



# **МАГНИТОРАЗВЕДКА**

## **Глава 2**

### **«Магнитные свойства горных пород и руд»**

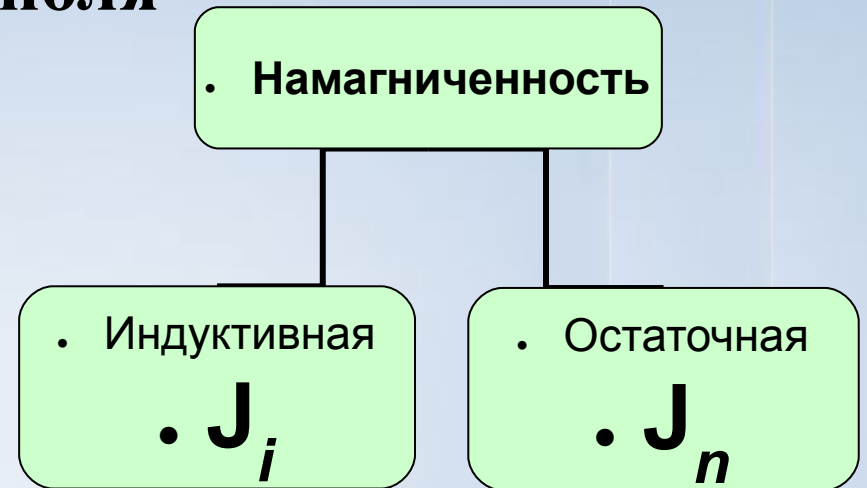
. Ver 1.2.

. © Новиков К.В. 2011 – 2013 г.

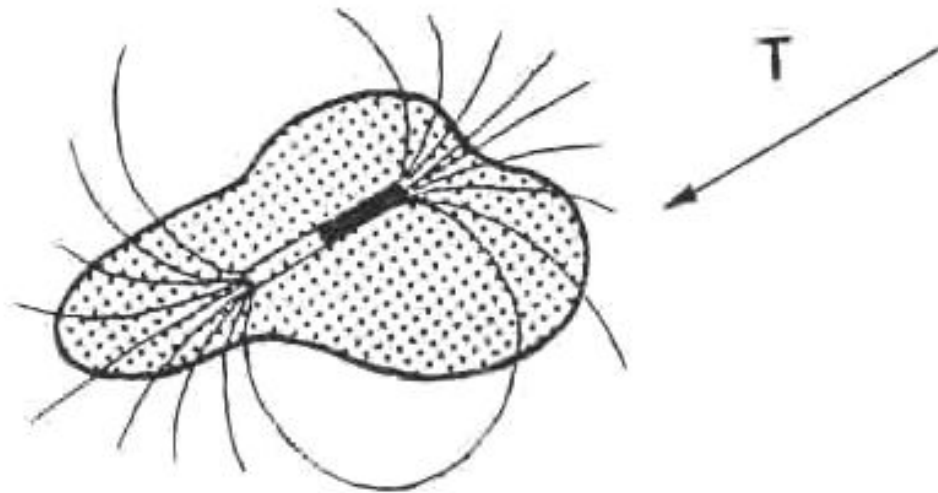
# Магнитные параметры среды

Величина	Обозн.	Размерность СИ	Размерность СГС	Связь СГС и СИ
1	2	3	4	5
Намагниченность		ампер/метр (А/м)	ед. СГС·см <sup>-3</sup>	$1 \text{ А/м} = 10^{-3} \text{ СГС} \cdot \text{см}^{-3}$
Магнитная проницаемость абсолютная	$\mu_a$	генри/метр (Гн/м)	1 СГС	$4 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 1 \text{ СГС}$
Магнитная проницаемость относительная	$\mu (\mu_{\text{отн}})$	Безразмерная	Безразмерная	-
Магнитная проницаемость вакуума (магнитная постоянная)	$\mu_0$	генри/метр (Гн/м)	ед. СГС	$4 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 1 \text{ СГС}$
Магнитная восприимчивость	$\chi$	ед. СИ	ед. СГС	$1 \text{ ед.СИ} = 4\pi \text{ ед. СГС}$

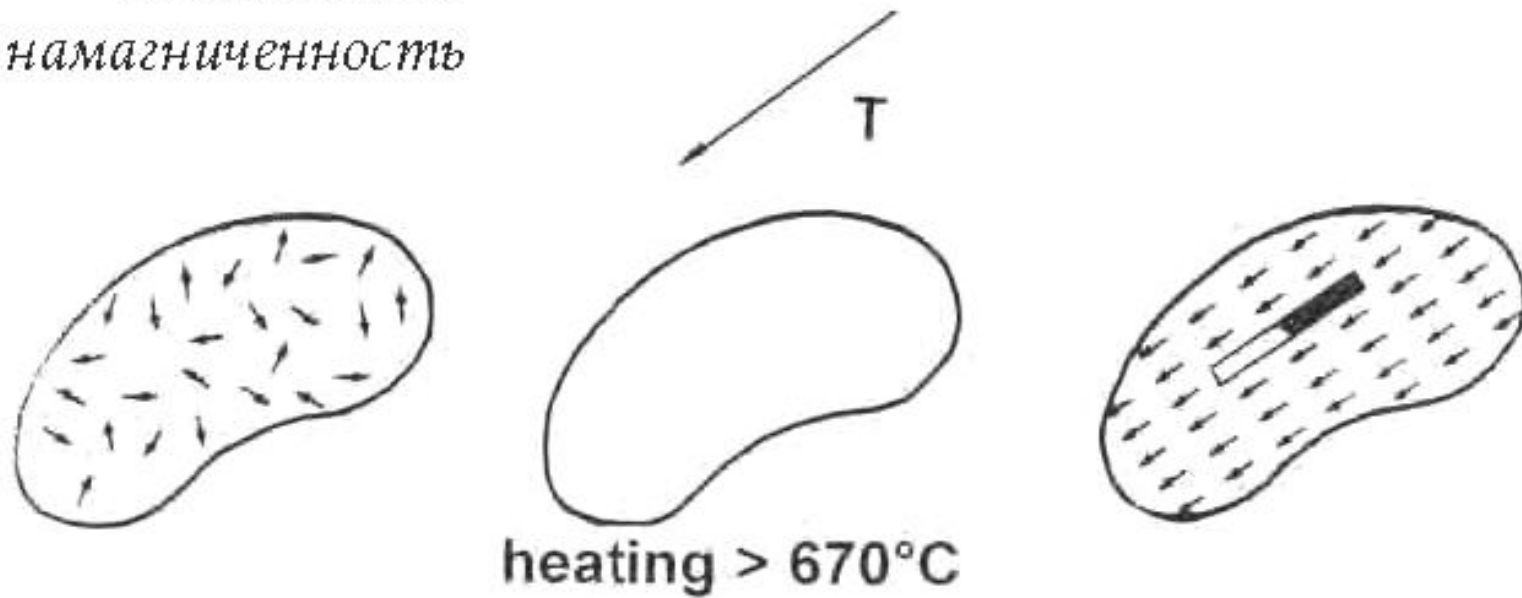
# Связь индукции и напряженности магнитного поля



Индукцированная  
намагниченность



Остаточная  
намагниченность



# • Намагниченность объекта с учетом размагничивания

где,  $N$  – коэффициент размагничивания

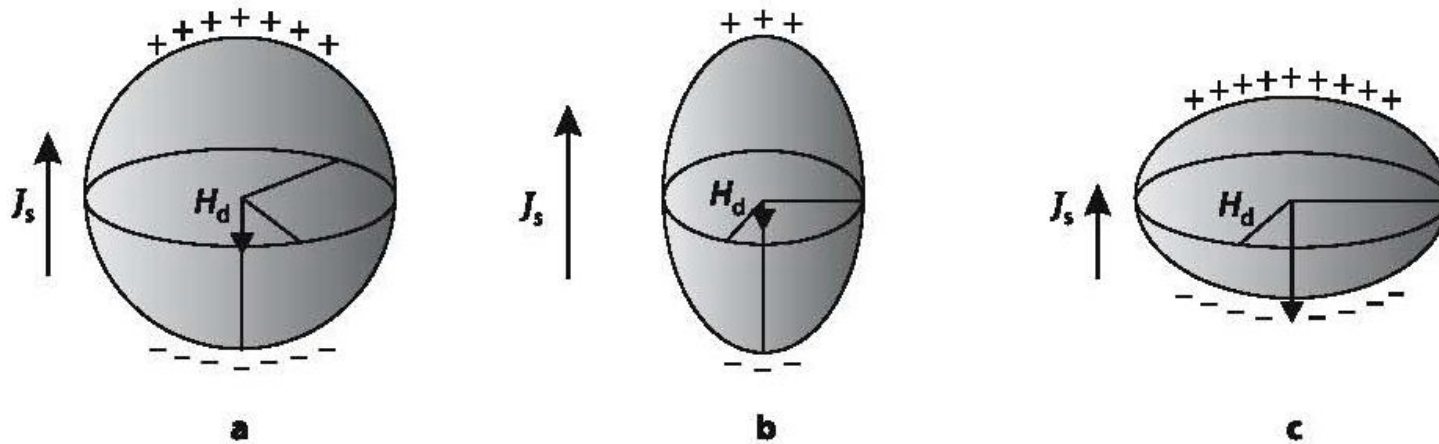
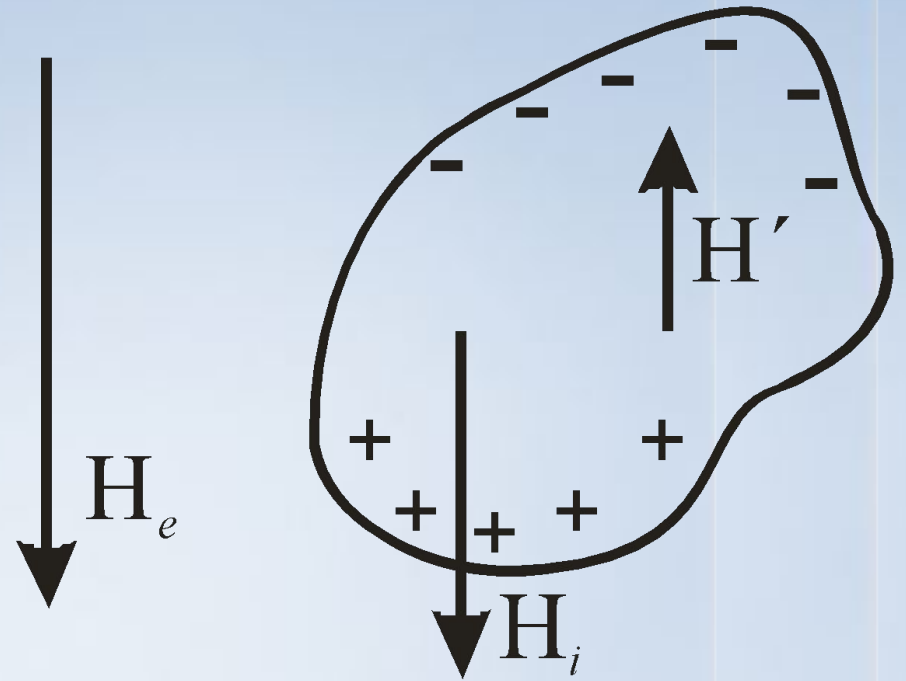


