

Томский политехнический университет  
Институт геологии и нефтегазового дела

# МАГНИТОРАЗВЕДКА

Кафедра геофизики

Лектор:  
Лукин Алексей Анатольевич

- Магнитометрическая или магнитная разведка (магниторазведка) [magnetic exploration] — это геофизический метод решения геологических задач, основанный на изучении магнитного поля Земли.

# Курс включает следующие

## основные разделы:

- *Тема 1.* ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ МАГНЕТИЗМА
- *Тема 2.* МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ
- *Тема 3.* СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
- *Тема 4.* МЕТОДИКА И ТЕХНИКА МАГНИТНЫХ СЪЕМОК
- *Тема 5.* СПОСОБЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ
- *Тема 6.* КАЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КАРТ И ГРАФИКОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
- *Тема 7.* ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТОРАЗВЕДКИ

# I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ МАГНЕТИЗМА.

- 1.1. Характеристики поля постоянного магнита.
- 1.2. Индукция и напряженность магнитного поля.
- 1.3. Магнитные свойства веществ.
- 1.4. Кажущаяся магнитная восприимчивость.
- 1.5. Поле магнитного диполя.
- 1.6. Единицы измерения магнитных величин.

## 1. Основные сведения из теории магнитного поля.

**Магнитное поле** – одна из форм проявления электромагнитного поля, особенностью которой является действие его только на **движущиеся частицы** и тела, обладающие электрическим зарядом, а также на намагниченные тела независимо от состояния их движения.



$$M = 2\ell \cdot m$$

$$J = (\Sigma M_{\text{эл}}) / V$$

Магнитный момент тела  $M = J V$

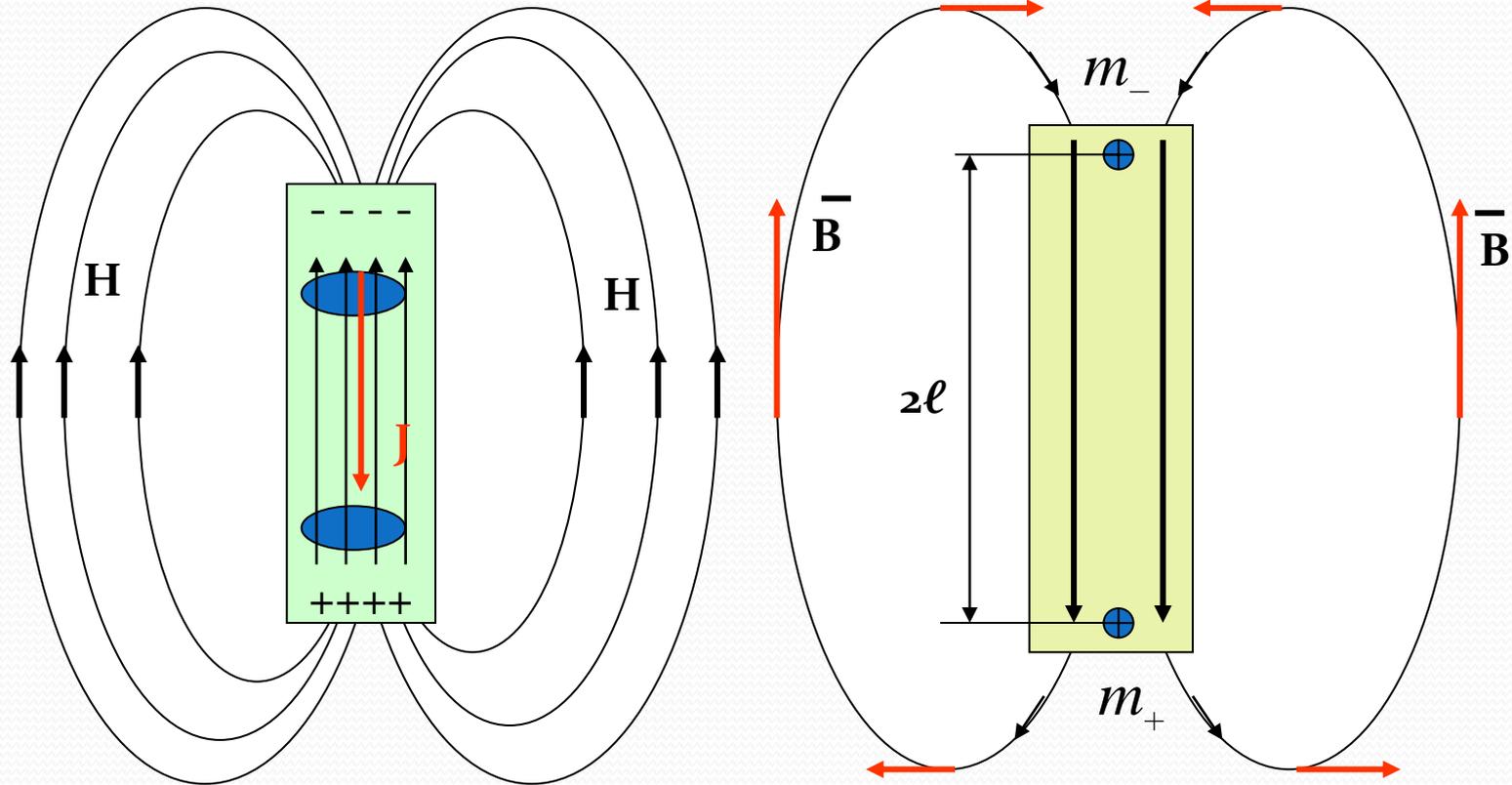
$$J = \alpha H$$

## 1.2. Индукция и напряженность магнитного поля.

Magnetic field strength; Magnetic Intensity

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} - 4\pi \mathbf{e} \mathbf{H}$$

$$\mu = 1 - 4\pi \mathbf{e}$$



Основные силовые характеристики магнитного поля – **индукция и напряженность**. **Индукция (B)** численно равна силе, с которой действует магнитное поле на единичный элемент тока, расположенный перпендикулярно к вектору индукции.

# 1.3. Магнитные свойства веществ.

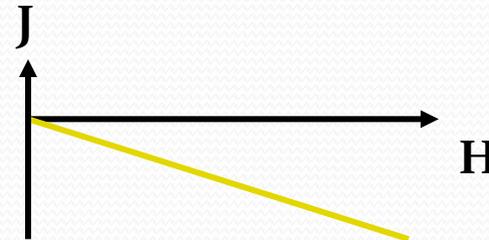
$\epsilon$  - магнитная восприимчивость,

$J$  - намагниченность (вектор намагничения)

$M$  - магнитный момент

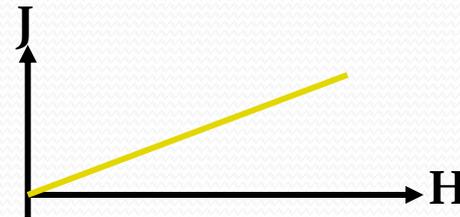
Магнетики:

1. Диамагнетики



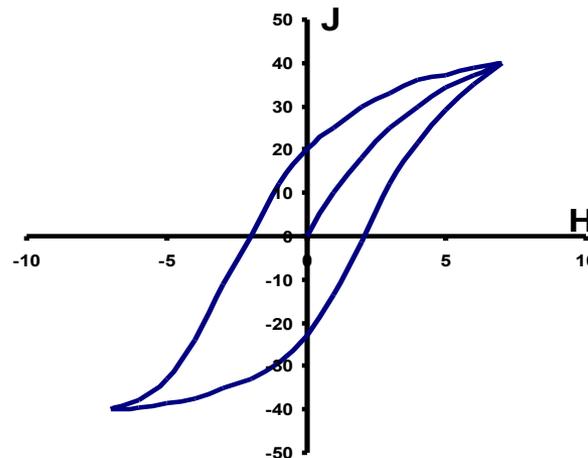
$$\epsilon < 0$$

2. Парамагнетики



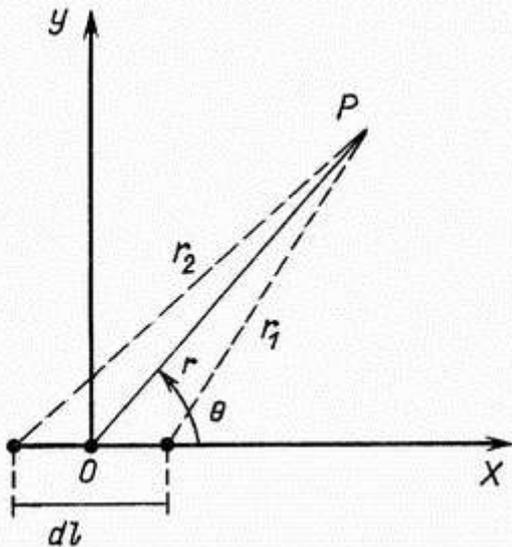
$$\epsilon > 0$$

3. Ферромагнетики



$$\epsilon \gg 0$$

# Поле магнитного диполя



$$dU = \frac{m}{\mu} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right),$$

$$dU = \frac{m}{\mu} \left[ \frac{1}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{dl}{r}\right)^2 - r dl \cos \theta}} - \frac{1}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{dl}{r}\right)^2 + r dl \cos \theta}} \right].$$

$$dU = \frac{dM \cos \theta}{\mu r^2} = \frac{dM x}{\mu (x^2 + y^2)^{3/2}};$$

$$H_x = -\frac{\partial(dU)}{\partial x} = -dM \frac{(x^2 + y^2)^{3/2} - x \frac{3}{2} (x^2 + y^2)^{1/2} 2x}{\mu (x^2 + y^2)^3} = \frac{dM}{\mu} \frac{2x^2 - y^2}{(x^2 + y^2)^{5/2}};$$

$$H_y = -\frac{\partial(dU)}{\partial y} = -dM \frac{-x \frac{3}{2} (x^2 + y^2)^{1/2} 2y}{\mu (x^2 + y^2)^3} = \frac{dM}{\mu} \frac{3xy}{(x^2 + y^2)^{5/2}};$$

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} = \frac{dM}{\mu r^3} \sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta}.$$

## 1.6. Единицы измерения магнитных величин.

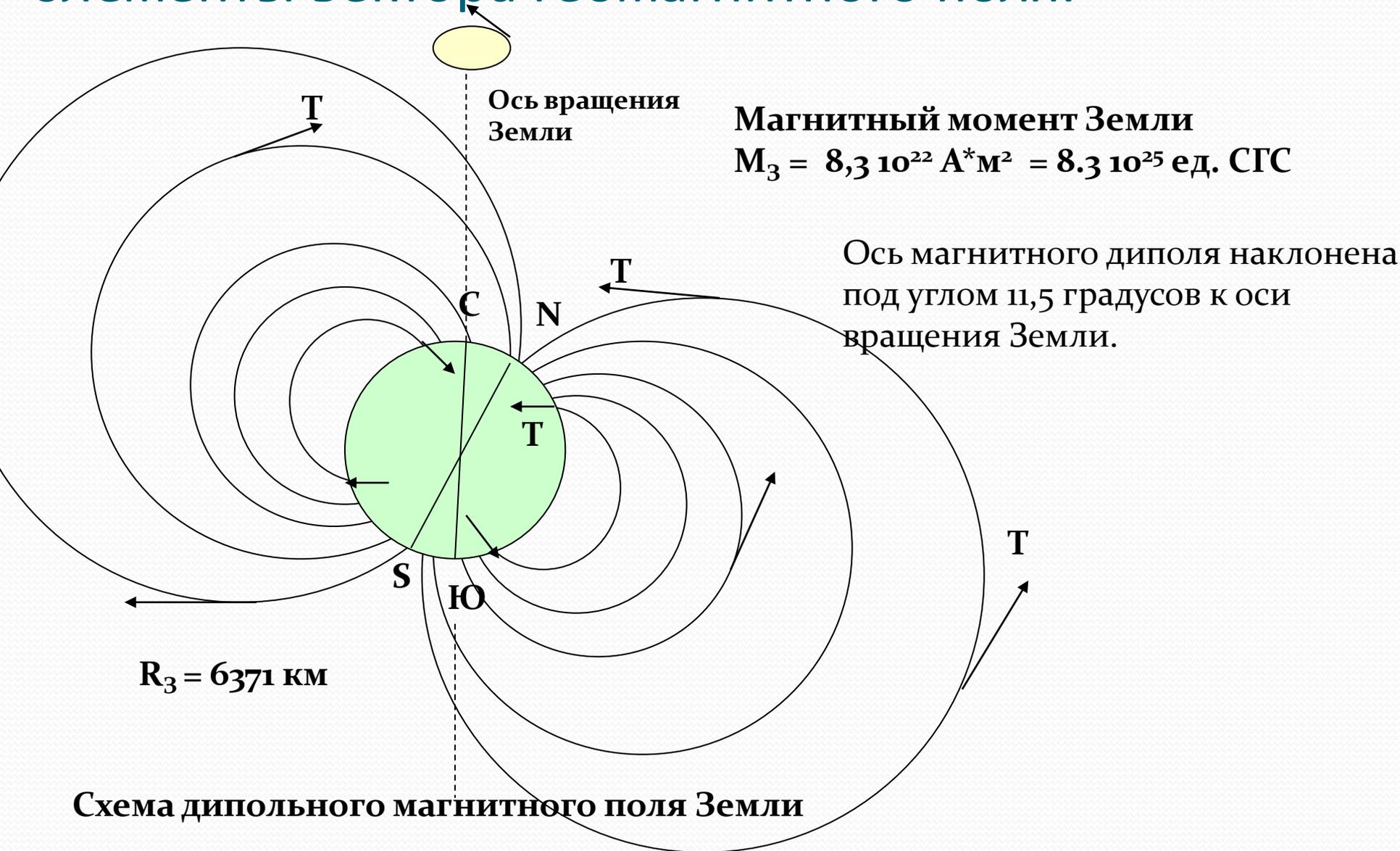
Величина	Ед. СИ	Ед. СГС	Связь
Магнитный потенциал	Ампер	Ед. СГС	1 ед. СГС = $10/4\pi$ А
Магнитная индукция	Тесла	Гаусс	1 Гс = $10^{-4}$ Тл
Поток магнитной индукции	Вебер	Максвелл	1 Мкс = $10^{-8}$ Вб
Напряженность поля	Ампер/метр	Эрстед	1 Э = $1000/4\pi$ А/м
Абсолютная магнитная проницаемость	Генри/метр	Ед. СГС	$\mu_0 \mu$ (СГС) = $\mu_A$ (СИ)
Магнитная восприимчивость	Ед. Си	Ед.СГС	1 ед. СГС = $4\pi$ ед. СИ
Магнитный момент	А*м <sup>2</sup>	Ед. СГС	1 ед. СГС = $10^{-3}$ А*м <sup>2</sup>
Намагниченность	А/м	Ед. СГС	1 ед.СГС = 1000 А/м

В магниторазведке часто используют нанотеслы (нТл), 1 нТл =  $10^{-9}$  Тл

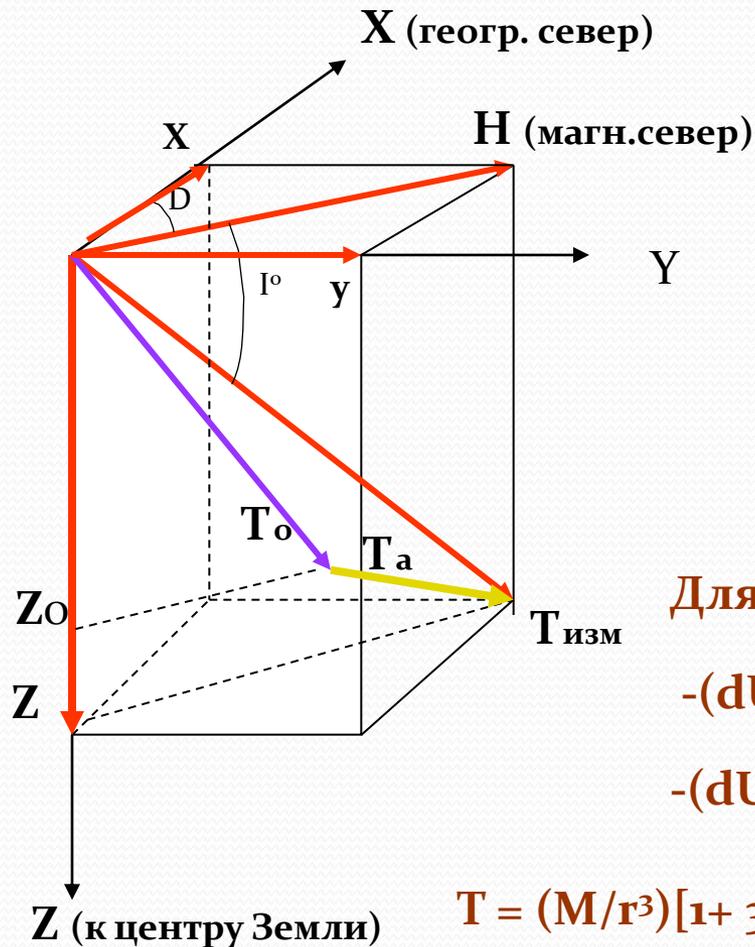
# *Тема 2.* МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ.

- 2.1. Характеристика магнитного поля Земли и элементы вектора геомагнитного поля.
- 2.2. Нормальное магнитное поле Земли на ее поверхности и структура поля.
- 2.3. Магнитное поле земли по данным космических наблюдений.
- 2.4. Изменения магнитного поля во времени.

## 2.1. Характеристика магнитного поля Земли и элементы вектора геомагнитного поля.



## Элементы вектора геомагнитного поля



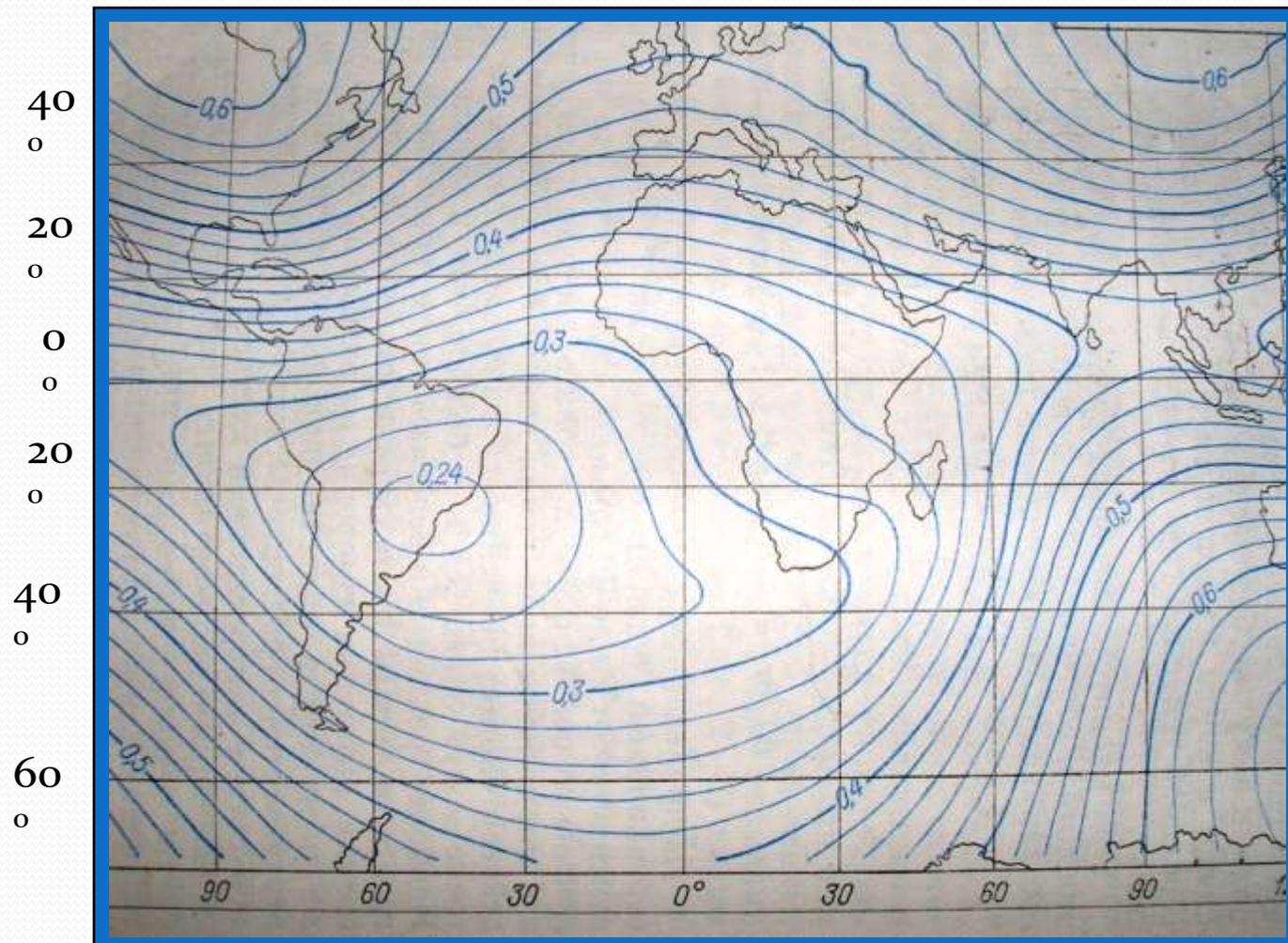
Для земного диполя:  $U = (M/r^2) \cos(90 - \phi)$

$$-(dU/dr) = Z = (2M/r^3) \cos(90 - \phi)$$

$$-(dU/r d(90 - \phi)) = H = (M/r^3) / \sin(90 - \phi)$$

$$T = (M/r^3) [1 + 3 \cos^2(90 - \phi)]^{1/2}$$

- 2.2. Нормальное магнитное поле Земли на ее поверхности и структура поля.



Карта изодинам нормального магнитного поля  $T$  для эпохи 1975 года  
(изодинамы в  $10^{-4}$  Тл)

# Полюса Земли

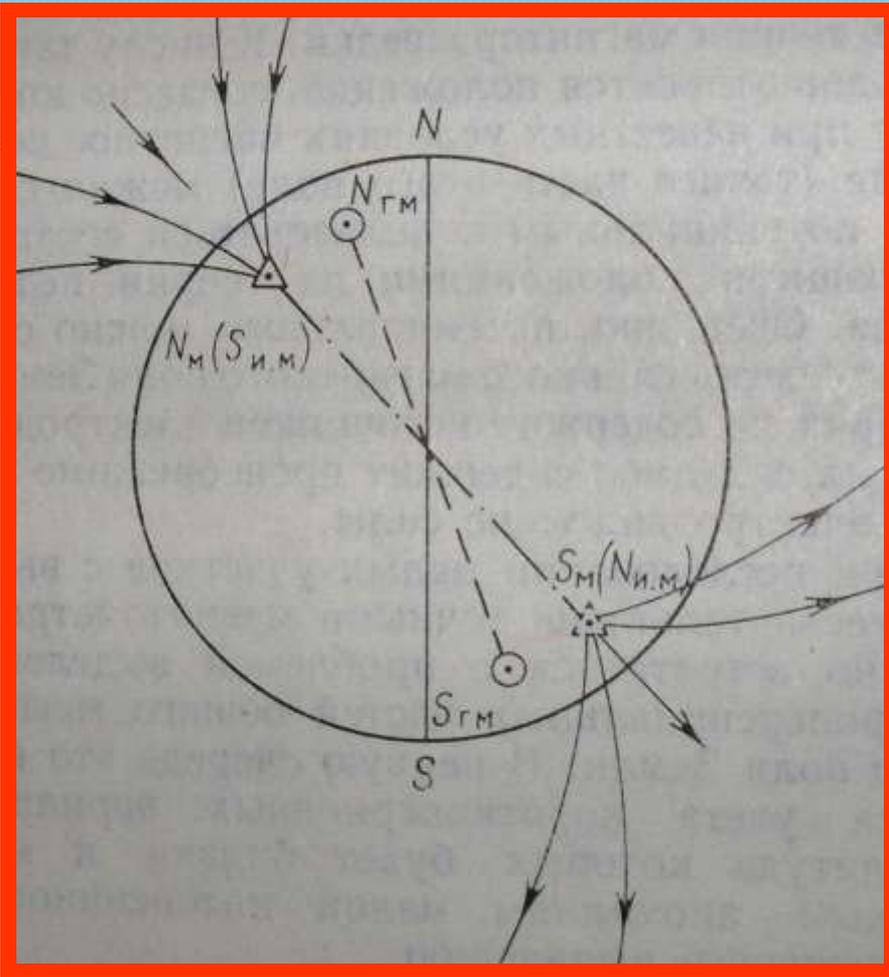
1 Географические.

