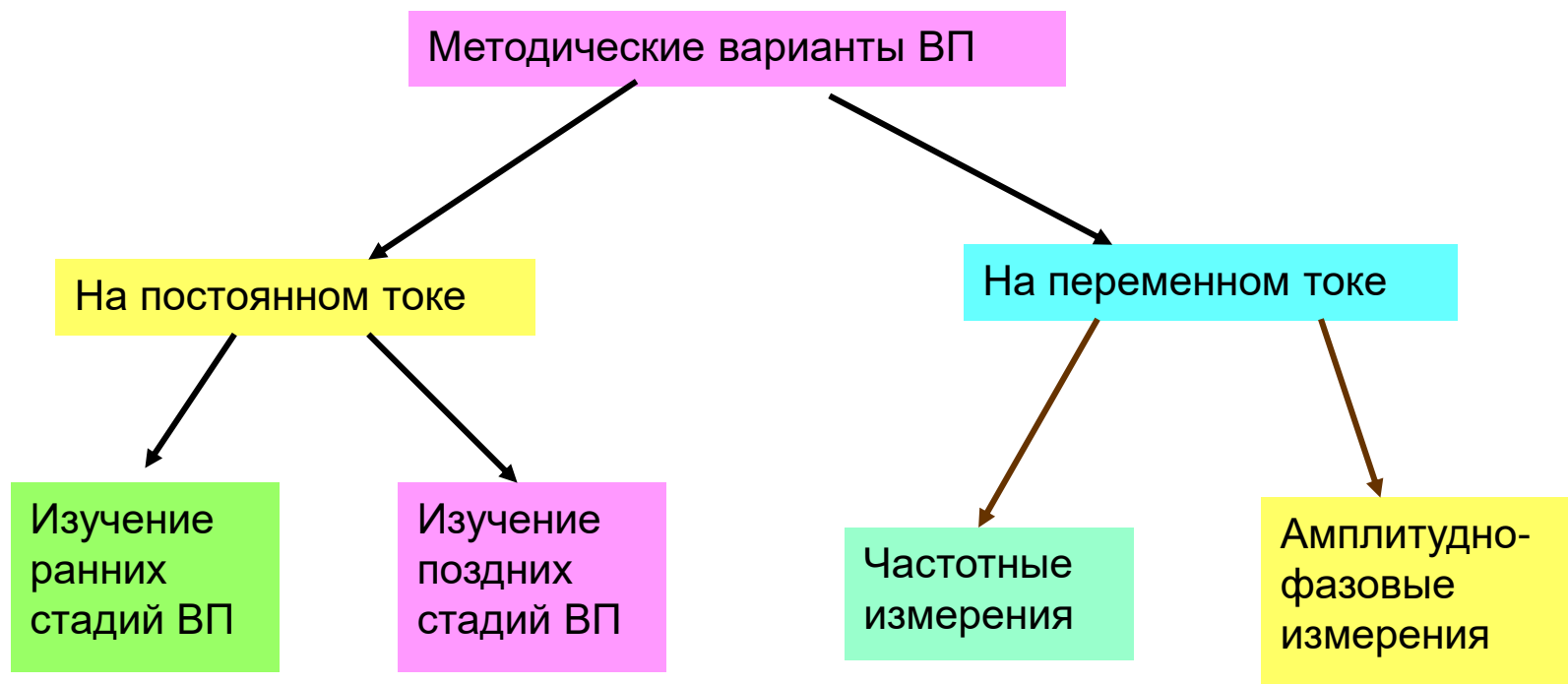


Разность потенциалов в линии MN после выключения тока зависит от времени зарядки. Установлено, что $\Delta U_{\text{вп}}$ **во время пропускания тока** изменяется по экспоненте, приближаясь в течение 3-5 минут к $\Delta U_{\text{вп max}}$.

После пропускания тока спад сигнала в линии MN - примерно по эмпирическим зависимостям:

$$\Delta U_{\text{вп}t} = \Delta U_{\text{вп}0} \cdot e^{-\beta \cdot t} \quad \text{или} \quad \Delta U_{\text{вп}t} = \frac{\Delta U_{\text{вп}0}}{1 + \beta \cdot t}$$

Методика работ методом вызванных потенциалов



Неполяризующиеся электроды

Стальные или медные шпильки

По технологическим особенностям выделяют модификации ВП;

- профилирование,
- зондирование,
- скважинный метод.

При работе на постоянном токе определяют следующие основные параметры:

Кажущаяся поляризуемость

$$\eta_k = \frac{\Delta U_{ВП}(t)}{\Delta U_{ПР}} 100\%$$

Кажущееся сопротивление

$$\rho_k = k \frac{\Delta U_{ПР}}{J}$$

Параметры, измеряемые в методе ВП на переменном токе

- 1) Частотный поляризационный эффект (процентный частотный эффект)

$$F = \frac{\rho_H - \rho_B}{\rho_B} \cdot 100 \%$$

- 2) Средний процентный частотный эффект, измеренный на двух низких (f_{H1} , f_{H2}) и одной высокой частоте (f_B) при ($f_{H1} > f_{H2}$)

$$m = \frac{\rho_{H1} - \rho_{H2}}{\rho_B} \cdot 100 \% = (F1 - F2) \cdot 100 \%$$

3) Фактор металлопроводности

$$M = \frac{F}{\rho_H} = \frac{\rho_H - \rho_B}{\rho_H * \rho_B}$$

4) Фазовый сдвиг между током в питающей цепи и напряжением в приемной

$$\varphi = \varphi(I) - \varphi(\Delta U) = \varphi_{ВП} - \alpha * f,$$

α – коэффициент, учитывающий взаимную индукцию питающей и приемной линий

$$\eta_K(\%) = -2,5^0 \varphi_{ВП}$$

Аппаратурный комплекс АИЭ - 2



Генератор ВП-1000



Генератор ВП-60

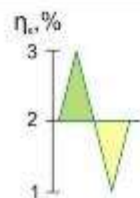
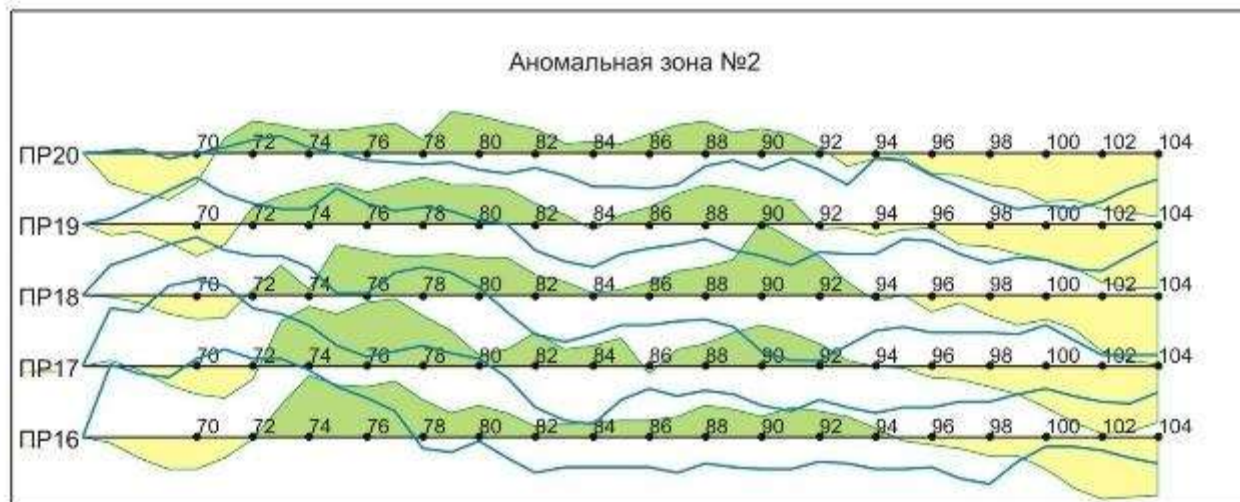


Измерительный блок ВП

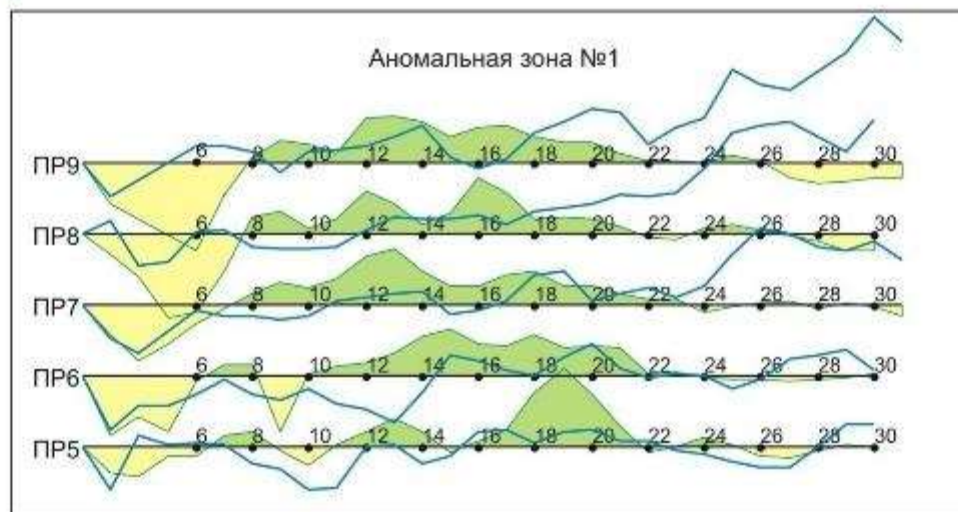
Аппаратурный комплекс АИЭ - 2

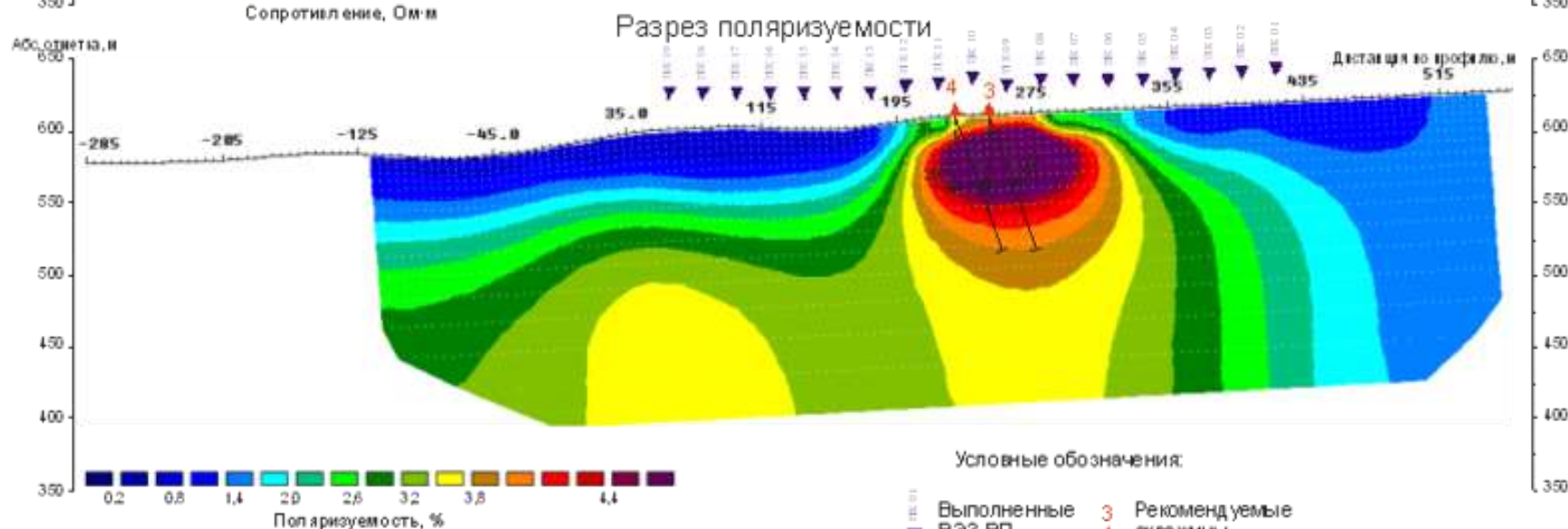
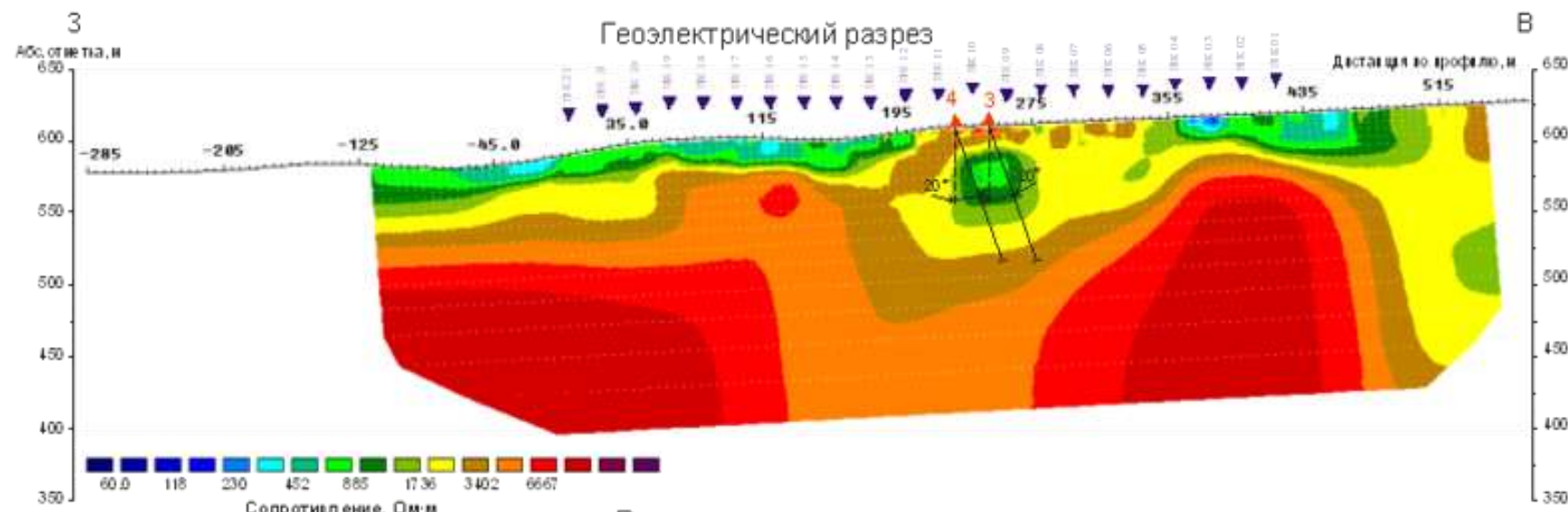


Пример планов графиков, полученных установкой ВП-СГ



графики (η_c), вертикальный масштаб в 1 см - 1%





Координаты рекомендуемой скважины 3 WGS 84 UTM 45N X=309 827 Y=5 46 5 996
 Координаты рекомендуемой скважины 4 WGS 84 UTM 45N X=309 805 Y=5 46 5 986

3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЗОНДИРОВАНИЯ

Основные методы электромагнитных зондирований

```
graph TD; A[Основные методы электромагнитных зондирований] --> B[Частотное зондирование]; A --> C[Магнитотеллурическое зондирование]; A --> D[Зондирование становлением поля];
```

**Частотное
зондирование**

**Магнитотеллурическое
зондирование**

**Зондирование
становлением поля**

Изменение глубинности исследования в методе ЧЗ достигается за счет явления скин-эффекта. Оно заключается в том, что чем выше частота колебаний электромагнитного поля, тем сильнее оно затухает с глубиной. Таким образом, на высоких частотах поле охватывает приповерхностную часть среды, а по мере понижения частоты оно проникает все глубже и начинает нести информацию о нижних слоях разреза.

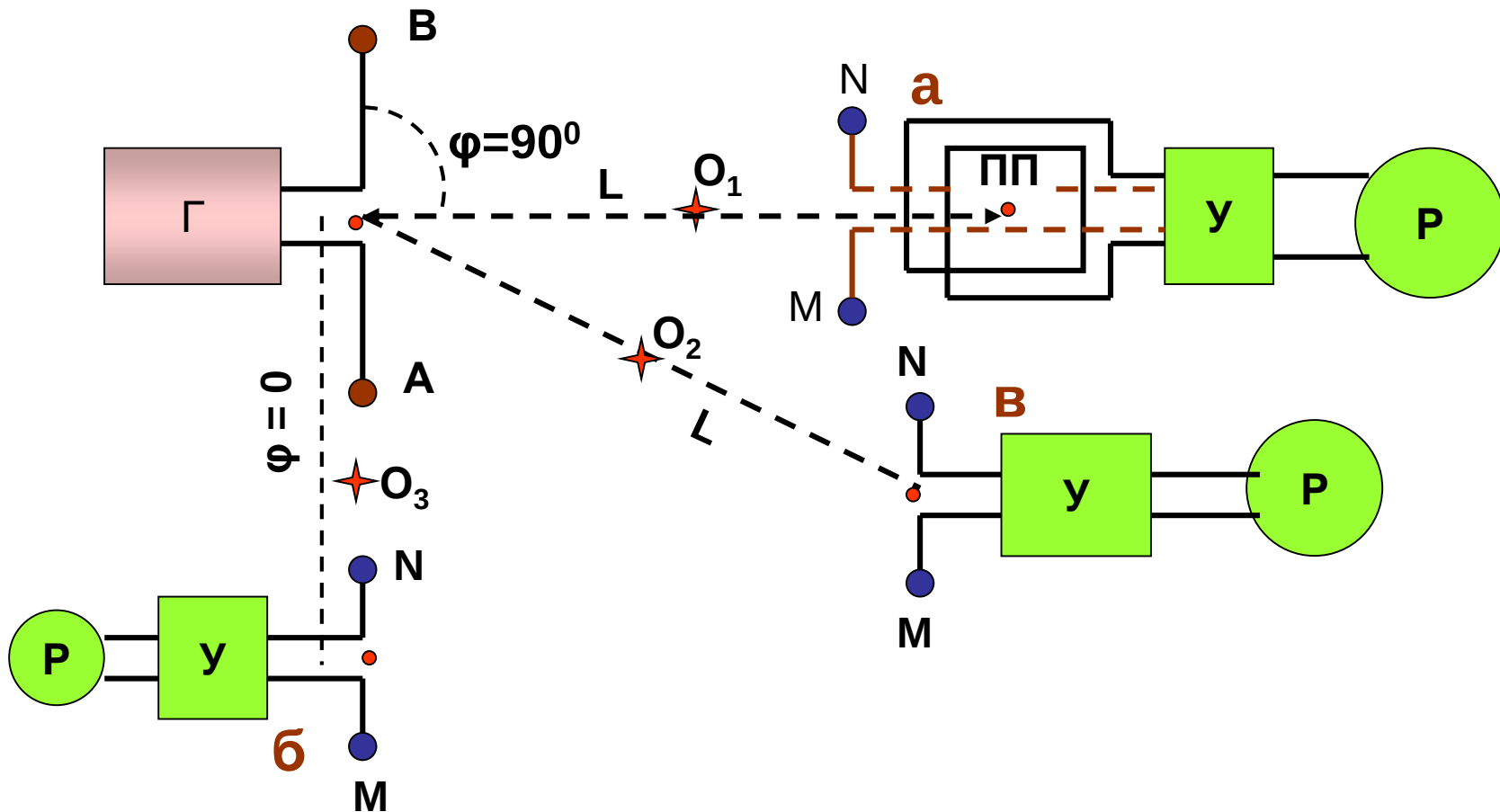
Зондирование достигается не изменением АВ, а изменением частоты тока в пределах от 0,01 до 1000 Гц. За счет скин-эффекта с уменьшением частоты глубина проникновения тока увеличивается

Амплитуда электромагнитной волны: $a(h) = |H_x| \cdot e^{\frac{-2\pi h}{\lambda}}$

Эффективная глубина проникновения электромагнитной волны $h_{эф}$ – расстояние, на котором амплитуда волны уменьшается в e раз.

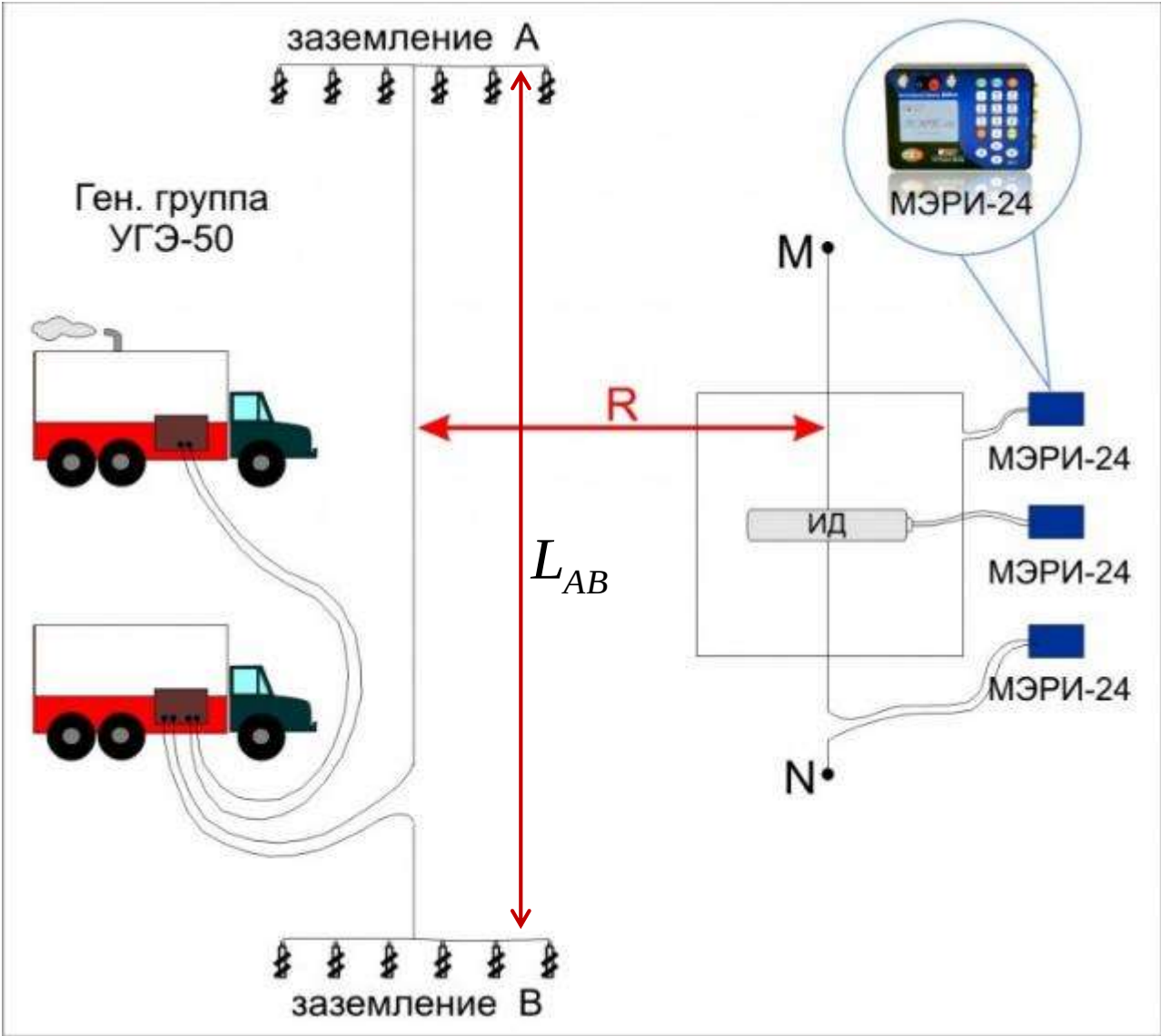
$$h_{эф} = \lambda/2\pi = 0,159 \lambda \quad \text{или} \quad h_{эф} = 0,159 \sqrt{10^7 \rho T}$$

Схема частотного зондирования



Установки, применяемые для частотного зондирования: а – экваториальная ($\varphi=90^\circ$), б – осевая ($\varphi=0$) в – азимутальная.