Fig. 2.12. Demagnetizing field  $H_d$  and saturation magnetization  $J_s$  of; a a sphere; b a prolate ellipsoid; and c an oblate ellipsoid

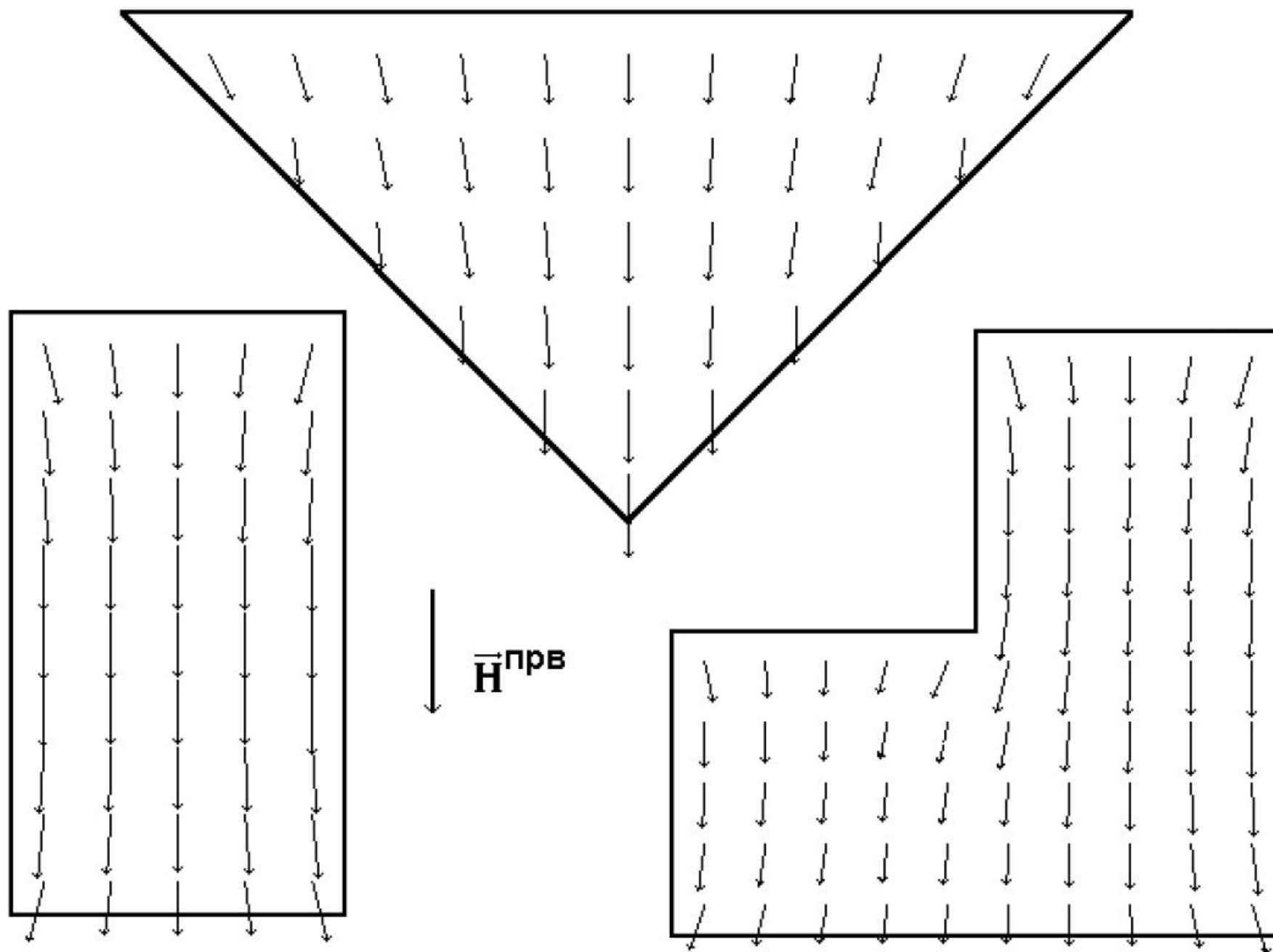


Рис. 4. Намагниченность однородных моделей с  $\kappa=2$  СИ, полученная в однородном вертикальном поле под влиянием размагничивания [Блох, 1993]

# 2.1. Магнитные свойства вещества

---

**Магнетизм**

```
graph TD; A[Магнетизм] --> B[Диамагнетизм]; A --> C[Парамагнетизм]; A --> D[Ферромагнетизм]; D --> E[Ферримагнетизм]; D --> F[Антиферромагнетизм];
```

*Диамагнетизм*

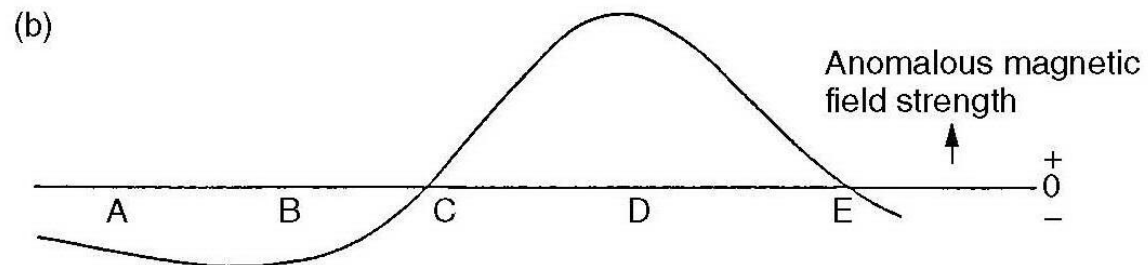
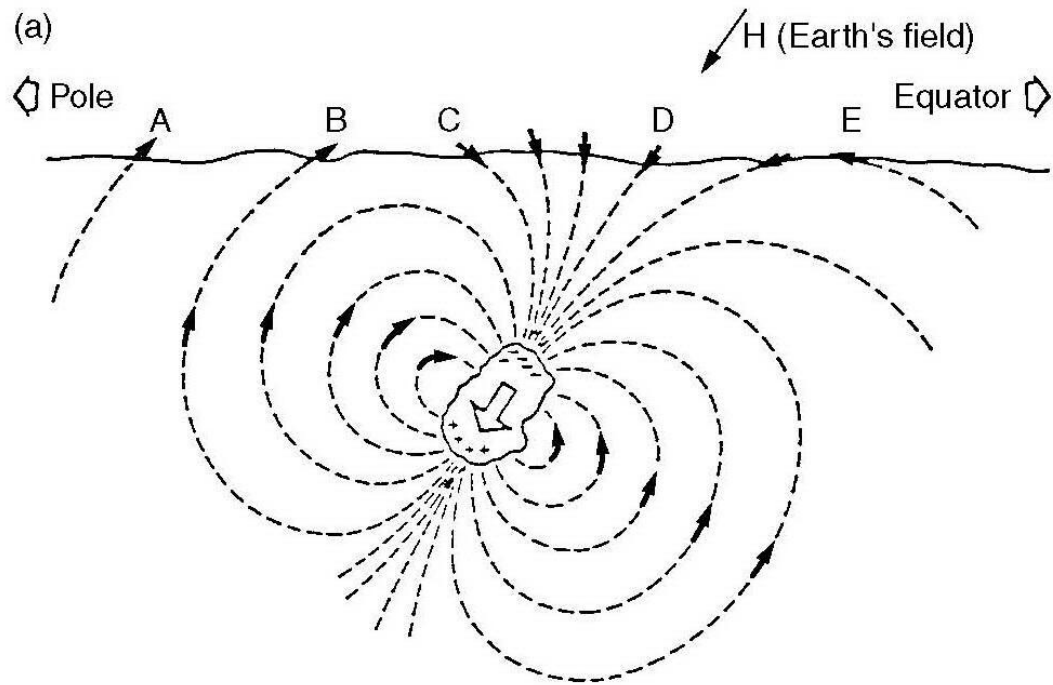
*Парамагнетизм*