2. Геомагнитные

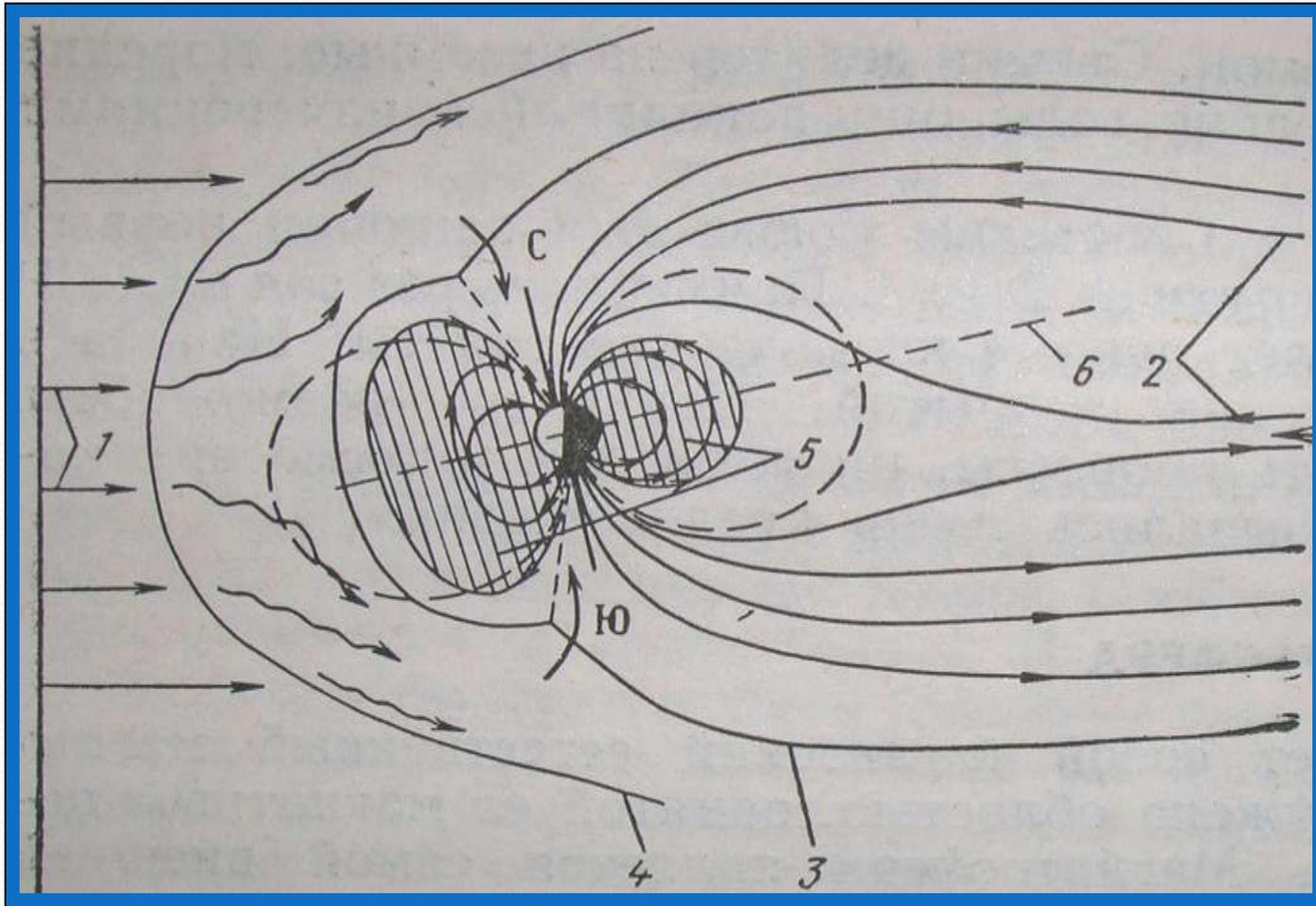
3. Истинные магнитные

$$T = T_D + T_M + T_{BH} + T_A + \delta T$$

$$T_o = T_D + T_M \quad - \text{нормальное поле}$$

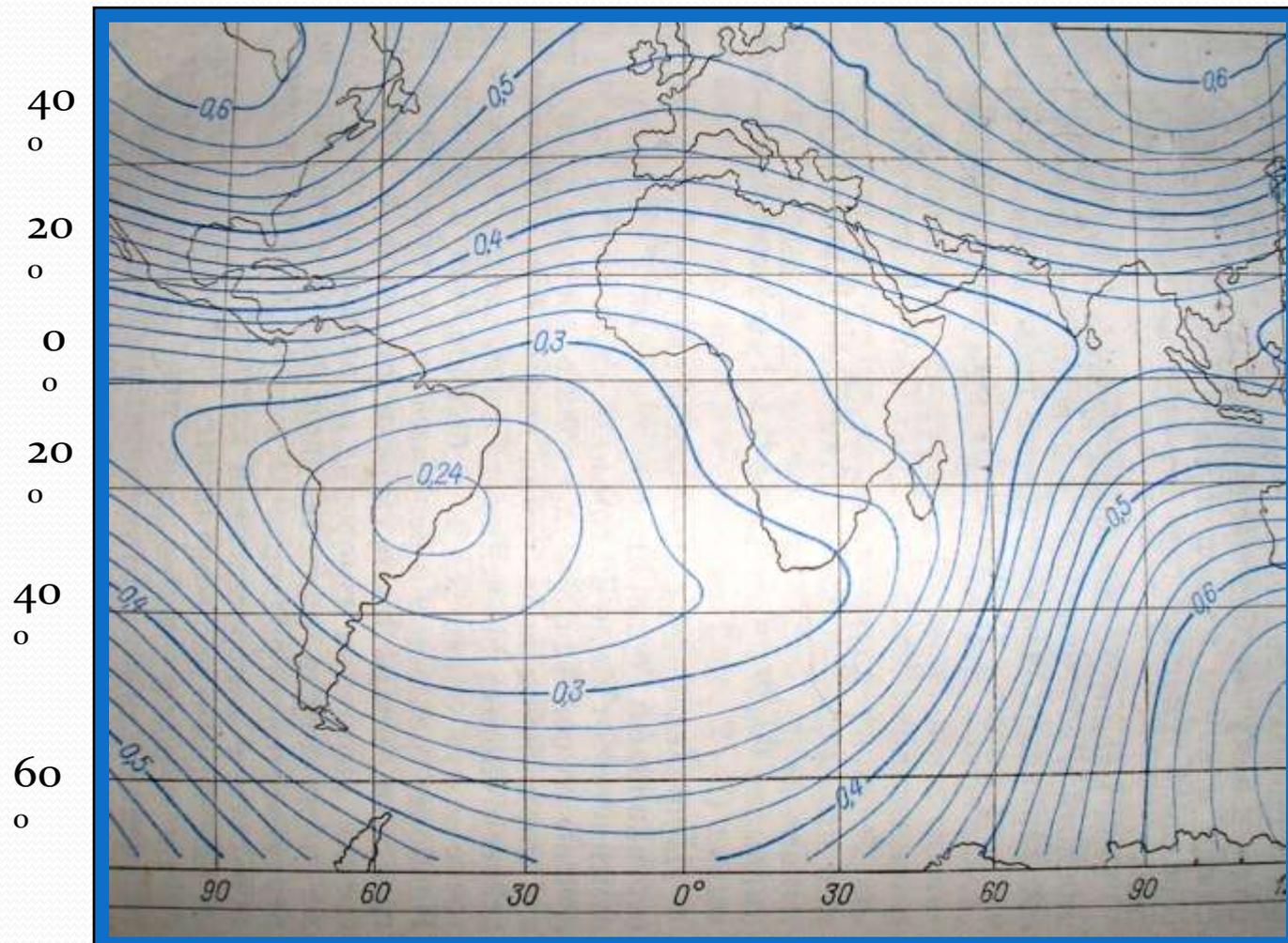


## 2.3. Магнитное поле земли по данным космических наблюдений.



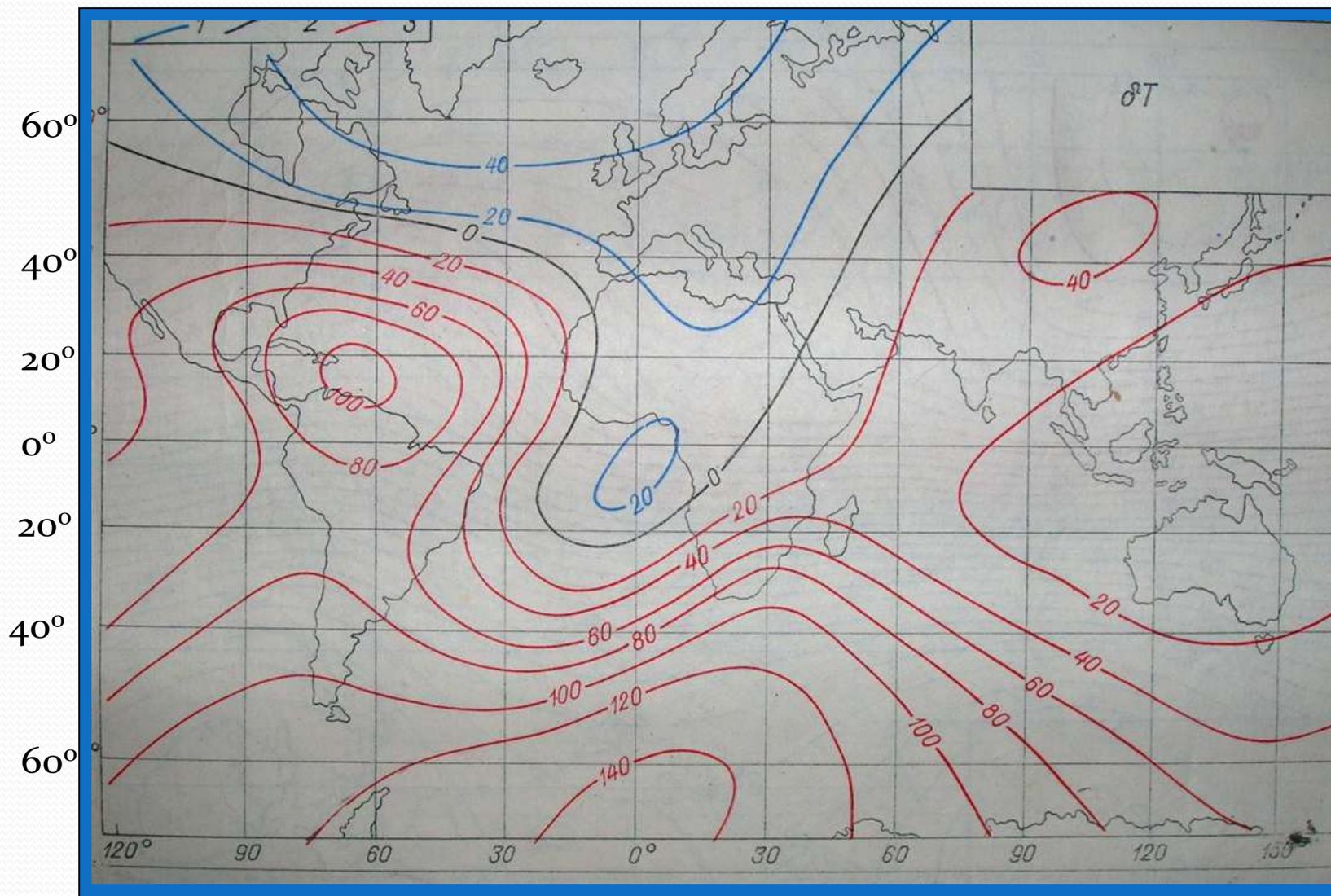
1 -поток корпускулярного излучения (солнечный ветер), 2 -силовые линии поля, 3 - магнитопауза, 4 - фронт ударной волны, 5 - зона радиационного захвата, 6 - плоскость экватора, 7 - места проникновения частиц в зону захвата (полярные каспы)

## 2.4. Изменения магнитного поля во времени.



Карта изодинам нормального магнитного поля T для эпохи 1975 года  
(изодинамы в  $10^{-4}$  Тл)

# Карта изопор $\delta T$ для периода 1970 - 1975 г.г. (изолинии в нТл)



## Карты нормального поля для различных эпох (ИЗМИРАН):

T, Z, H - карты изодинам, D - карты изогон, I° - карты изоклин.

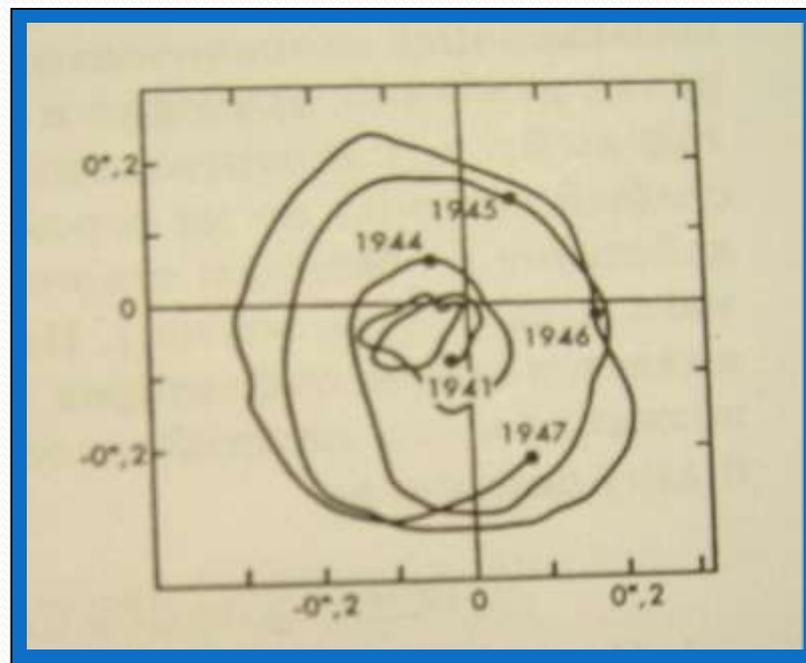
Карты  $\delta T$ ,  $\delta Z$ ,  $\delta H$ ,  $\delta D$ ,  $\delta I^\circ$  - карты изопор

Координаты полюсов магнитного поля Земли  
в 1979 году

Полюсы	Широта	Долгота
Магнитные:		
северный	75 с.ш.	99 з.д.
южный	66,5 ю.ш.	140 в.д.
Геомагнитные:		
северный	78,5 с.ш.	70 з.д.
южный	78,5 ю.ш.	110 в.д.

На 1986 г. координаты  
Южного полюса:  
65° 18' ю.ш., 140° 02' в.д.

«Блуждание» Северного полюса  
в период 1941 - 1947 г.г.

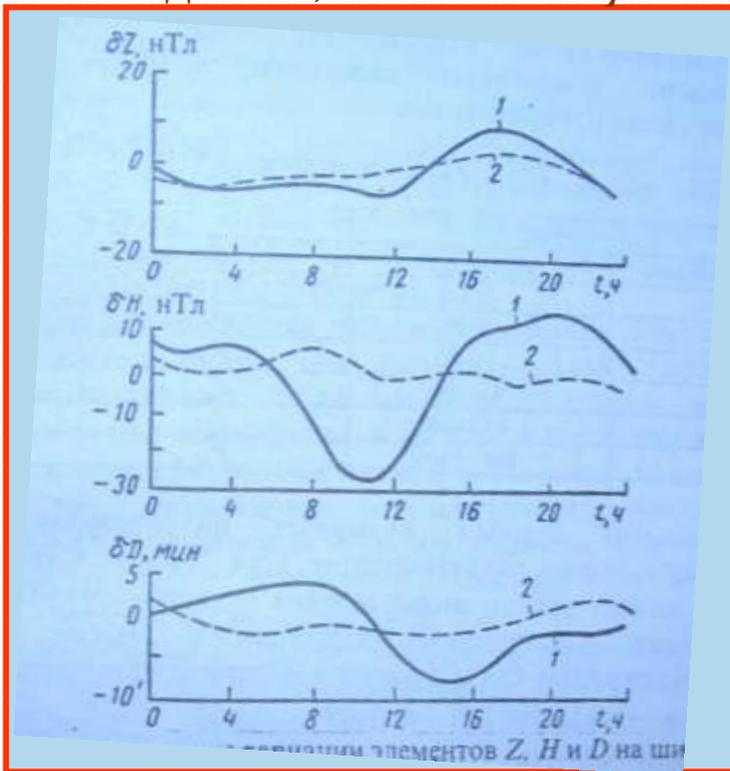


# Вариации геомагнитного поля

## Периодические

1. Вековой ход (в фокусах – 150 и более нТл в год). Периоды 11,4, 20, 60 лет – среднепериодные, периоды 600, 8000 лет – длиннопериодные.

2. Годовые, солнечно-суточные, лунно-суточные



3. Короткопериодные колебания  
периоды до 1000 секунд (регулярные  $P_C$ , иррегулярные  $P_i$ )

## Непериодические

1. Бухтообразные возмущения

2. Магнитные бури

мировые

полярные

# Тема 3. СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.

- 3.1. Принцип магнитных весов и общее устройство оптико-механических магнитометров.
- 3.2. Принцип феррозонда и блок-схемы феррозондовых наземных и аэромагнитометров.
- 3.3. Принцип ядерной прецессии и обобщенная блок-схема протонных магнитометров.
- 3.4. Принцип оптической накачки и общее устройство квантовых магнитометров.
- 3.5. Обобщенные характеристики и сравнительные данные магнитометров различных типов (отечественные и зарубежные).
- 3.6. Вспомогательная аппаратура и оборудование для магнитных съемок (магнитовариационные станции и градуировочные комплекты).
- 3.7. Аппаратура для измерения магнитных свойств горных пород.

# Принципы измерения магнитного поля

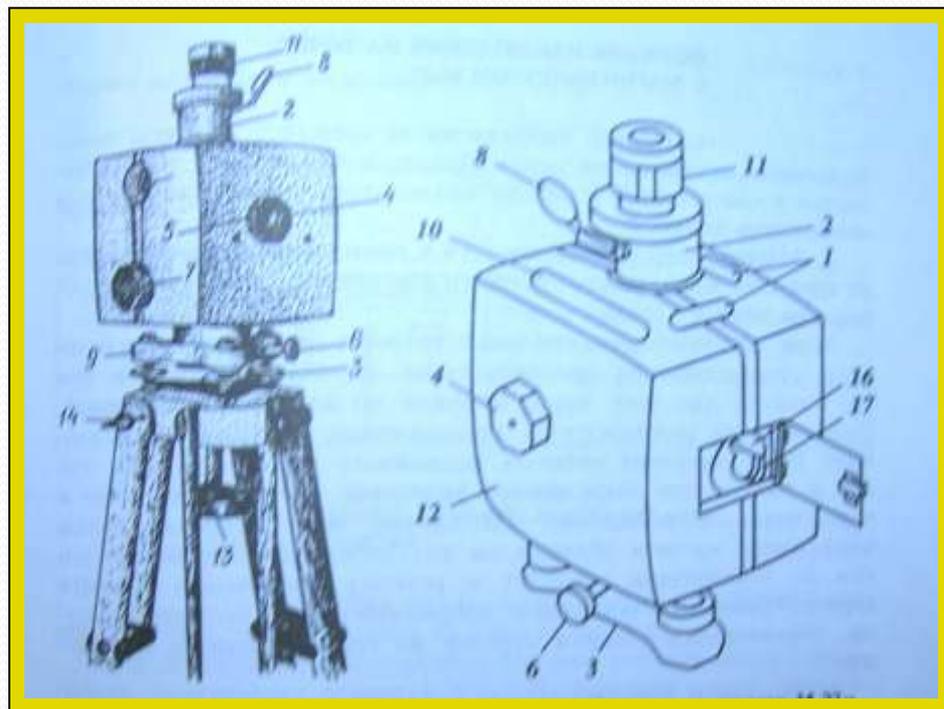
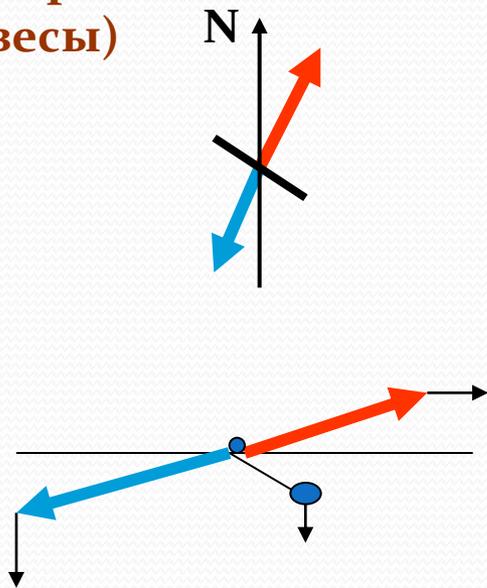
1. Оптико-механический магнитометр [Early magnetometers]
2. Феррозондовый магнитометр [flux-gate magnetometers ]
3. Протонный магнитометр [Proton precession magnetometer]
4. Квантовый магнитометр [Cesium vapor magnetometer]