ЧЗ, экваториальная установка



$$R \geq 5h$$

h – необходимая глубина исследования

$$L_{AB} \leq \frac{R}{2}$$

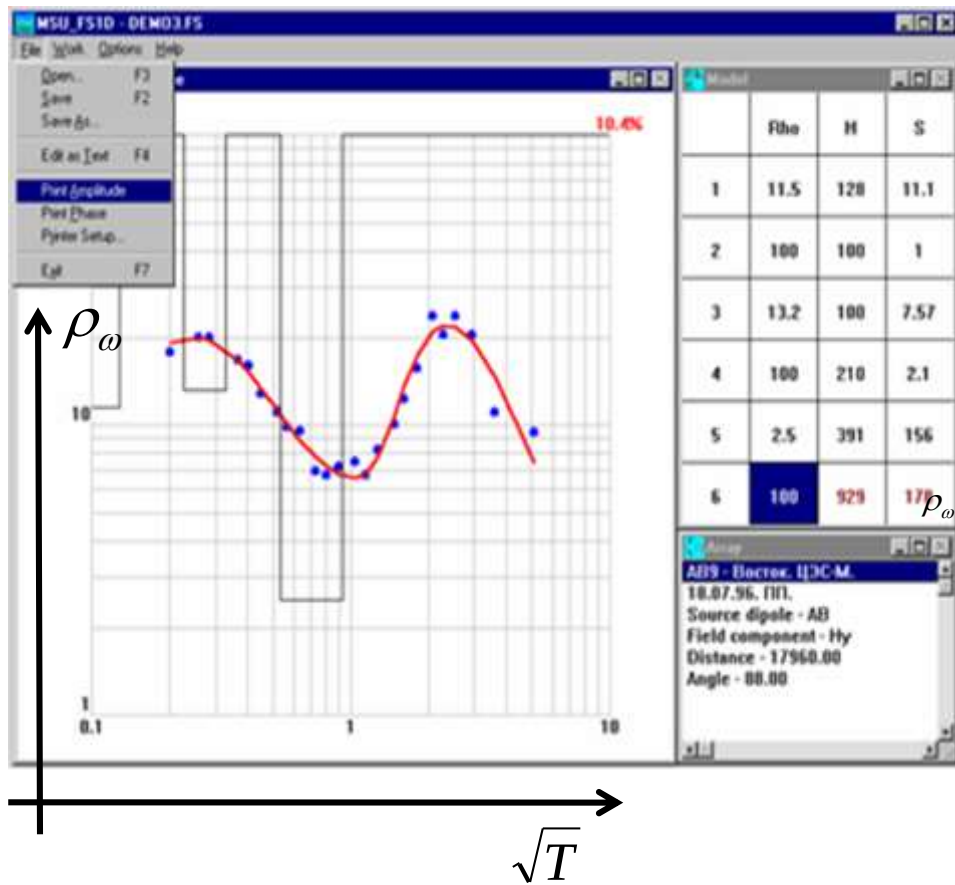
Верхняя частота:

$$f_B \approx \frac{\rho_{CP}}{H^2}$$

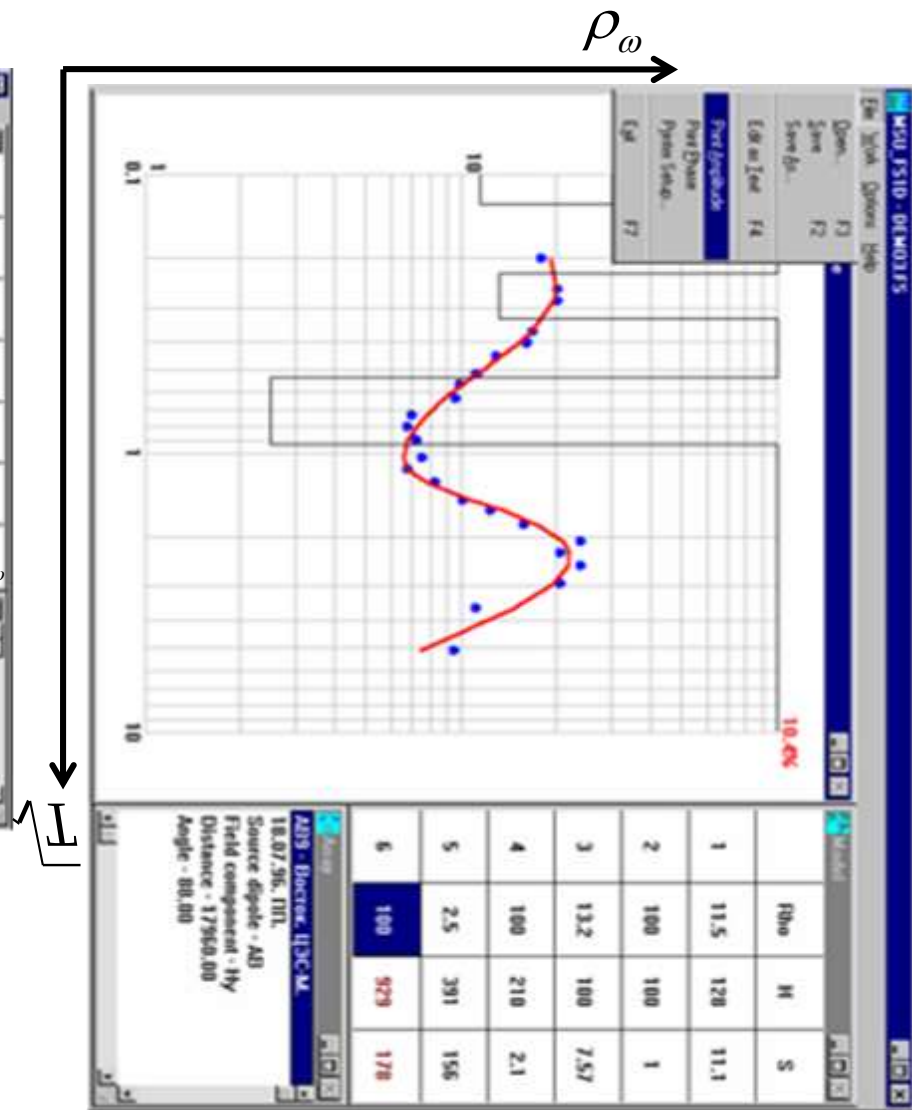
Нижняя рабочая частота на 2 – 3 порядка меньше, шаг изменения частоты 1,3 – 2.

$$\rho_{\omega} = K_B \cdot \frac{\Delta U_{MN}}{J}$$

Кривые частотного зондирования



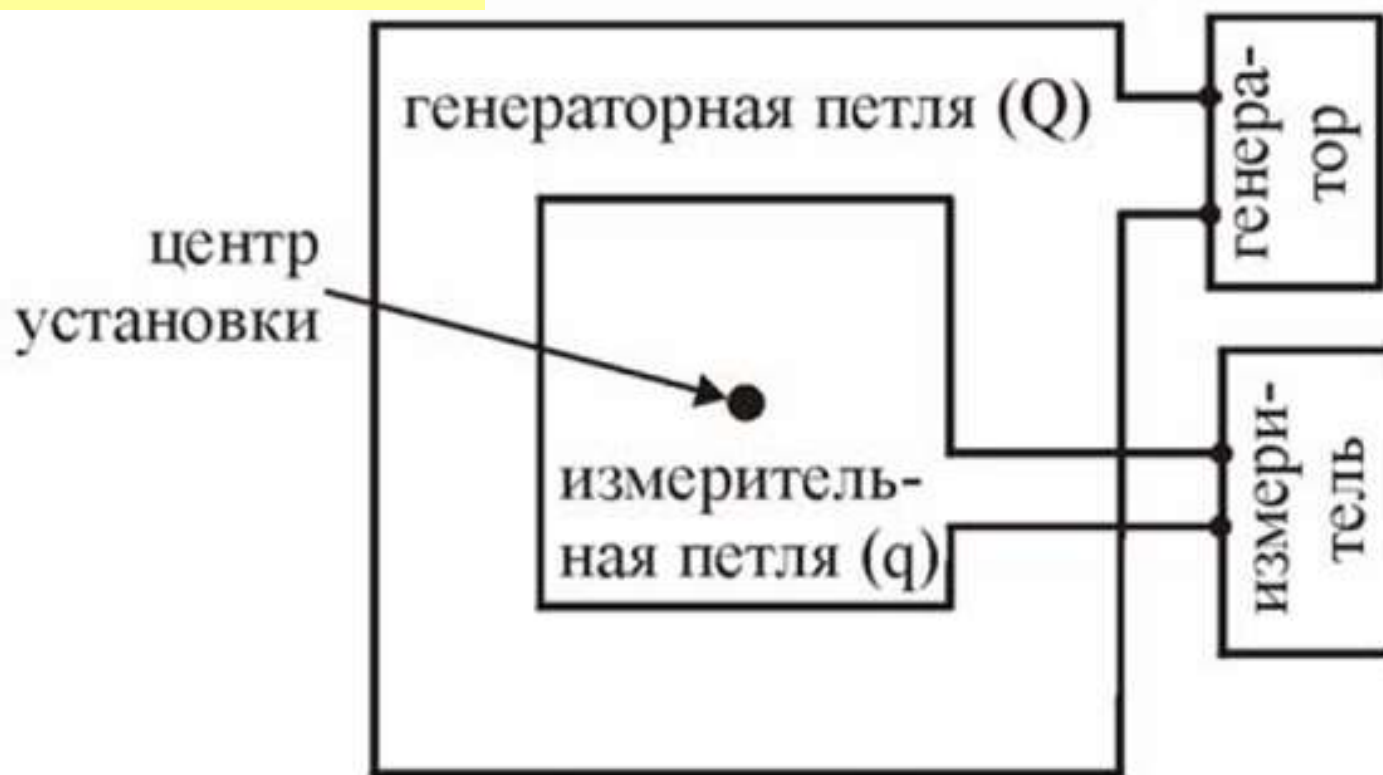
$$\sqrt{T} = \frac{1}{\sqrt{f}}$$



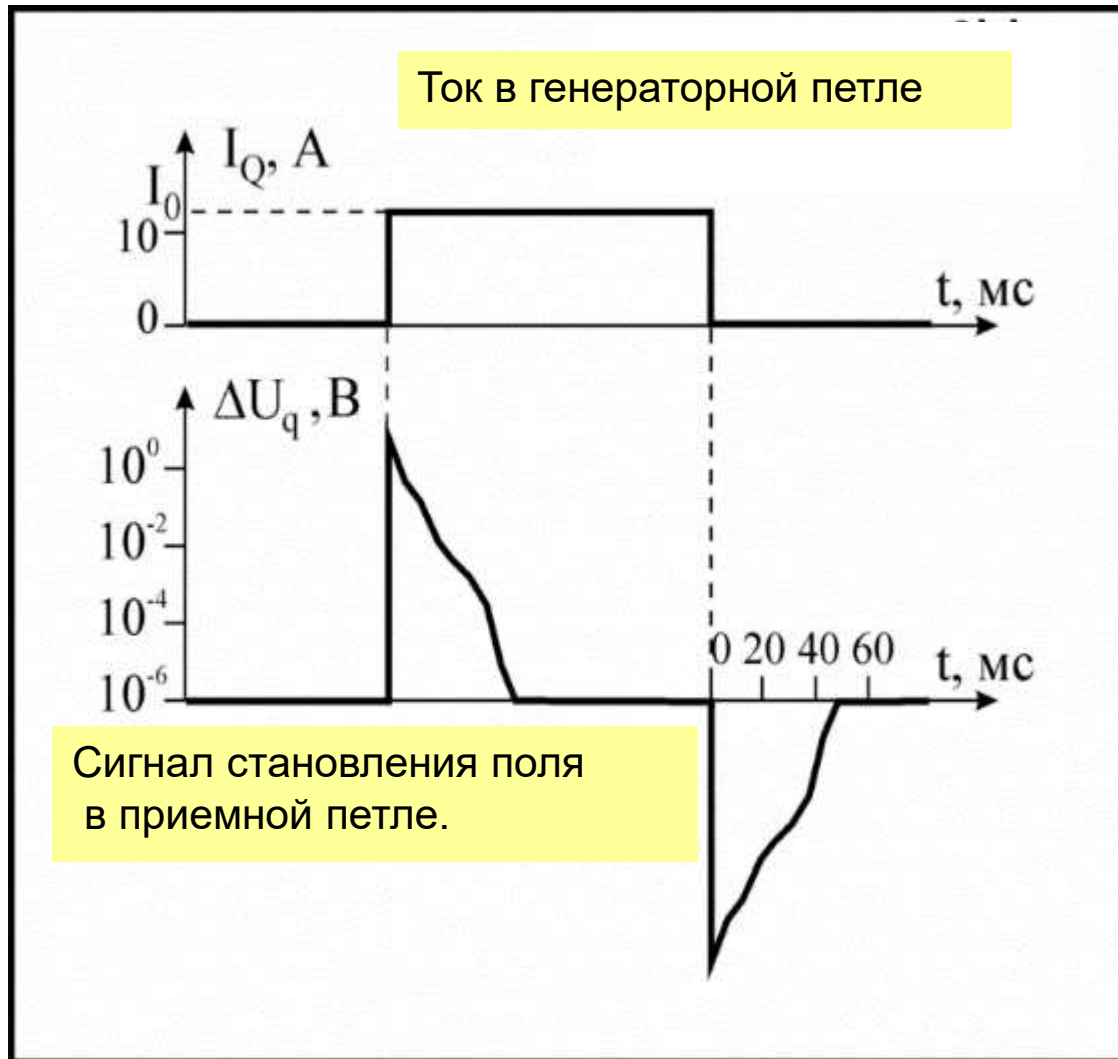
2. МЕТОД ЗОНДИРОВАНИЯ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ

Зондирование становлением поля (ЗС) – метод электромагнитного зондирования с искусственным (контролируемым) источником, основанный на изучении поля переходных процессов, которое возбуждается в земле при изменении тока в источнике.

Установка «петля в петле»



Вид сигнала становления поля в приемной петле:



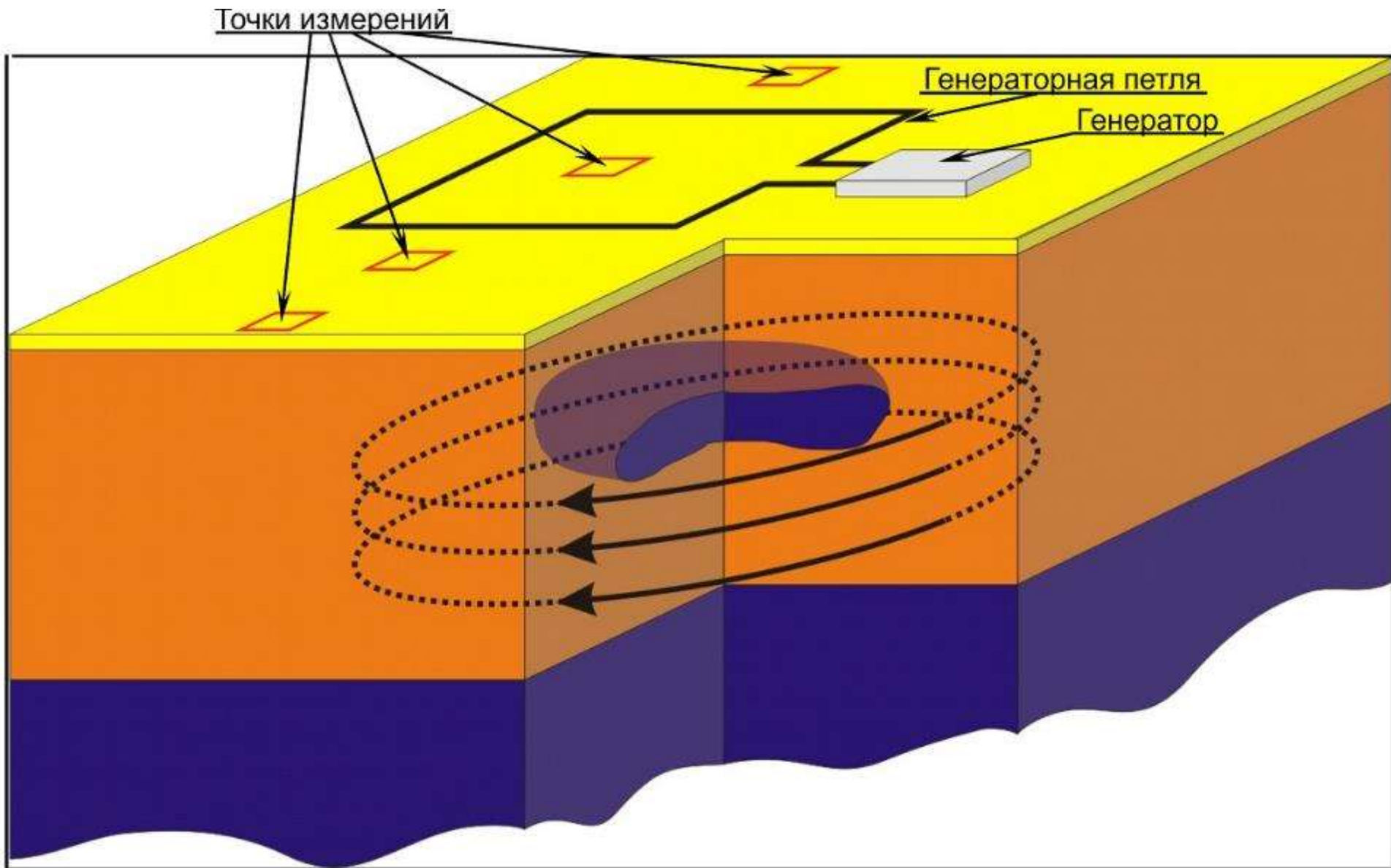
$$\Delta U_q = -\mu_0 S \frac{\partial H_z}{\partial t}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\Gamma_H}{\text{м}}$$

магнитная
проницаемость
среды

S – площадь петли,
 H_z – магнитная составляющая
электромагнитного поля

Методика измерений методом ЗСБ



Кажущееся сопротивление

Понятие *кажущегося сопротивления* в методе ЗСБ, как и в других методах электроразведки, вводится на основе решения задачи для однородного полупространства.