*Ферромагнетизм*

*Ферримагнетизм*

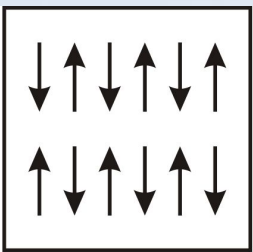
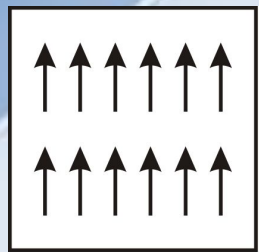
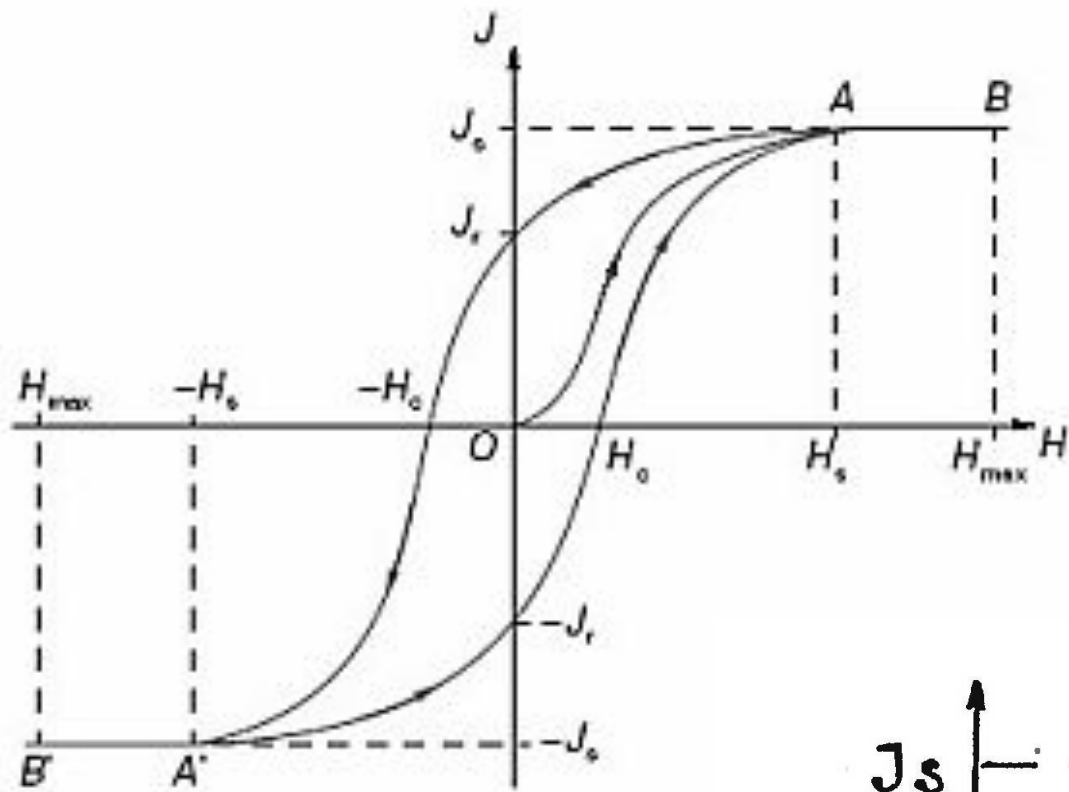
*Антиферромагнетизм*

## 2.1.1 Ферромагнетизм



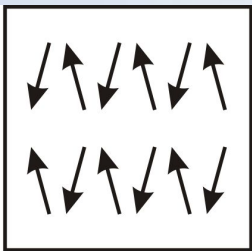
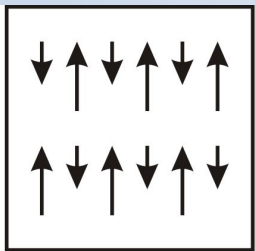