# Принципы измерений магнитного поля и магнитометры

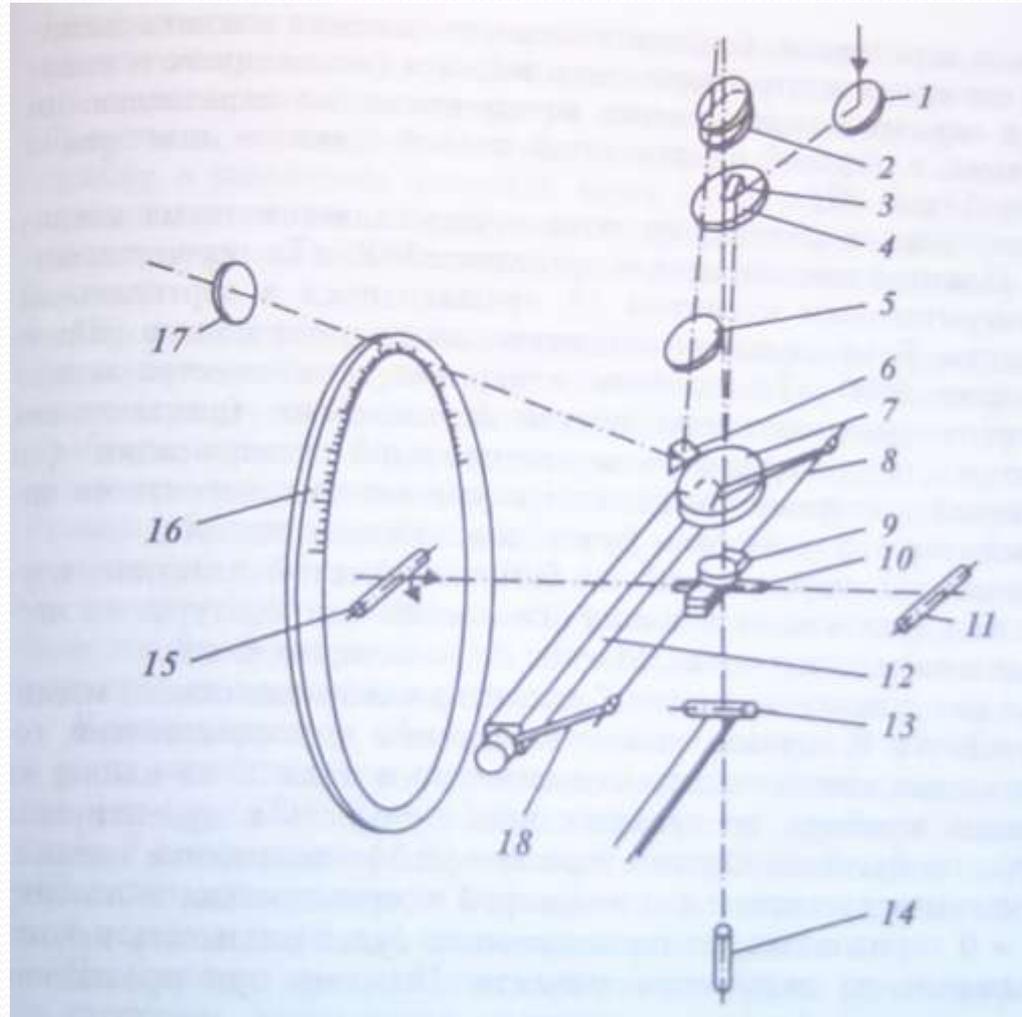
## Принципы измерений

1. Вертикальных магнитных весов (компенсационный) – оптико-механические магнитометры (М – 27М).
2. Принцип феррозонда (М – 17, М – 29, аэромагнитометры, скважинные)
3. Принцип ядерной прецессии (ядерно-протонные и квантовые магнитометры)

### 1. Магнитометр типа М – 27 (вертикальные магнитные весы)



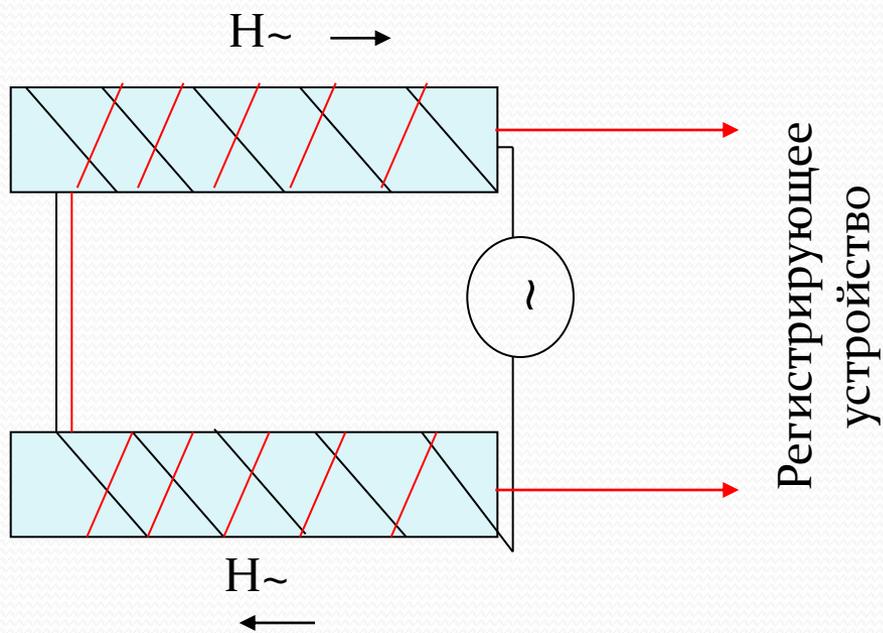
# Схема устройство магнитометра М-27м



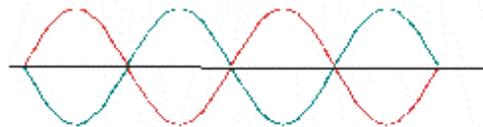
# Основные технические характеристики магнитометра М-27М:

Диапазон измерения магнитной индукции, нТл	(-80000) –90000
Погрешность отсчитывания, нТл	1
Время одного измерения, с	20-60
Масса рабочего комплекта, кг	14

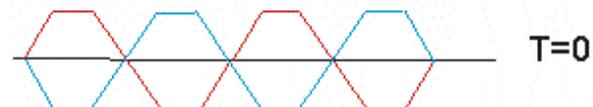
# Феррозондовый магнитометр



Ток в первичных обмотках



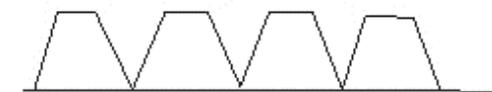
Магнитная индукция сердечников



Магнитная индукция сердечников  $T \neq 0$



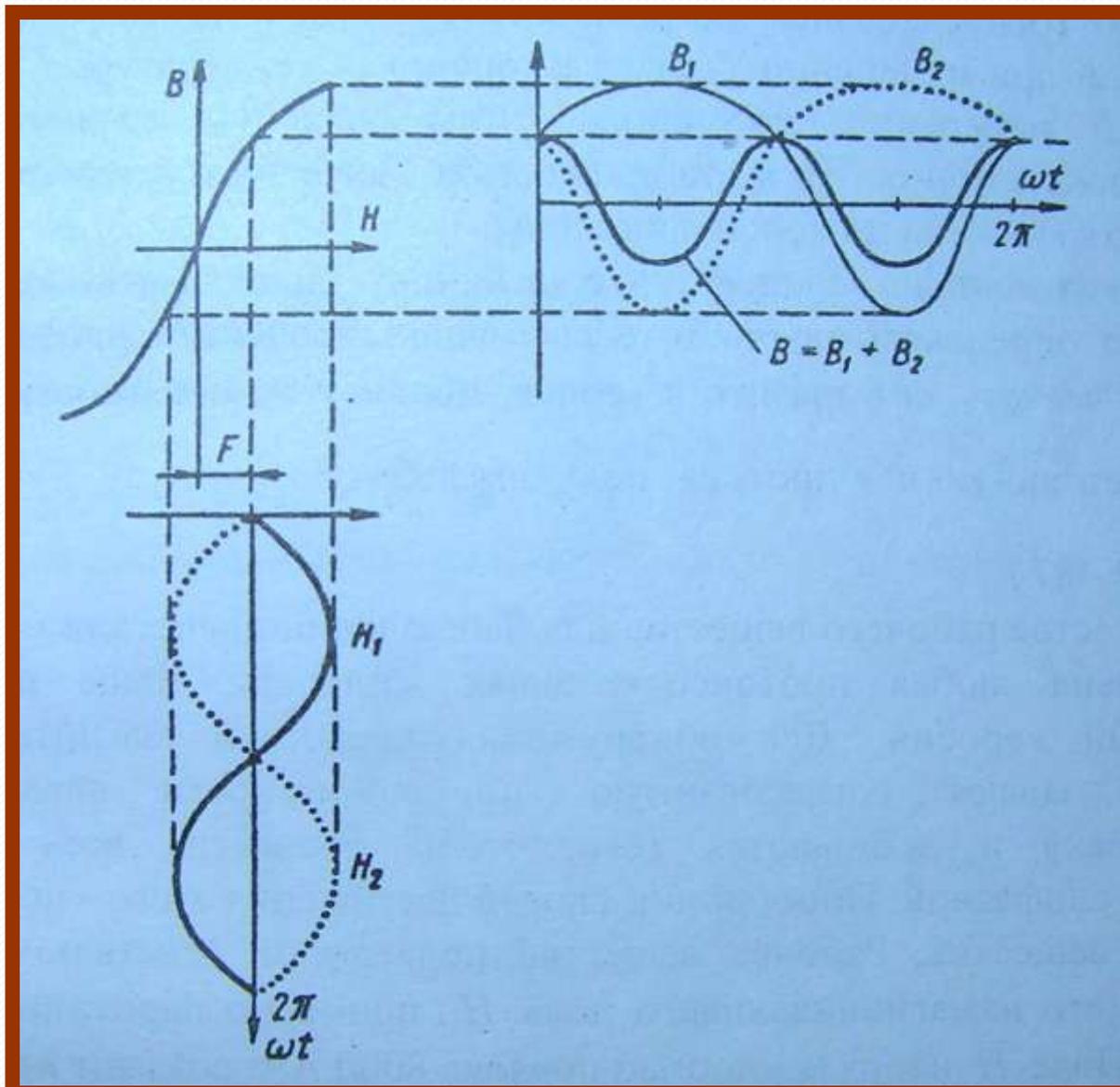
Суммарная индукция



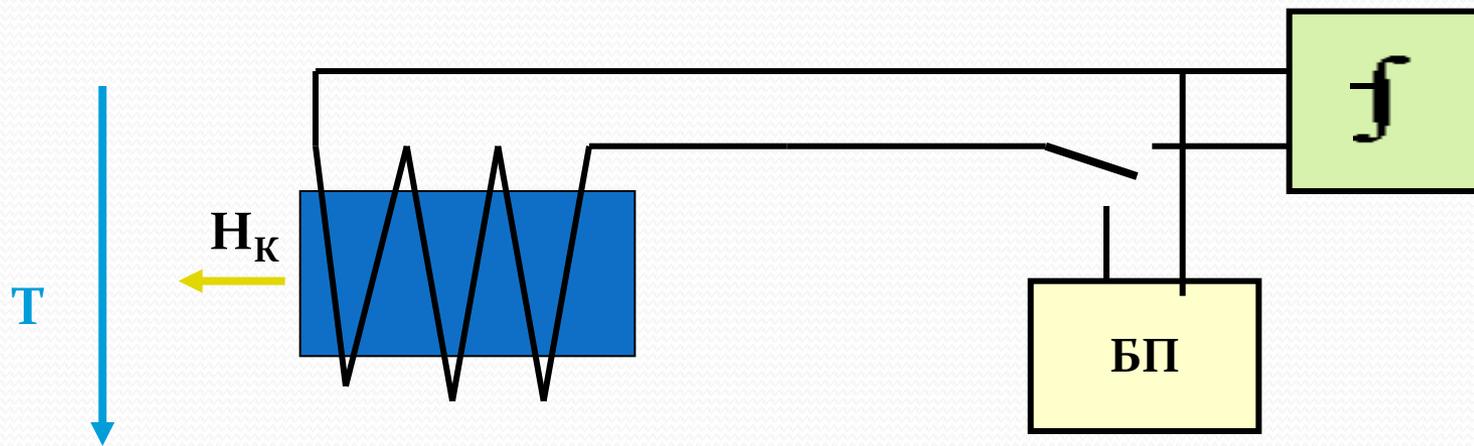
Напряжение во вторичных обмотках



# Процесс формирования второй гармоники в принципе феррозонда



# Принцип ядерной прецессии

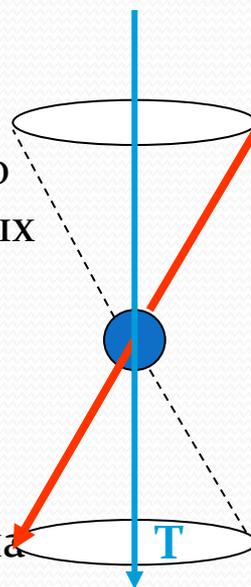


Равенство Лармора

$$f = (\gamma / 2\pi) T$$

Прецессия – вращение магнитного момента протона вокруг магнитных силовых линий измеряемого поля

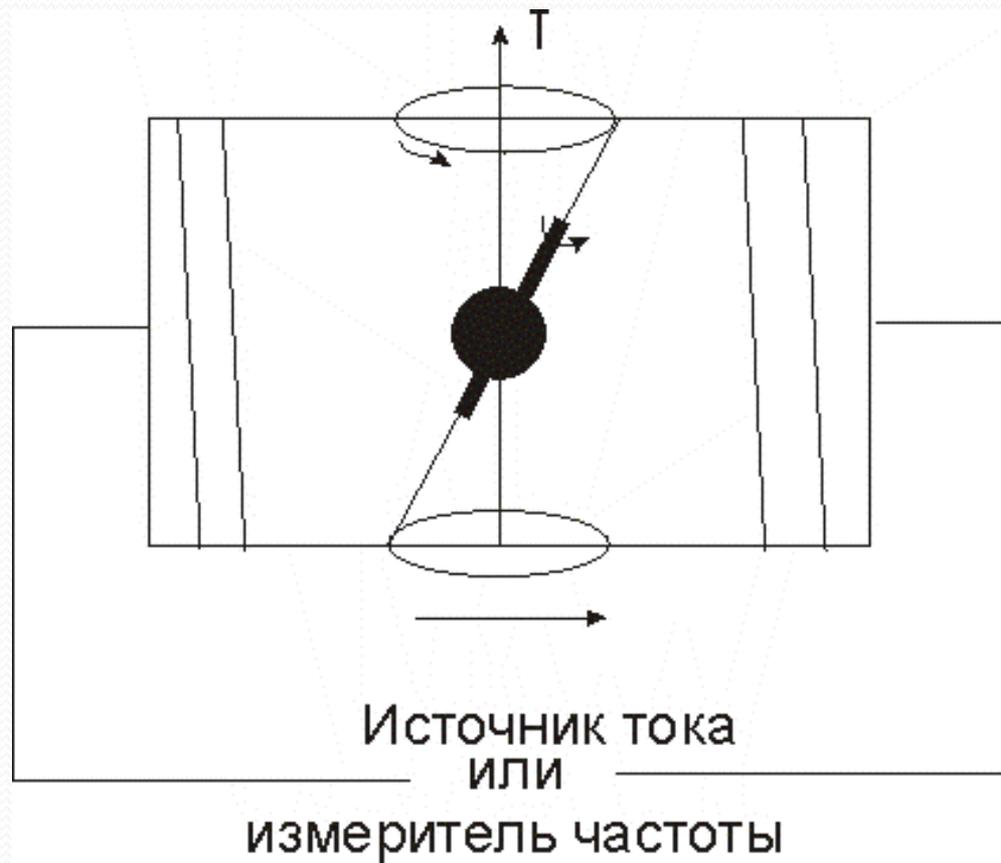
Магнитный момент протона



$f$  - частота прецессии,

$\gamma$  - гиромагнитное отношение (отношение магнитного момента протона к его механическому моменту)

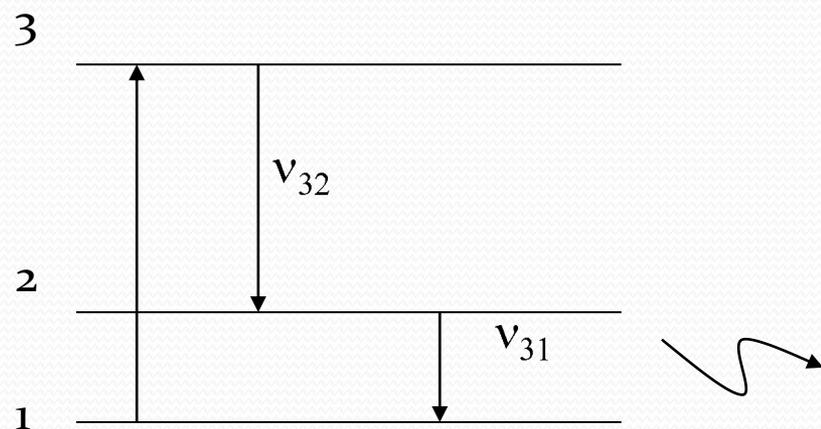
# Протонный магнитометр



$T \sim f$

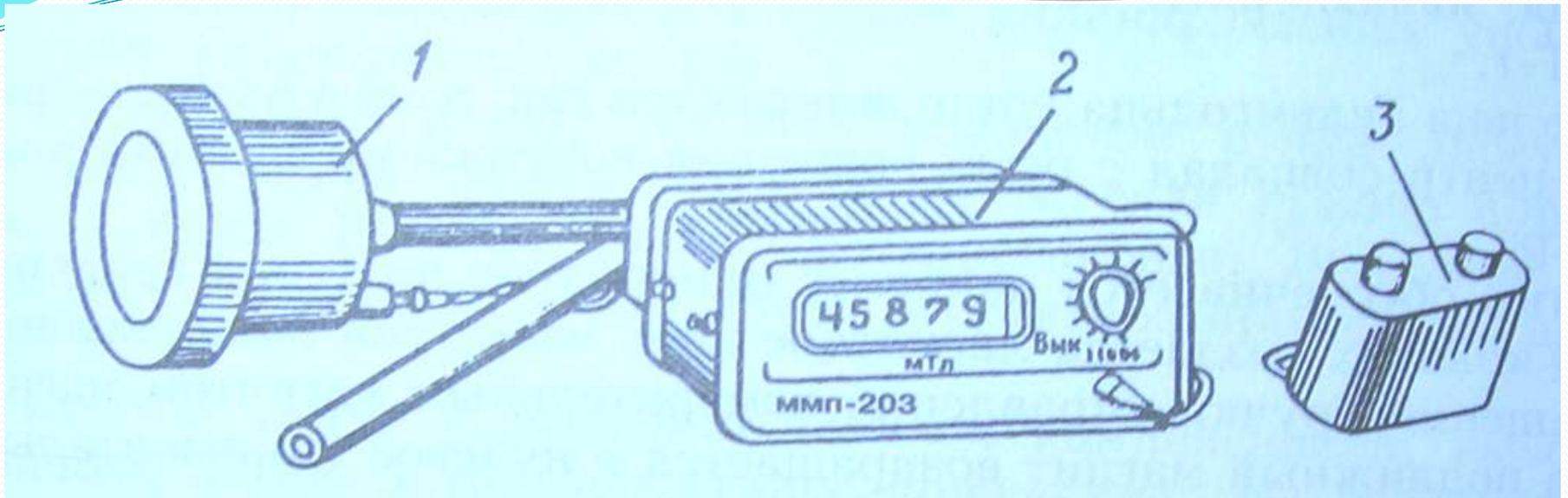
# Квантовый магнитометр

Подуровни атома в магнитном поле

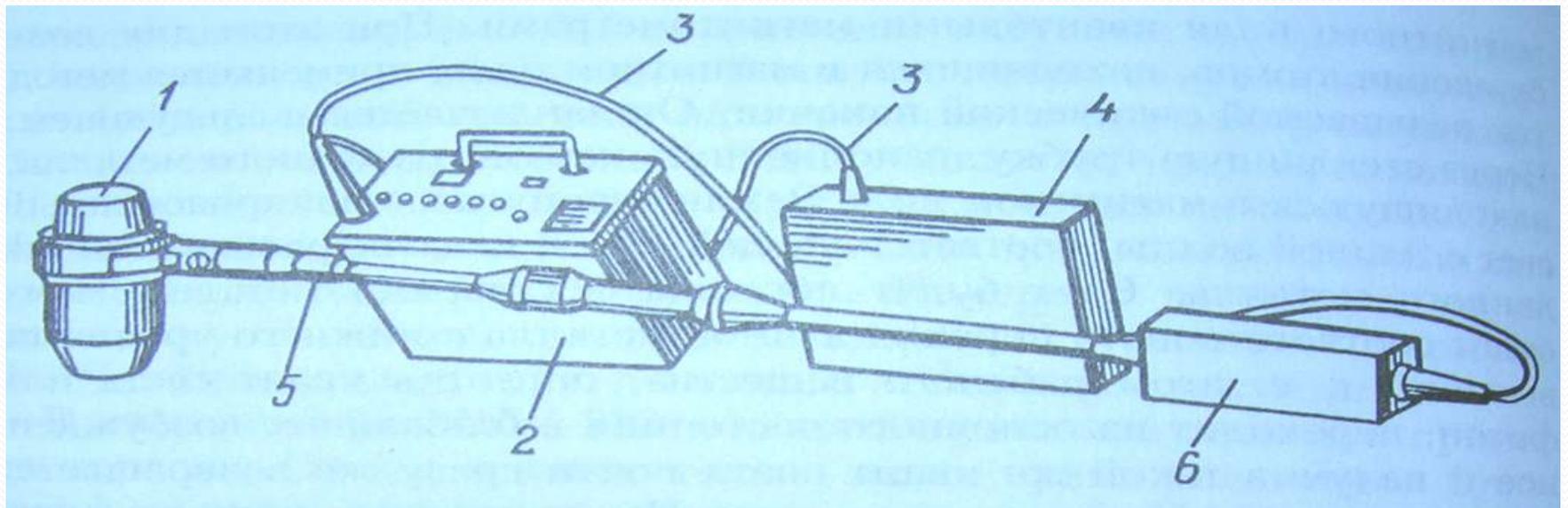


$T \sim f$

## Ядерно-протонный наземный магнитометр ММП-203



## Квантовый наземный магнитометр М-33



## 3.5.Обобщенные характеристики и сравнительные данные магнитометров различных типов (отечественные и зарубежные).

За рубежом большинство магнитометров для полевой геофизики выпускают 3 фирмы:

GEM Systems (Канада) - модели серии GSM-19, GSMP-40

Geometrics (США) - модели G-856, G-858

Scintrex Ltd. (Канада) - модели ENVI, SMARTMAG, NAVMAG

В России современные оверхаузеровские магнитометры и датчики POS-1 изготавливает лаборатория квантовой магнитометрии УГТУ-УПИ. Полевая модификация магнитометра называется MMPOS-1 , градиентометра - MMPOS-2.