Кажущееся сопротивления в ближней зоне :

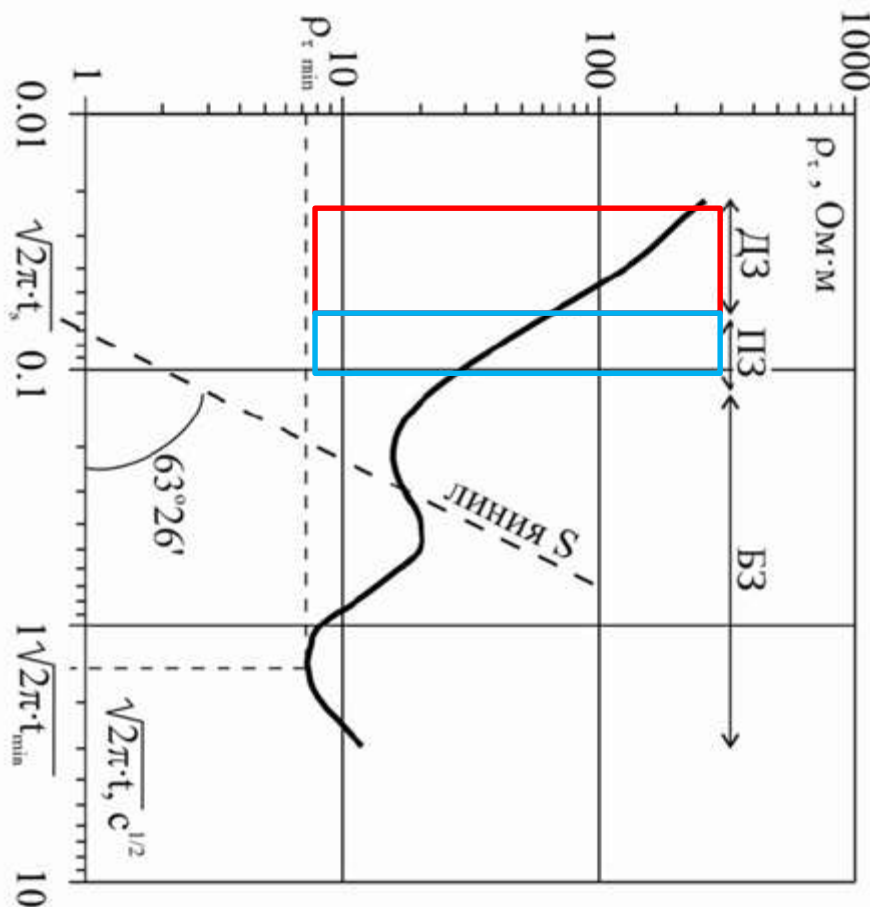
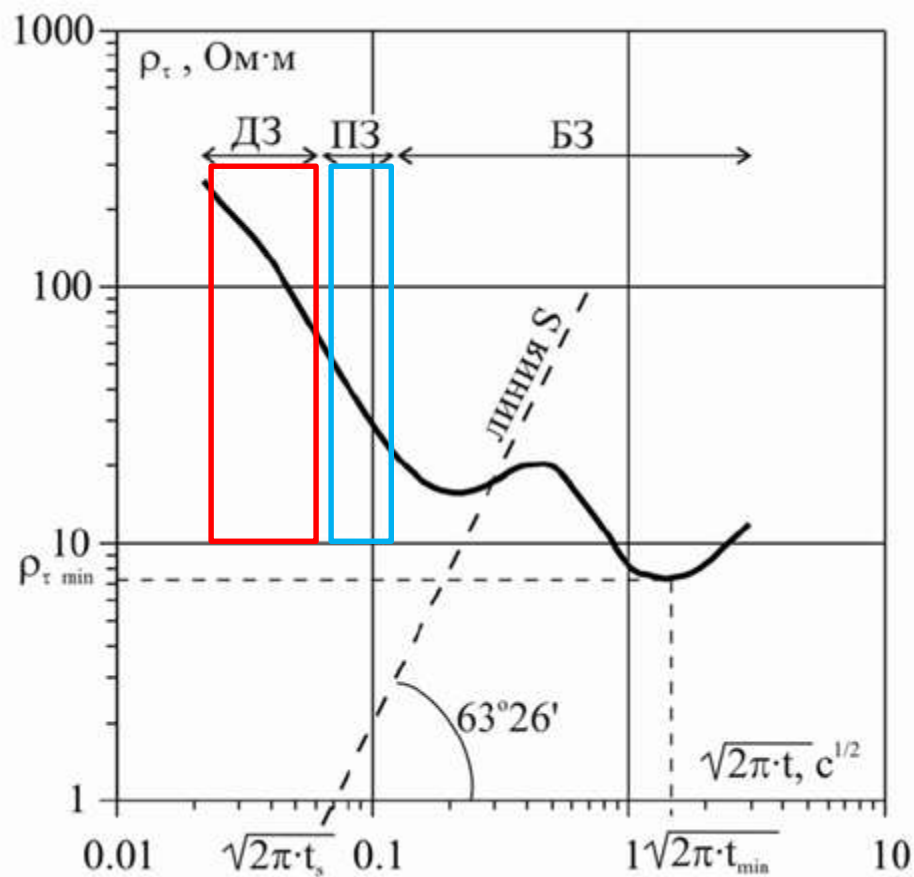
$$\rho_{\tau}(t) = K_{ЗСБЗ} \cdot \frac{1}{t^{5/3}} \cdot \left(\frac{I}{\Delta U_q(t)} \right)^{2/3}$$

Кажущаяся продольная **проводимость** разреза

$$S(h_{\tau}) = \int_0^{h_{\tau}} \frac{dZ}{\rho(z)}$$

Методы интерпретации данных ЗСБ

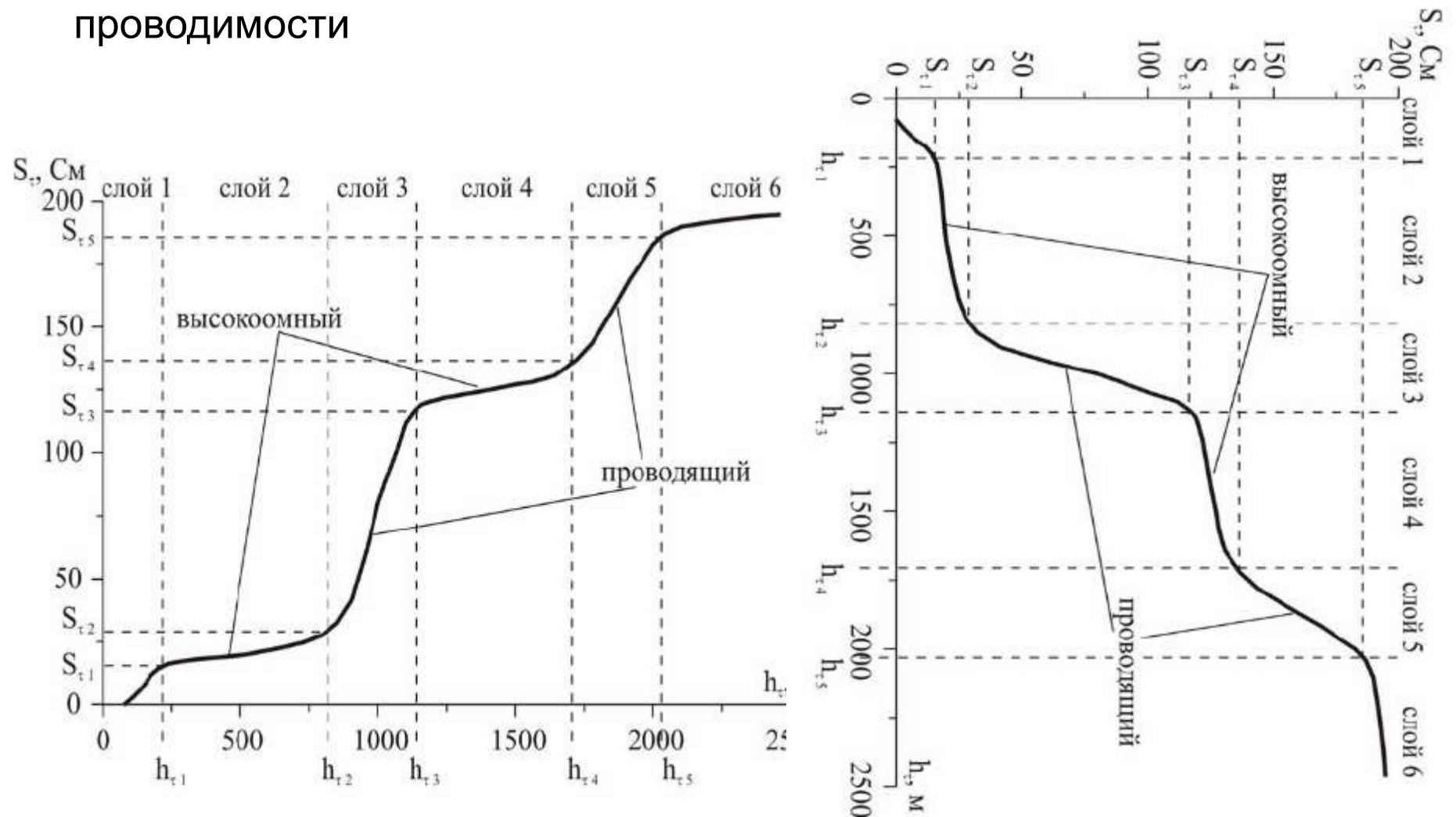
Интерпретация обычно начинается с определения обобщенных параметров разреза непосредственно по кривым кажущегося сопротивления.



Кривая кажущегося сопротивления в нормировке ближней зоны.

Интерпретация данных ЗСБ

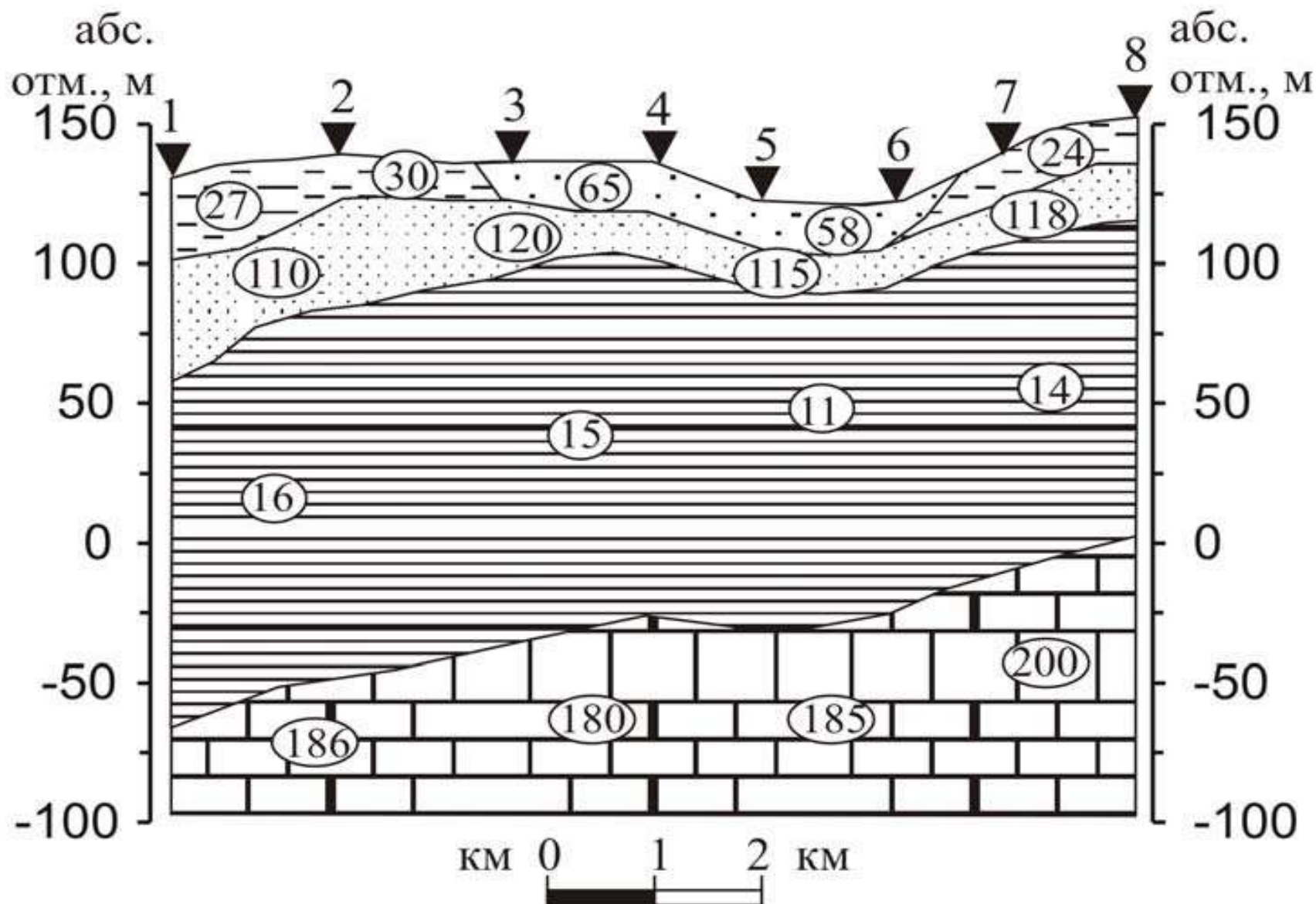
Для решения обратной задачи применяется метод интерпретации результатов ЗСБ по кривым кажущейся суммарной проводимости



Кривая кажущейся продольной проводимости.

Геоэлектрический разрез по данным ЗСБ

Метод подбора параметров геоэлектрического разреза (инверсия):



3. МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Под магнитотеллурическим полем понимают переменную составляющую естественного электромагнитного поля Земли, связанную с космическими и ионосферными процессами.

В магнитотеллурических методах электроразведки измеряют горизонтальные компоненты векторов E и H : E_x , E_y , H_x , H_y

$Z = E_x / H_y = -E_y / H_x = \omega \mu / k$ - входной импеданс (волновое сопротивление) среды

$$\rho_\tau = \frac{|Z|^2}{\omega \mu_0}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\Gamma_H}{м}$$

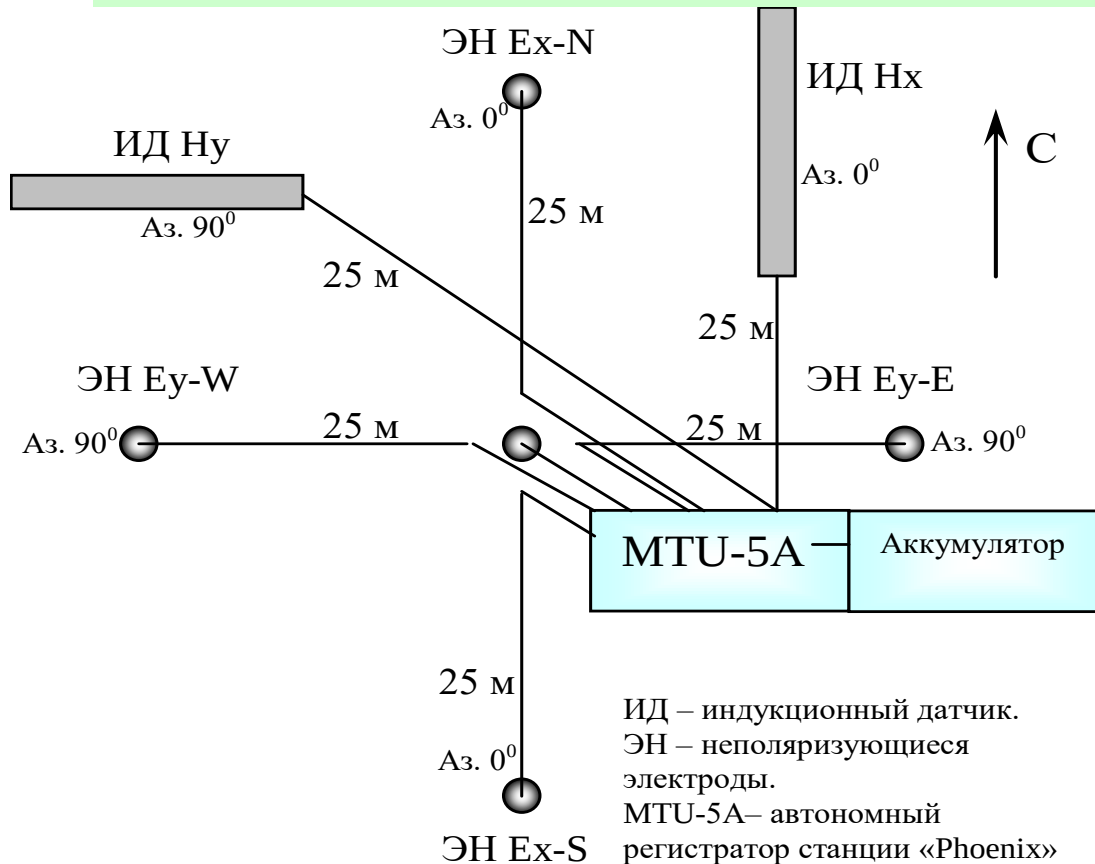


Схема установки для магнитотеллурического зондирования

Схема установки для магнитотеллурического зондирования



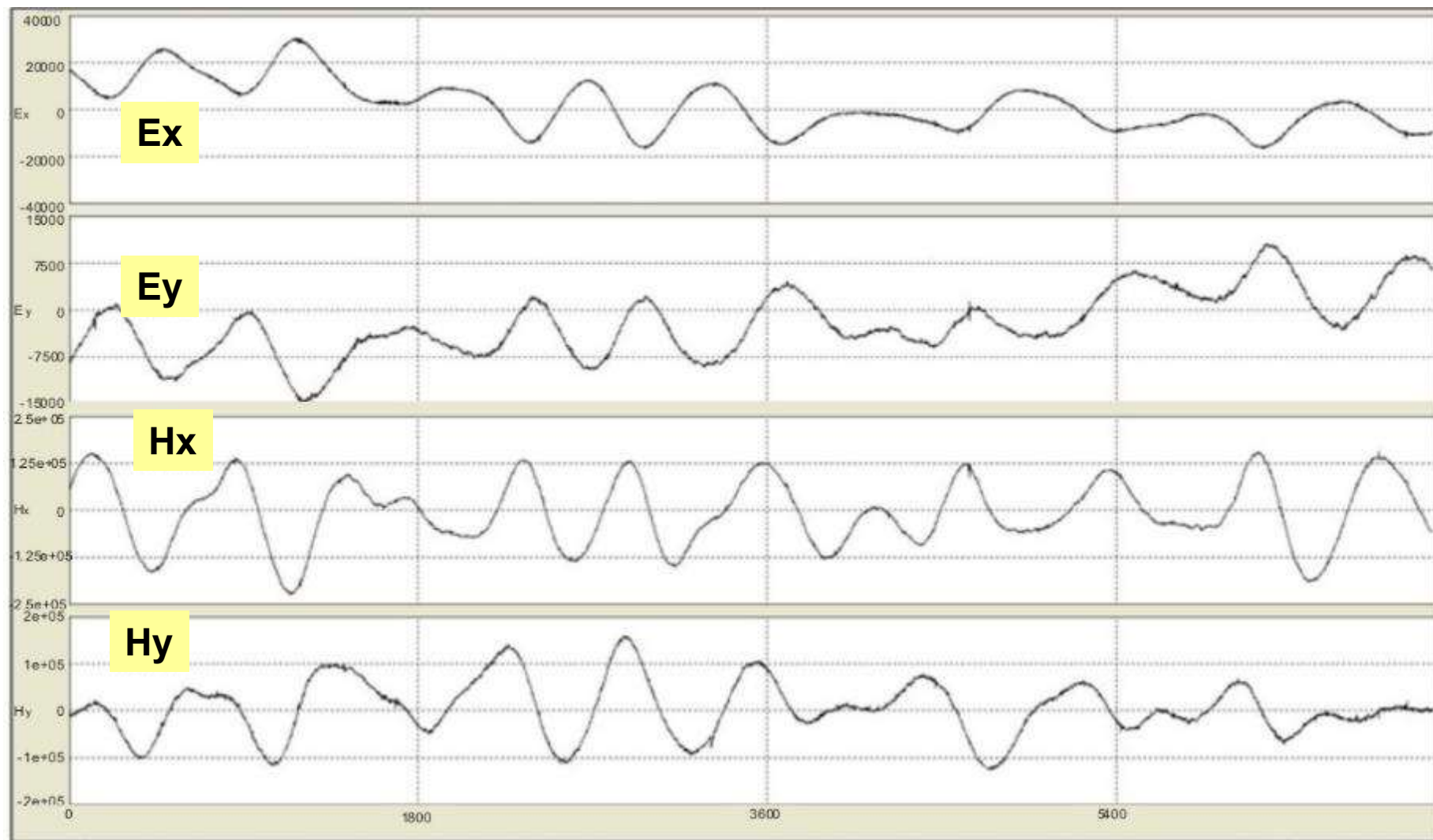
Магнитоиндукционные датчики для измерения H_x , H_y , H_z



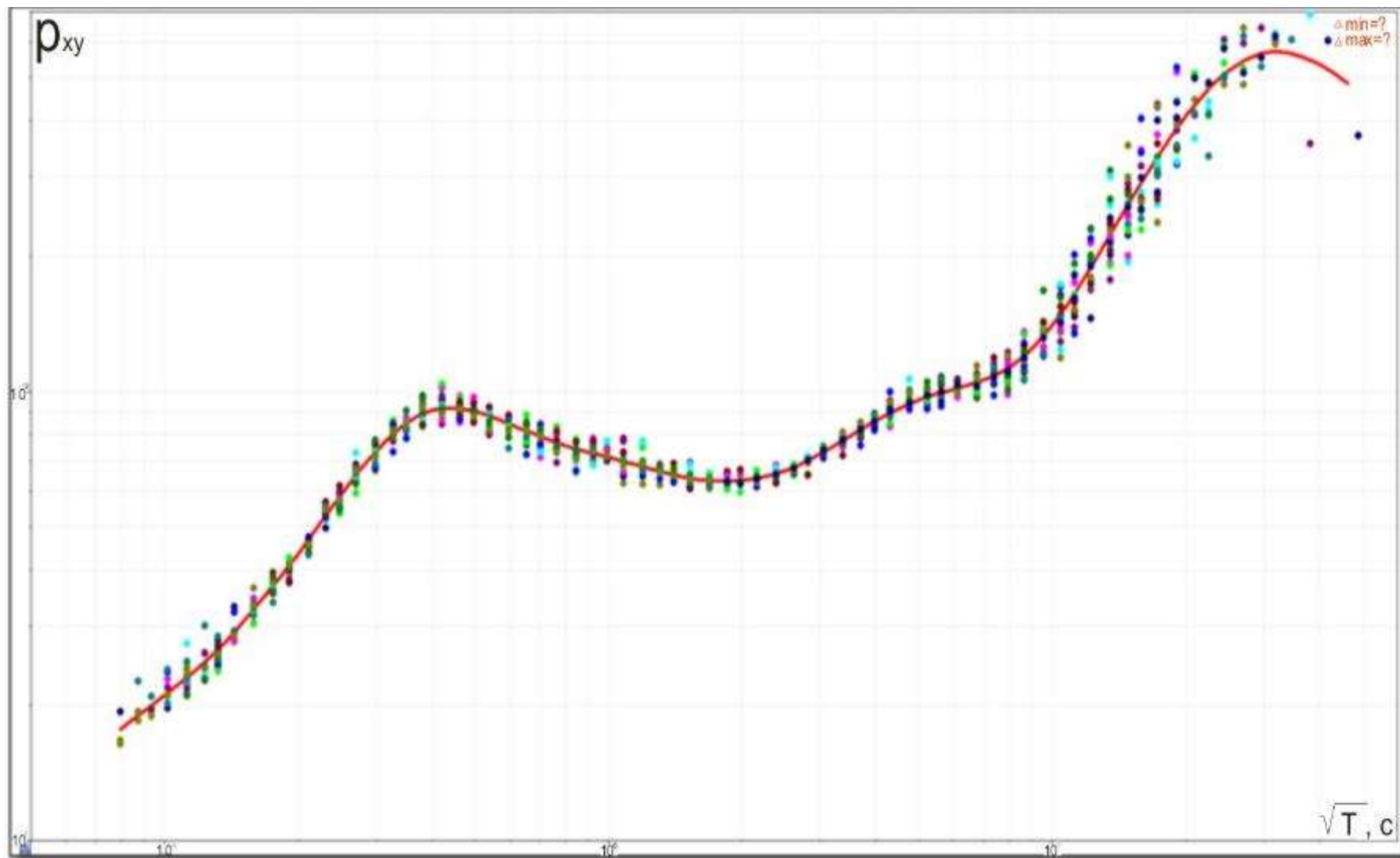
Канадская станция MTU-5A фирмы «Phoenix» для проведения работ методом МТЗ