# Намагничивание ферромагнетиков (гистерезис)



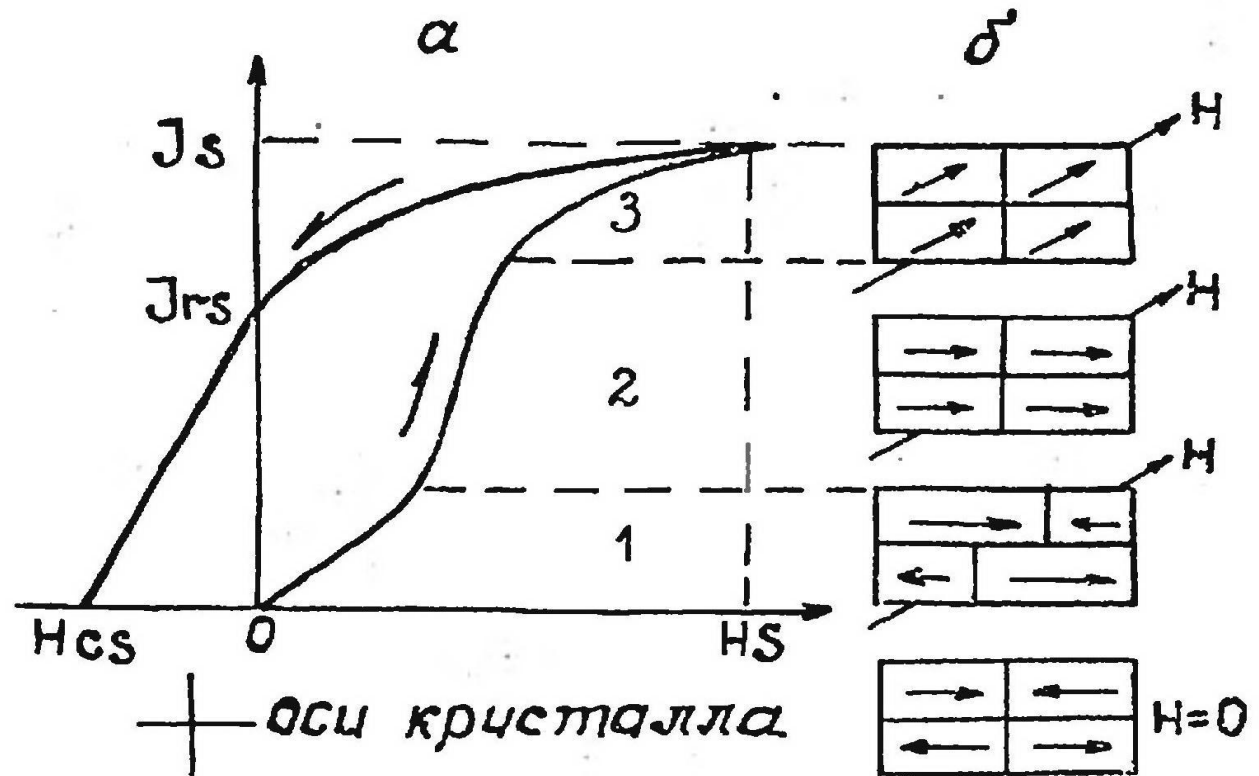
*a*

*б*



*в*

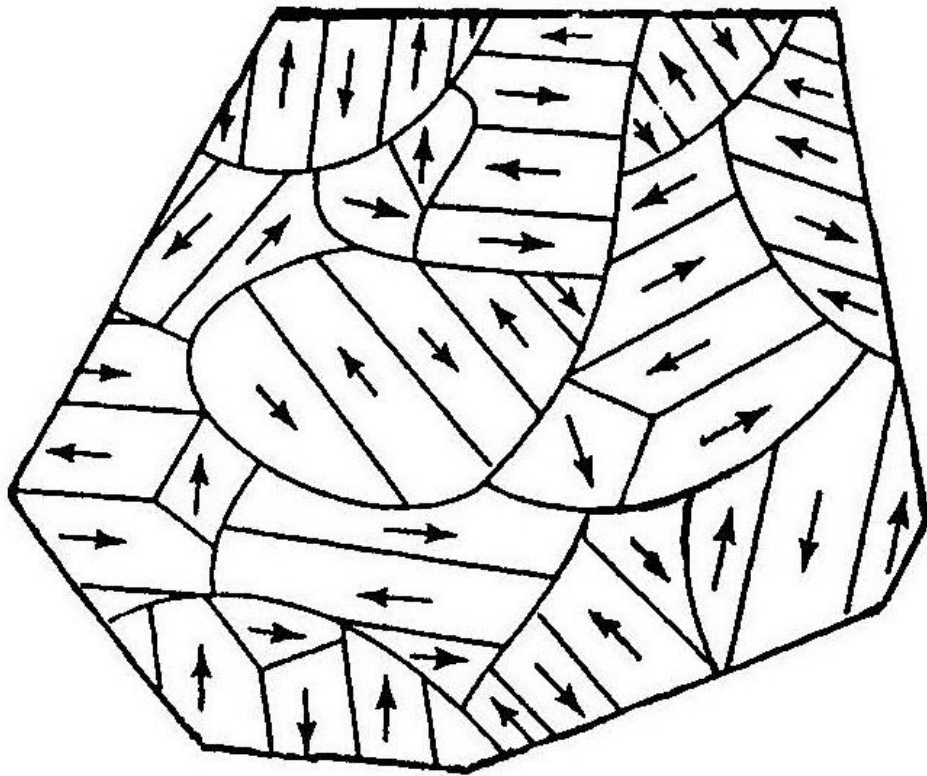
*г*



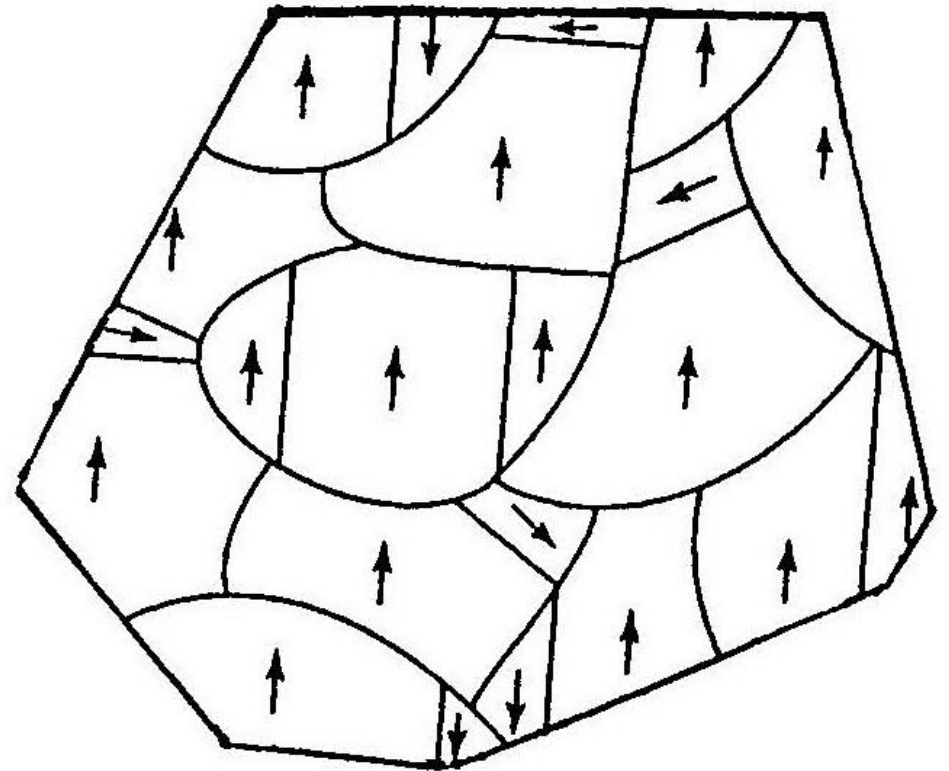
⊕ оси кристалла

Рис. 4.9. Намагничивание ферромагнетика магнитным

# Намагничивание ферромагнитного минерала

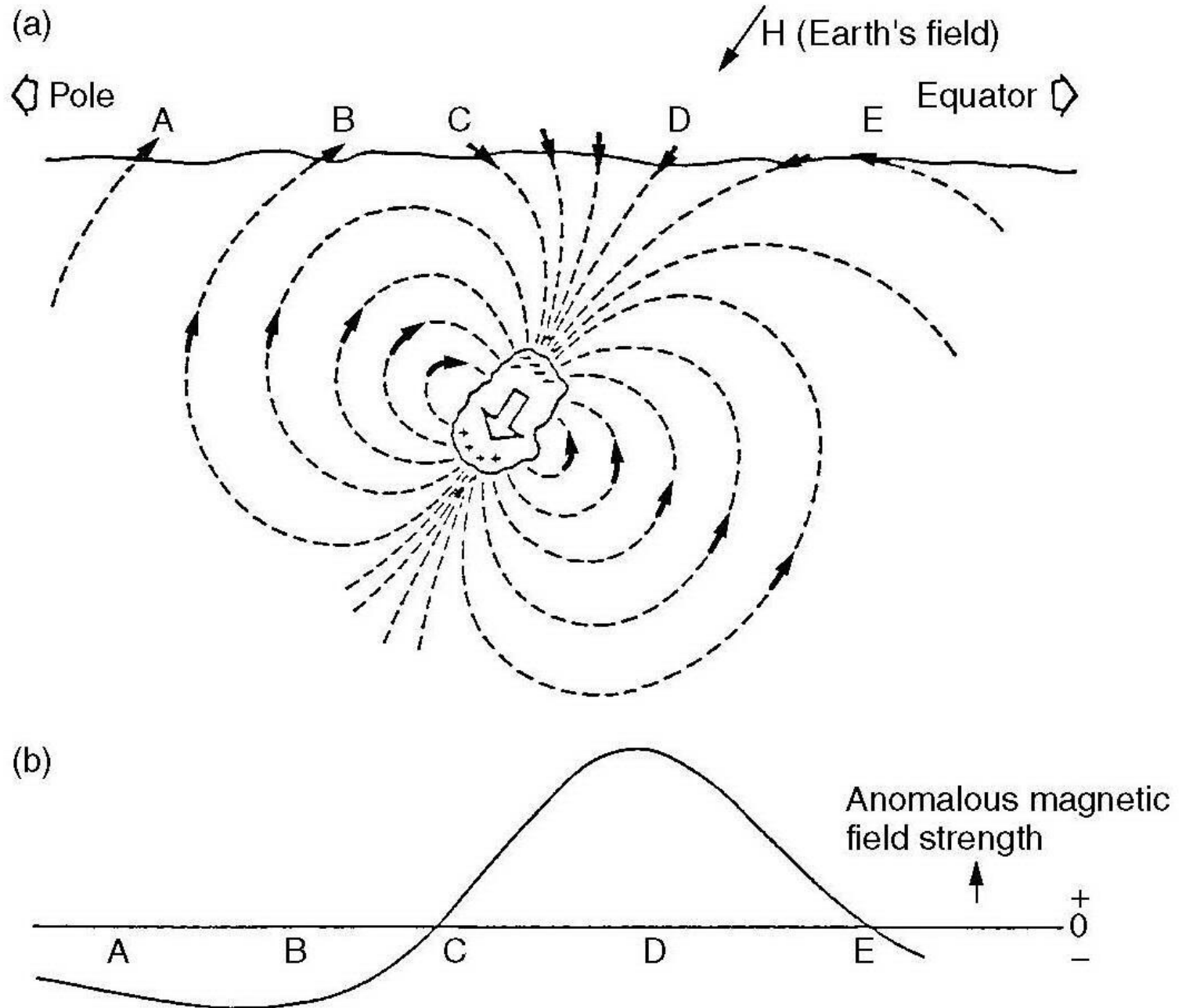


Before Magnetization



After Magnetization

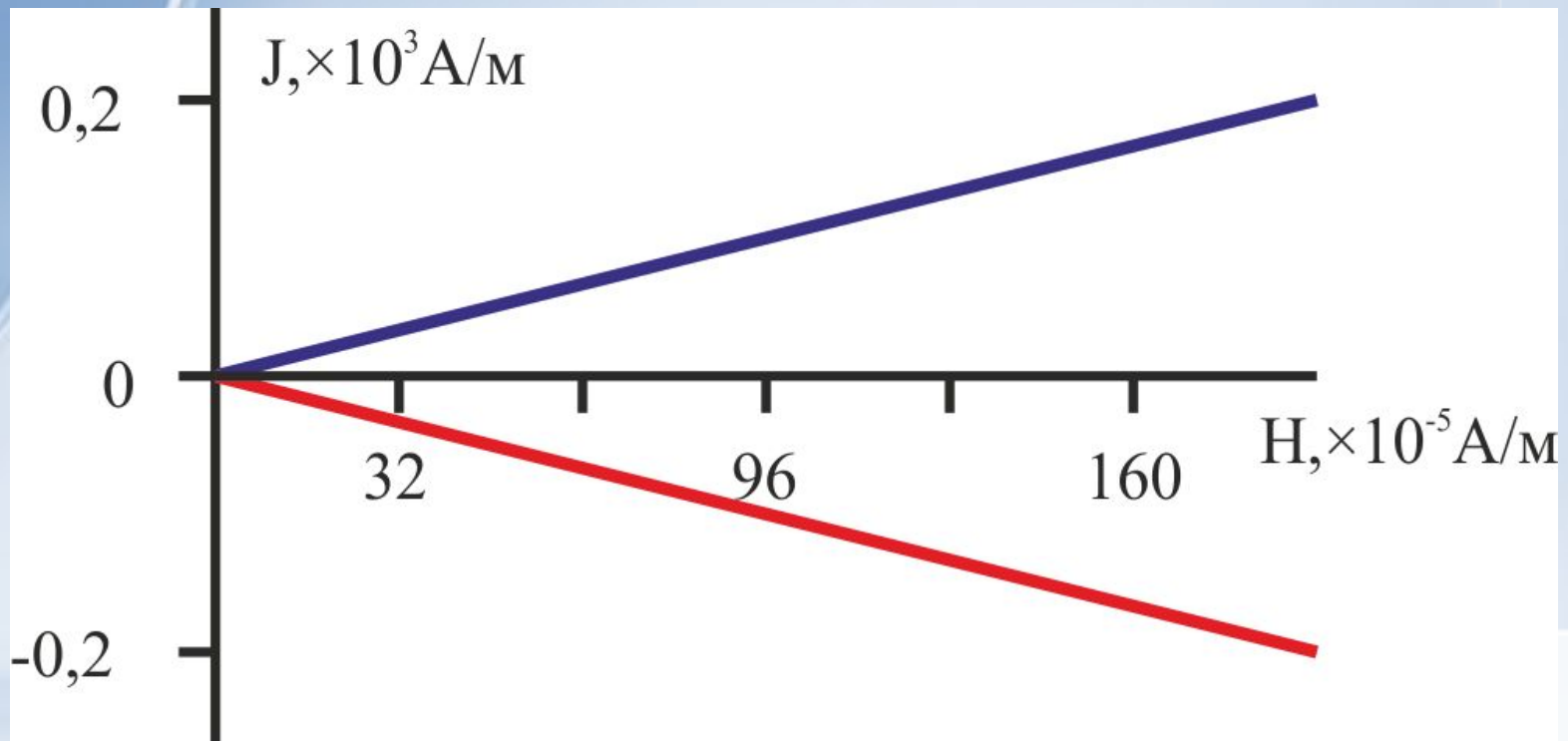
# Индуктивное намагничивание тел



- Магнитные свойства ферромагнитных минералов

Минерал	$\chi$ , ед.СИ
Магнетит	8,8–25
Титаномагнетит	$10^{-5}$ –1
Маггемит	3,8–25
Гематит	$(1,3–13) \cdot 10^{-3}$
Пирротин	0,13–1,3