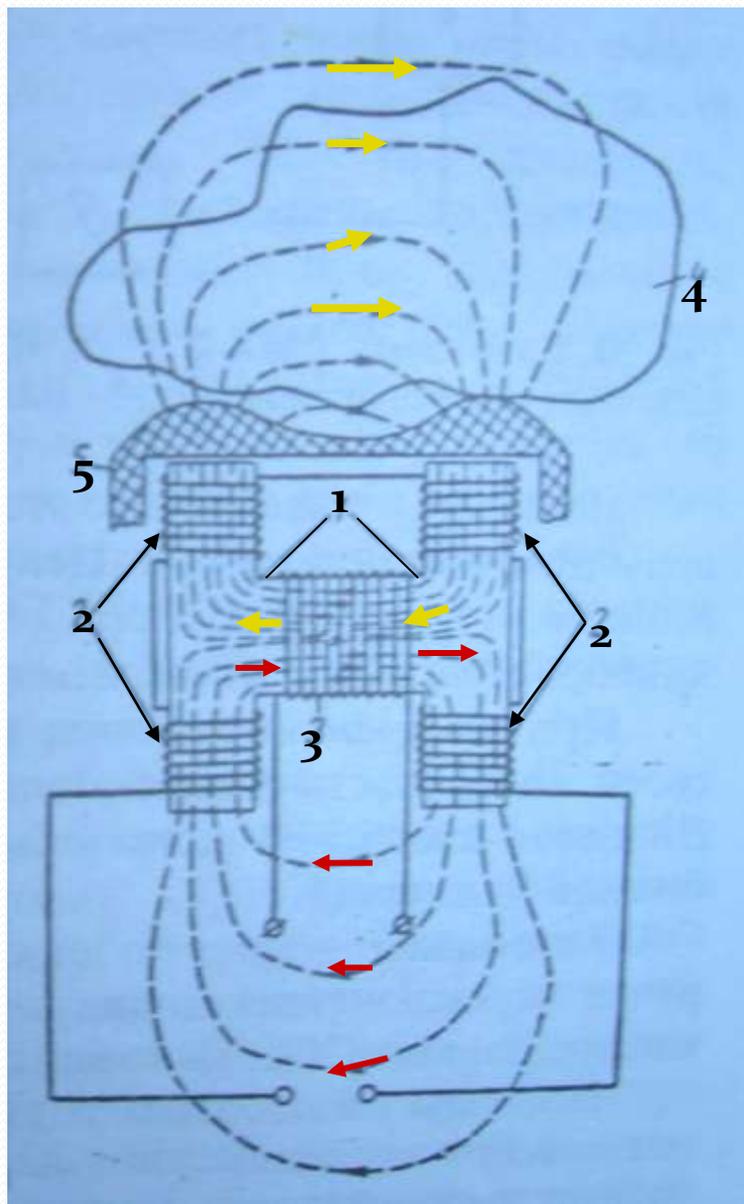
# Основные характеристики приборов

Модель	Тип прибора	Чувств. нТл	Ошибка, нТл	Автоматизм./сек	Память, отчетов	Дополнительные возможности	Дисплей	Питание	Вес, кг
GSM-19T	Протонный	0.2	1	1	8 000	GPS, VLF	240x60	12В / 2А	4.1
GSM-19(F)	Оверхаузера	0.02	0.2	до 2 (5)	8 000 >	GPS, VLF	240x60	12В / 2А	4.1
GSMP-30(-40)	Квантовый (К)	0.002-0.014	0.2	1-10 (20)	(524 000)	int.GPS, VLF	8х30знак	24В - 8Вт	5.5
G-856(AX)	Протонный	0.1	± 0.5	цикл-3сек	5700	-	цифр. табло	13.5В	4.5
G-858	Квантовый (Cs)	0.01-0.05	± 1	1, 2, 5, 10	32 000(?)	GPS	320x200	24В/ 0.5А	<4
ENVI	Протонный	0.1	± 1	1, 2	28 000	VLF, аналог.выход	240x64	12В/0.6 5А	4.5
SmartMag	Квантовый (Cs)	0.01	< ± 1	до 10	190 000	GPS, аналог.выход	240x64	2x12В	8.7
NavMag	Квантовый (Cs)	0.01	< ± 1	1, 2, 5, 10	>80000 00	int.GPS, USB-Flash	VGA-color	2x12В	6.6
MMPOS-1	Оверхаузера	0.01	1	до 2	80 000	GPS	240x128	2x12В	6.5

# Достоинства и недостатки магнитометров разных типов

Тип	Достоинства	Недостатки
Протонные	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Не боятся тряски и вибраций.</li><li>2. Измерения не зависят от изменения внешних условий (температура, влажность, давление).</li><li>3. Нет необходимости в точной ориентации датчика.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Цикличность измерений, из-за значительного времени преобразования.</li><li>2. Нестабильность и пропадание сигнала при больших градиентах магнитного поля</li></ol>
Оверхаузера	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Все положительные качества протонных магнитометров.</li><li>2. Снижение времени измерения.</li><li>3. Низкая погрешность, за счет повышения отношения сигнал/шум.</li><li>4. Малый размер датчика.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Меньшее время жизни рабочего вещества.</li><li>2. Появление систематической ошибки, за счет влияния блока СВЧ.</li></ol>
Квантовые	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Возможность непрерывных измерений.</li><li>2. Высокая разрешающая способность.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Ориентационная и азимутальная погрешность.</li><li>2. Температурный дрейф. Смещение нуля-пункта.</li><li>3. Чувствительность к механическим воздействиям (удары, вибрация).</li></ol>

## Аппаратура для измерения магнитных свойств горных пород



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.

# Тема 4. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА МАГНИТНЫХ СЪЕМОК.

4.1. Генеральная магнитная съемка и региональные опорные сети.

4.2. Классификация магнитных съемок.

4.3. Наземные магнитные съемки.

4.3.1. Выбор основных методических параметров съемки.

4.3.2. Способы наблюдений на пунктах и учет помех.

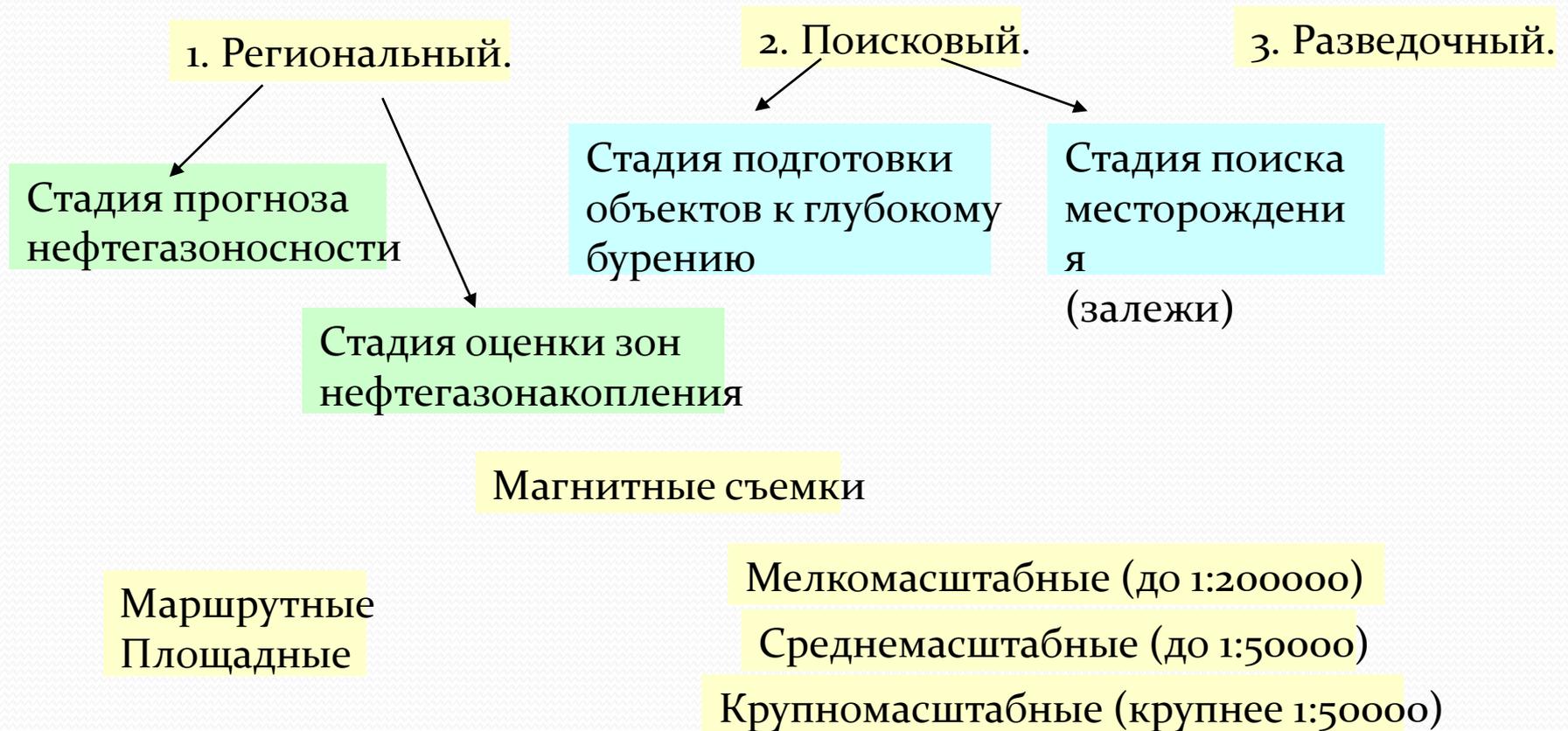
4.3.3. Контроль точности съемки.

4.3.4. Обработка данных магнитных измерений (оценка погрешностей наблюдений и введение поправок).

4.3.5. Принципы построения карт геомагнитного поля и оценка их точности.

# Методика полевых магниторазведочных работ

При поисках месторождений нефти и газа выделяют три этапа:



$M = 1/L$ , где  $L$  – расстояние между профилями в см.

## По точности магнитные съемки

Категория точности	СКП наблюдений (нТл)	Сечение изодинам (нТл)
Пониженная	15 и более	100, 250
Средняя	5 - 15	20, 50, 100
Высокая	5 и менее	10, 20
Прецизионная	Не более 1	5, 10

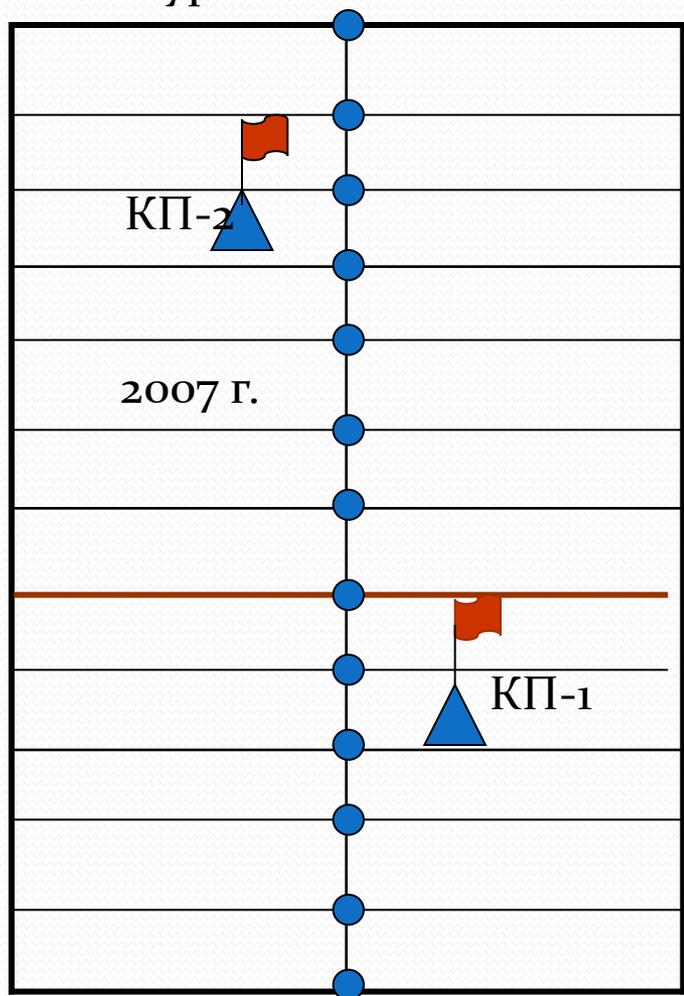
### По геологическому назначению, начиная с поискового этапа съемки:

- Картировочно-поисковые (1:50000 до 1:10000 при средней точности).
- Поисково-разведочные (от 1:10000 до 1:2000 при средней и высокой точности)
- Разведочные (детализационные, М 1:5000 и крупнее, точность высокая)
- Специального назначения (микромагнитные, градиентные и др.) – прецизионного класса точности.

**Точность определяется не видом и масштабом работ, а интенсивностью ожидаемых аномалий, масштаб определяется размерами и формой аномалий**

## Наземные съемки

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

$$\Delta T = T_{\text{ИЗМ}} + T_{\text{КП}} - \delta T_{\text{ВАР}} - \delta T_{\text{СМО}}$$

Погрешность измерений на КП:

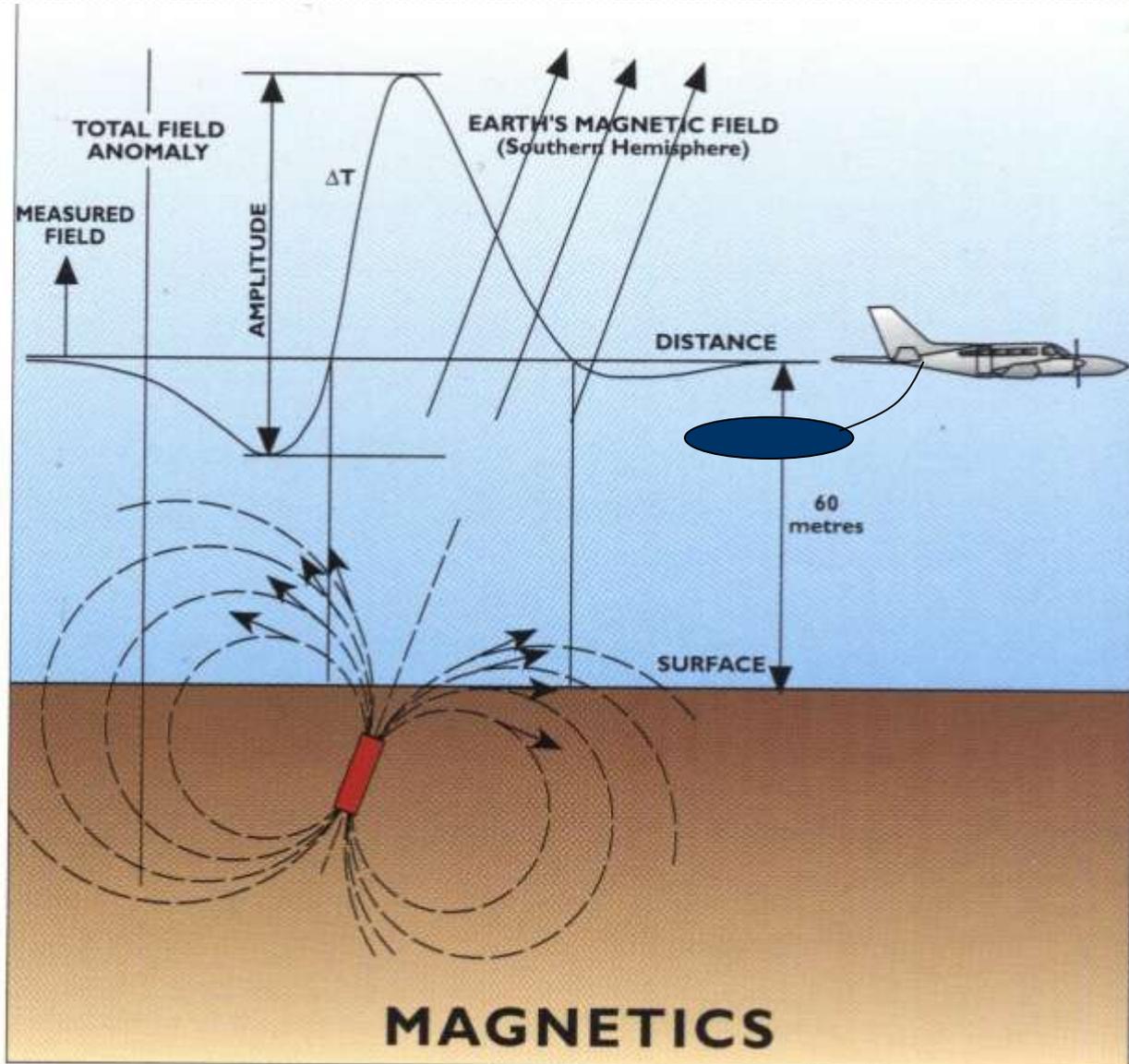
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n(n-1)}}$$

Погрешность рядовых измерений:

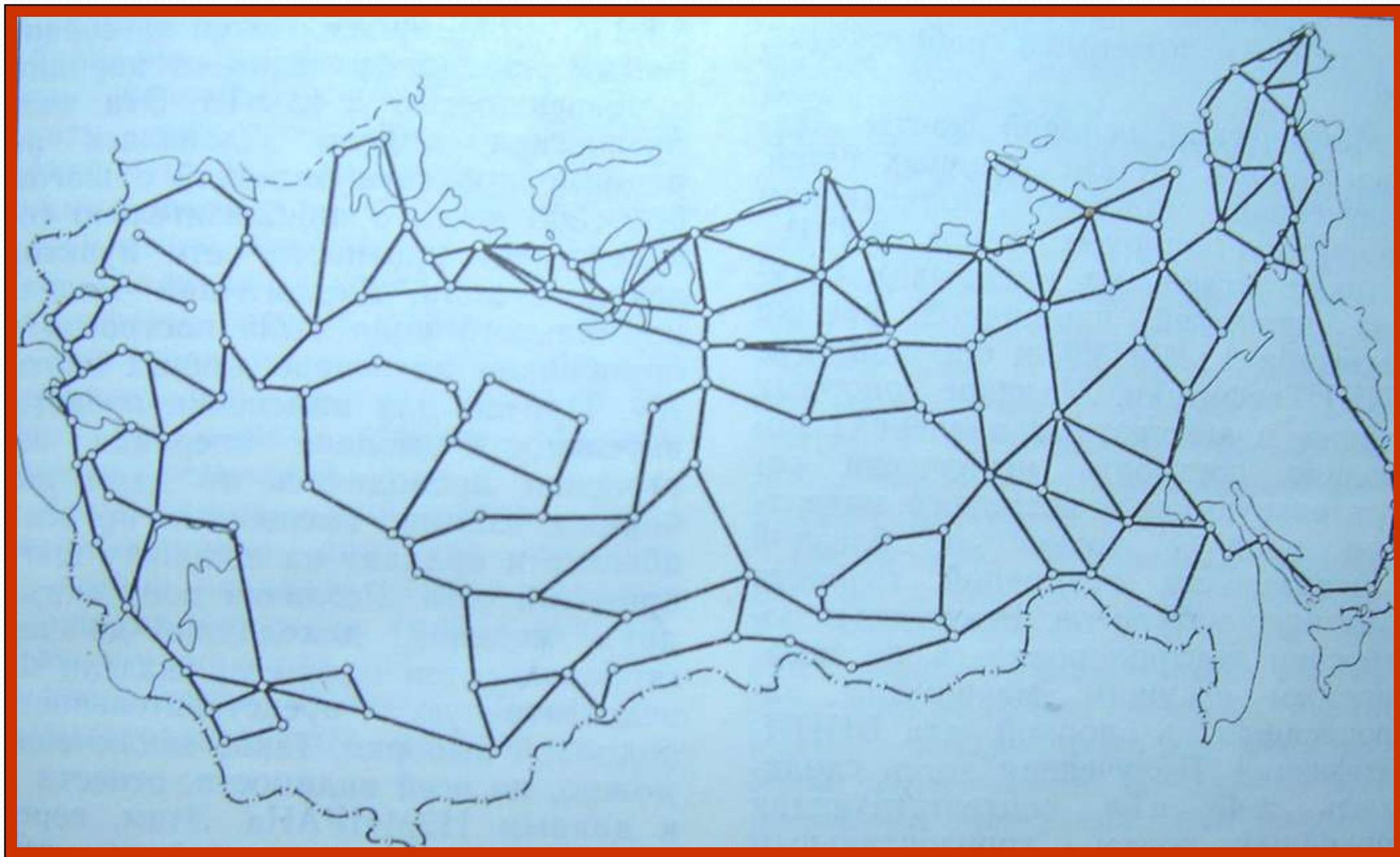
$$\varepsilon_C = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{2n}}$$

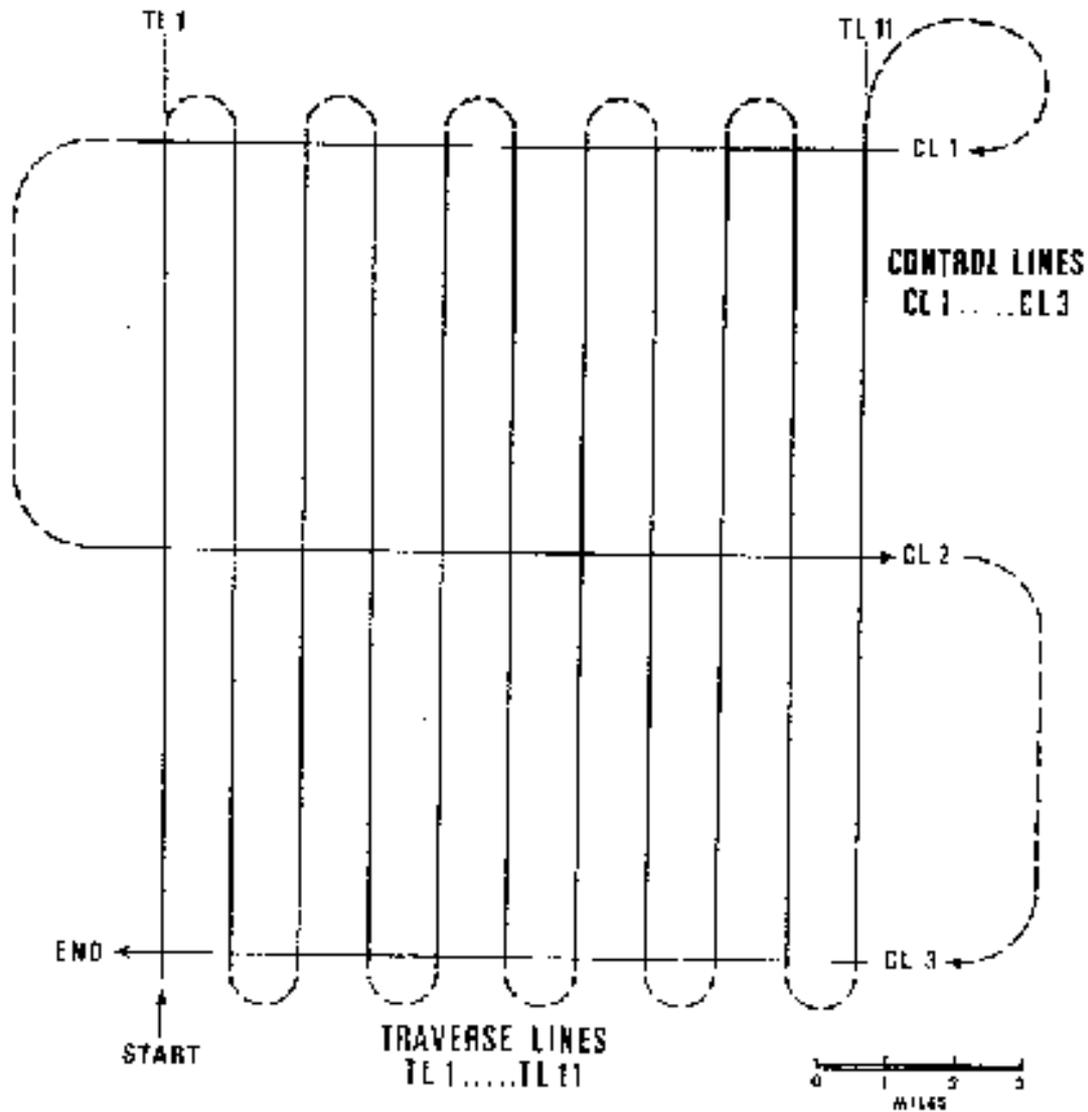
# 4.4. Аэромагнитная съёмка.

- 4.4.1. Особенности и классификация аэромагнитных съёмок.
- 4.4.2. Выбор основных методических параметров аэромагнитных съёмок.
- 4.4.3. Виды маршрутов аэромагнитной съёмки и способы залетов.



**Схема расположения профилей опорной аэромагнитной сети,  
построенной ВНИИГеофизики**





# *Тема 5.* СПОСОБЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ

- 5.1. Характеристика магнитных свойств горных пород.
- 5.2. Понятие интерпретации и ее виды
- 5.3. Решение прямой и обратной задач для правильных тел.

## Магнитные свойства горных пород

Классификация горных пород по магнитной восприимчивости  $\alpha$ :

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.