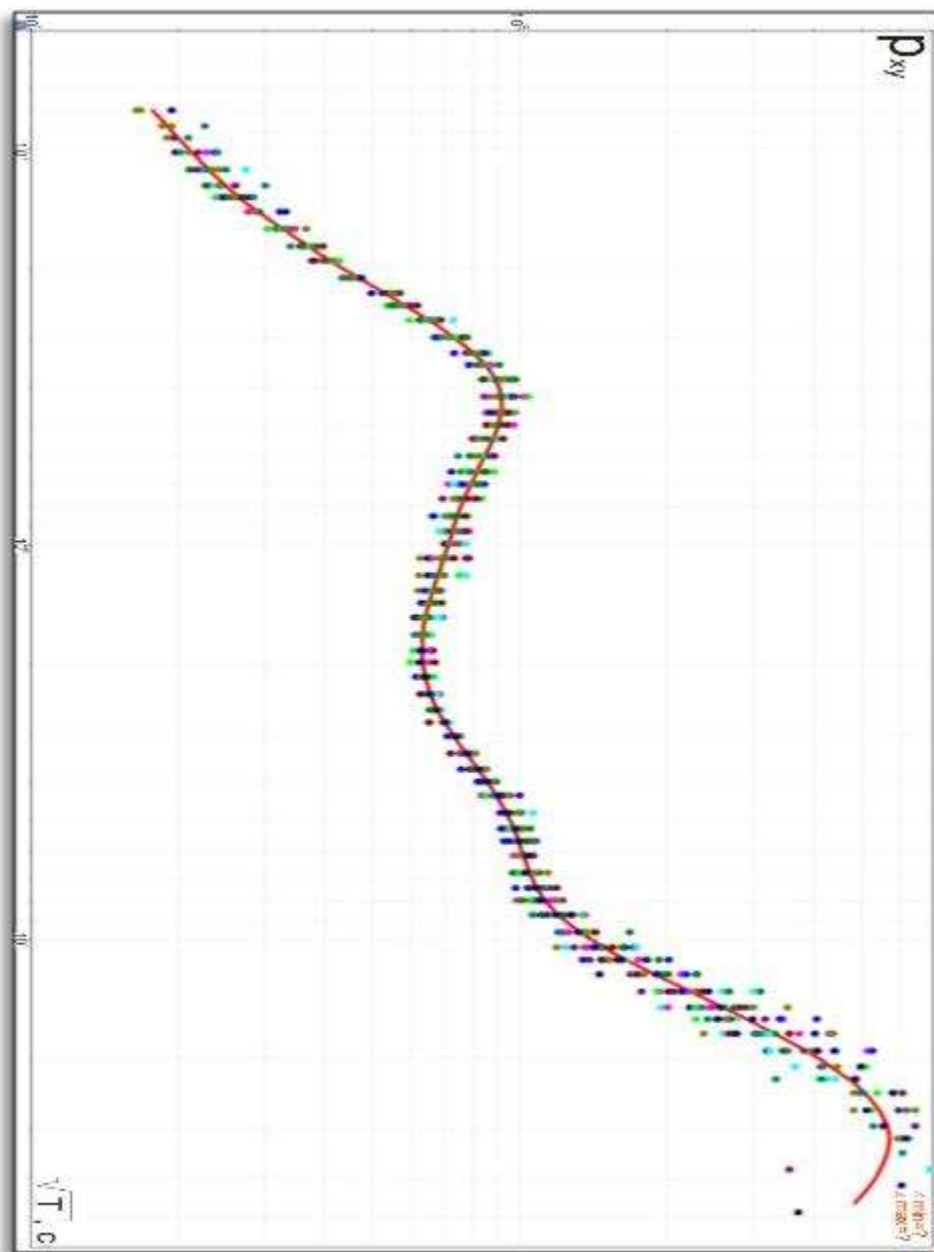


Пример записи составляющих магнитотеллурического поля



Кривая МТЗ после обработки программой MT-Corrector



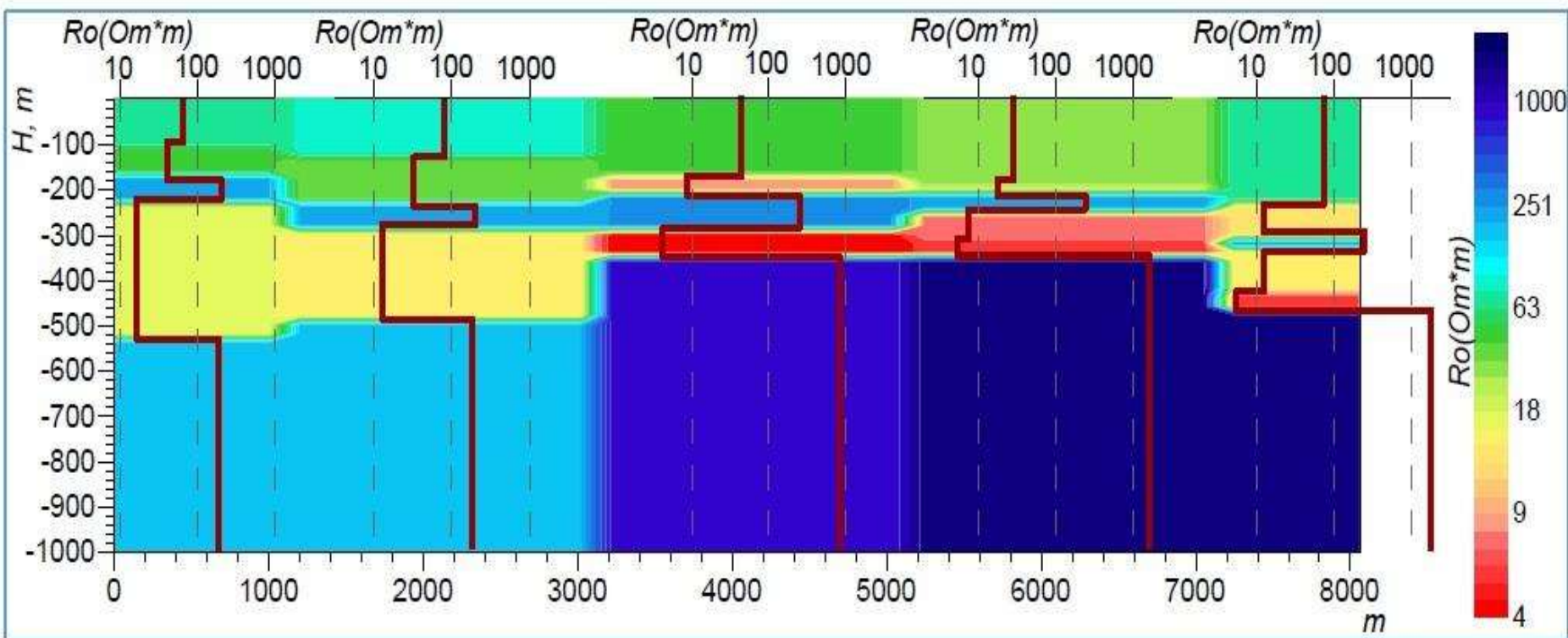


4. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

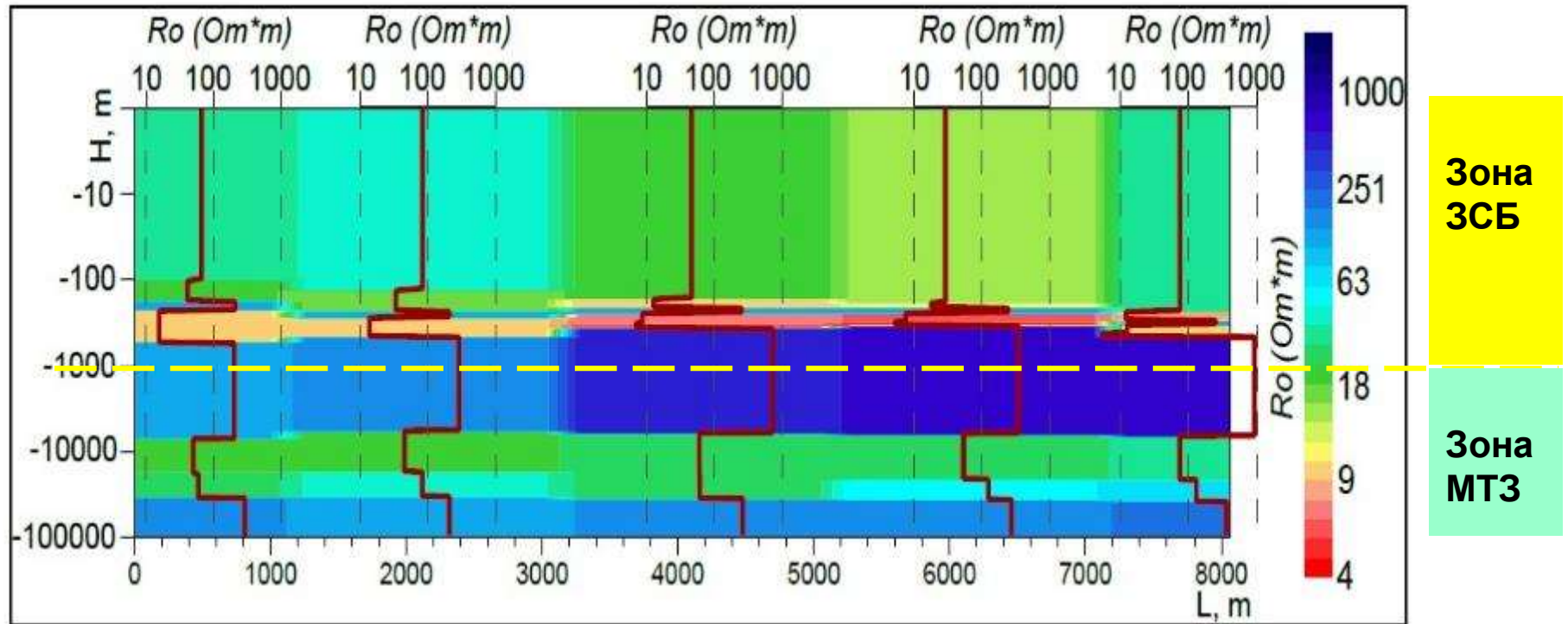
ЕГ

Примеры по Сибирской платформе (ООО «Сибгеотех»)

Двухмерная инверсия данных ЗСБ

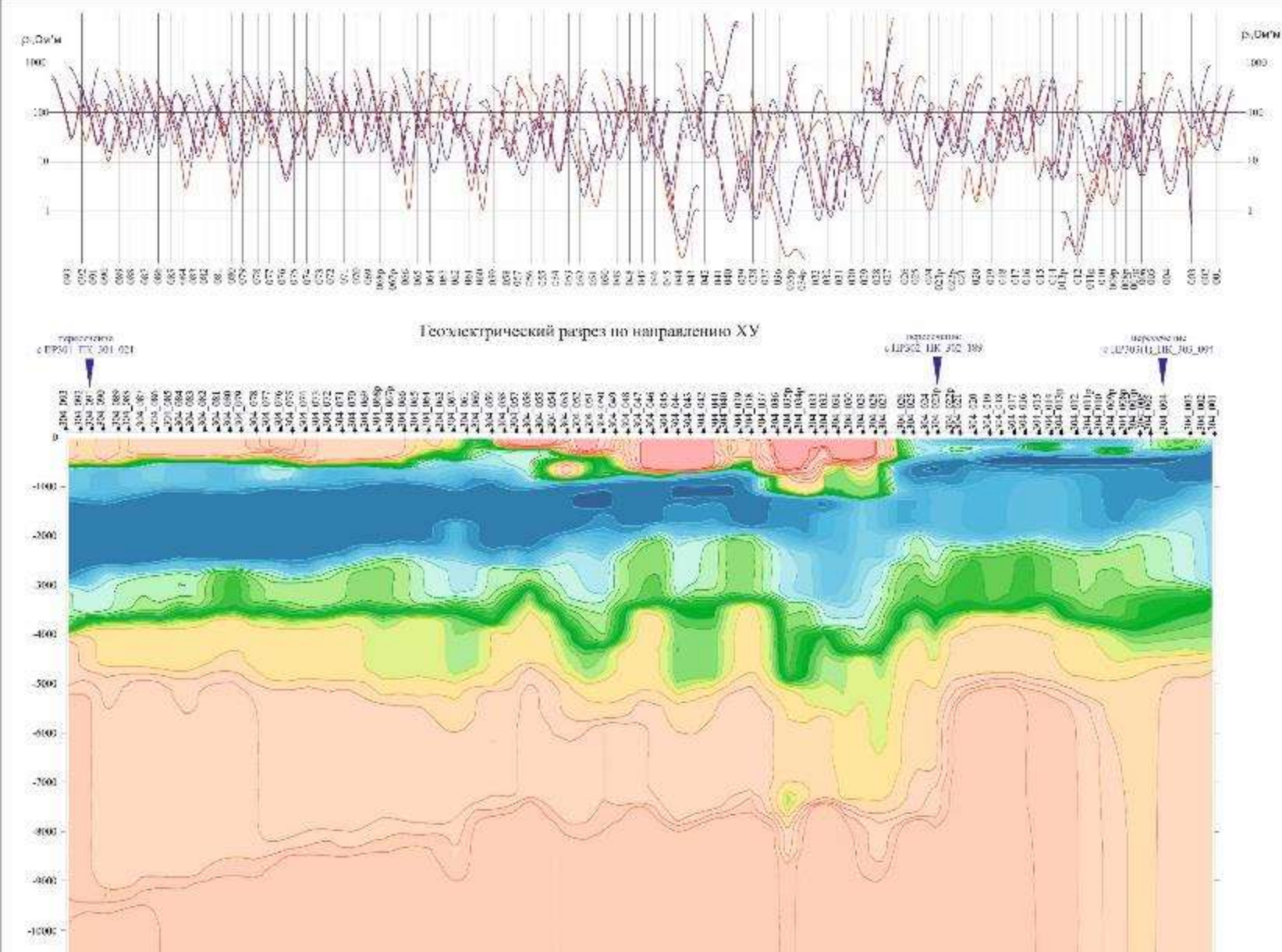


Геоэлектрический разрез по результатам комплексной интерпретации данных ЗСБ и МТЗ.
(ООО ГП «Сибгеотех»)

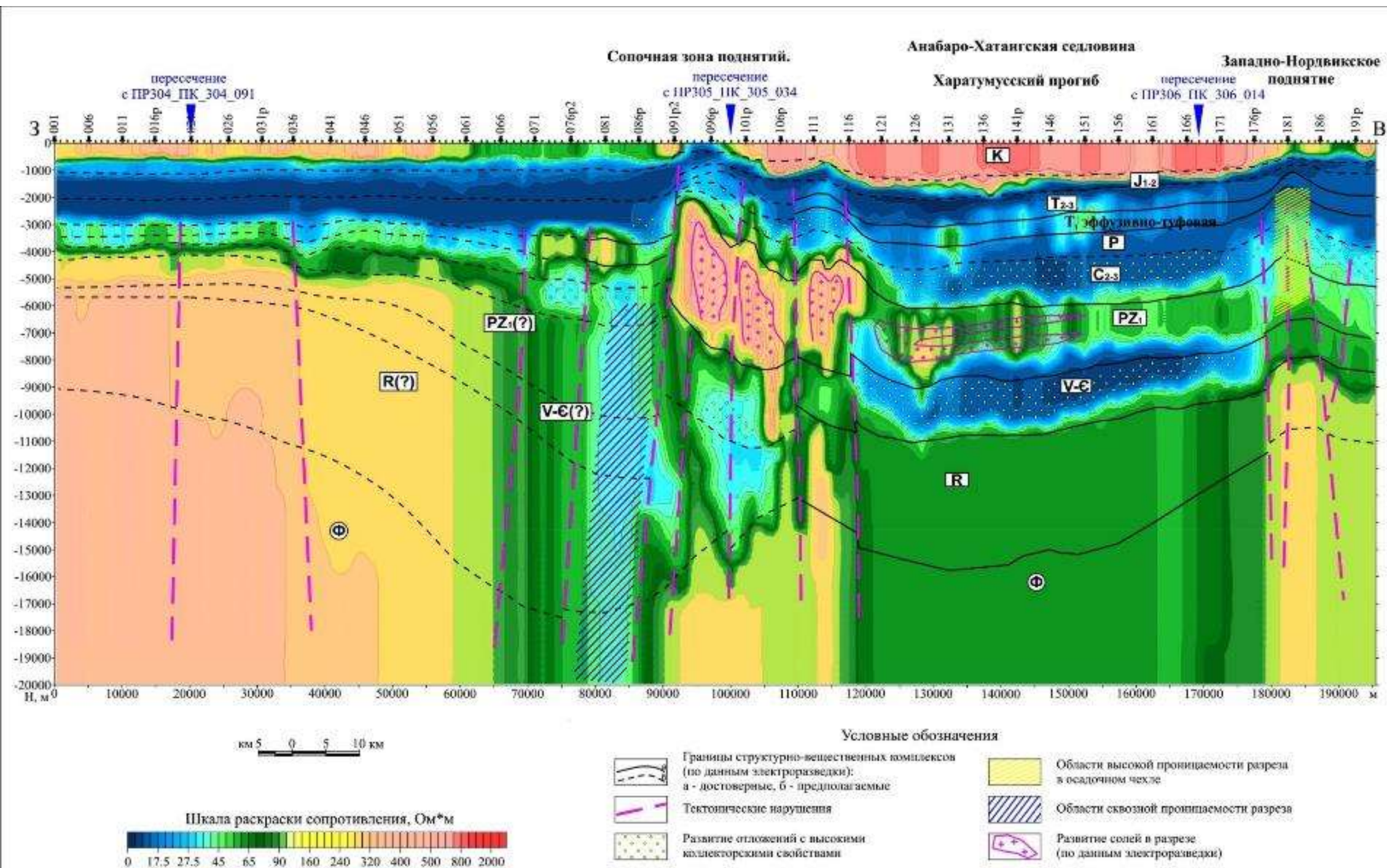


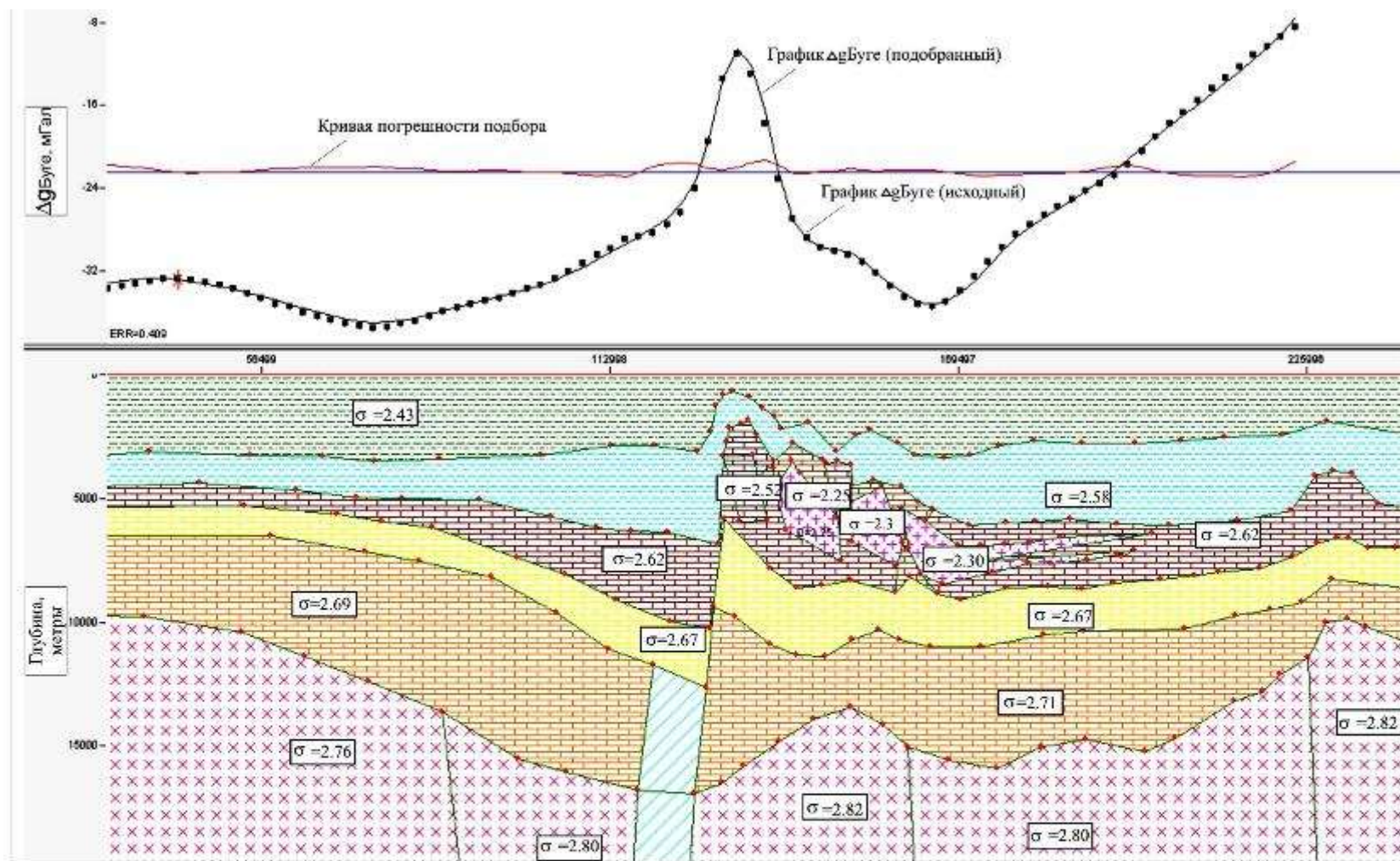
Чем больше глубина исследования, тем меньше разрешающая способность метода