## 2.1.2. Диамагнетизм и парамагнетизм



**Графики намагничивания парамагнетиков и диамагнетиков [Добрынин, 1991].**

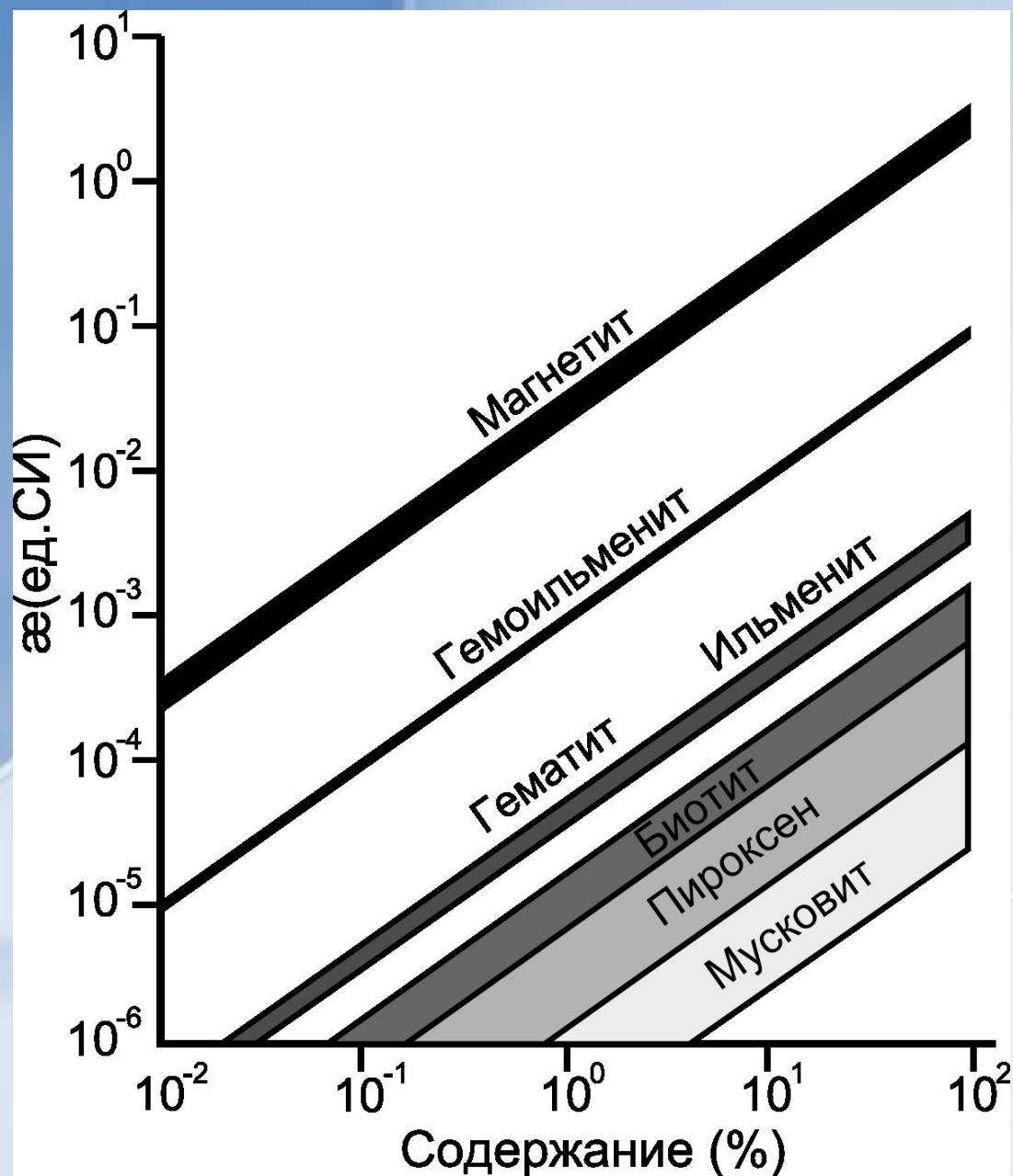
# Магнитная восприимчивость парамагнитных минералов [по Дортман, 1982]

Минерал	Формула	$\chi$ , $\cdot 10^{-5}$ ед.СИ
1	2	3
Безжелезистые		
Альбит	$\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	0
Микроклин	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	0
Мусковит	$\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$	4–21
Топаз	$\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F}, \text{OH})$	1,9
Корунд	$\text{Al}_2\text{O}_3$	1,8
Рутил	$\text{TiO}_2$	10,6
Шпинель	$\text{MgAl}_2\text{O}_4$	2,8
Железосодержащие		
Биотит	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}][\text{OH}, \text{F}]_2$	(10–100)/30
Флагопит	$\text{KMg}_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}] \cdot [\text{F}, \text{OH}]$	(25–100)/50
Амфиболы	-	(10–140)/60
Пироксены	-	(30–450)/80
Оливин	-	1–2000



- Магнитная восприимчивость диамагнитных минералов [Ерофеев и др., 2006]

Минерал	$\chi, \cdot 10^{-5}$ ед.СИ	Минерал	$\chi, \cdot 10^{-5}$ ед.СИ
Кварц	-1,6	Флюорит	-1,2
Ортоклаз	-0,6	Барит	-1,8
Циркон	-1,2	Сфалерит	- 6,5
Галенит	-3,3	Апатит	- 10,3
Касситерит	-2,0	Арафит	-0,5
Ковелин	-1,2		



- Диаграмма зависимости магнитной восприимчивости горных пород от концентрации ферромагнитных минералов [по Lanza, Meloni, 2006].



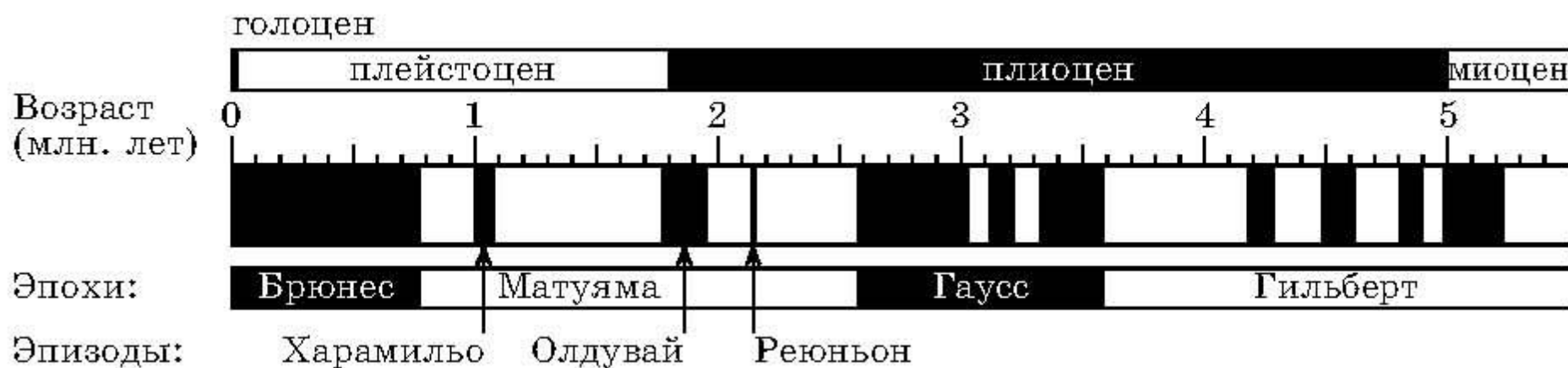
Магнитная восприимчивость, ед. СИ    Объемный процент магнетита    | 0,1% | 0,5% | 1% | 5% | 20% | 100% |

	0,000001	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100
Железо									<b>железо</b>
Окиси железа				гематит		шлак		магнетит	
Вулканические породы					базальт				
				керамика					
				гранит					
				горелая почва					
				габбро					
				диорит					
Метаморфические породы			кварцит						
			песчаник						
			почва						
			подпочва						
		мрамор							
Осадочные породы	мел								
	известняк								
	песок								

[Смекалова и др, 2007]