Для пород, не относящихся к сильномагнитным

$$J_i = \alpha T_{BH}$$

Для сильномагнитных пород

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

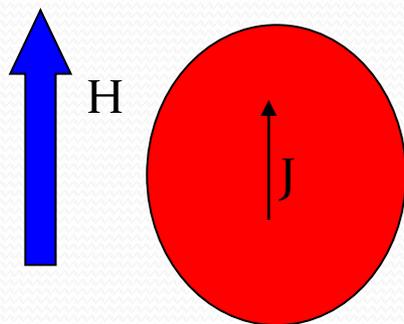
$\alpha'' = \alpha / (1 + \alpha N)$  – кажущаяся магнитная восприимчивость

$N$  - коэффициент размагничивания

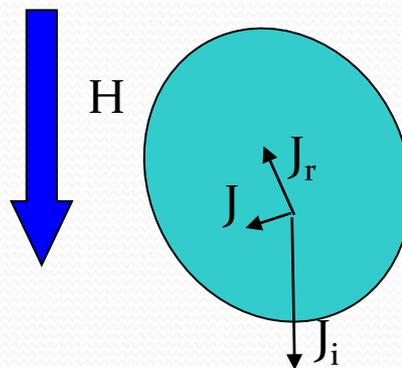
Магнитные аномалии зависят от полной намагниченности, определяемой векторной суммой

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

# Индукцированная и остаточная намагниченность



Остывание породы

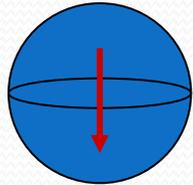


$$Q = |J_r| / |J_i|$$

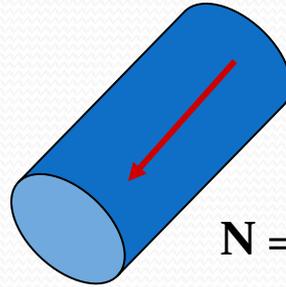
Параметр Кенигсбергера



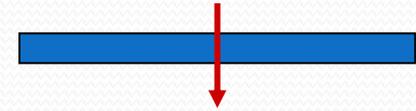
$$N = 0$$



$$N = (4/3)\pi$$



$$N = 2\pi$$



$$N = 4\pi$$

## Магнитные свойства минералов-ферромагнетиков

Минерал	$\chi$ (ед. СГС)	$J_S$ (ед. СГС)	$T_K^\circ$
Магнетит	0,7 – 2,0	490	578
Титаномагнетит	$10^{-6} - 10^{-1}$	75 - 430	100 - 578
Пирротин	$10^{-2} - 10^{-3}$	17 - 70	300 - 325
Маггемит	0,3 – 2,0	435	675
Гематит	$10^{-5} - 10^{-4}$	1,5 – 2,5	675
Магнезиоферрит	0,8	140	310
Треворит	0,5	240	590
Якобсит	20	320	510

# Магнитная восприимчивость породообразующих минералов ( $\chi$ ) в $10^{-6}$ ед. СГС

## Породообразующие

### Диамагнетики

Кварц	-1,3
Микроклин	0
Ортоклаз	- 0,5
Плагиоклаз	0

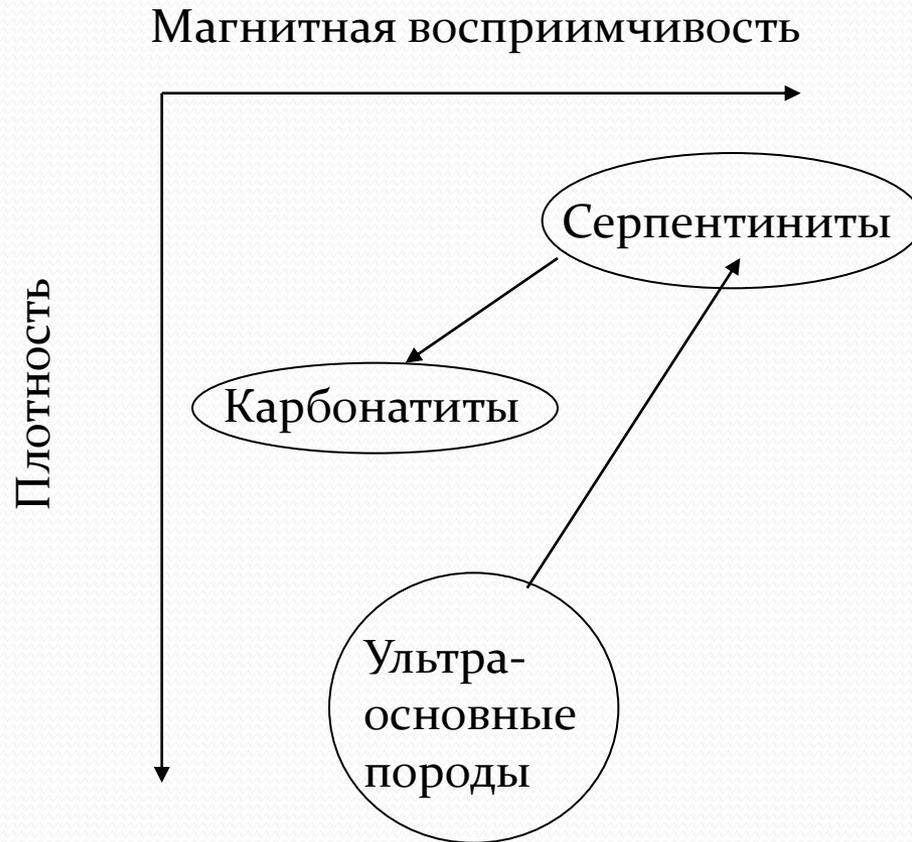
### Парамагнетики

Биотит	7 - 15
Мусковит	3 - 17
Роговая обманка	8 - 15
Пироксен	10 - 20

## Рудные

Циркон	- 0,8
Галенит	-2,6
Флюорит	- 0,9
Барит	- 1,4
Сфалерит	- 4,8
Апатит	- 8,1
Графит	-0,4

Халькопирит	0,4 - 7,6
Сидерит	67 - 102
Пирит	7 - 159
Шпинель	2,2
Рутил	8,4

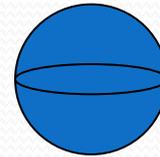


Изменение магнитной восприимчивости при автометаморфизме

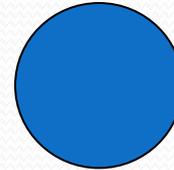
# Магнитные поля правильных тел

Магнитный момент

Для трехмерных тел  $M = J V$



Для двумерных тел  $M = J S$



Для вертикальных пластов



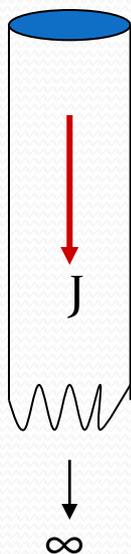
$$M = J 2b$$

Для реальных магнитов



$$M = 2\ell m$$

# 1. Магнитное поле полубесконечного штока

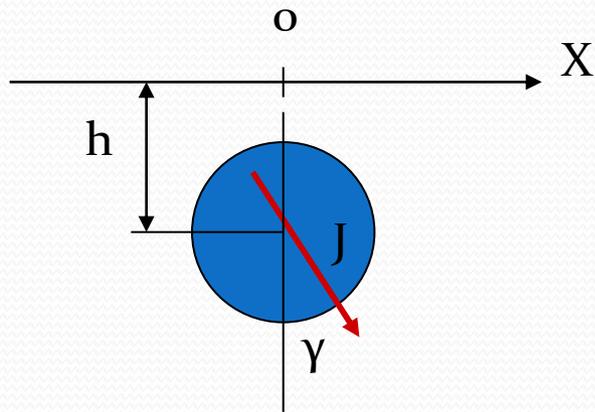


$$Z = \frac{Mh}{(x^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$H = \frac{Mx}{(x^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$T = \frac{M}{(x^2 + h^2)}$$

## 2. Магнитное поле кругового горизонтального цилиндра



$$Z_N = 2M \left[ \frac{R^2 - x^2 \cos \gamma - 2hx \cdot \sin \gamma}{R^2 + x^2} \right]$$

$$H_N = -2M \left[ \frac{R^2 - x^2 \sin \gamma + 2hx \cdot \cos \gamma}{R^2 + x^2} \right]$$

Пересчет из вертикального в наклонное намагничение

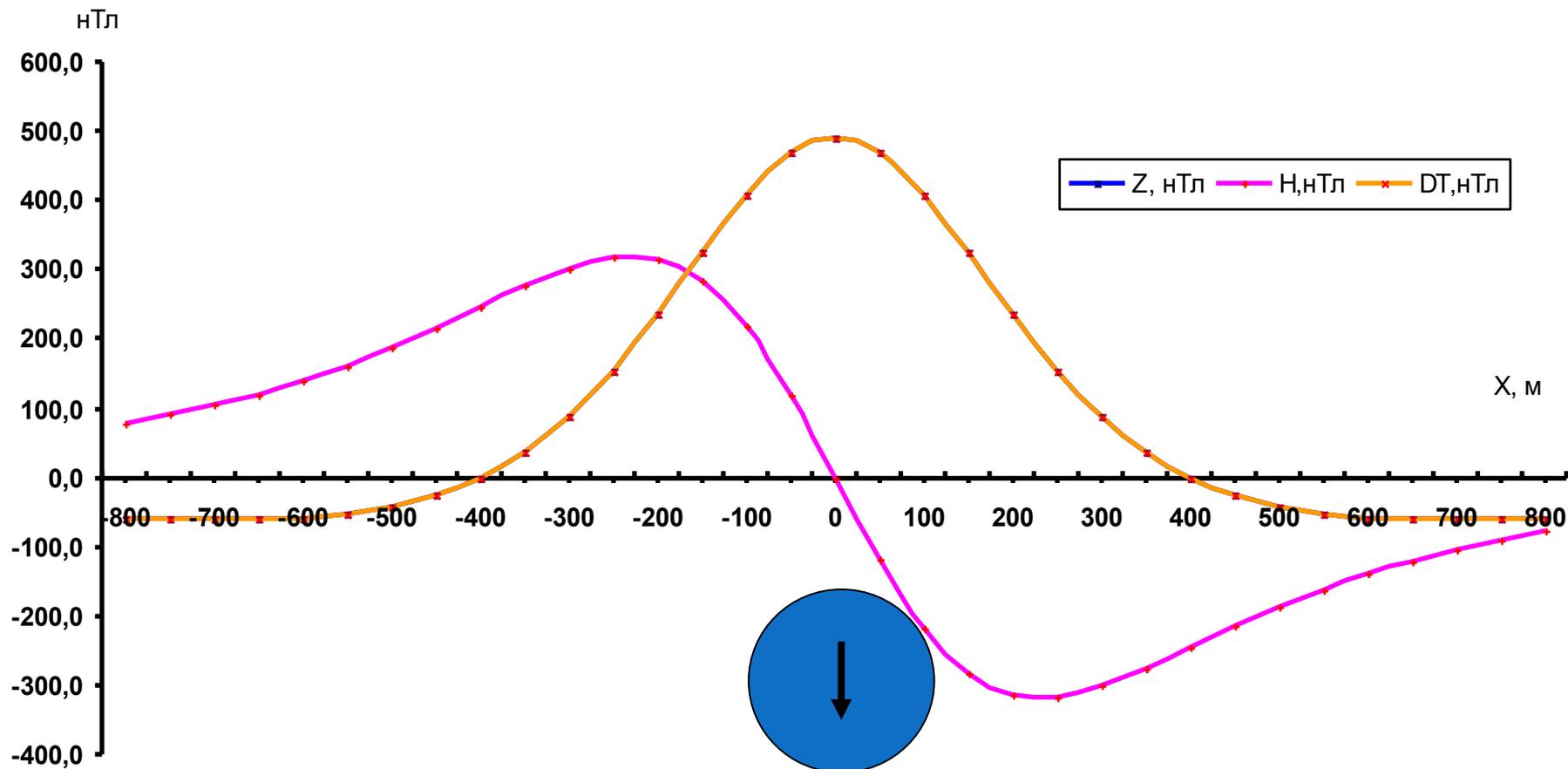
$$\begin{aligned} Z_N &= Z_V \cos \gamma - H_V \sin \gamma \\ &= Z_V \sin \gamma + H_V \cos \gamma \end{aligned}$$

Справедливо и обратное – пересчет из наклонного в вертикальное намагничение

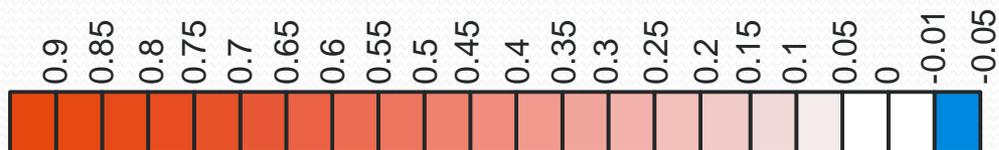
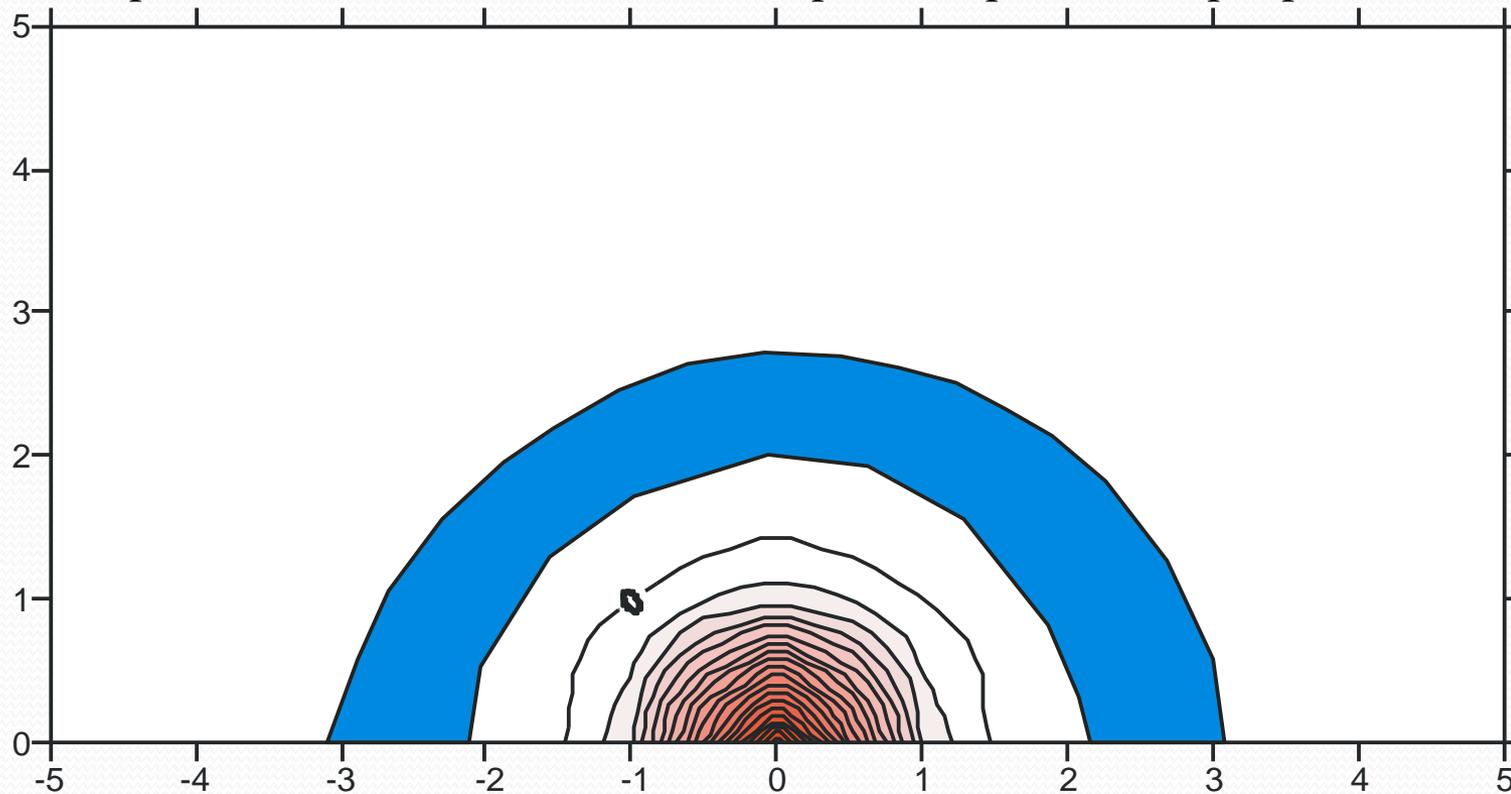
$$Z_V = Z_N \cos \gamma - H_N \sin \gamma \quad H_V = Z_N \sin \gamma + H_N \cos \gamma$$

## Вертикальное намагничение

Магнитное поле кругового горизонтального цилиндра



# Поле $\Delta T$ вертикально намагниченного шара, построенное программой Surfer



5.4. Палеточные методы интерпретации аномалий.

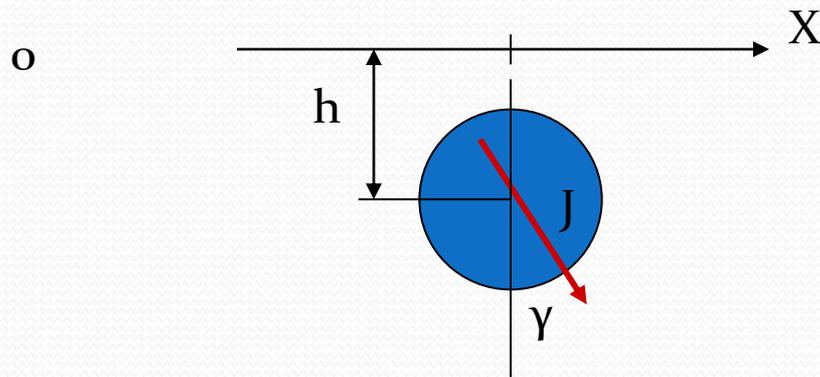
5.5. Графо-аналитические методы экспресс-интерпретации .

5.6. Интегральные (прямые) методы интерпретации.

5.4. Особенности графиков магнитного поля при наклонном намагничении.

5.5. Способы определения направления намагниченности по аномалиям.

5.6. Пересчет аномалий двухмерных тел с наклонного намагничения на вертикальное.



Пересчет из вертикального в наклонное намагничение

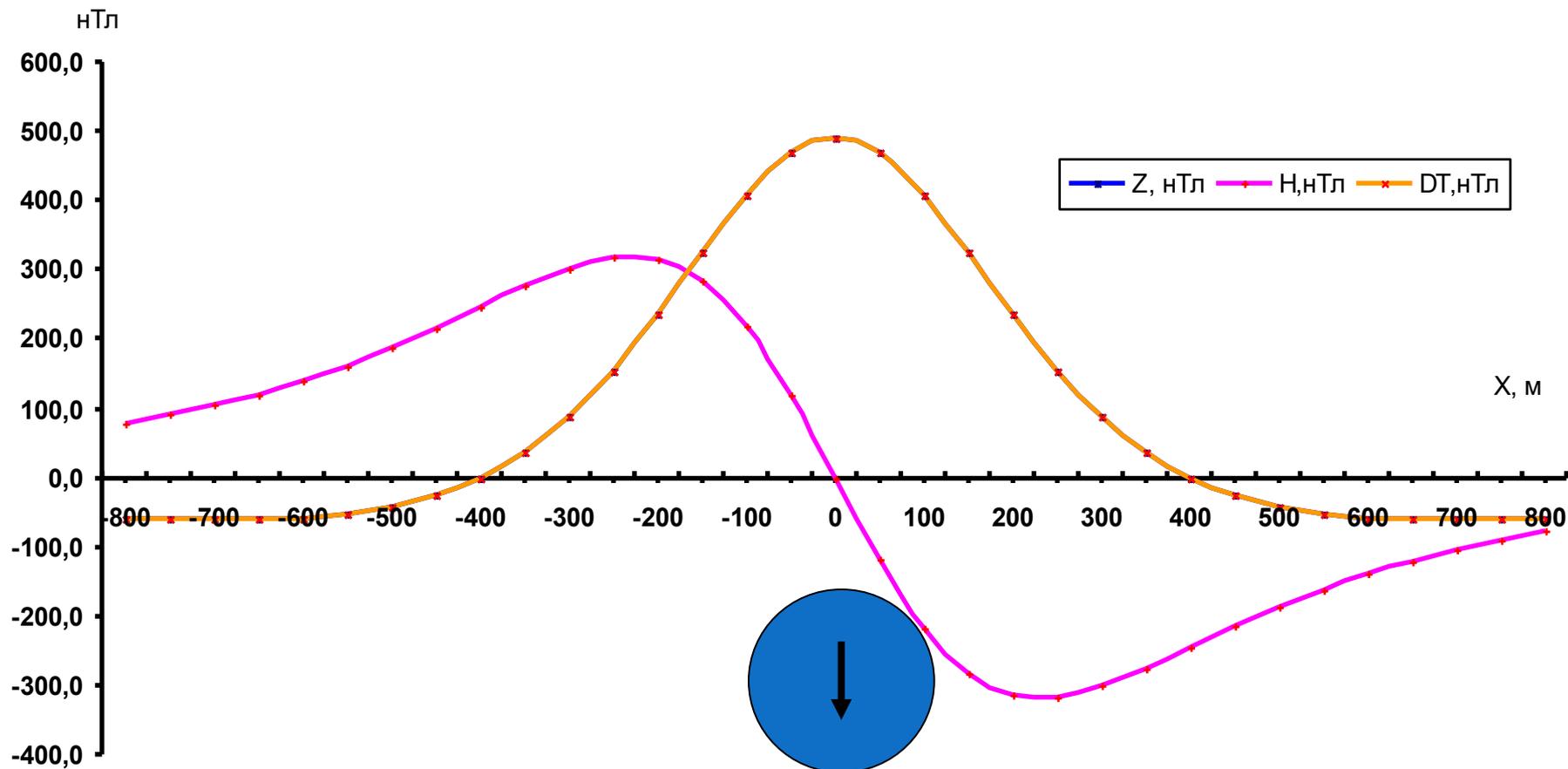
$$\begin{aligned} Z_N &= Z_V \cos\gamma - H_V \sin\gamma \\ H_N &= Z_V \sin\gamma + H_V \cos\gamma \end{aligned}$$

Справедливо и обратное – пересчет из наклонного в вертикальное намагничение

$$Z_V = Z_N \cos\gamma - H_N \sin\gamma \quad H_V = Z_N \sin\gamma + H_N \cos\gamma$$