Геоэлектрический разрез по направлению ХУ (профиль I)



Геолого-геофизический разрез (Анабаро-Хатангская седловина, ООО ГП «Сибгеотех»)





$\sigma = 2.60$

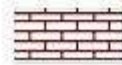
плотность (г/см³)



терригенные, терригенно-угленосные отложения



терригенно-угленосные отложения



карбонатные отложения



терригенно-карбонатные отложения

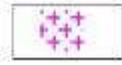
Условные обозначения



карбонатные отложения



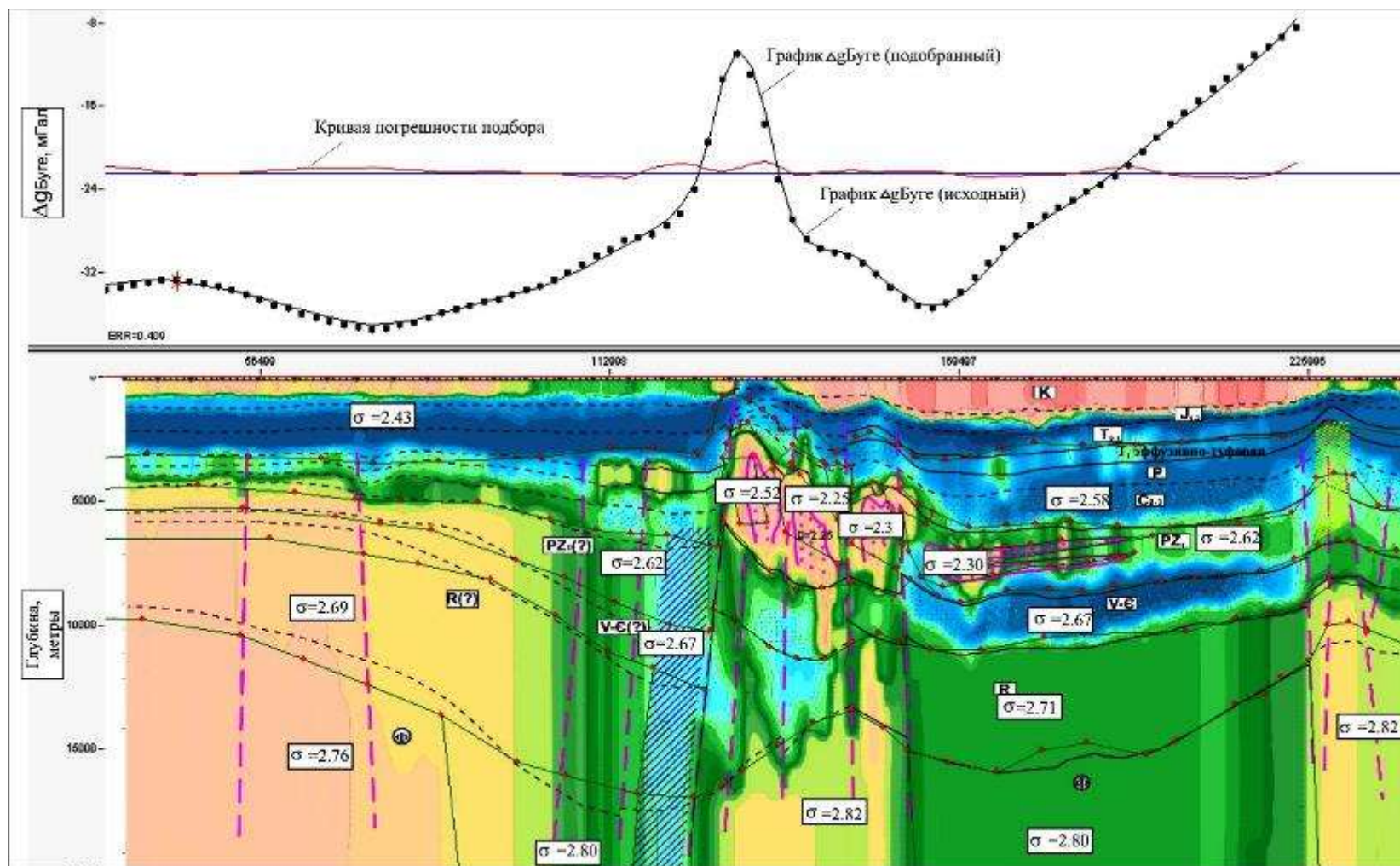
породы фундамента



соли



зона разлома



Комплексная аэрогеофизическая съемка с использованием вертолета МИ-8МТВ
(вариант метода переходных процессов – МПП)
ФГУГП «Урангео», Сибирский филиал «Березовгеология», А. П. Долгушин, В. И. Лосюк, 2013.

Платформа «Импульс-А5»

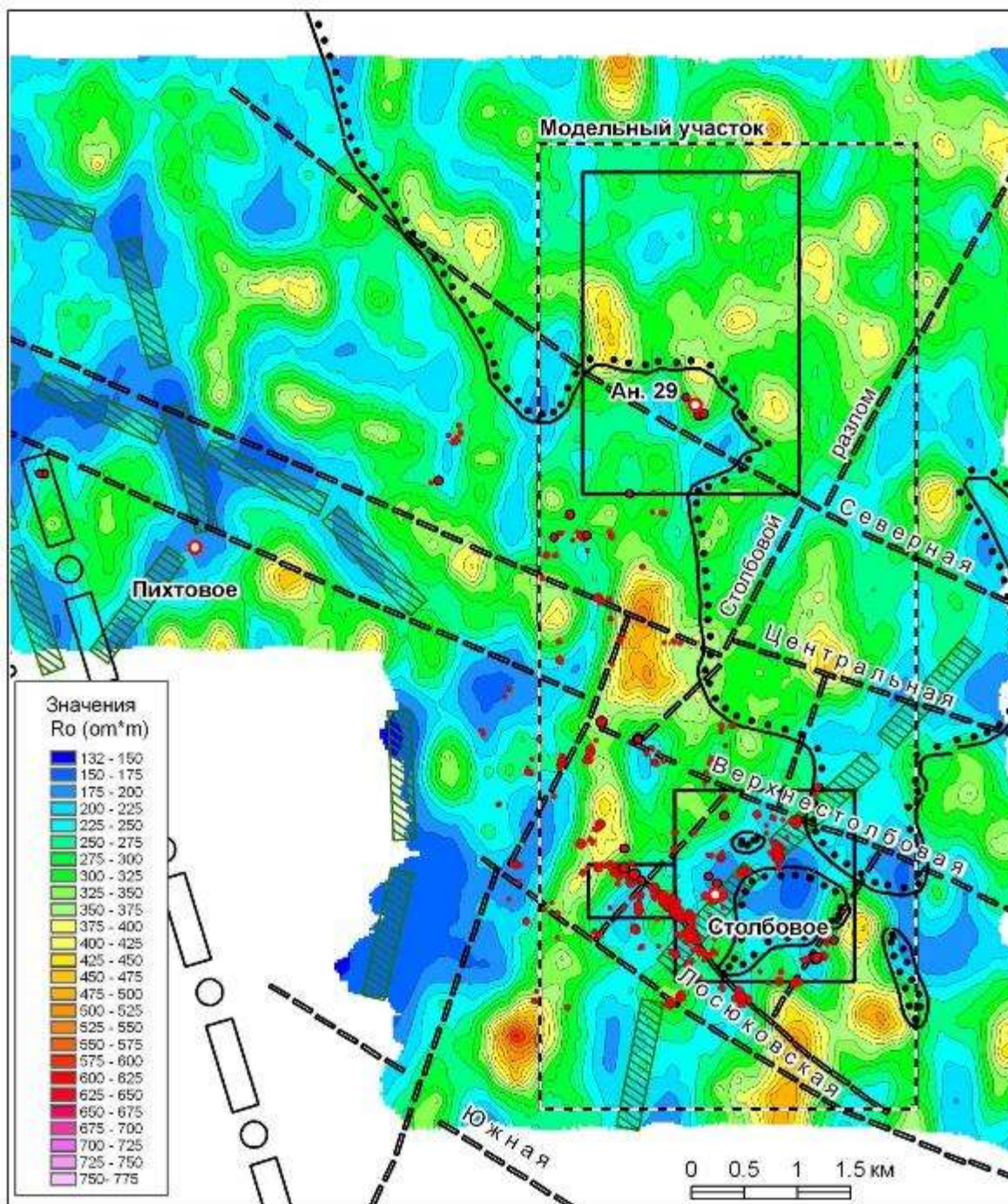


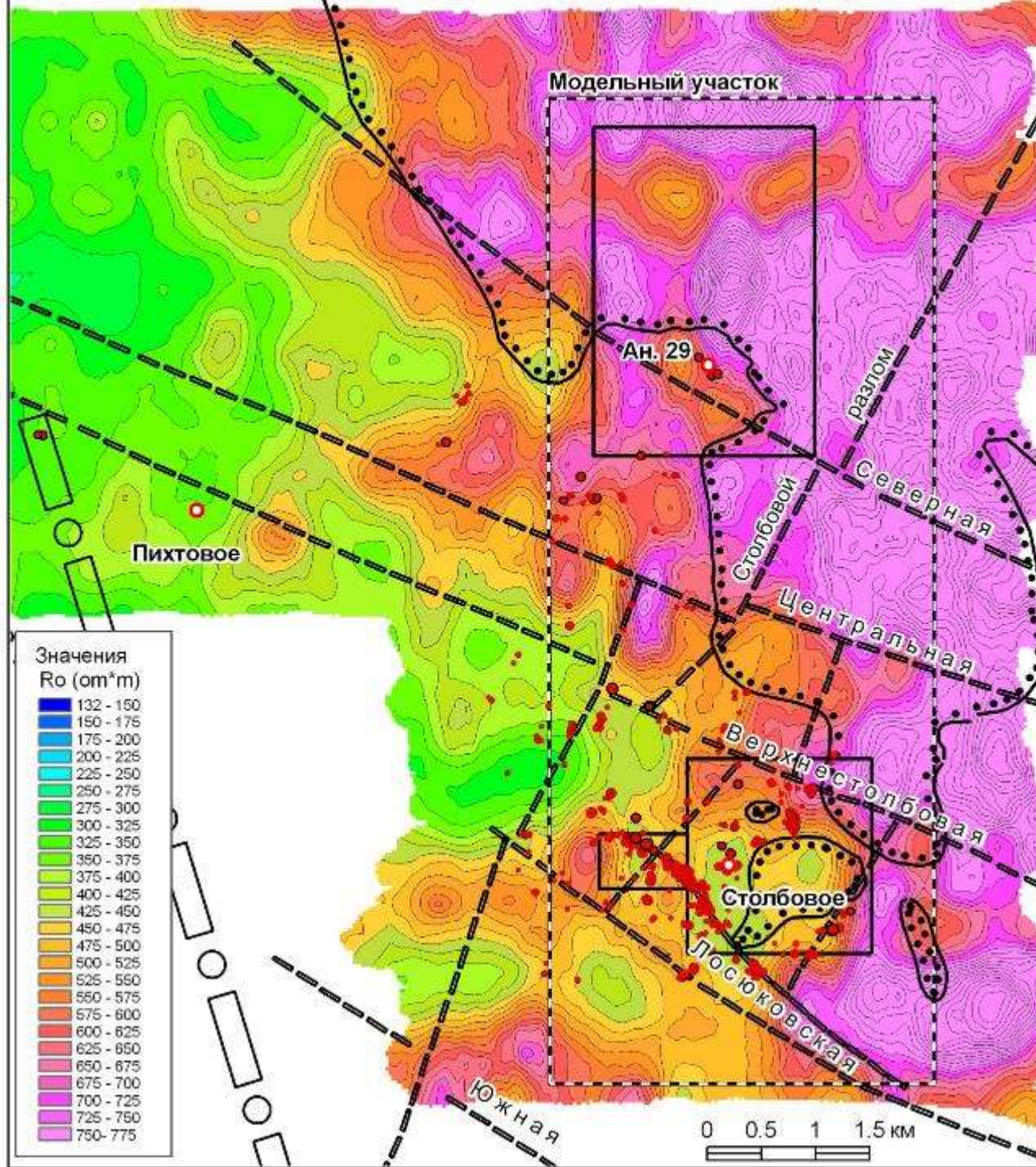
Вид из люка вертолета



Основные структуры и ураноносность Модельного участка в геоэлектрических полях на глубине 200-250 м по данным аэрообработки масштаба 1:10000 (2013г)

ФГУП «Урангео», Сибирский филиал «Березовгеология»,
А. П. Долгушин, В. И. Лосюк,
2013.



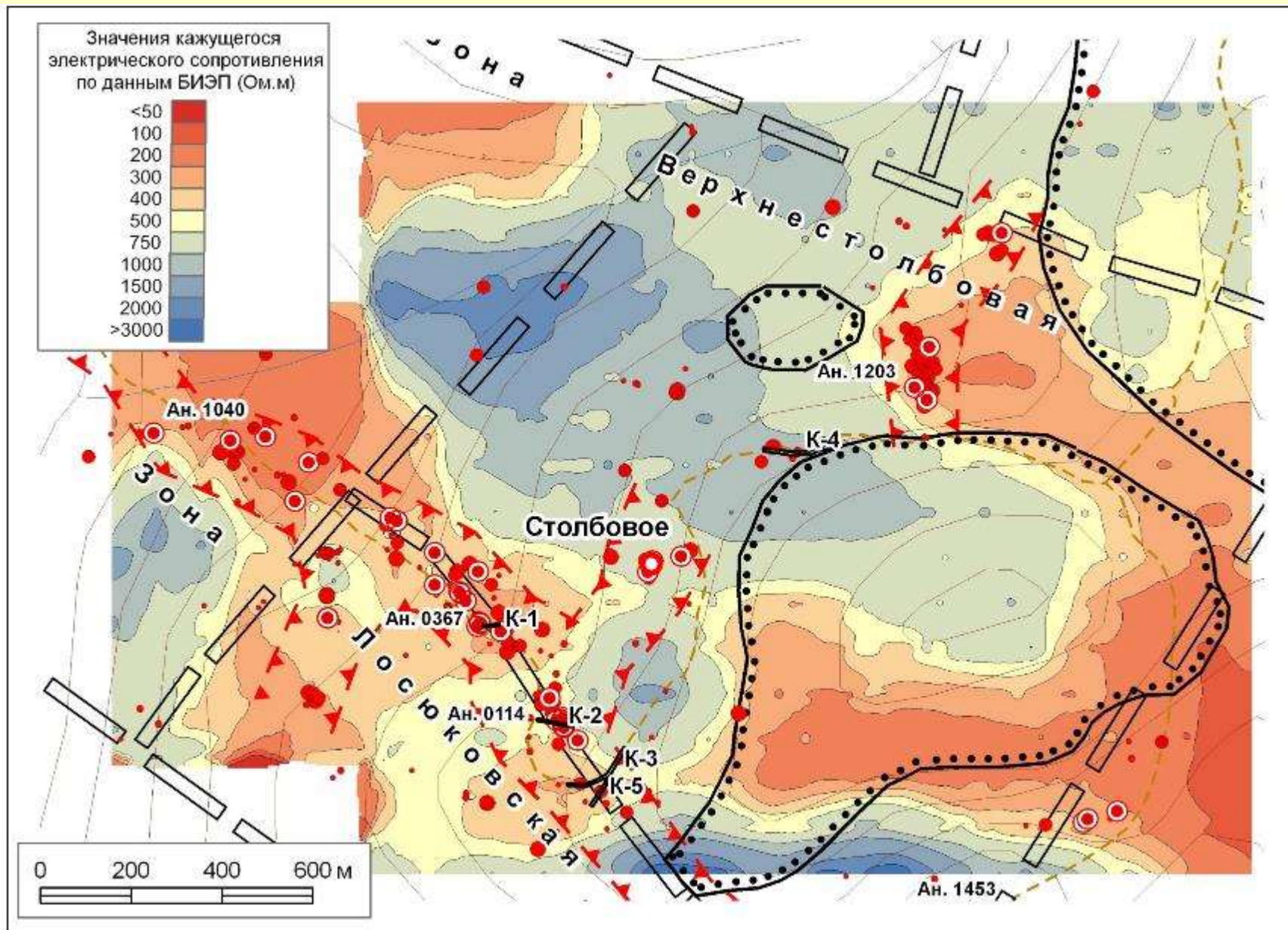


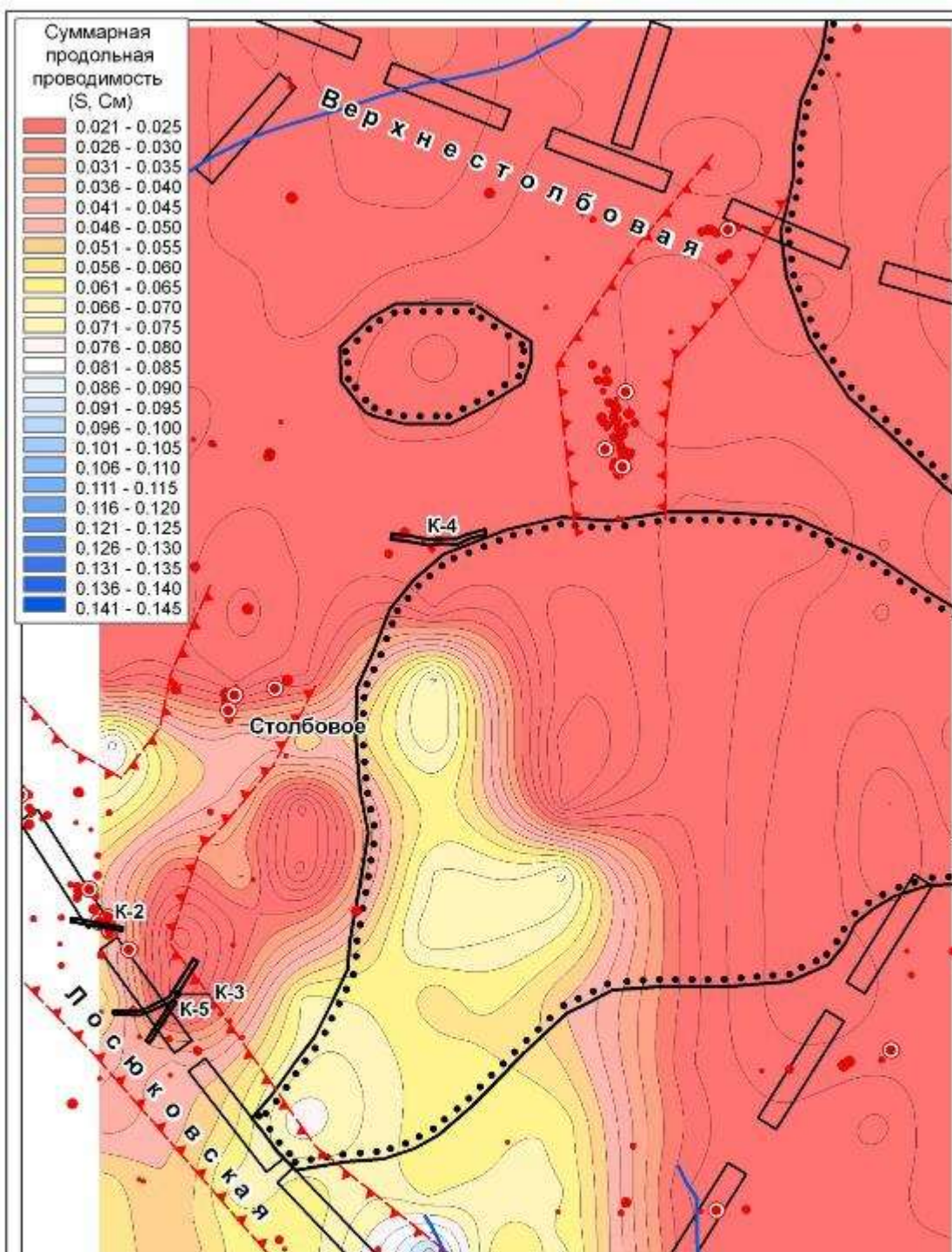
Основные структуры и урано-носность Модельного участка в геоэлектрических полях на глубине 100 м по данным аэроабот масштаба 1:10000 (2013г)

ФГУГП «Урангео», Сибирский филиал «Березовгеология»,
А. П. Долгушин, В. И. Лосюк,
2013.

Карта изолиний электрического кажущегося сопротивления по данным наземной электроразведки методом БИЭП детального участка месторождение Столбовое

ФГУП «Урангео», Сибирский филиал «Березовгеология», А. П. Долгушин, В. И. Лосюк, 2013.





Карта изолиний суммарной продольной проводимости по данным наземной электроразведки методом МЗСБ детального участка месторождение Столбовое на глубине 100-200 м.

ФГУГП «Урангео», Сибирский филиал «Березовгеология»,
А. П. Долгушин, В. И. Лосюк,
2013.

Картирование техногенных загрязнений геологической среды

Функционирование многих крупных промышленных производств сопряжено с необходимостью аккумуляирования и длительного хранения значительных объемов жидких промышленных отходов.