## 2.2. Естественная остаточная намагниченность (ЕОН).

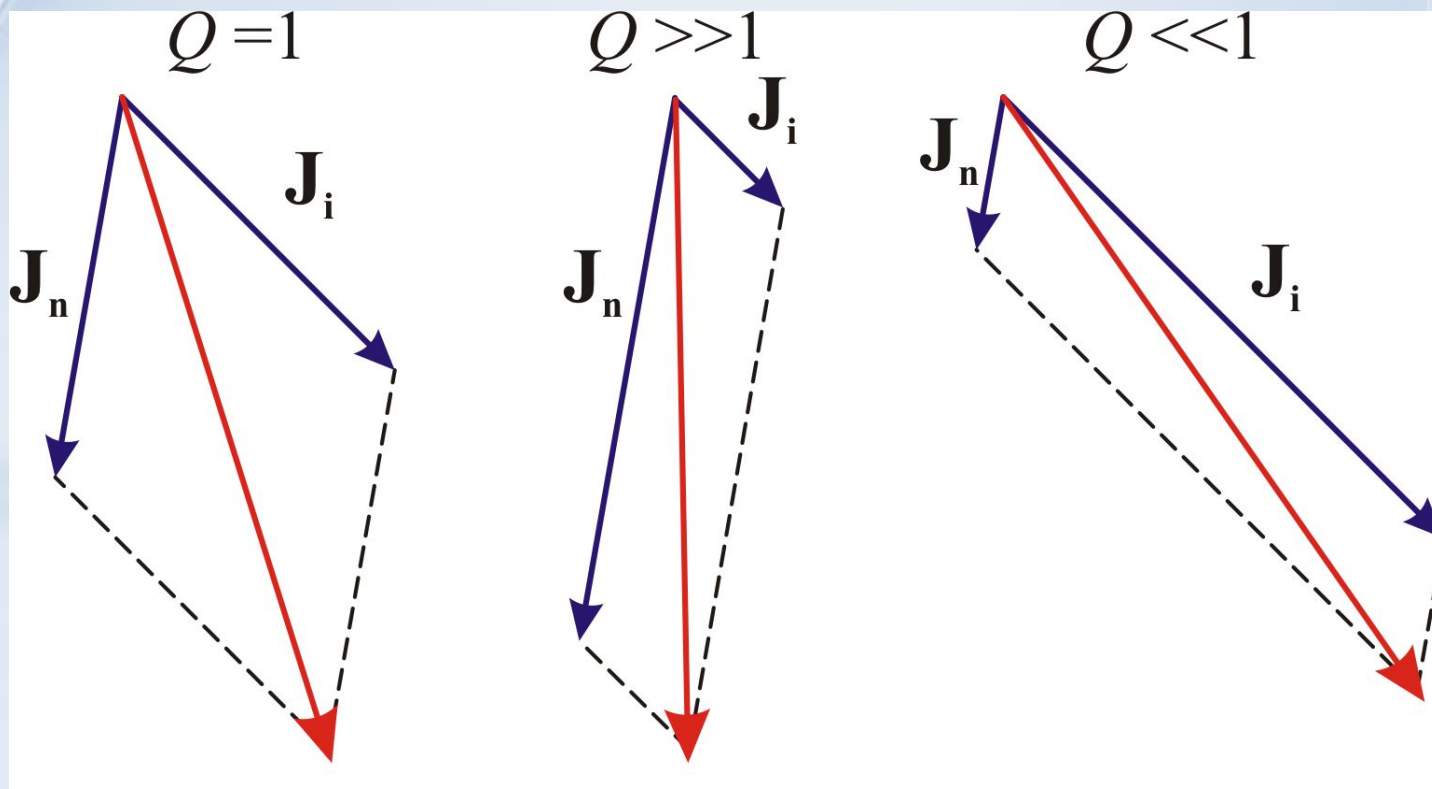
### Палеомагнетизм.

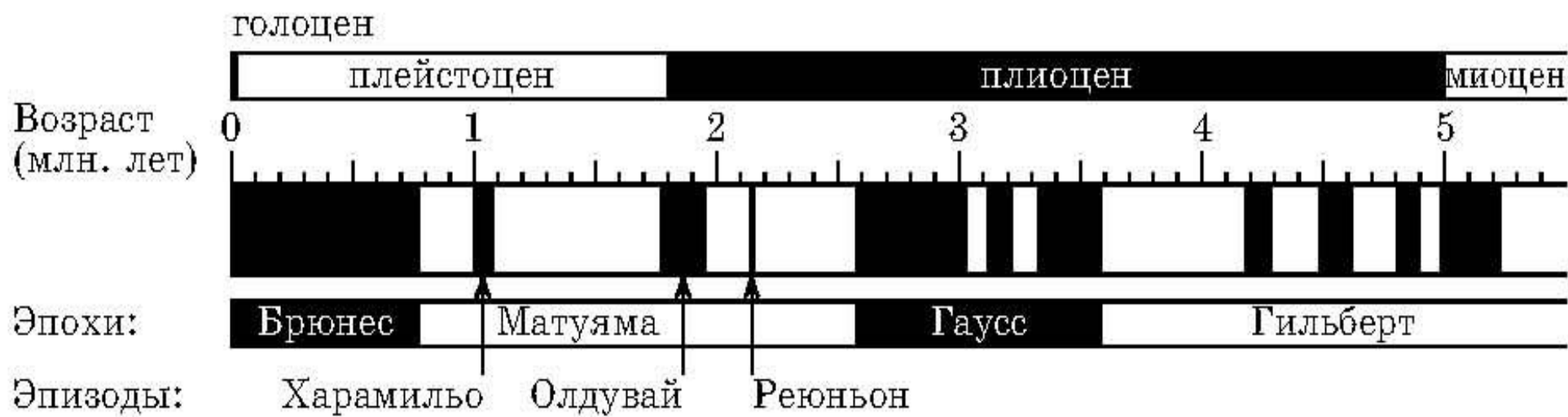
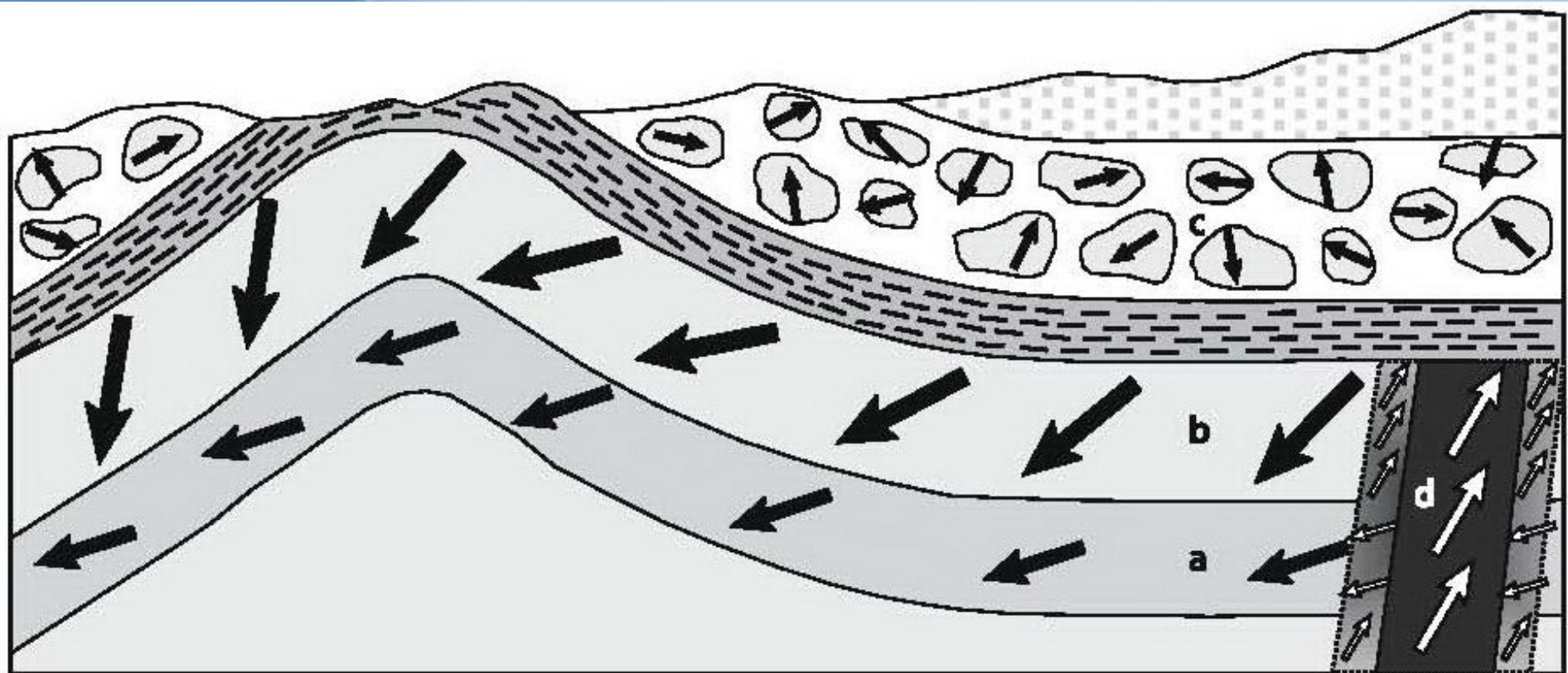