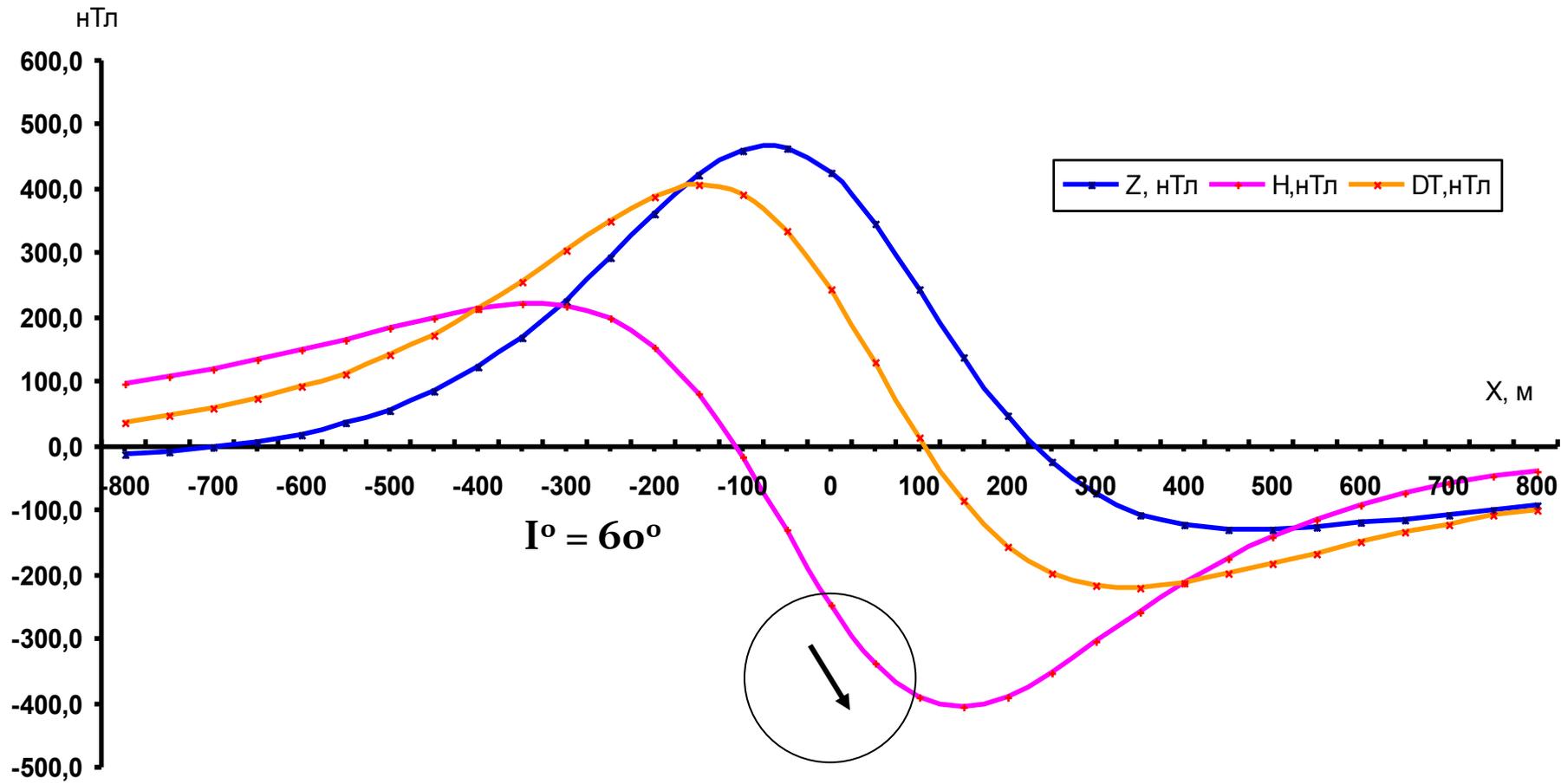
## Вертикальное намагничение

Магнитное поле кругового горизонтального цилиндра



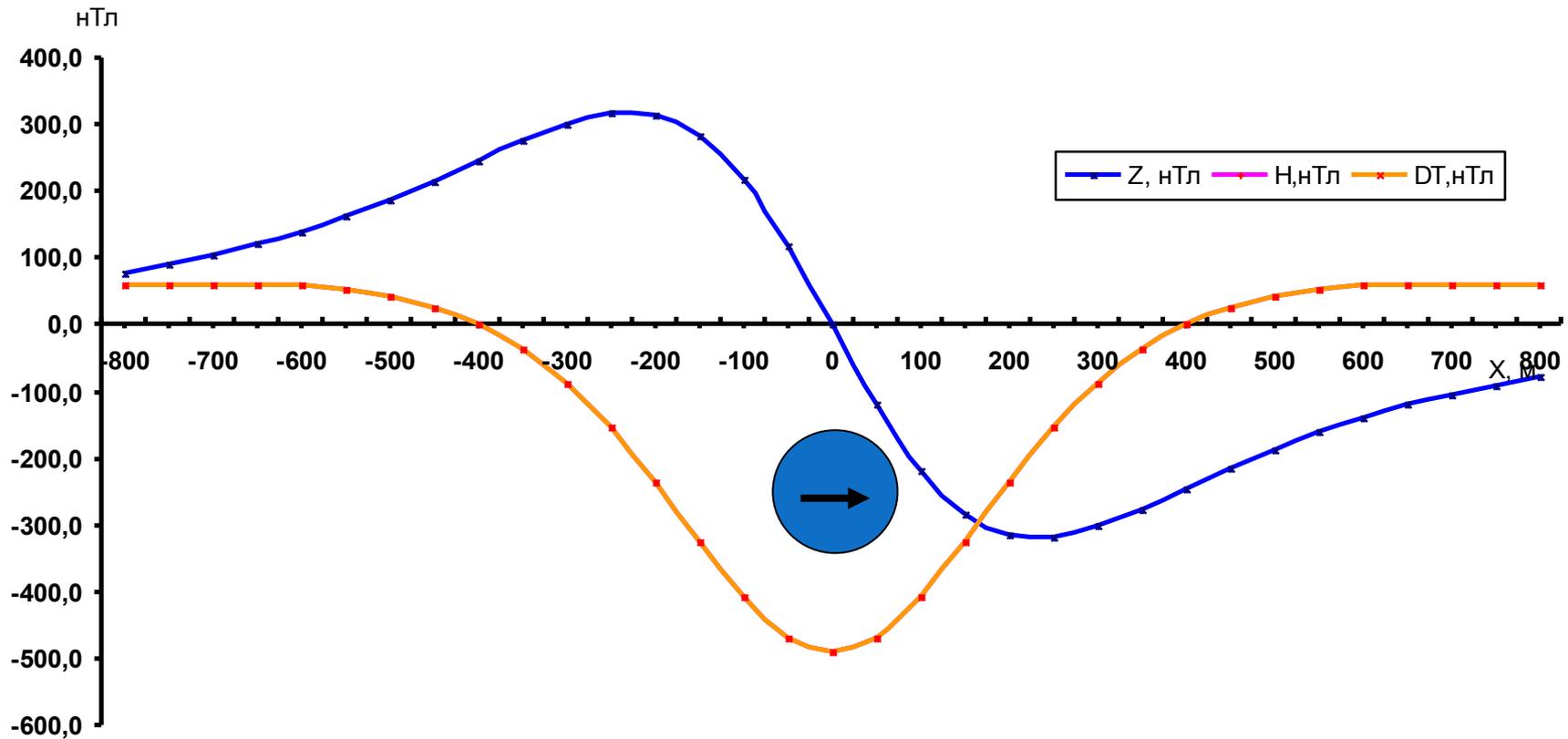
# Наклонное намагничение кругового горизонтального цилиндра

## Магнитное поле кругового горизонтального цилиндра



# Горизонтальное намагничение

Магнитное поле кругового горизонтального цилиндра



# ADM-3D

Технологии внедрены в  
Гравиметрической  
экспедиции №3 и  
Укргеофизике в 2004 г.  
Авторы  
разработки: Кочнев  
В.А., Васильев Д.В., Гоз  
И.В., Сидоров В.А

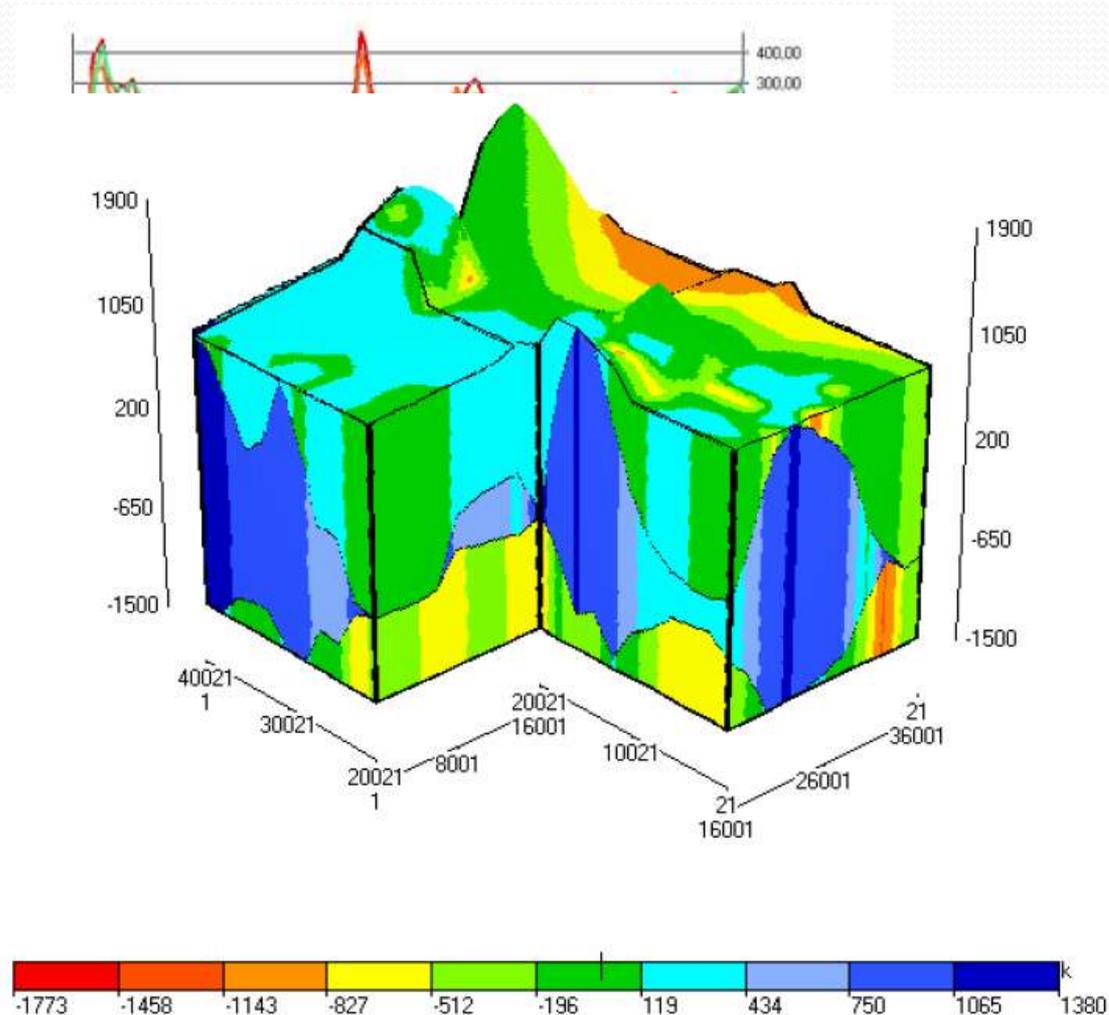
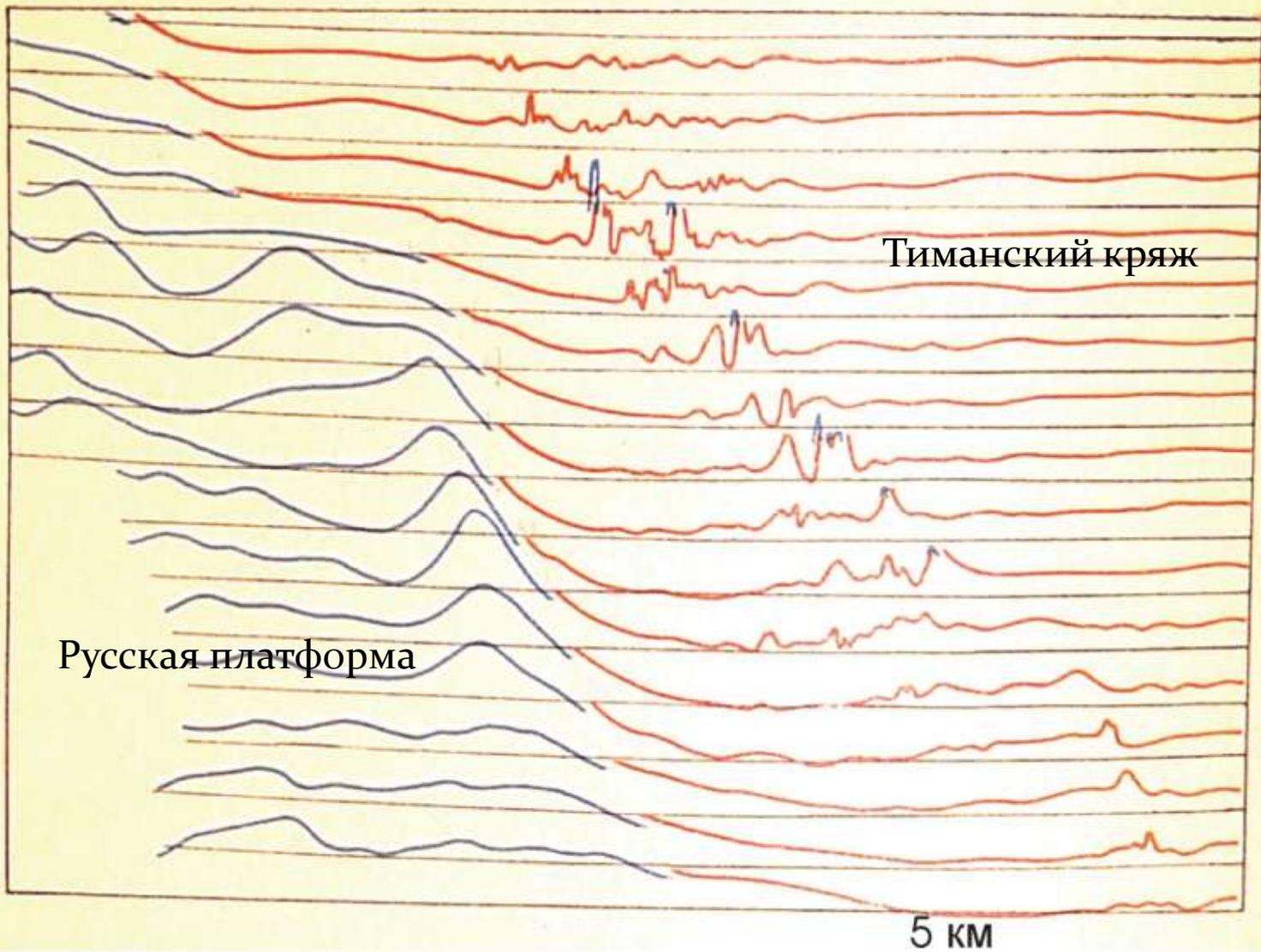


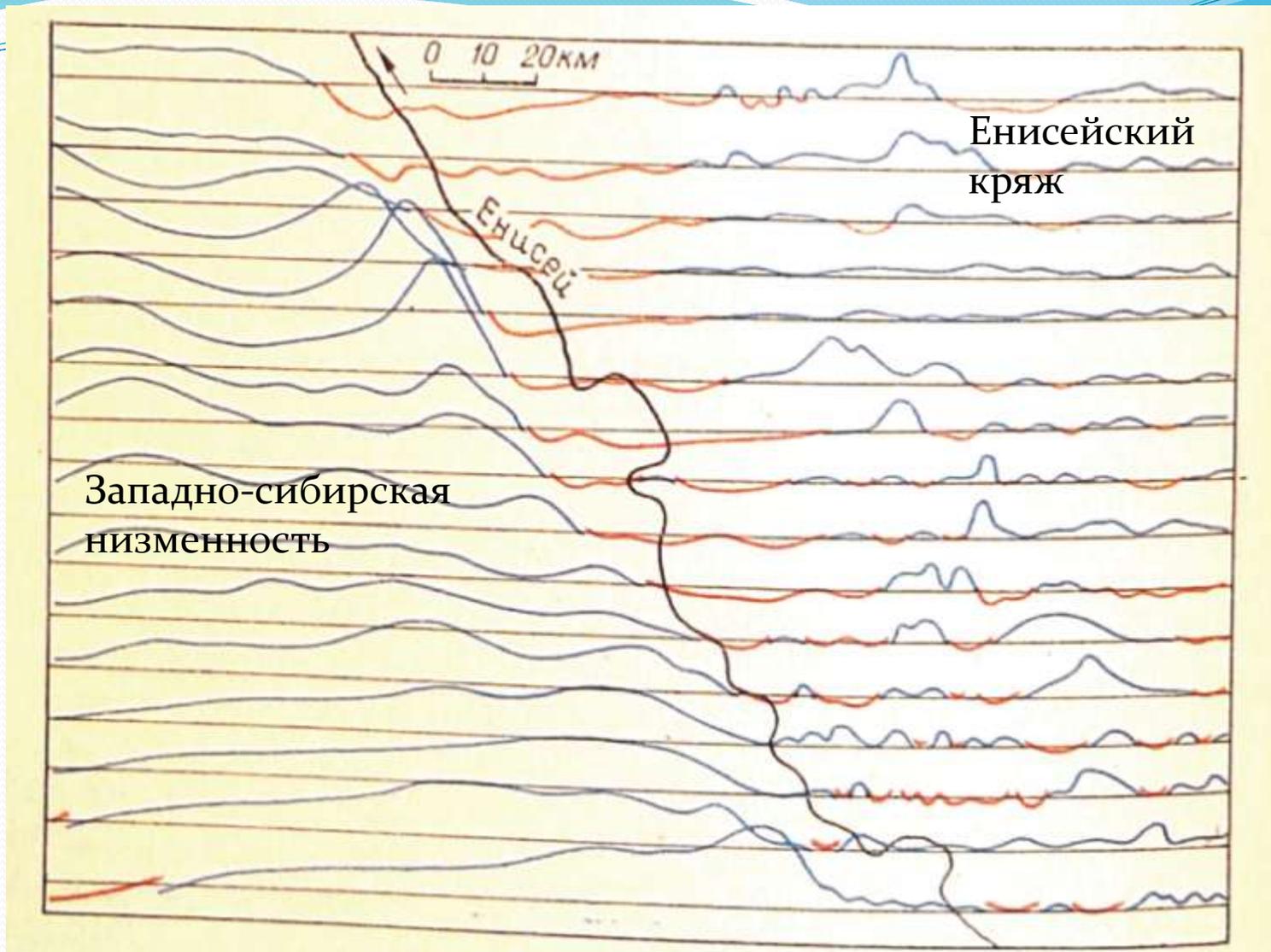
Рис. 17. Трехмерная модель магнитной восприимчивости.

# 7. Область применения магниторазведке

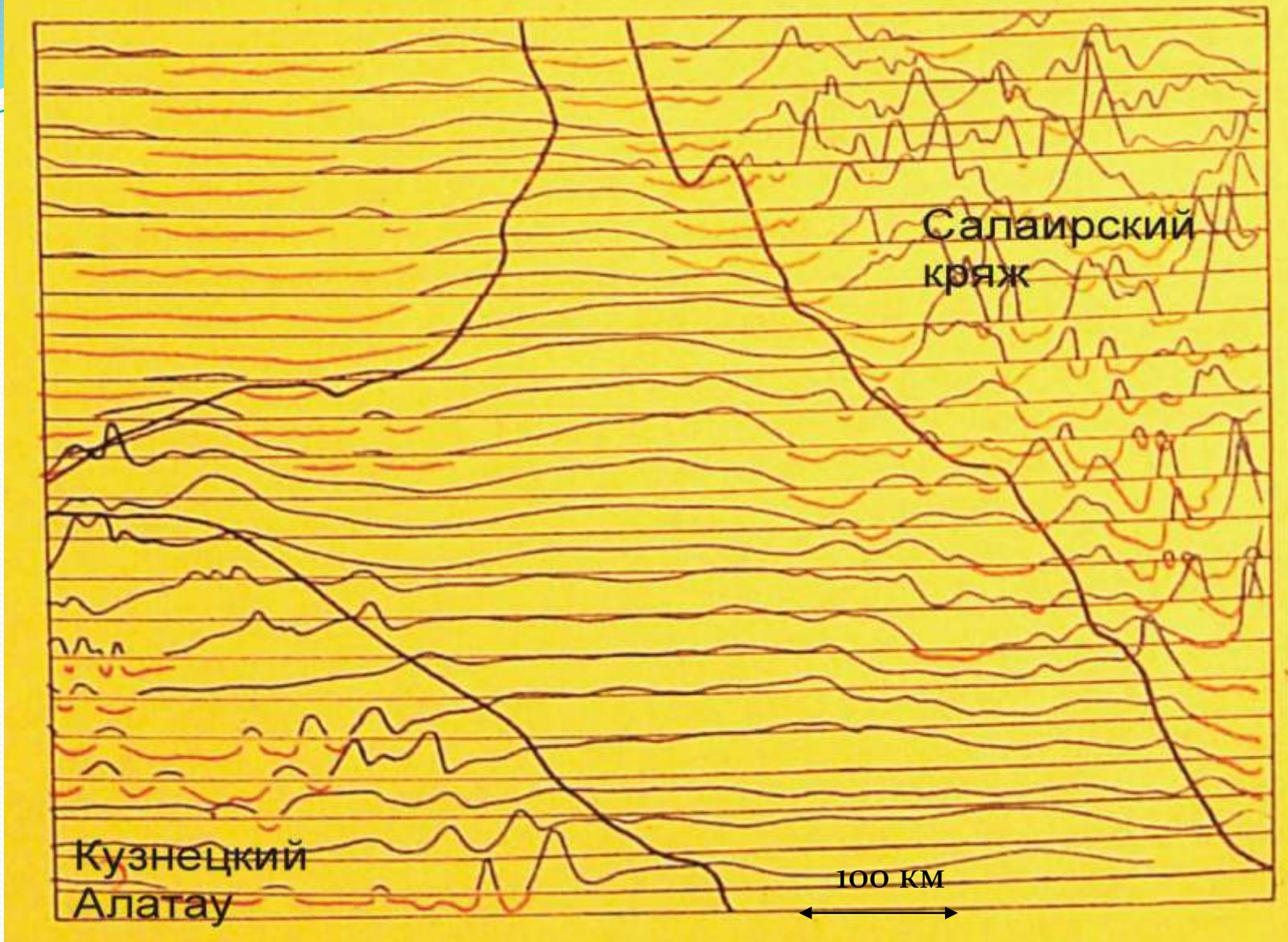
- 7.1. Задачи решаемые магниторазведкой при геокартировании
- 7.2. Применения магниторазведке при поисках различных месторождений