Хранилища жидких промышленных отходов

Подземные

Оценка возможности проникновения отходов в питьевые водоносные горизонты

Поверхностные

Открытые

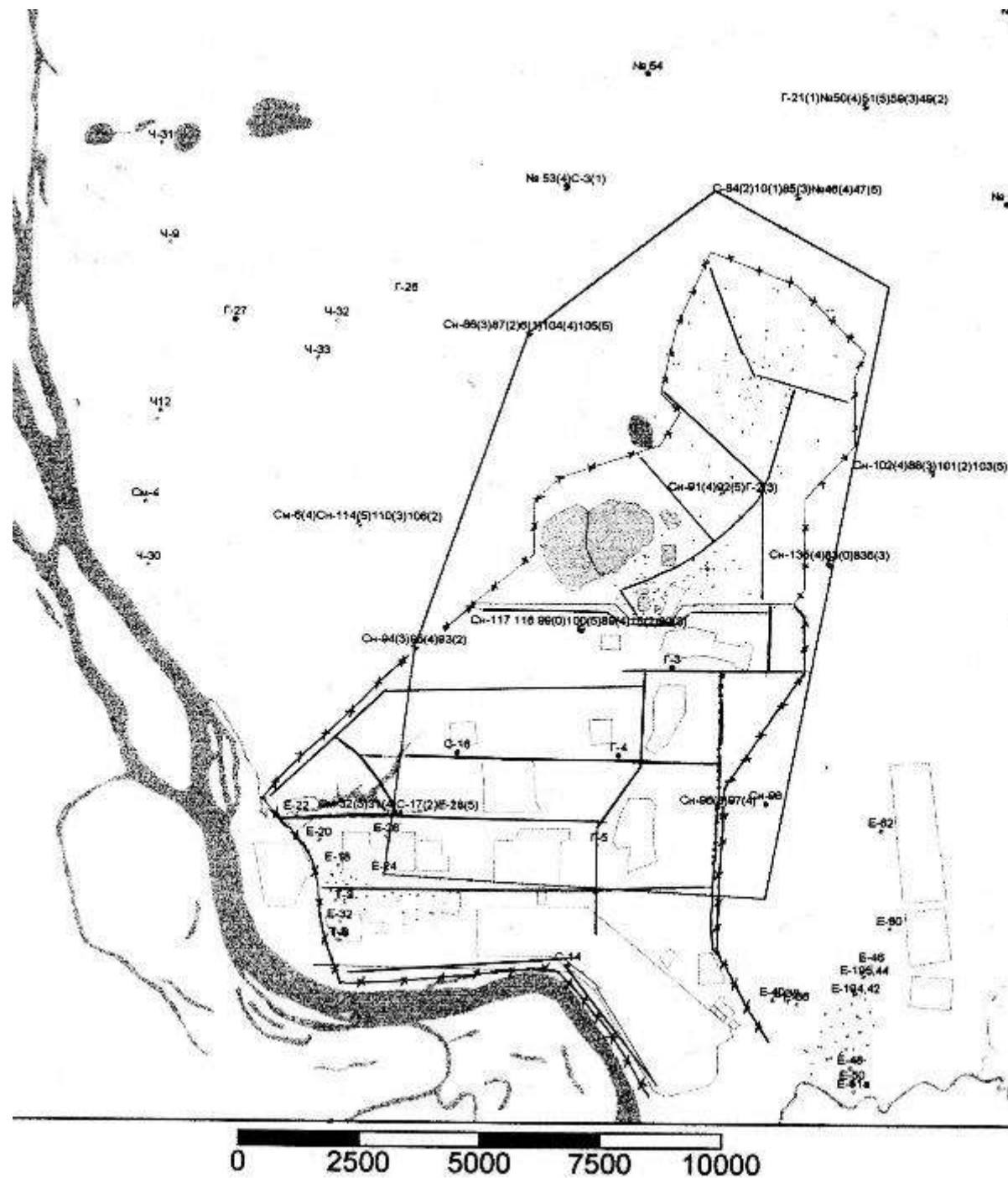
Закрытые

Оценка состояния глинистого экрана и выявление возможных утечек как у находящихся в режиме наполнения, так и особенно у законсервированных отстойников. Картирование ореолов распространения отходов при наличии протечки глинистого экрана.

Геоэкологические проблемы



Положение полигонов захоронения ЖРО СХК



СЗ

ЮВ

Подземное захоронение

В разрезе площадки захоронения ЖРО выделяют шесть водоупорных глинистых горизонтов, обозначаемых буквами (снизу вверх):

А – кора выветривания фундамента (карбон, лагерносадская свита) и илекская (киялинская) свита нижнего мела,

В – верхи кийской свиты (нижний-средний мел),

С и **Д** – верхи симоновской свиты (верхний мел),

Е – люлинворская свита нижнего палеогена,

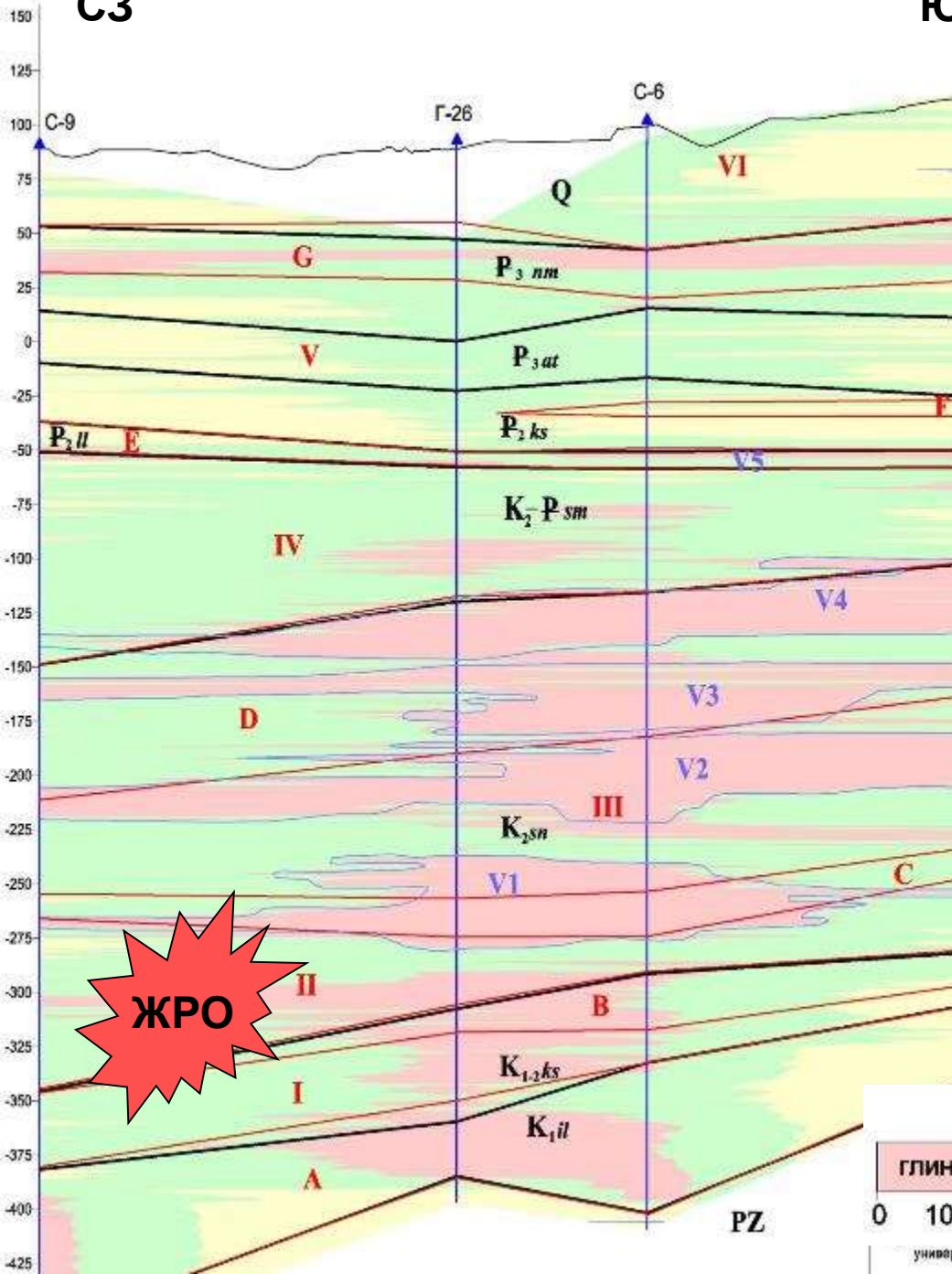
Г – верхи тавдинской свиты верхнего палеогена,

Г – новомихайловская свита верхнего палеогена, которая считалась региональным водоупором.

Их разделяют пять водоносных горизонтов, обозначаемых римскими цифрами. Питьевую воду берут из V горизонта.

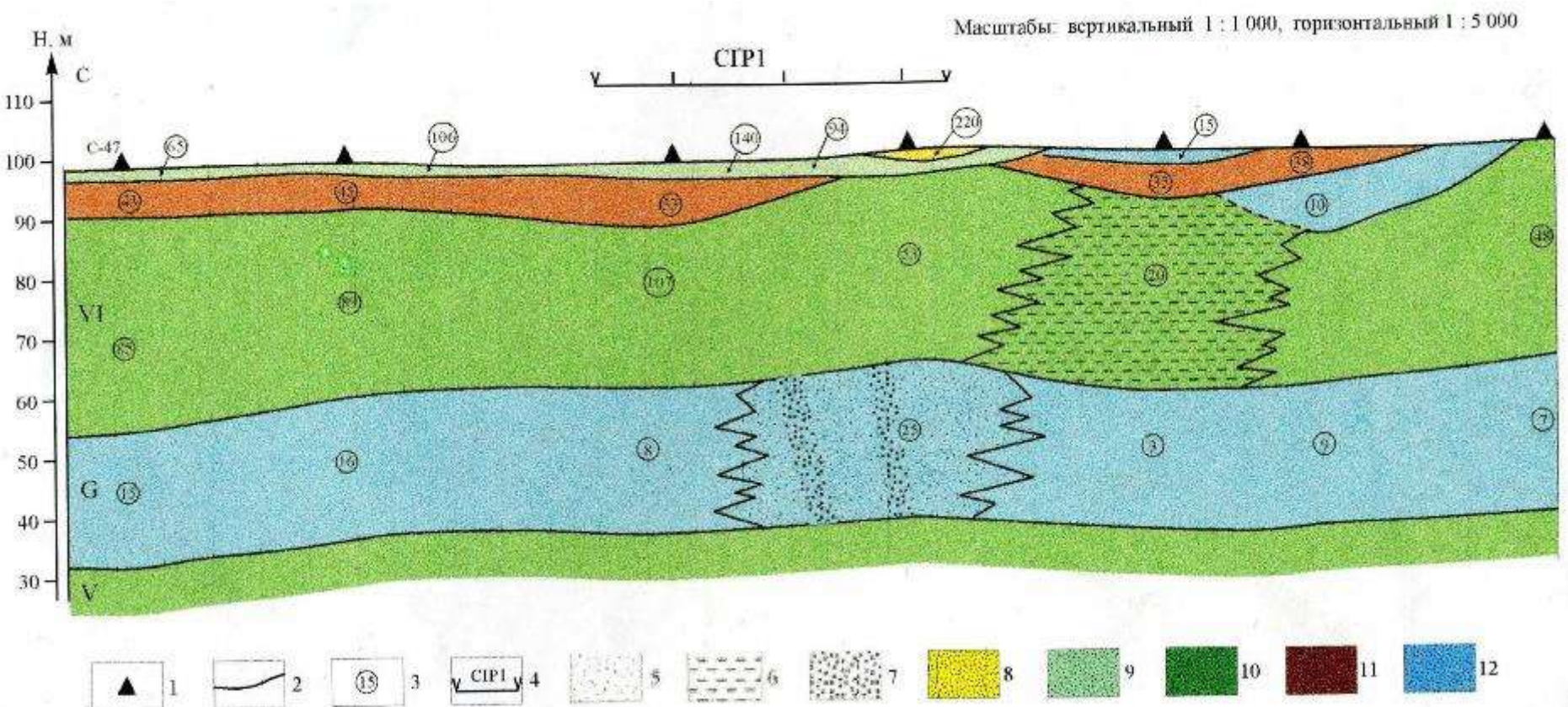
В I и II горизонты (кийская и симоновская свиты) закачивают ЖРО.

Кроме того, на полигоне захоронения ЖРО имеются поверхностные хранилища ЖРО (пруды – отстойники): три бассейна и два пульпохранилища. В эти хранилища сбрасывались отходы с разных заводов СХК.



Шкала интенсивности раскраски





1 - положение точек зондирования; 2 - положение геоэлектрической границы в точке ВЭЗ; 3 - значение УЭС слоя в Ом м; 4 - положение сейсмического профиля и пункты возбуждения; 5 - зоны относительного опесчанивания водоупора G; 6 - зоны относительной заглинизированности толщи VI водоносного горизонта; 7 - локальные окна фильтрации в водоупоре G по данным сейсморазведки; 8 - пески зоны азрации; 9 - пески слабообводненные; 10 - преимущественно песчаные отложения; 11 - супеси, суглинки; 12 - преимущественно глинистые отложения.

Рис.15 Фрагмент геоэлектрического разреза по субмеридиональному профилю между пл. 13 и РХЗ (Гусев Е.В. и др., 1993г.)

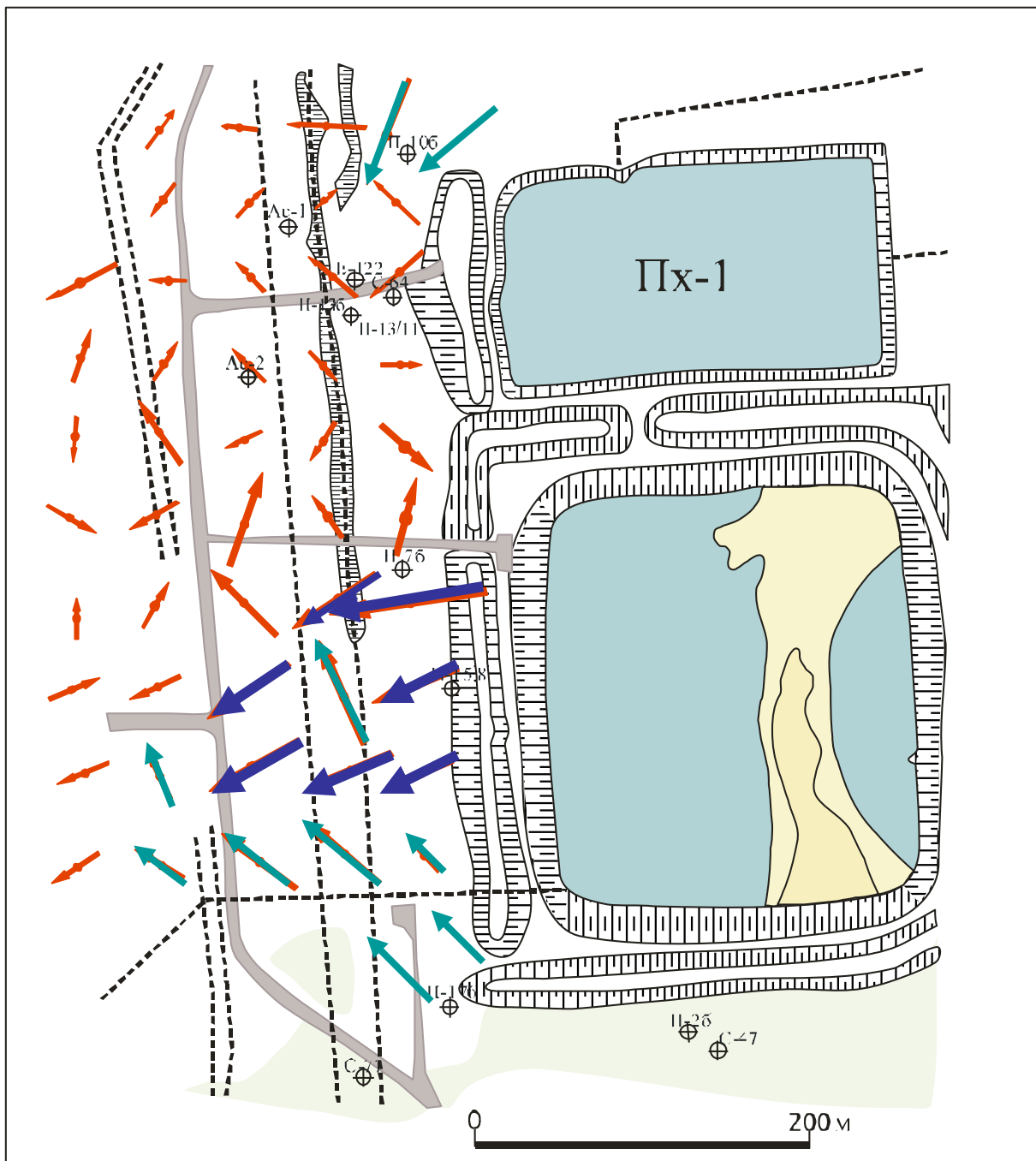
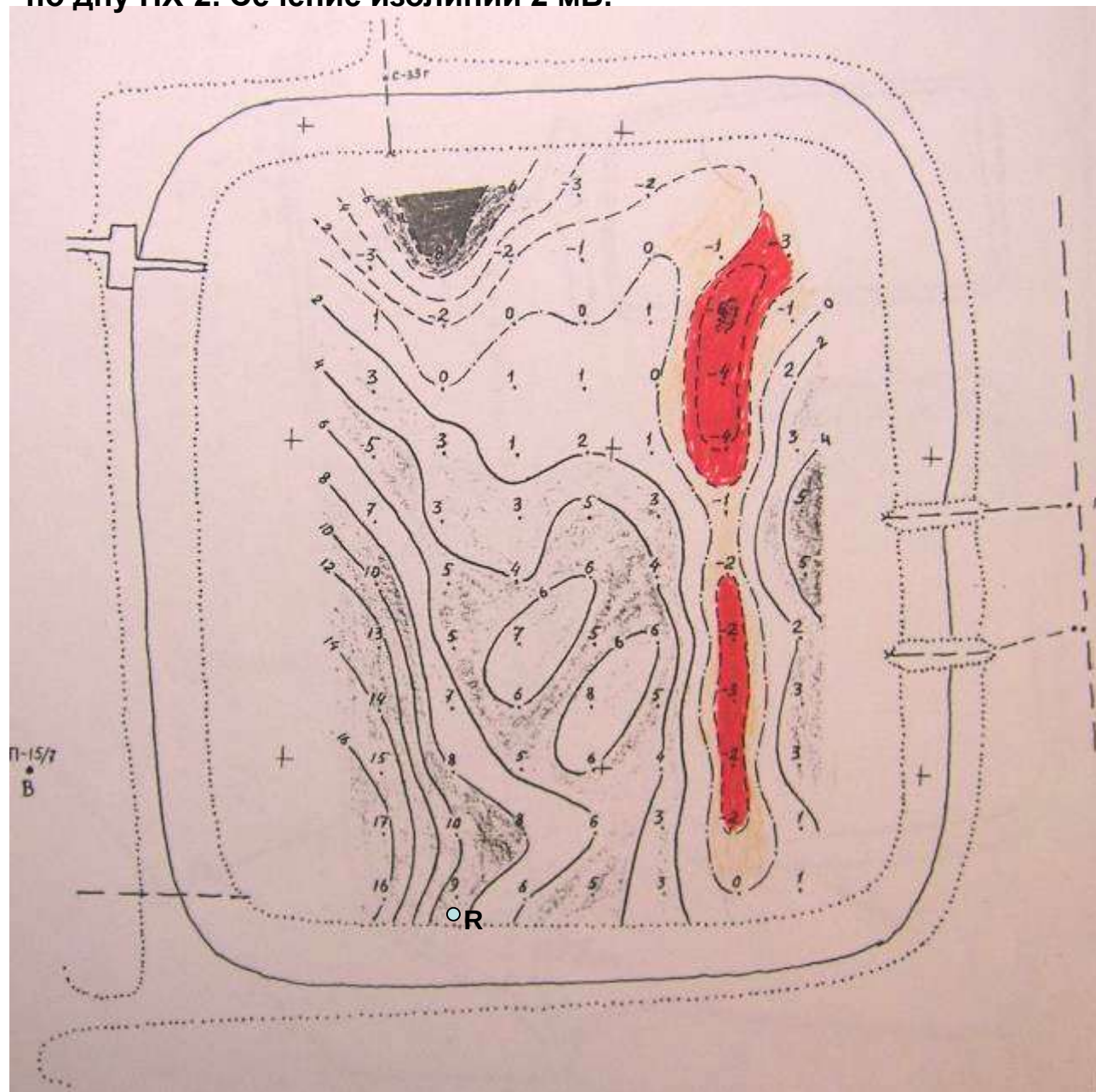


Схема простираций полных горизонтальных векторов градиента потенциала на западном фланге пульпохранилища ПХ-2 (на сентябрь 1992 г.)

План изолиний потенциала ЕП (постоянная составляющая)
по дну ПХ-2. Сечение изолиний 2 мВ.