# Виды остаточной намагниченности

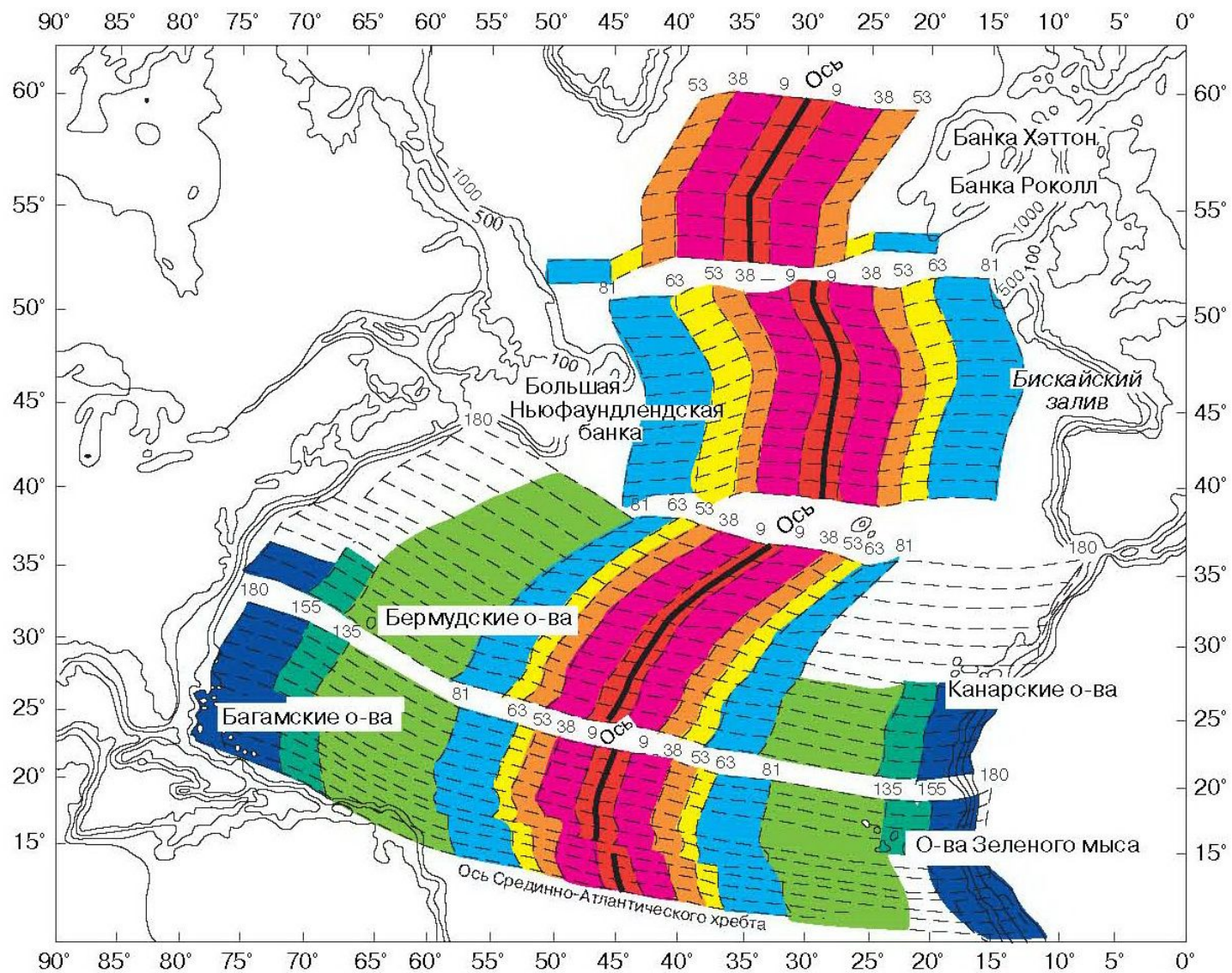


# Коэффициент Кенигсбергера



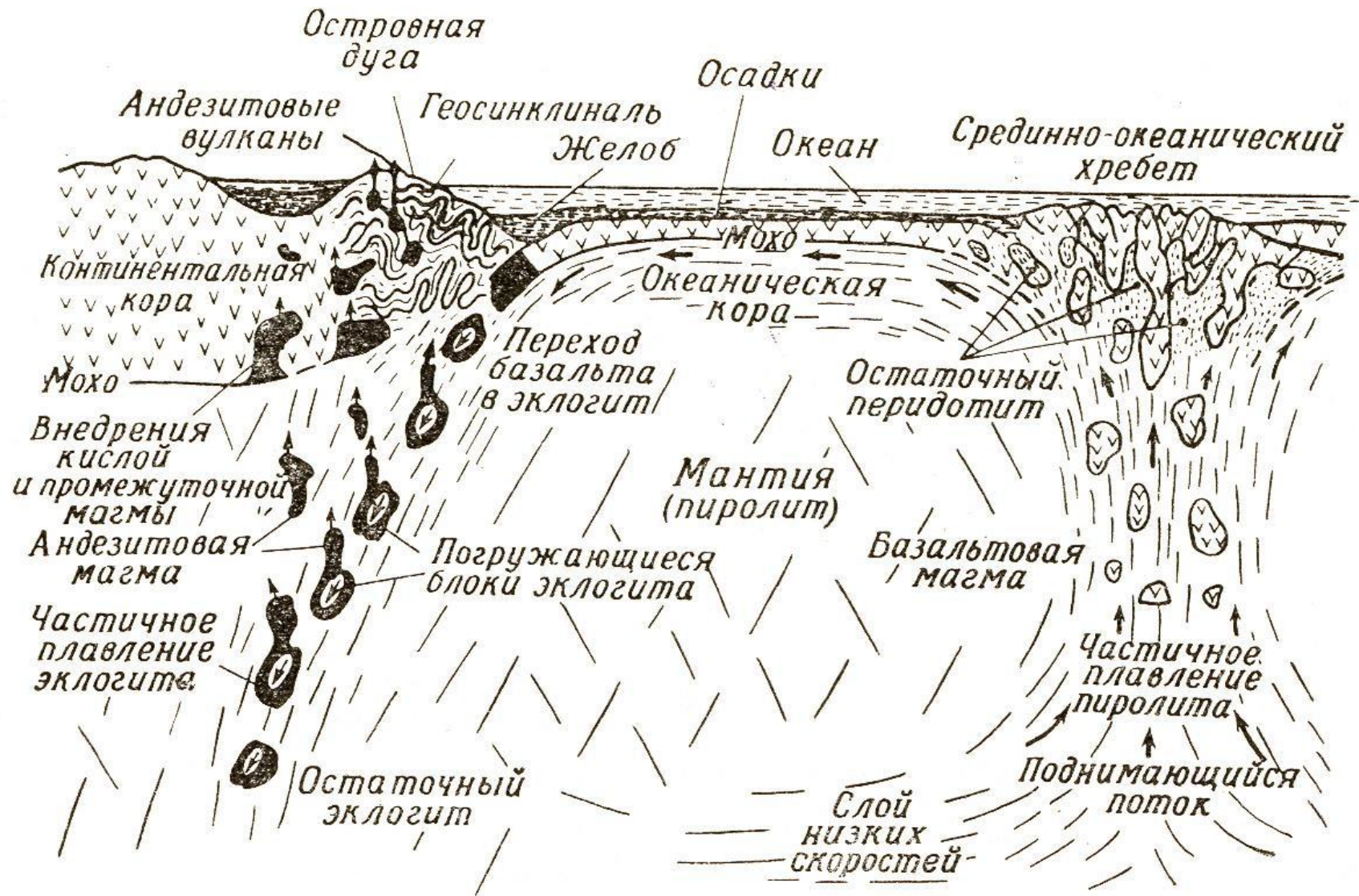






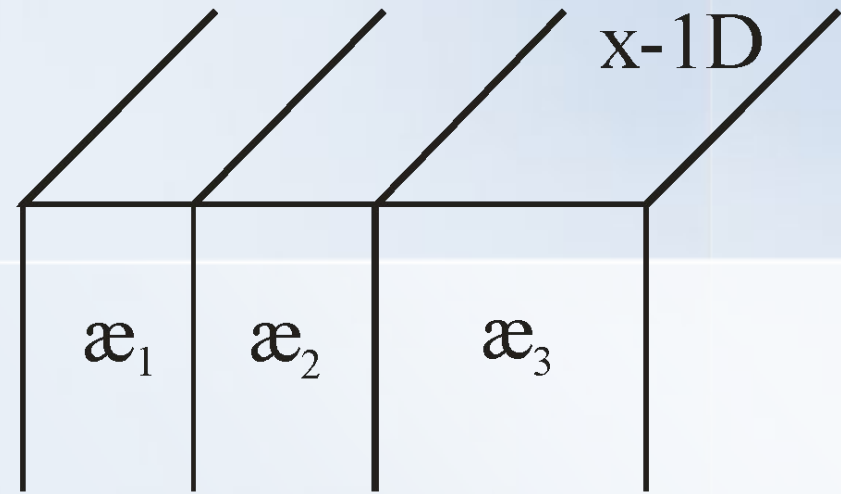
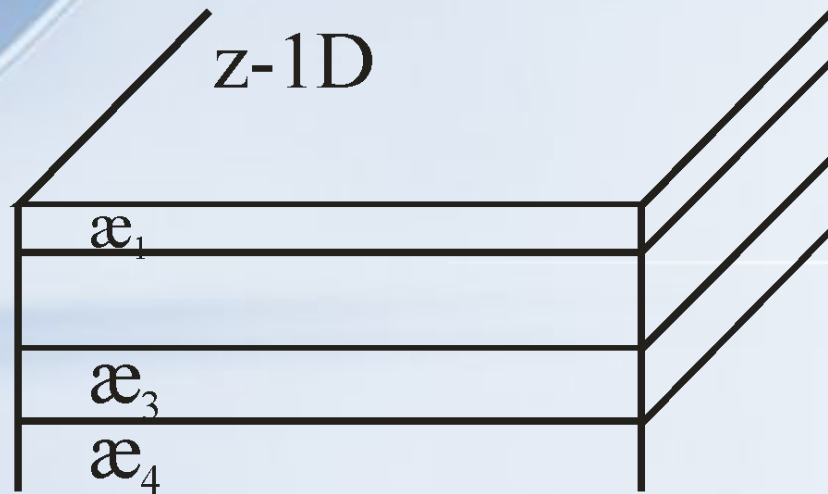
- Карта возраста океанического дна в Северной Атлантике, составленная по магнитным аномалиям У. Питменом и М. Тальвани в 1972 г. и впоследствии подтвержденная результатами глубоководного бурения. Разными цветами выделены участки океанического дна различных возрастных интервалов. Цифры обозначают миллионы лет. [Короновский, 1997]