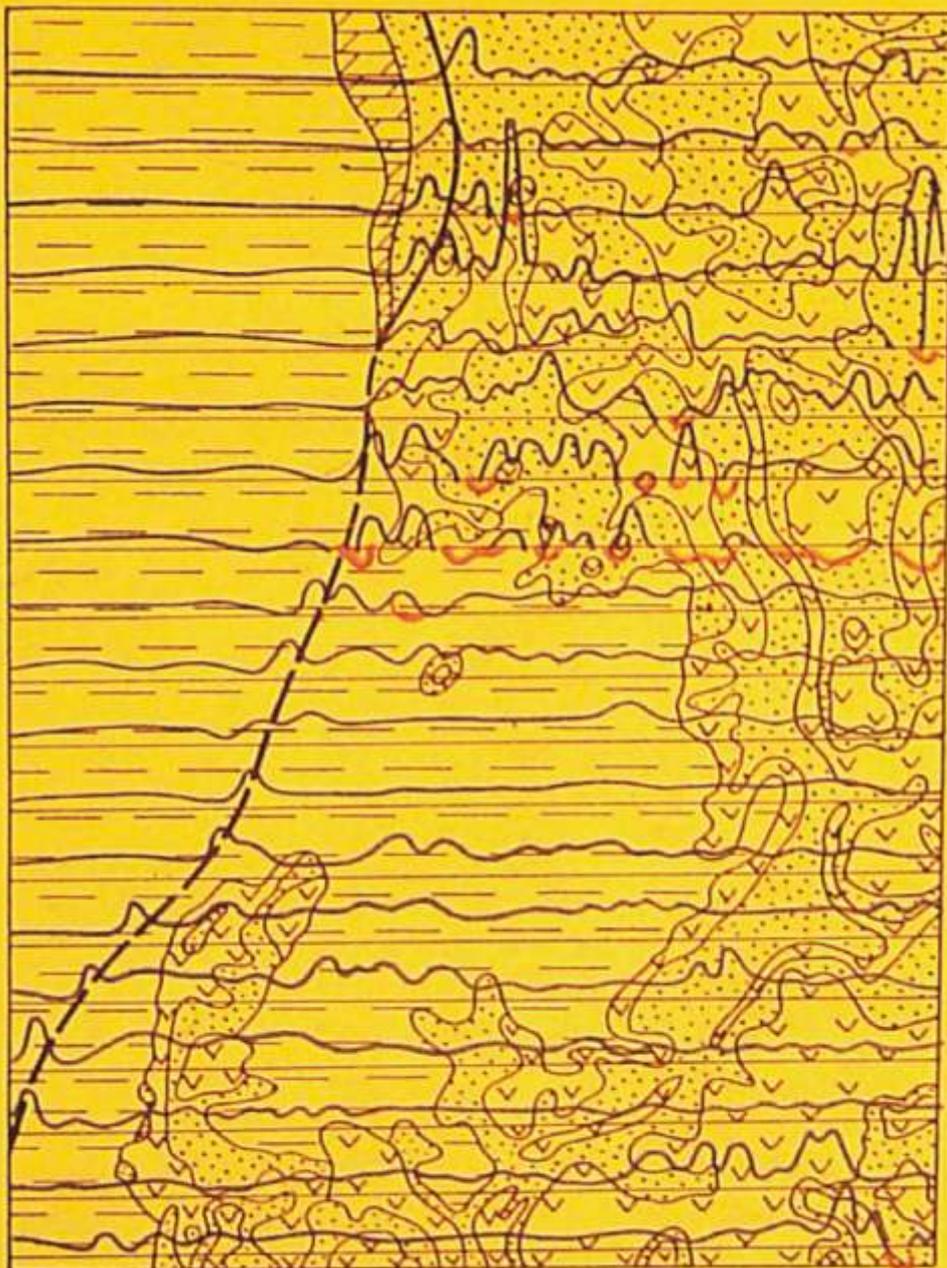
Западная граница Тиманского кряжа



Енисейский кряж



Кузнецкий бассейн



Западная часть Восточно-Сибирской платформы, Неоднородное поле над интрузиями траппов

## Область докембрийских пород



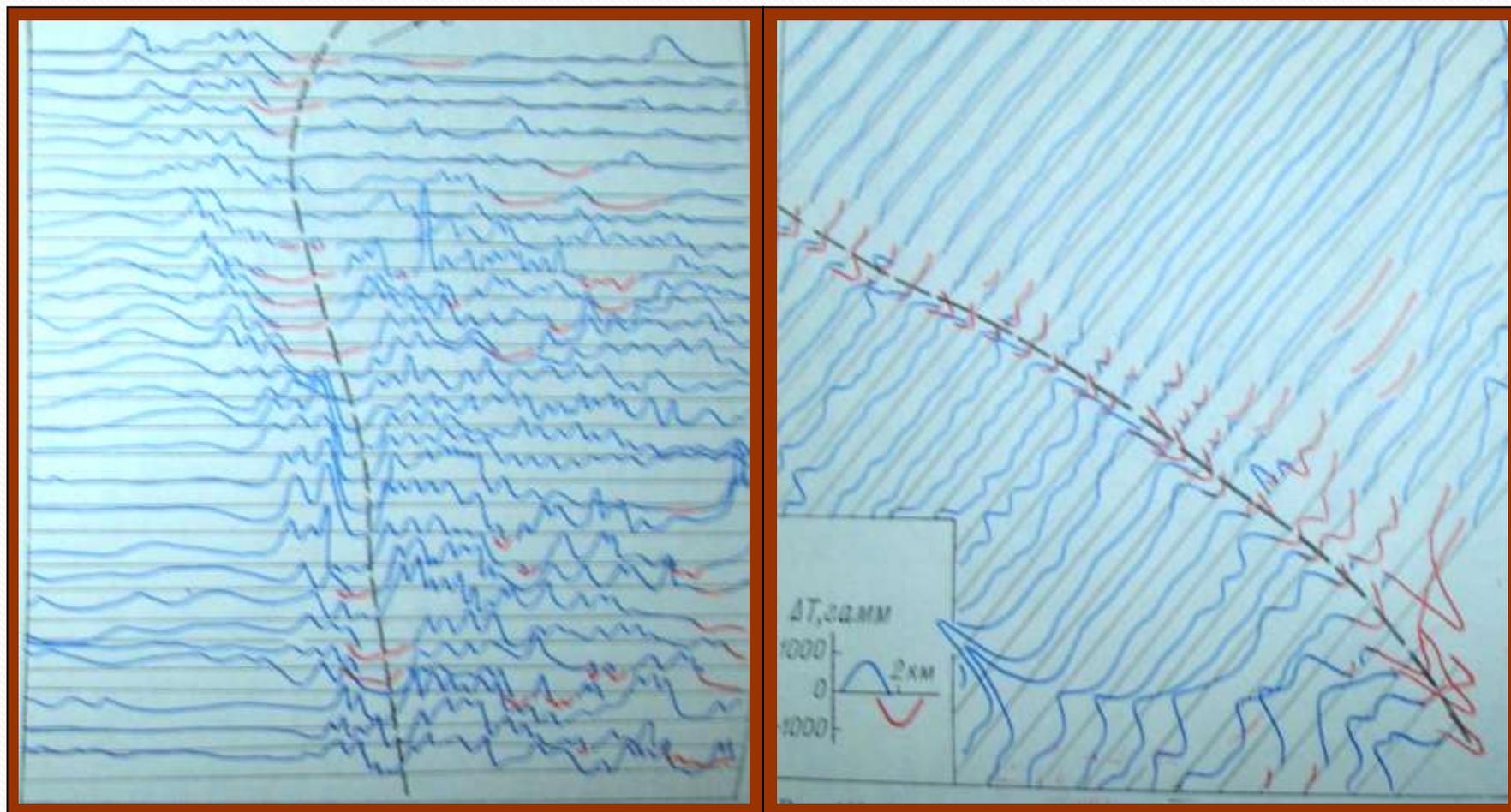
Акватория Азовского моря

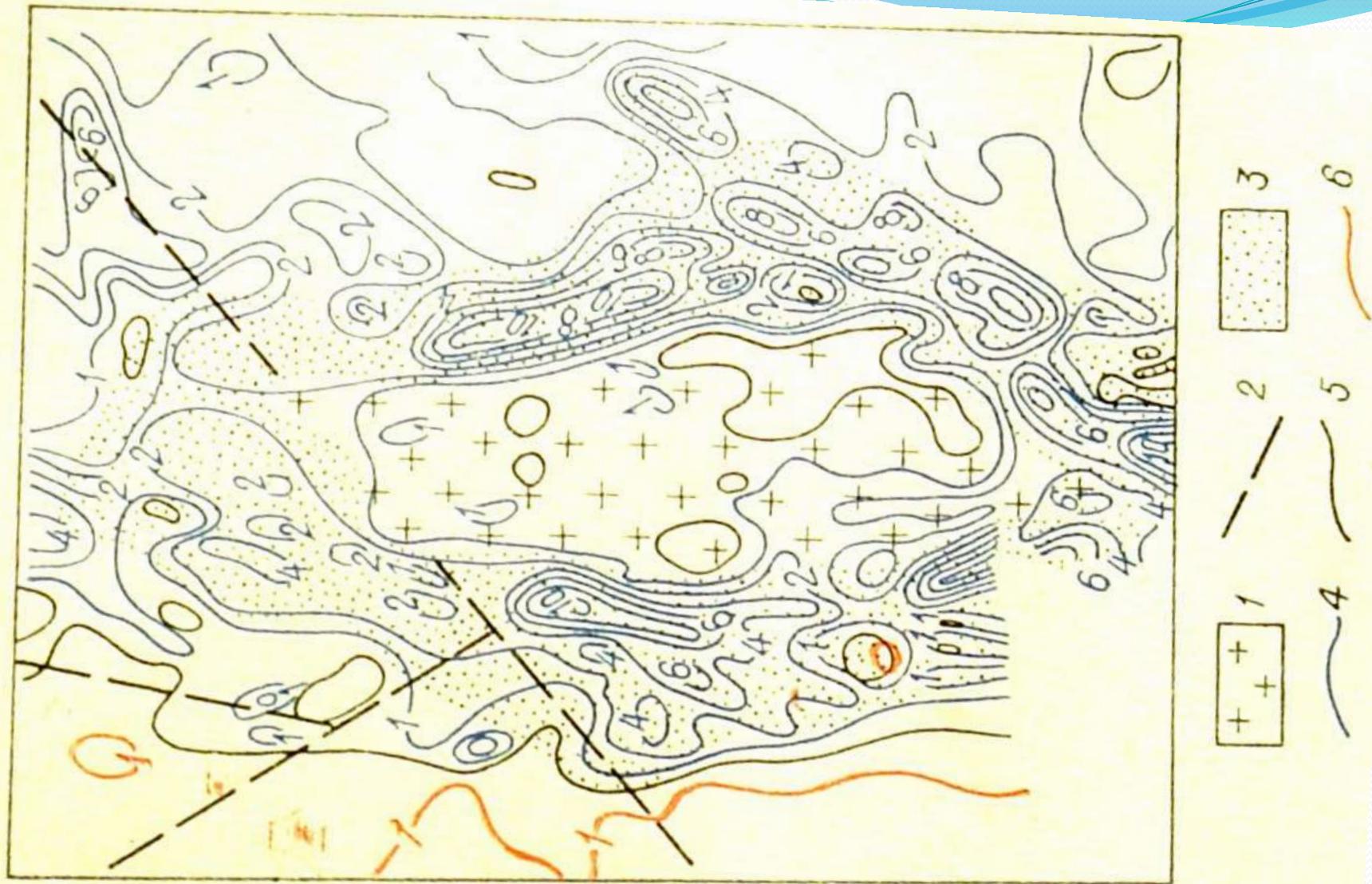


Картирование разрывного нарушения залеченного дайками диабазов и габбро-амфиболитов

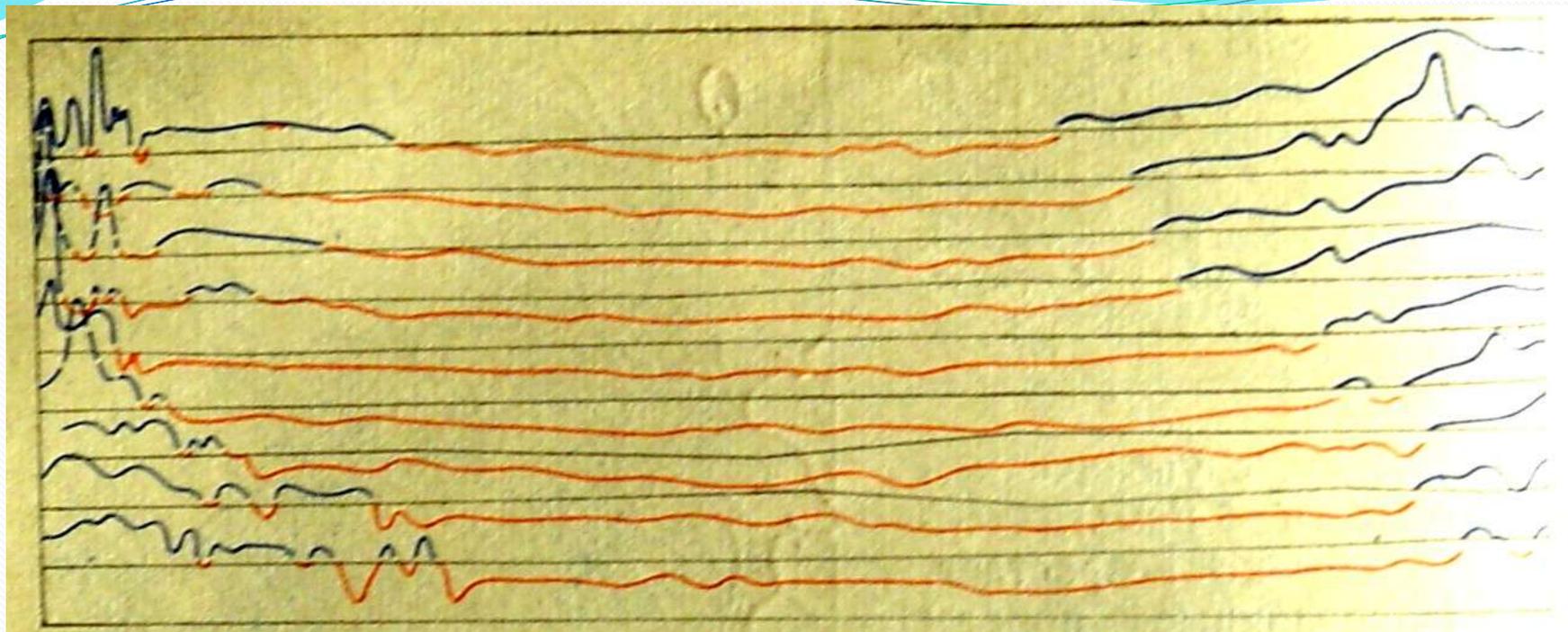
## Задачи, решаемые магниторазведкой

### Картирование даек в фундаменте по плану графиков магнитного поля

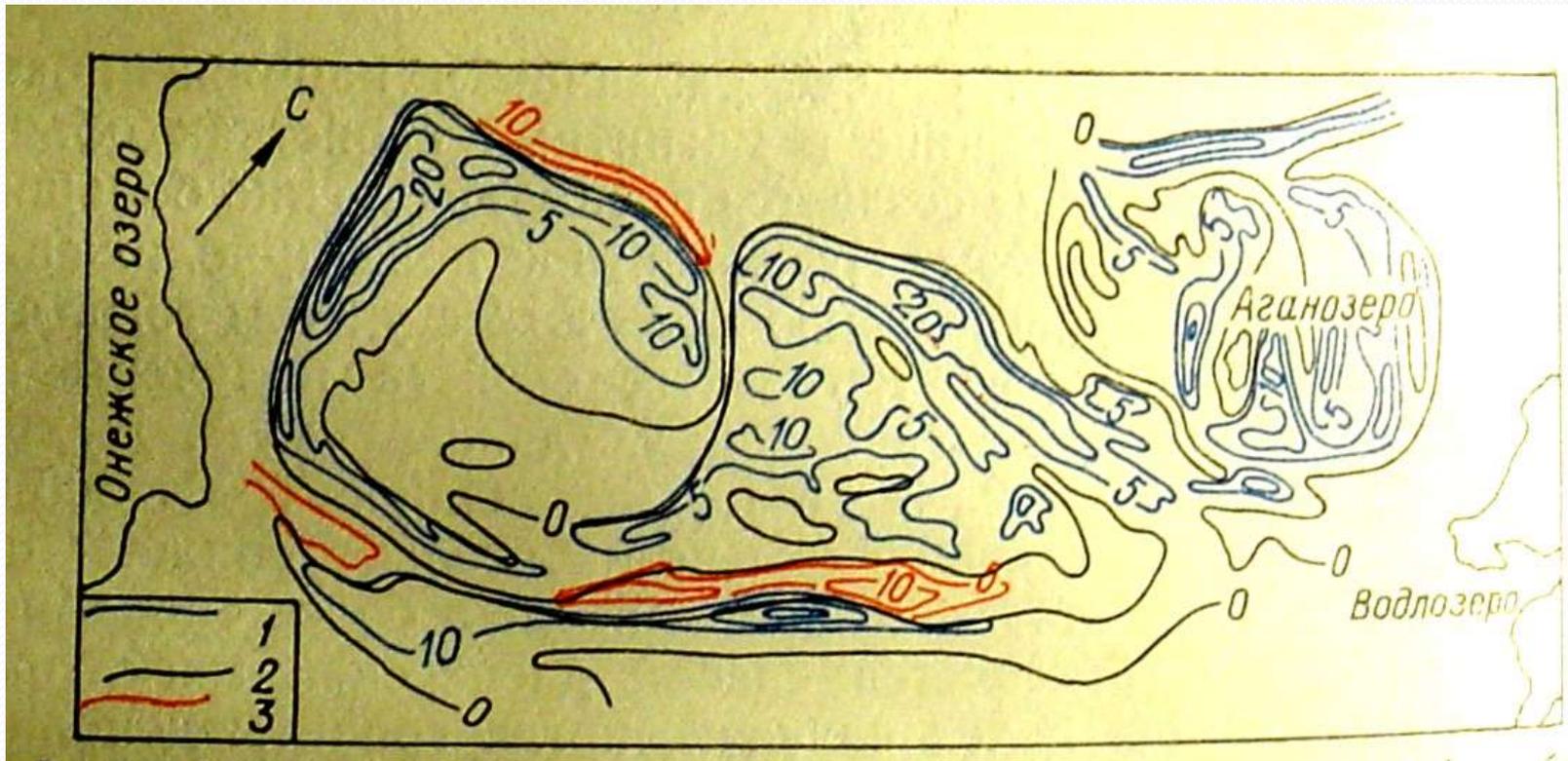




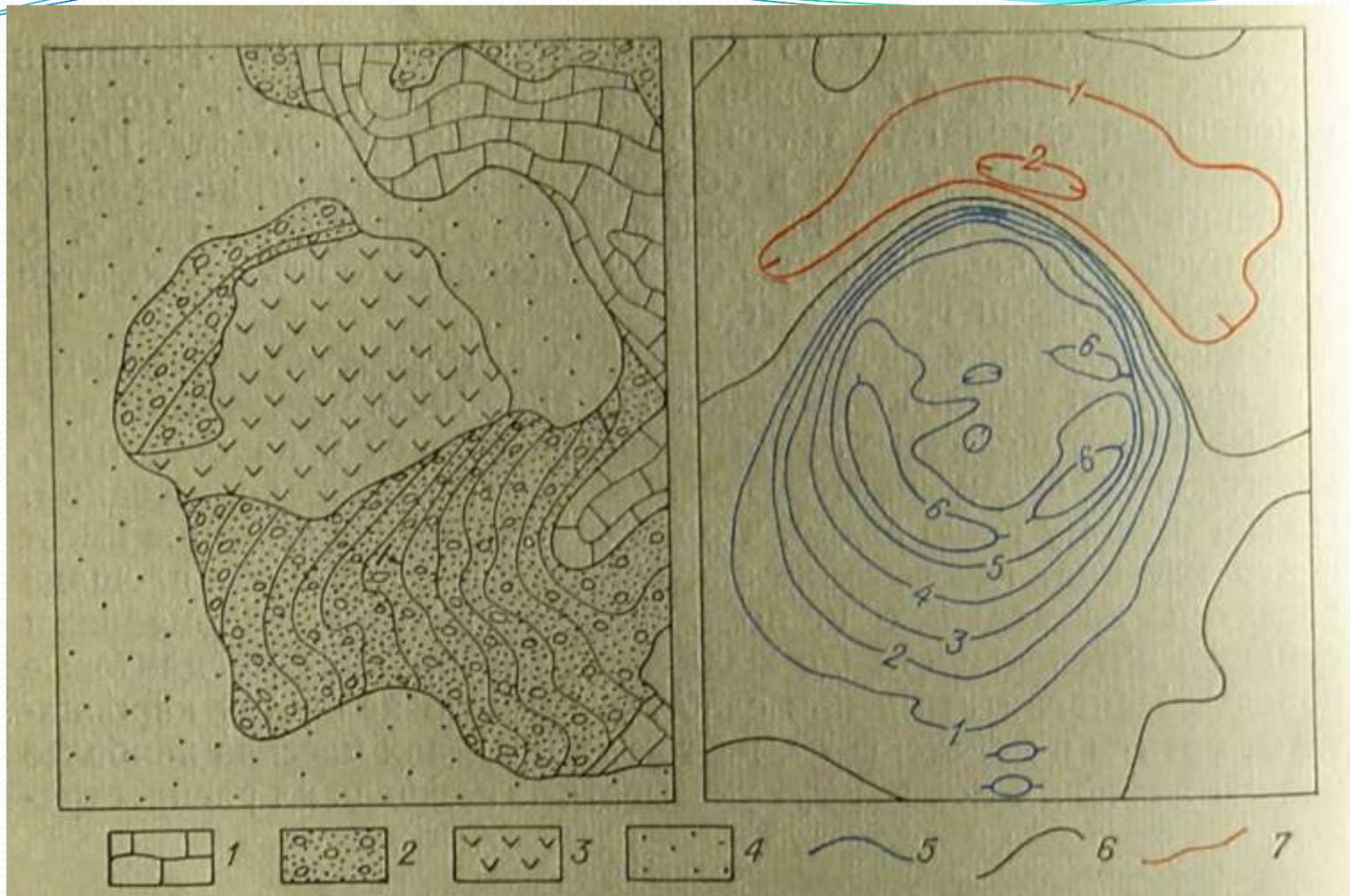
Картирование контактовых изменений вокруг гранитного массива



Картирование интрузии гранитов по спокойному пониженному полю (Восточное Приладожье)

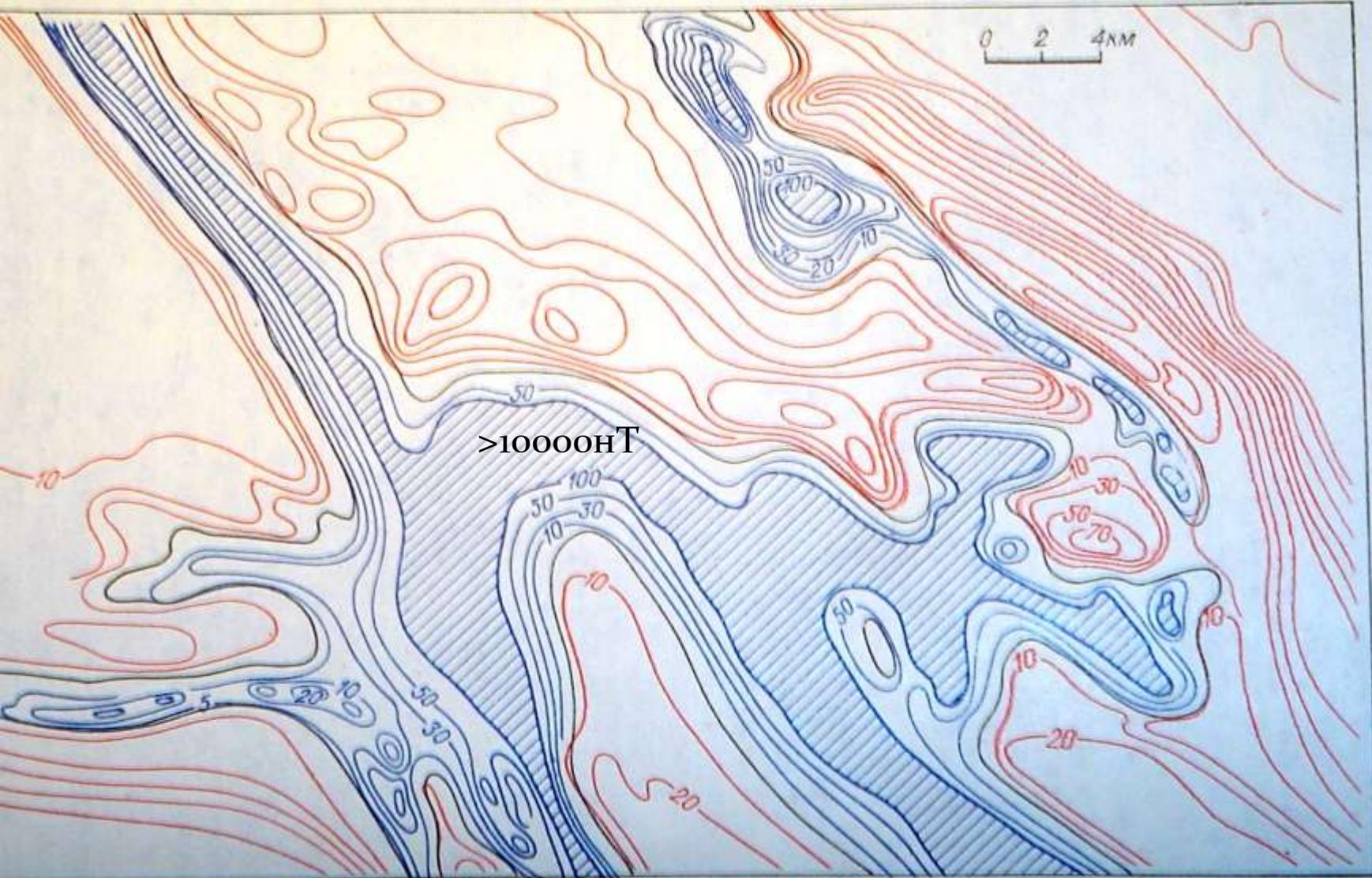


Картирование массивов ультраосновных пород (Бураковский и Аганозерский)  
 (пироксениты в краевых частях ( $10^{-1}$  СИ), габбро-нориты в центральной  
 части ( $10^{-3}$  СИ))