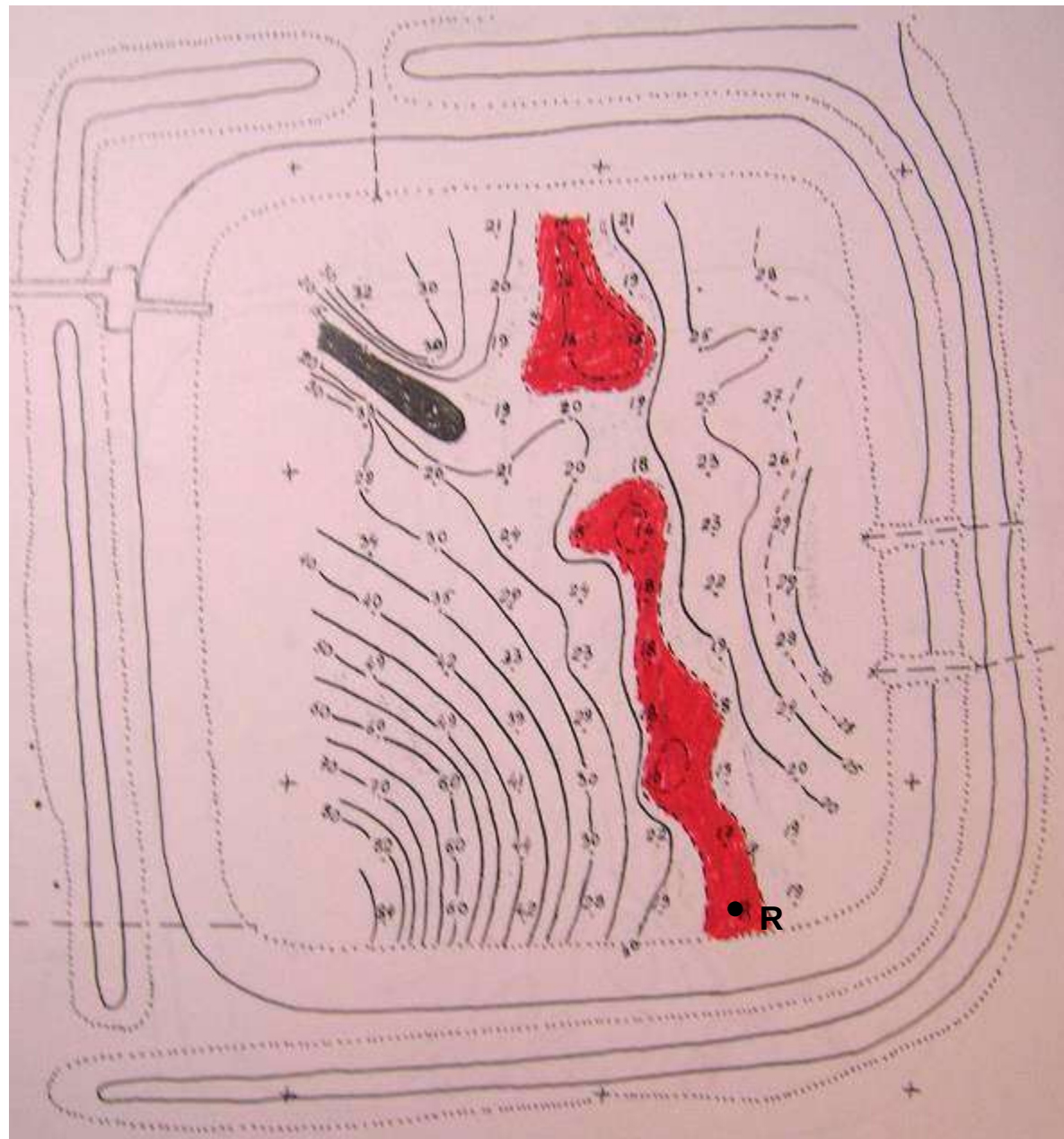


План изолиний потенциала переменного естественного электрического поля

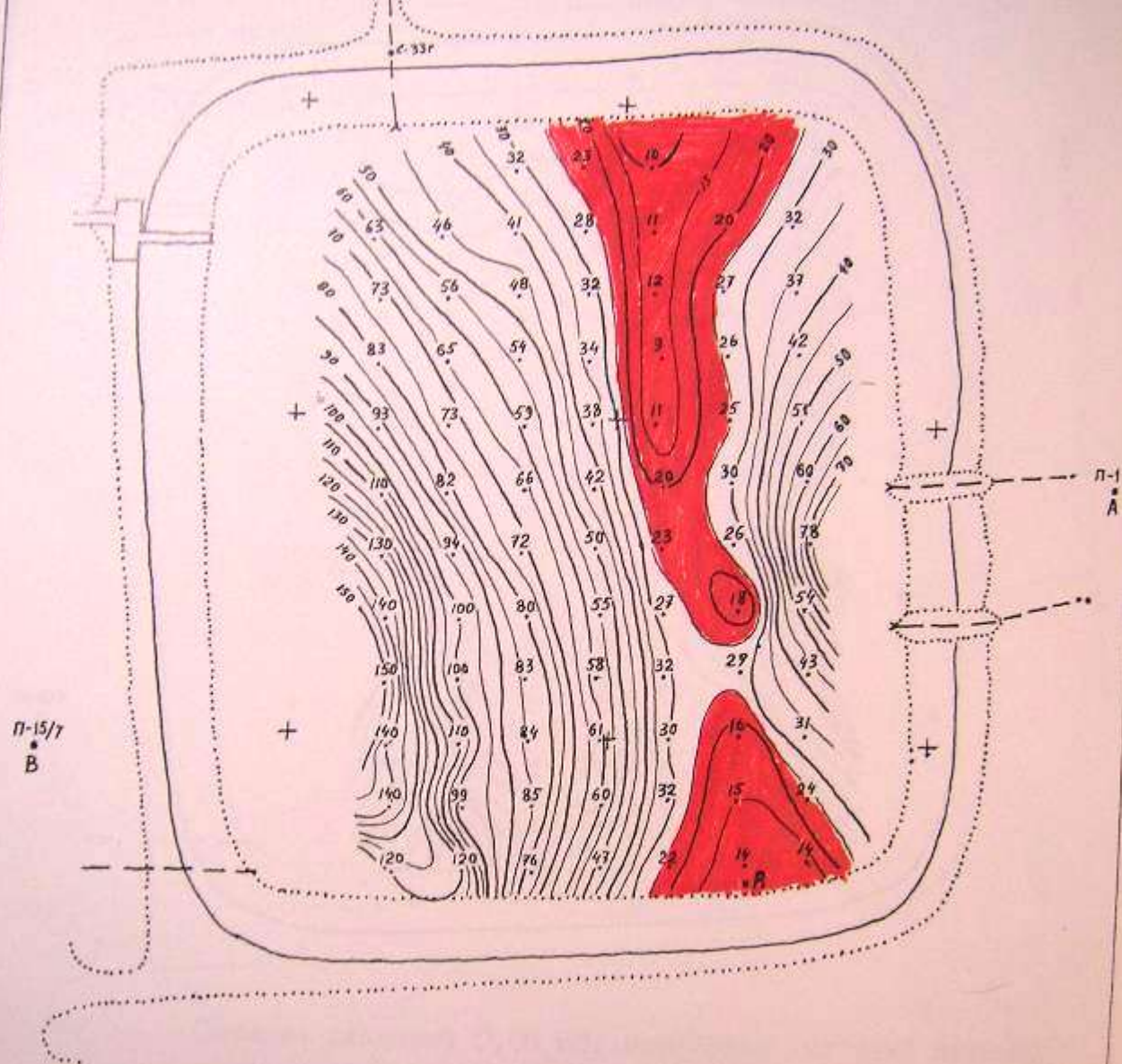
Полоса частот 40 – 1000 Гц

R – положение неподвижного
приемного электрода.

Сплошные изолинии проведены
через 0,05 мВ, пунктирные – через
0,02 мВ, оцифровка изолиний в
сотых долях мВ.



**План изолиний наблюдаемого
потенциала питающих
электродов по дну ПХ-2**

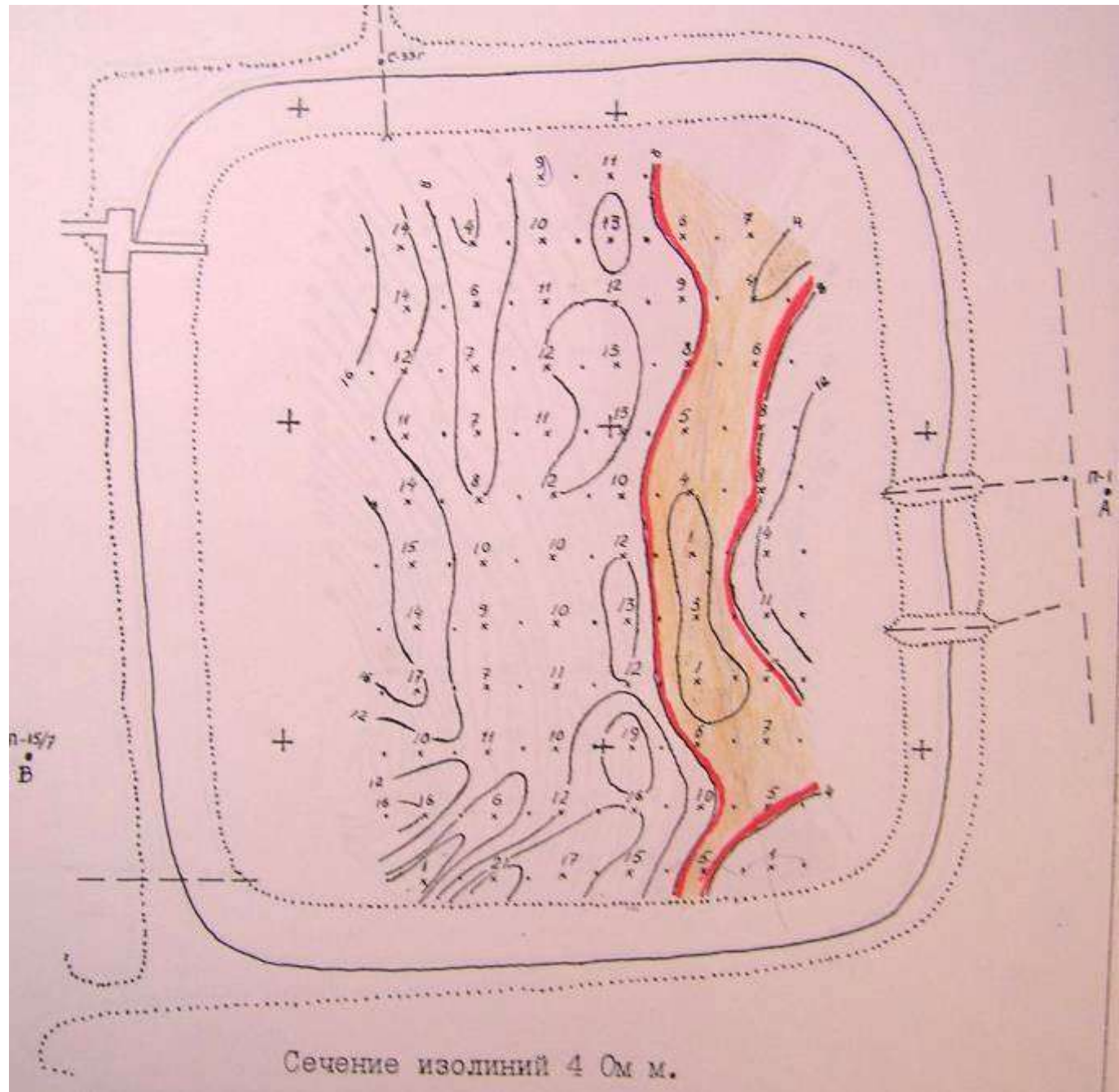


Сечение изолиний 0,1 мВ, оцифровка наблюденных значений
и изолиний дана в сотых долях мВ.

п-15/7 п-1
В А - положение питающих электродов АВ, заземление за об-
садные колонны скважин,

.R - положение приёмного электрода относимости.

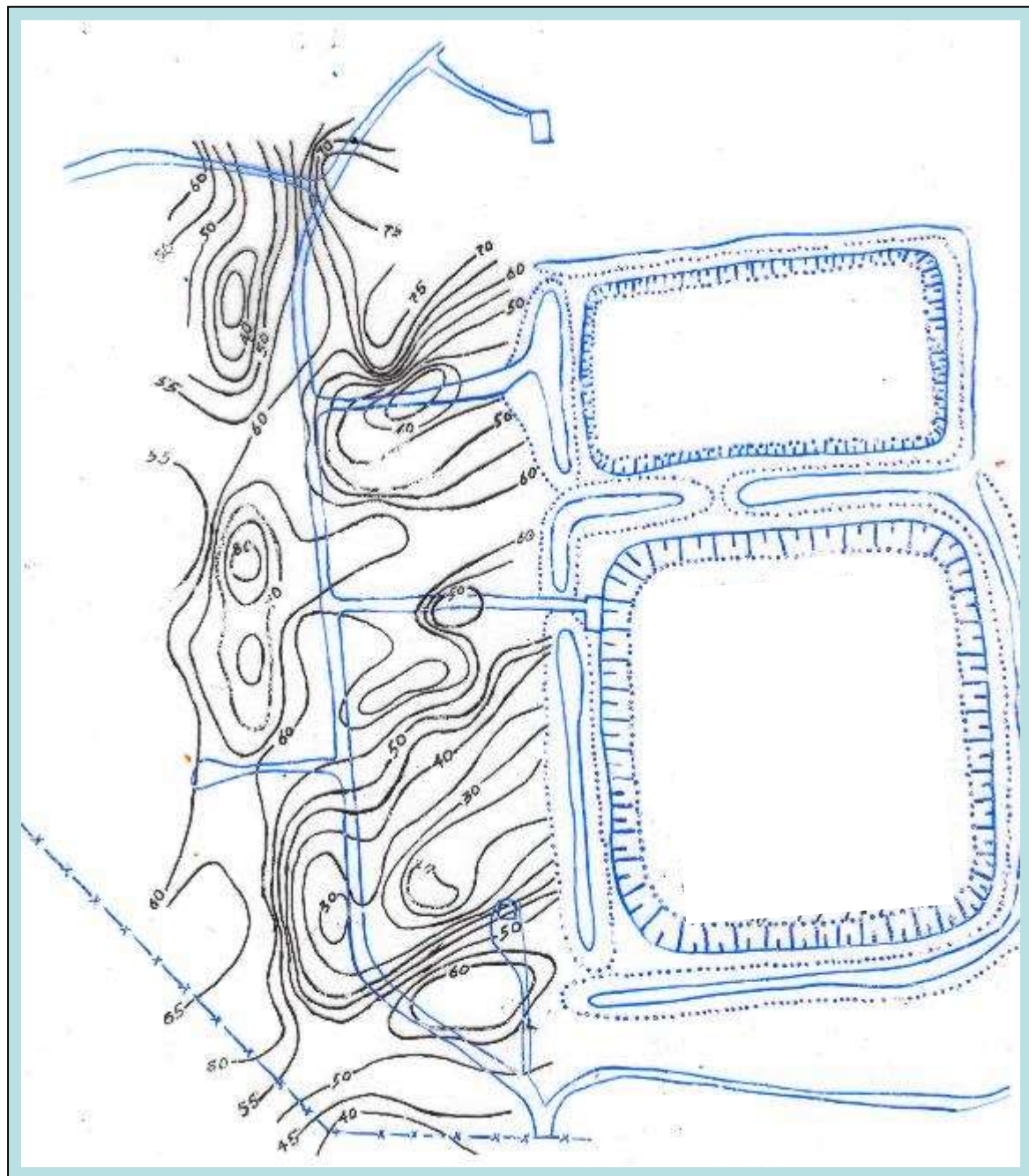
План изолиний
кажущегося удельного
электрического
сопротивления по дну
пХ-2.



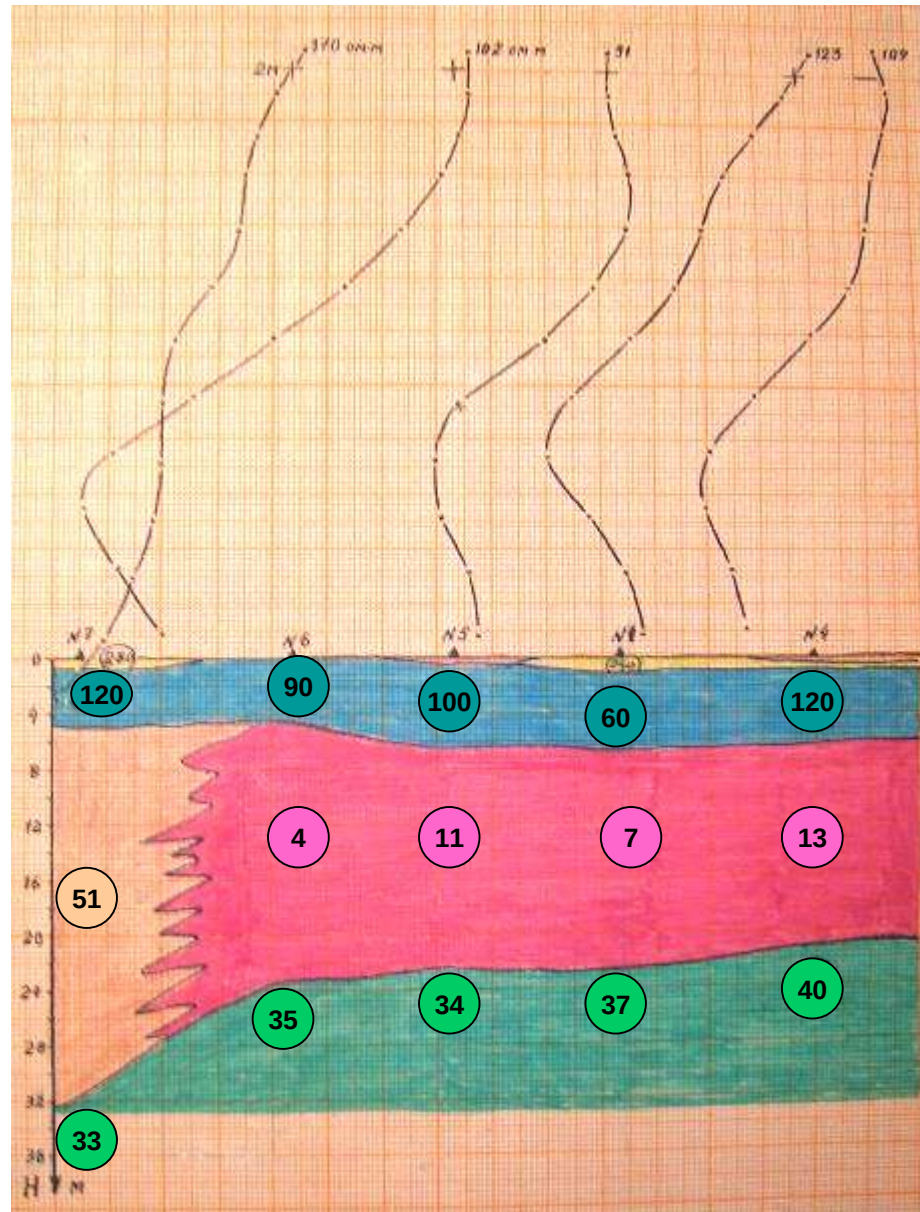
Сентябрь 1994 года

**План изом резистивности кажущегося удельного
электрического сопротивления
грунтов (в Ом м) на западном
фланге
пульпохранилища ПХ-2
(на сентябрь 1994 г.)**

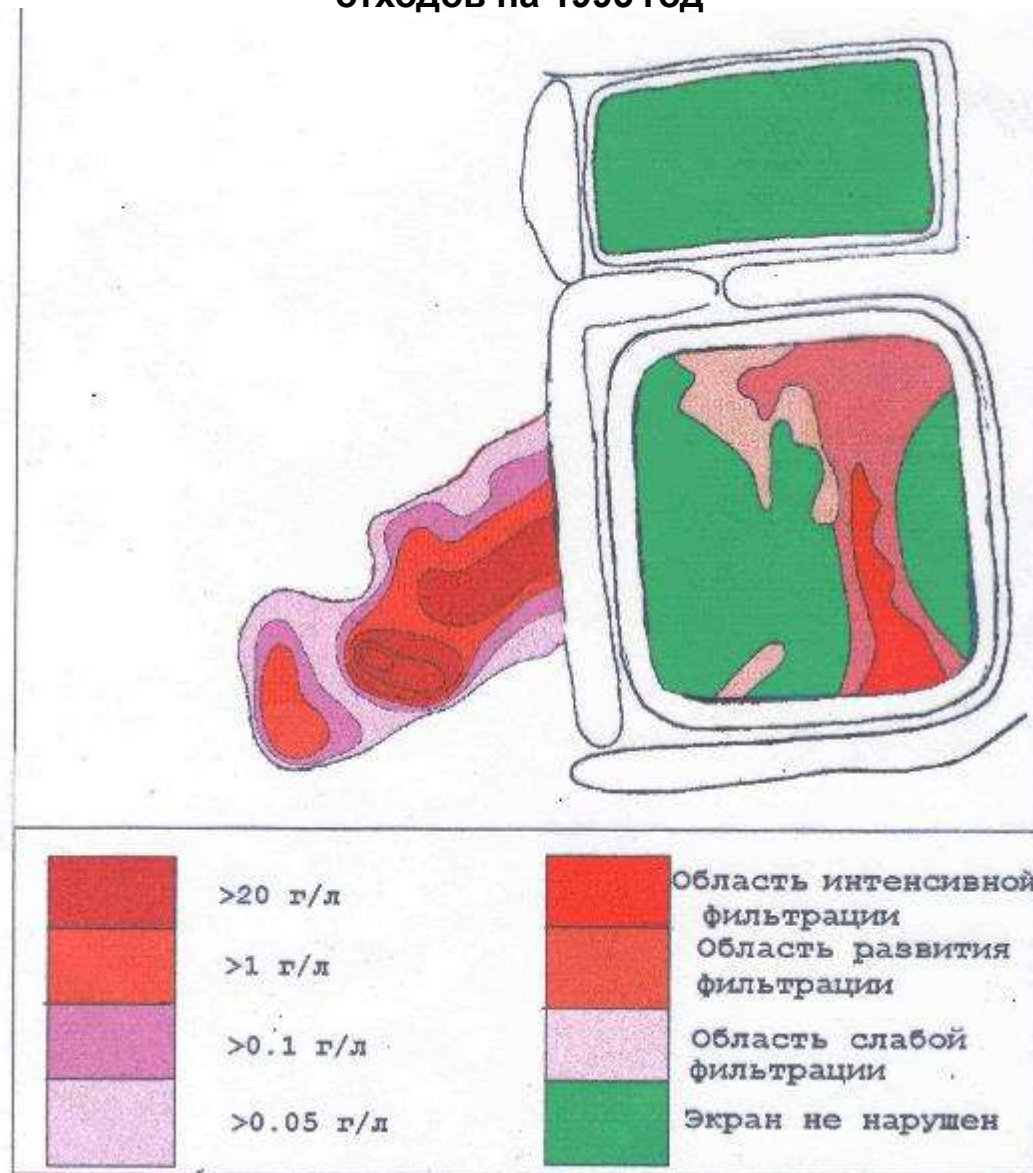
**Симметричная установка АМNB,
AB = 30 м NM = 5 м**