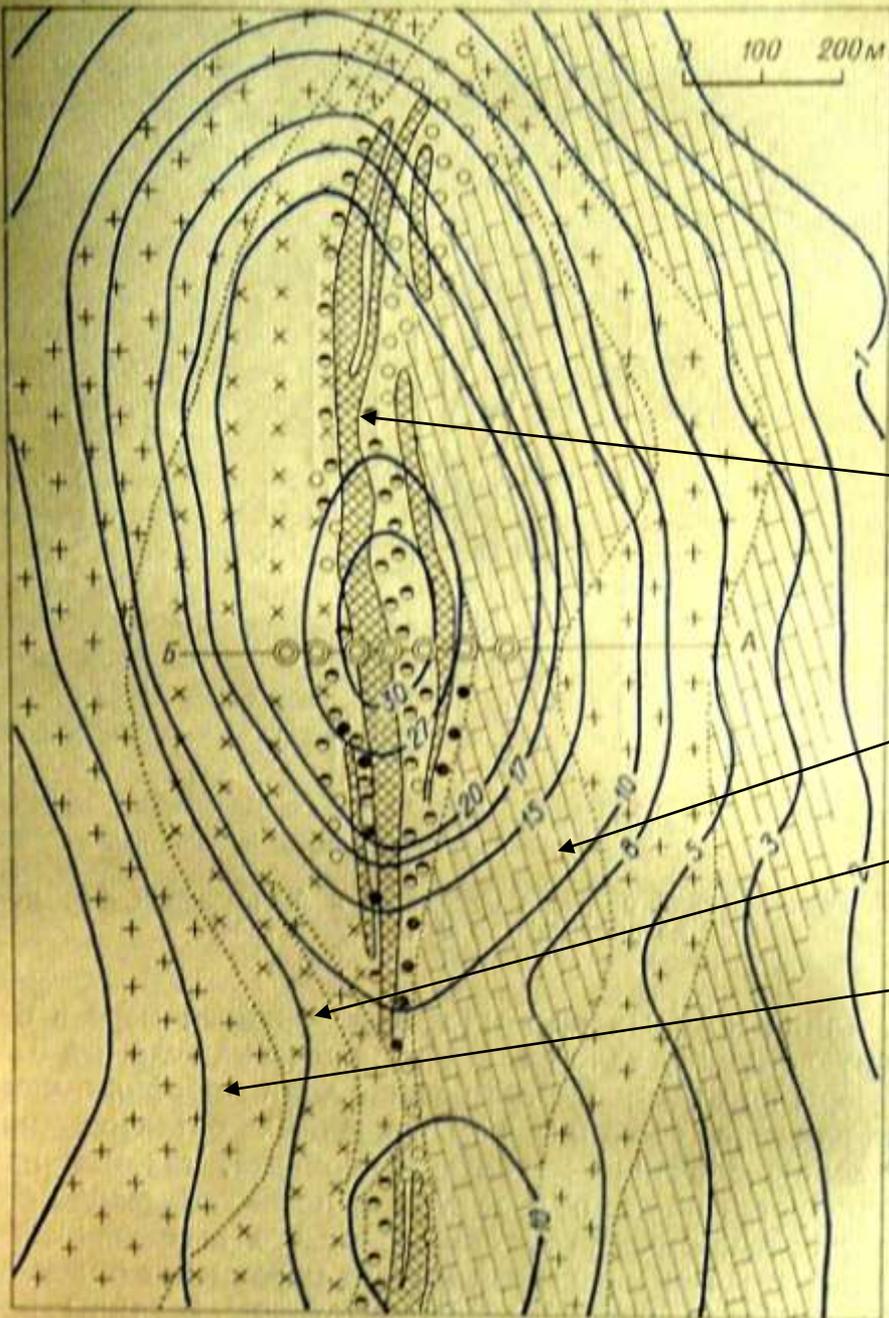
известняки    песчаники    граносиениты    Рыхлые  
 образований

# Магнитное поле над интрузией граносиенитов (Казахстан)



Магнитное поле над участком КМА

# Аномалия над магнетитовым телом (Горная Шория, юг Кемеровской области)

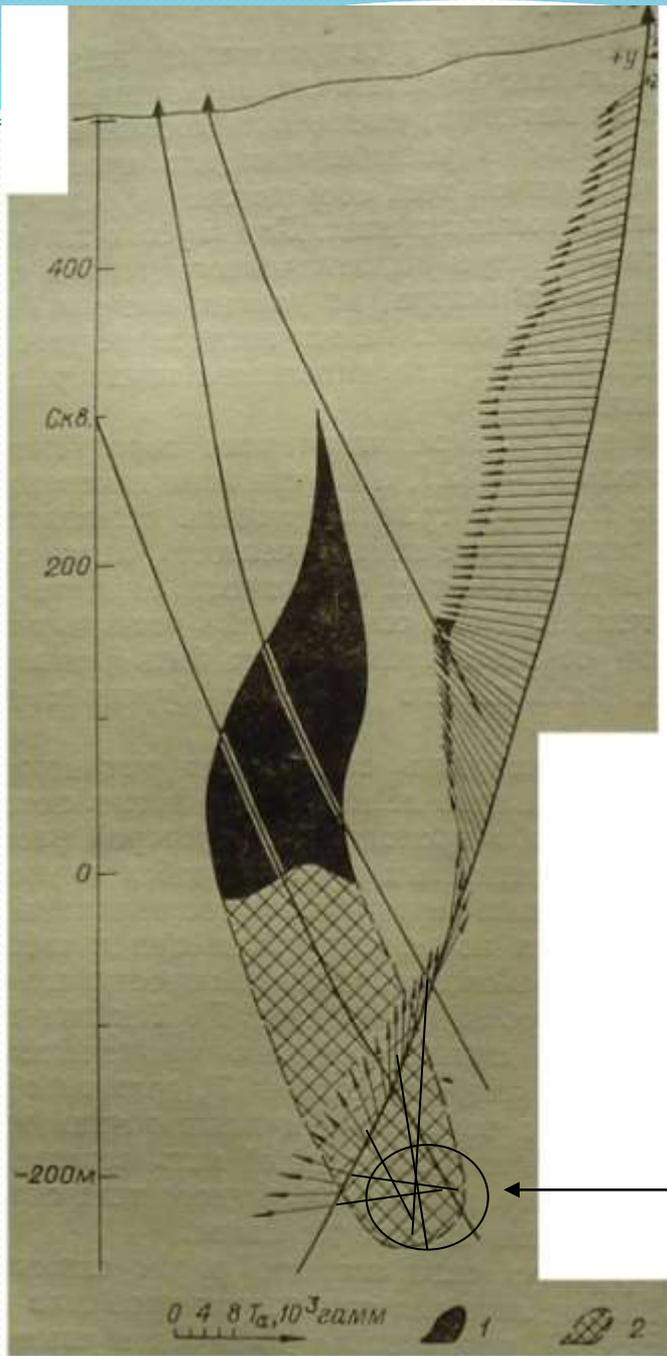


Проекции рудных тел, залегающих на глубине ~200 м

известняк

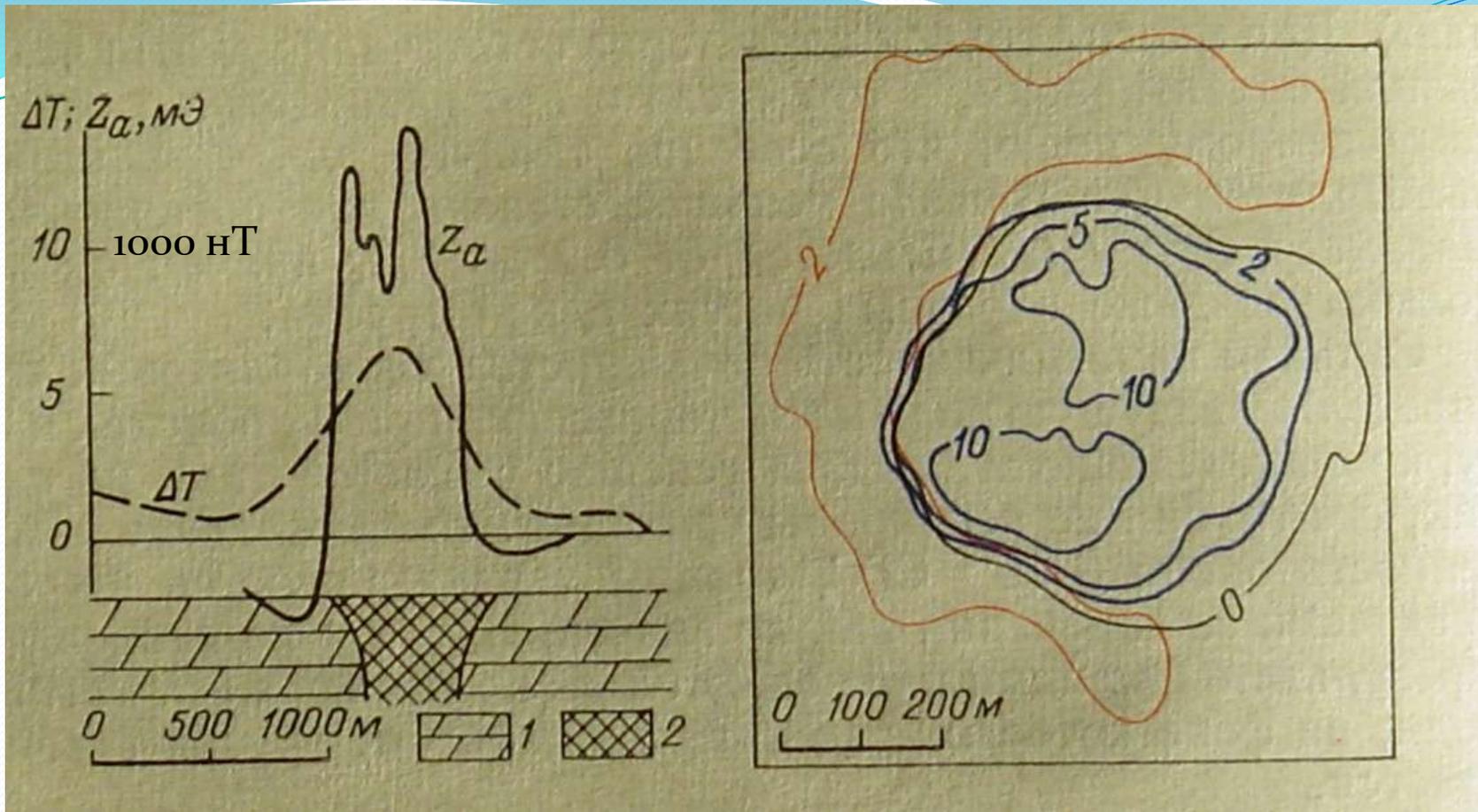
диориты

граниты

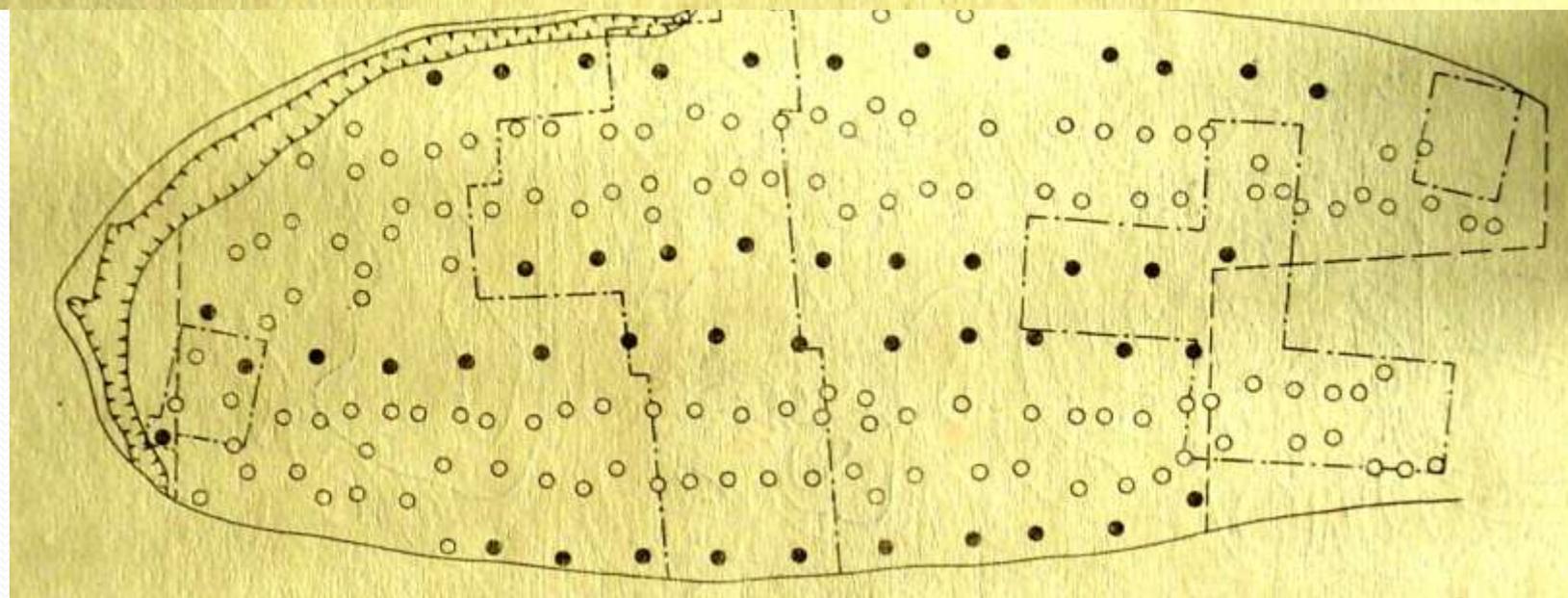
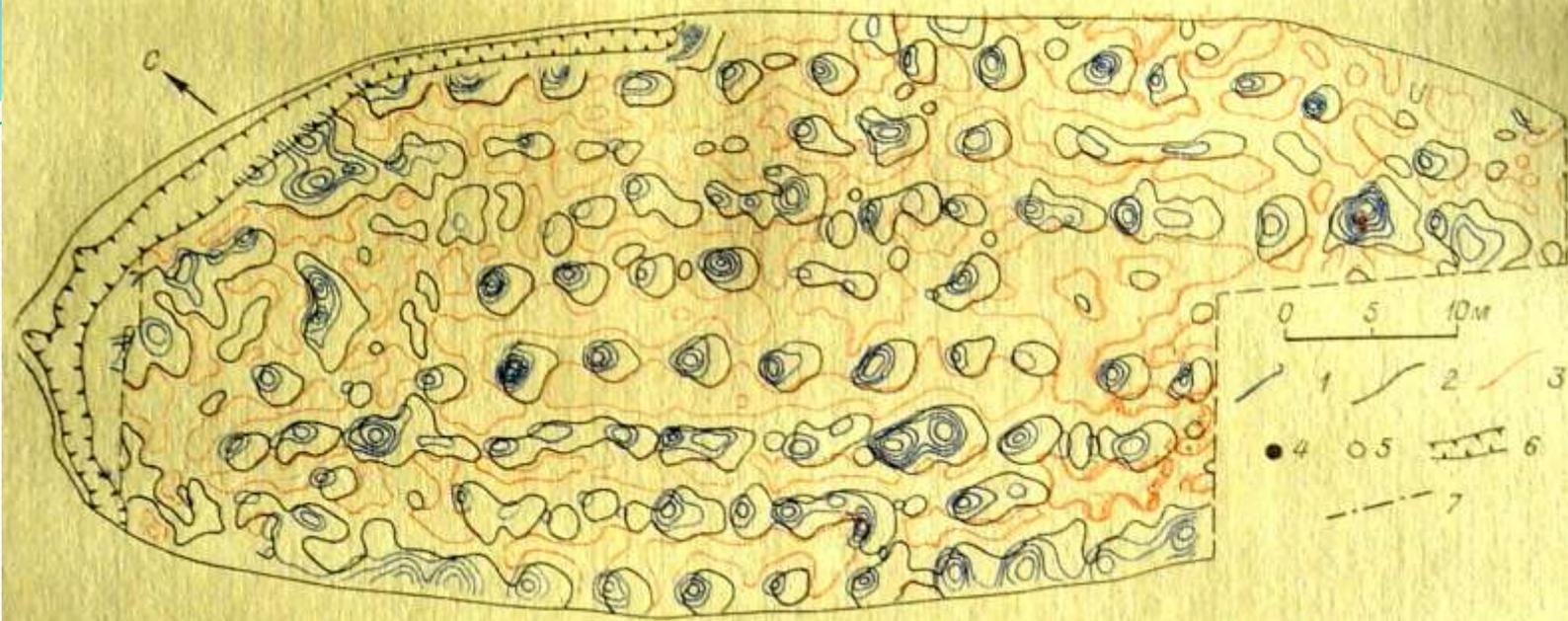


Данные скважинной магниторазведки  
Скарновое месторождение в Восточном  
Саяне

← Положение полюса

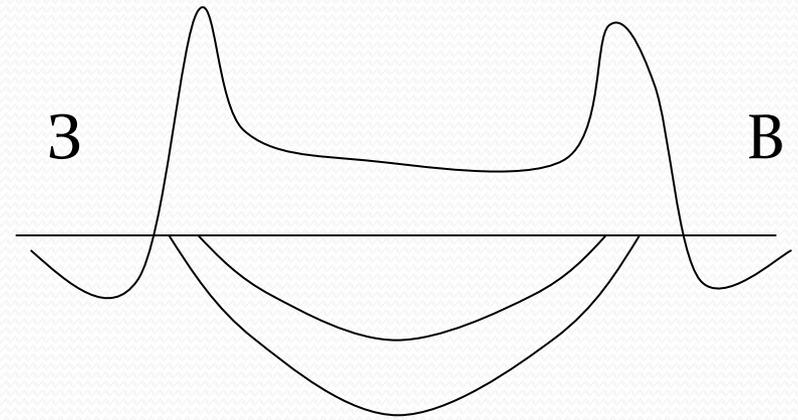
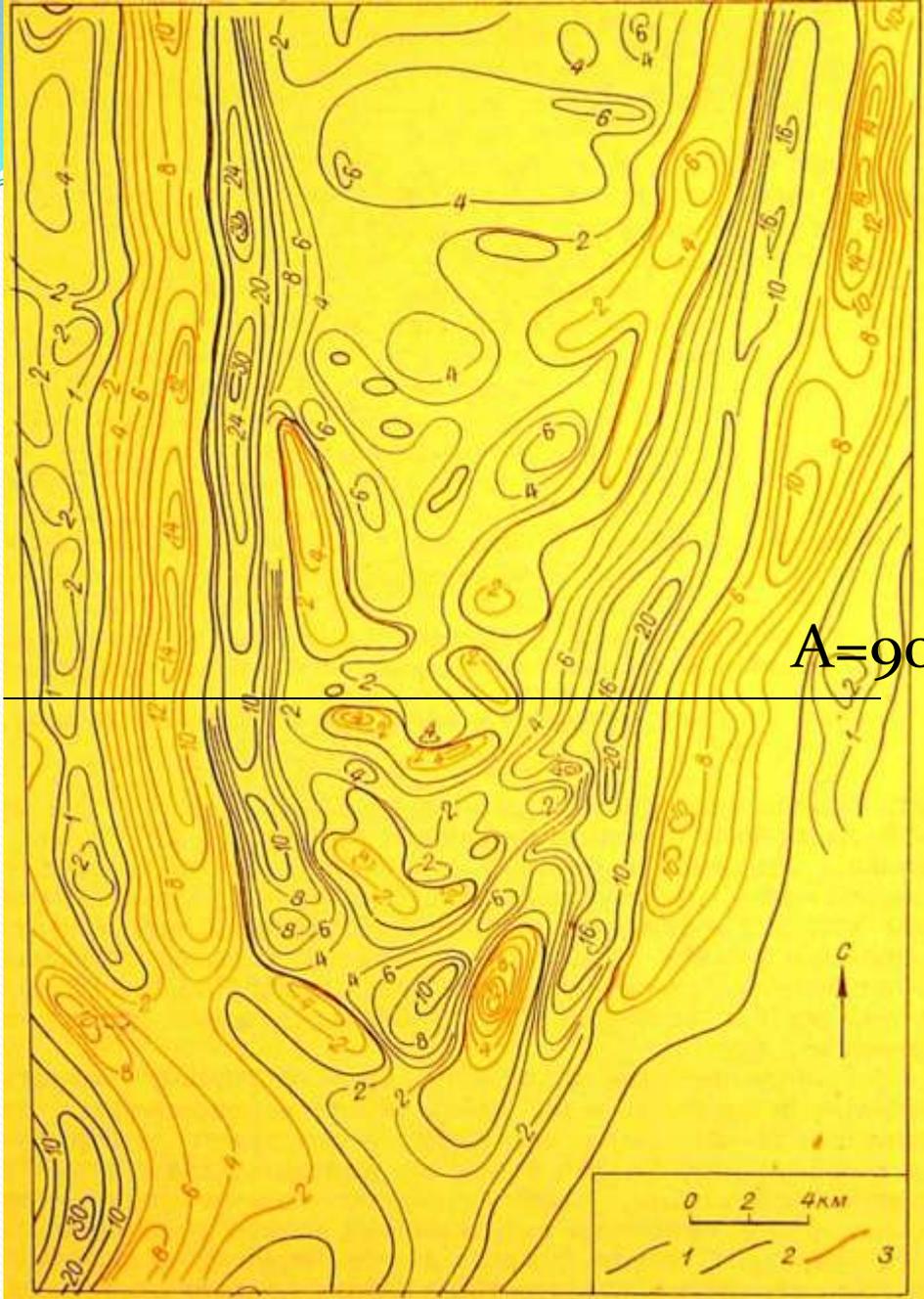


Магнитное поле над кимберлитовой трубкой (Якутия)



Картирование очагов и печей средневекового поселения (Псковская область)

З.Б.



# Карта магнитного поля Средневасюганского нефтегазоносного района