**Геоэлектрический разрез вдоль потока фильтрации
на западном фланге ПХ-2 (на сентябрь 1994 г.)**

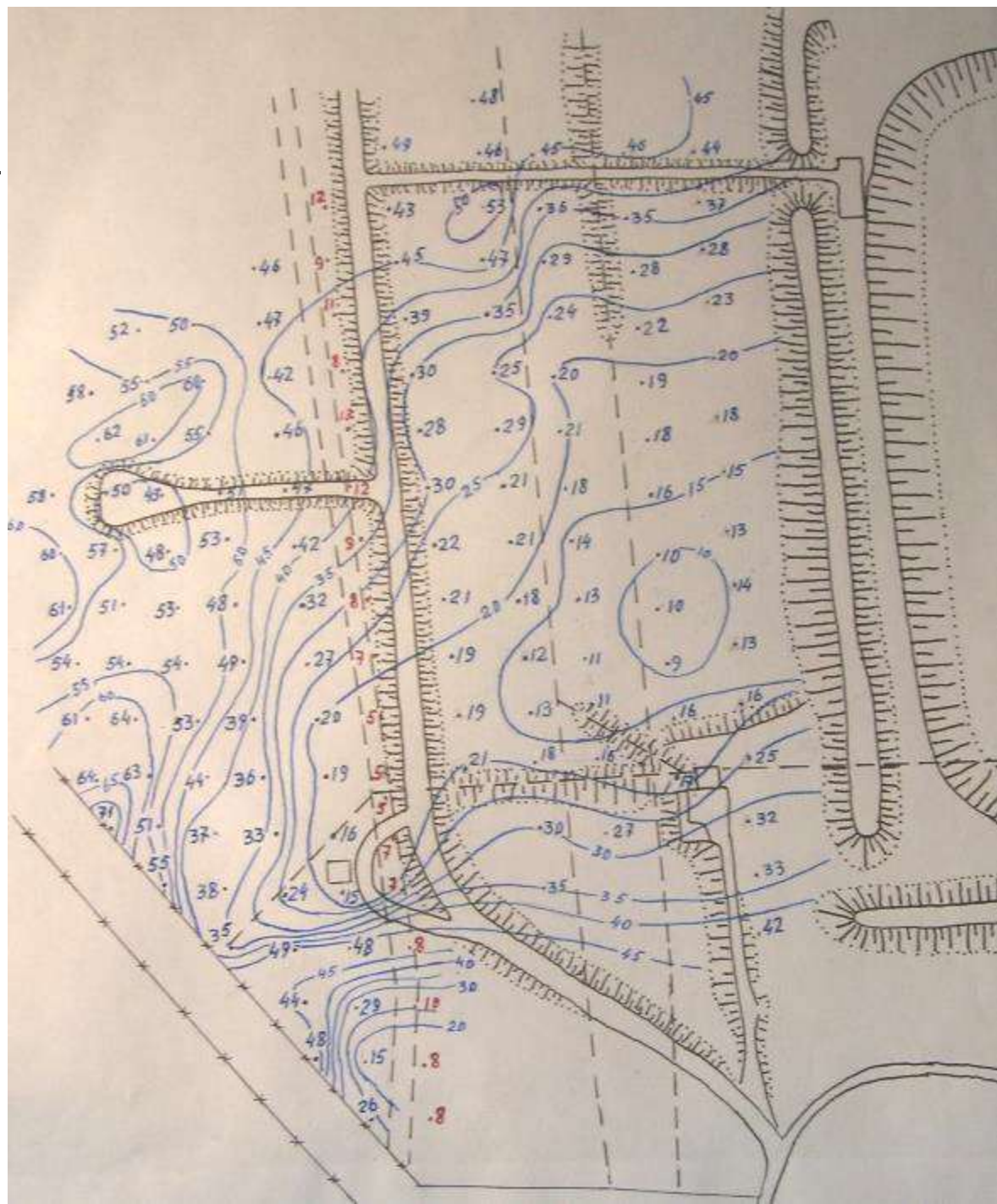


**Карта прогнозной оценки состояния экрана
пульпохранилища ПХ-2 и ореола распространения
отходов на 1995 год**



План изоом кажущегося
удельного электрического
сопротивления на **июнь 2005 г.**

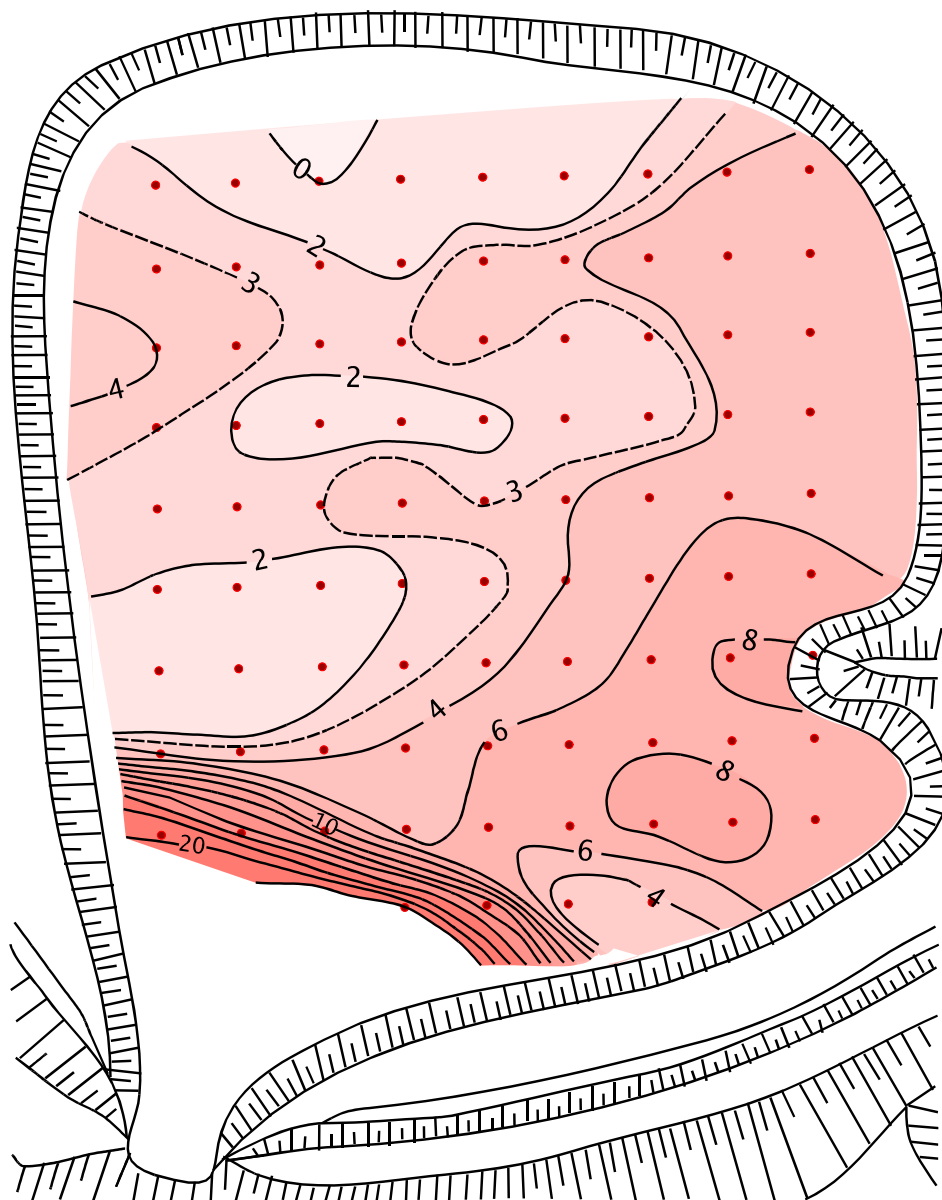
Электропрофилирование
симметричной установкой
с $AB/2 = 40$ м, $MN/2 = 5$ м.



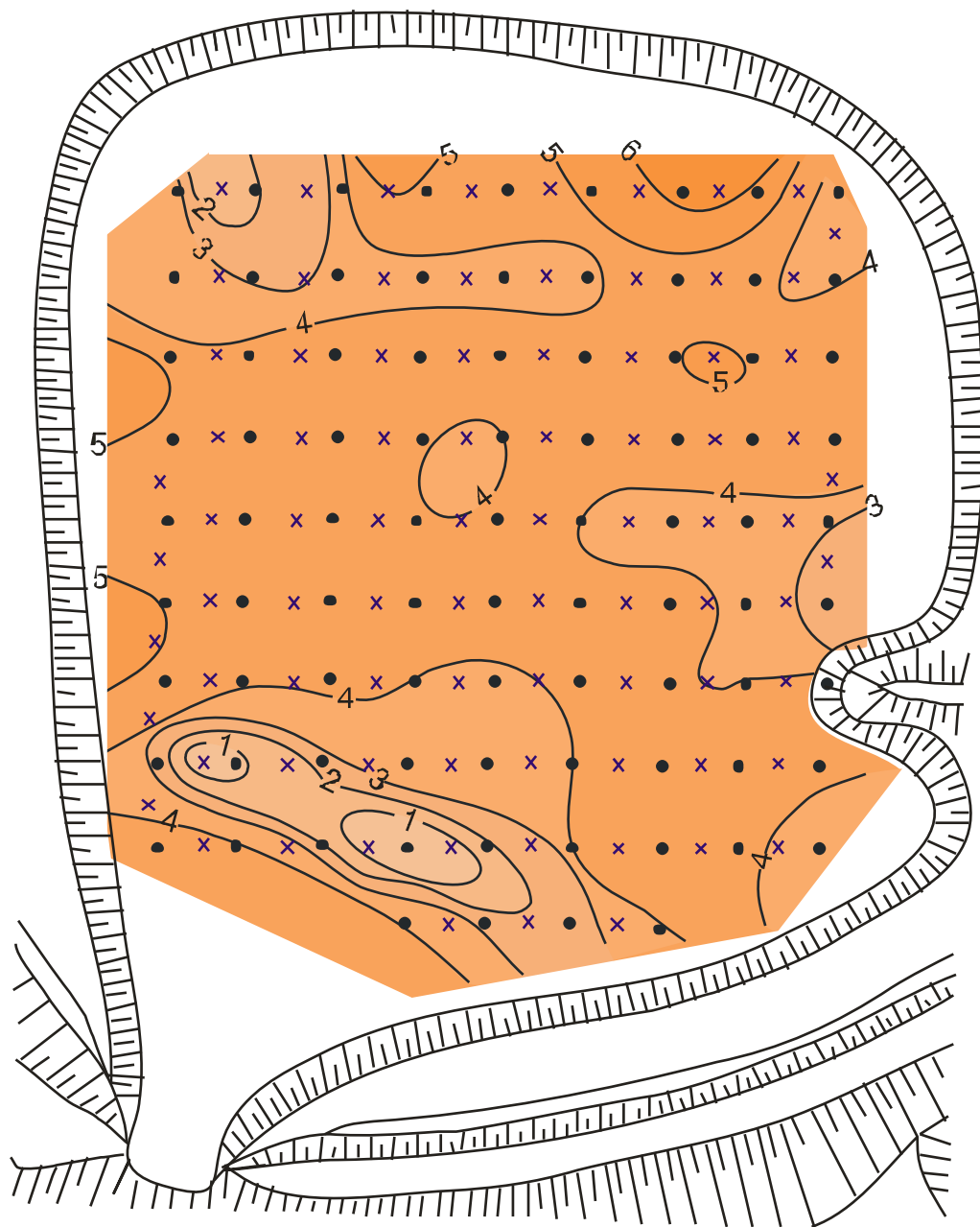
План изоглубин дна
бассейна Б-25



План изолиний
потенциала аномального
поля питающих электродов
(в сотых долях мВ) по дну
бассейна Б-25

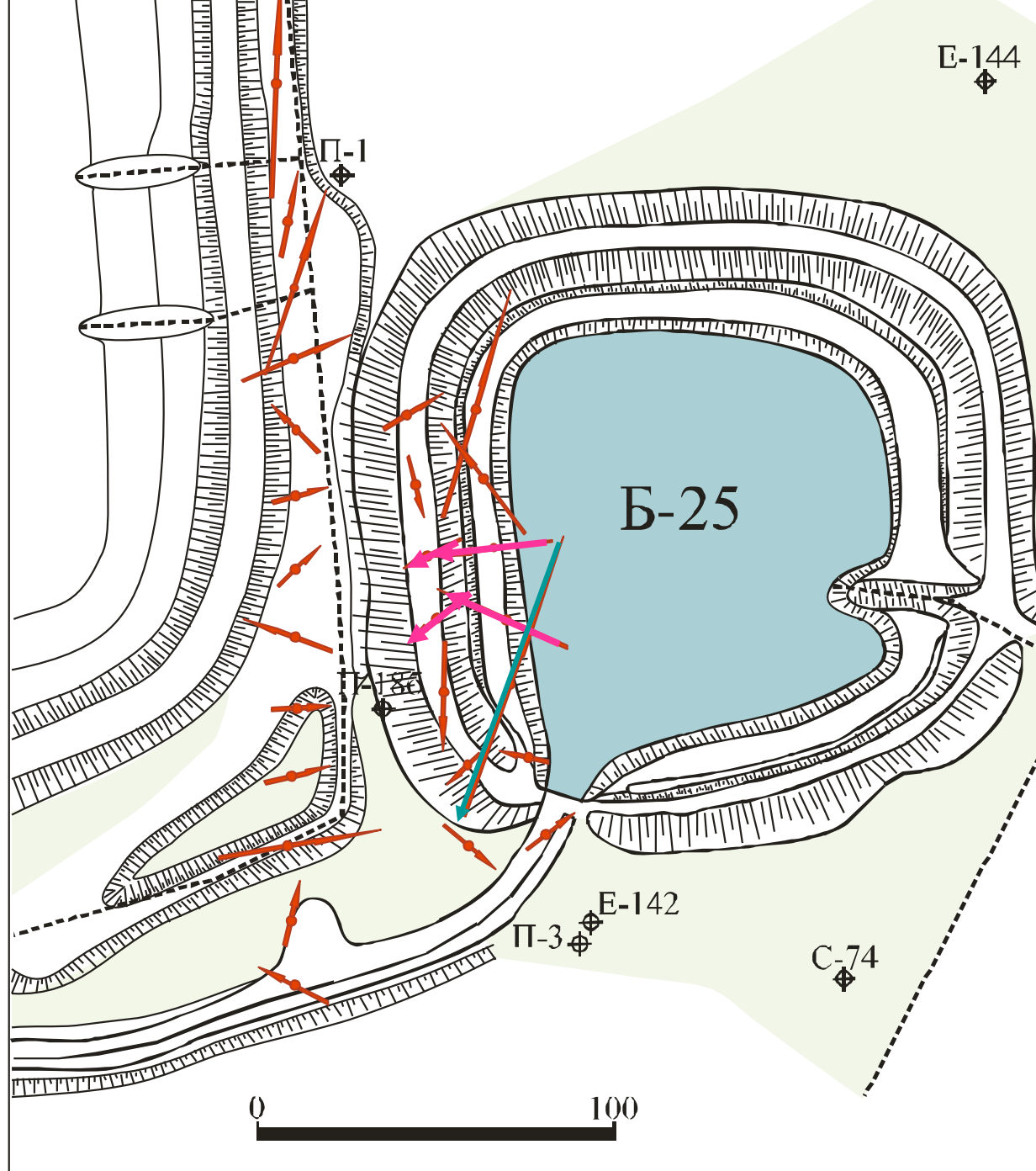


План изоом кажущегося
удельного электрического
сопротивления (в Ом м)
по дну бассейна Б-25.

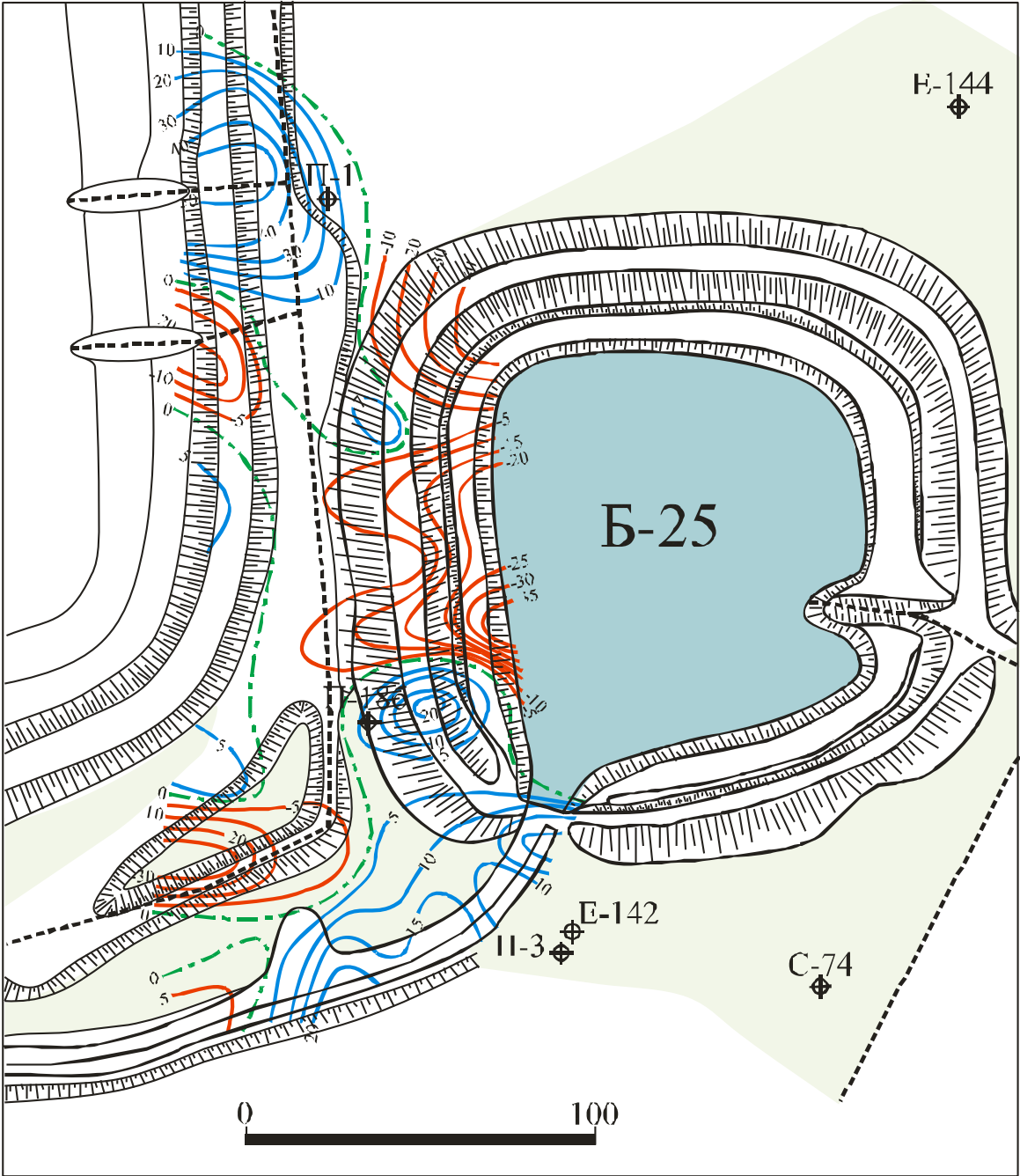


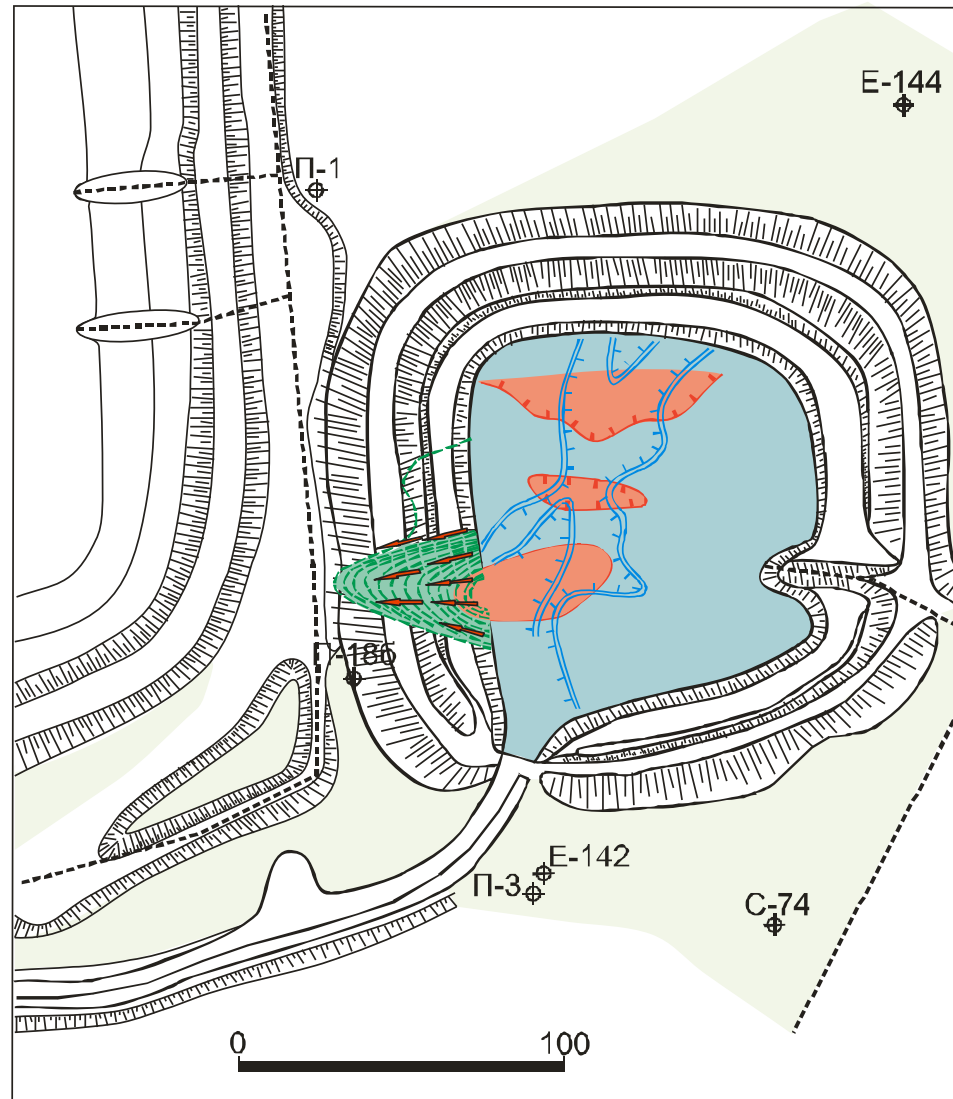
Сентябрь 2004 года

Схема расположения
полных горизонтальных
векторов градиента
потенциала естественного
электрического поля по дну
бассейна Б-25



Карта изолиний потенциала
естественного электрического
поля (в мВ) по западному
флангу бассейна Б-25





Условные обозначения

-  -зоны минимумов потенциала блуждающих токов;
-  -зоны минимума потенциалов питающих электродов;
-  -зоны минимумов потенциала естественного поля;
-  потенциал естественного поля;

полученных по дну и западному флангу бассейна Б-25.