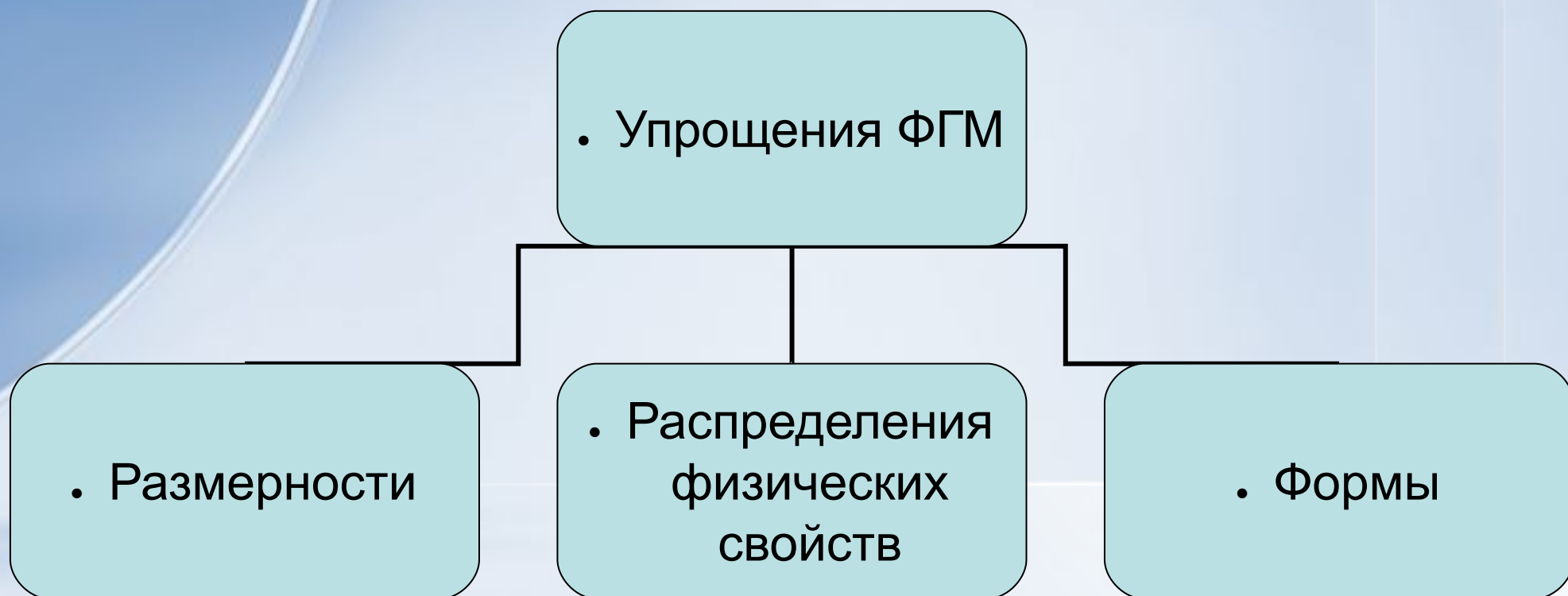
## 2.3. Физикогеологические модели модели (ФГМ)

---





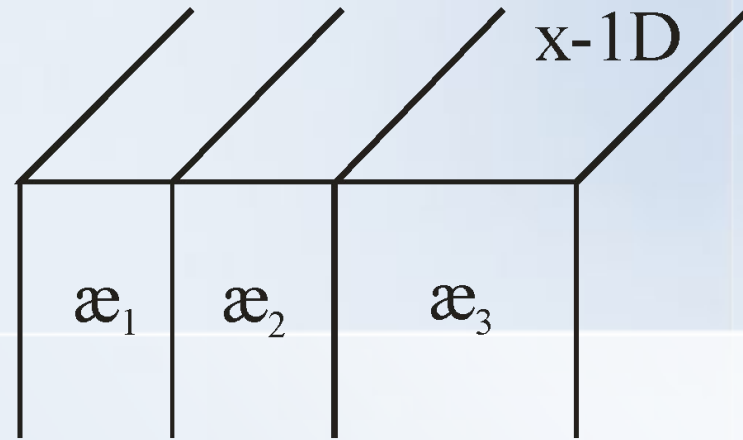
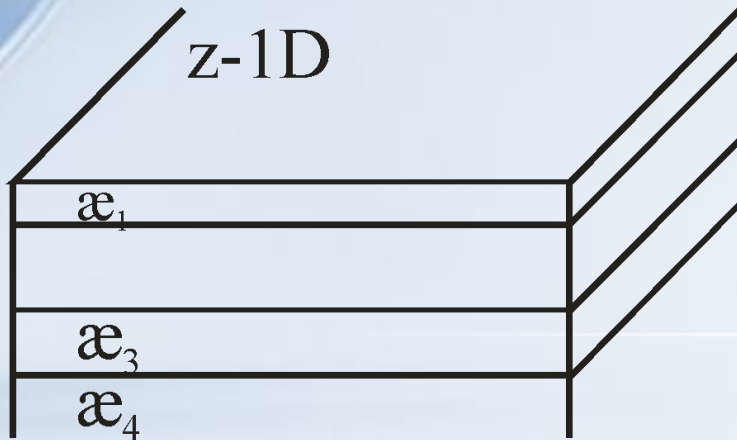
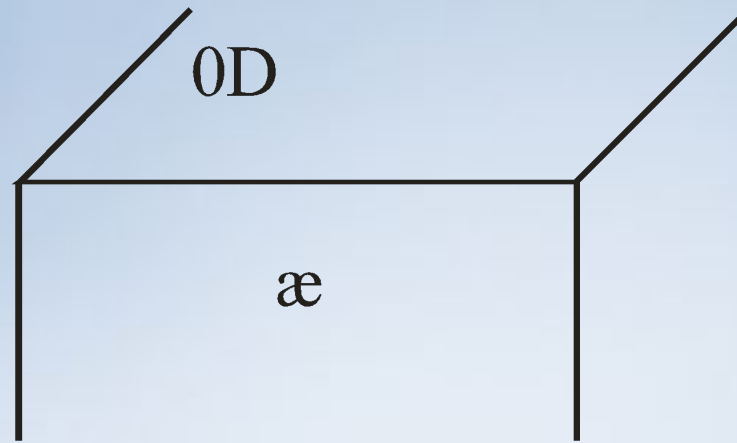
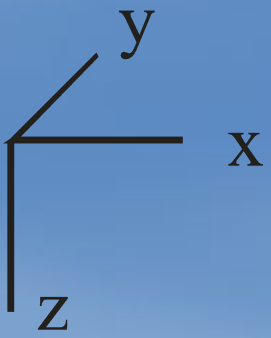
- Физико-геологическая модель (ФГМ) – это совокупность упрощений геометрических и петрофизических свойств геологического разреза.



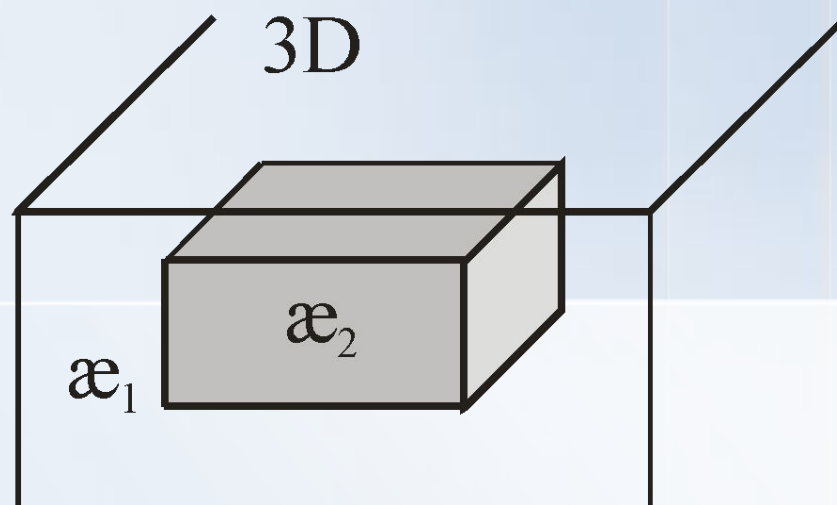
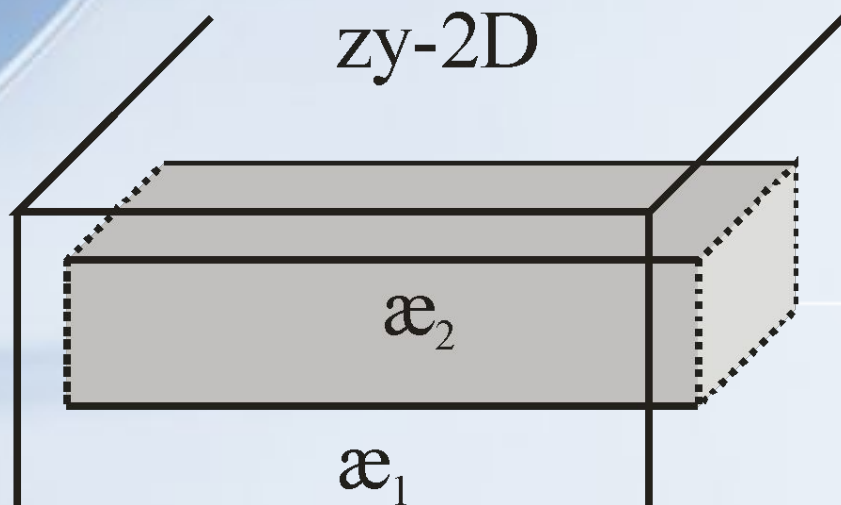
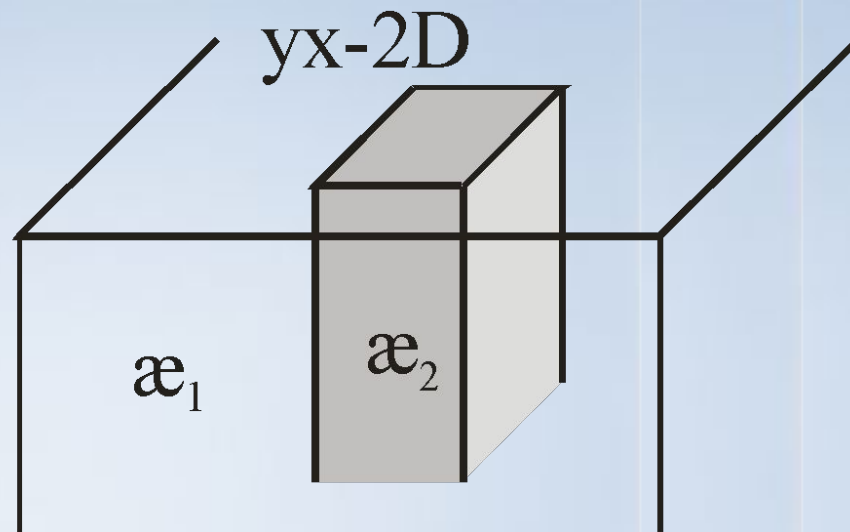
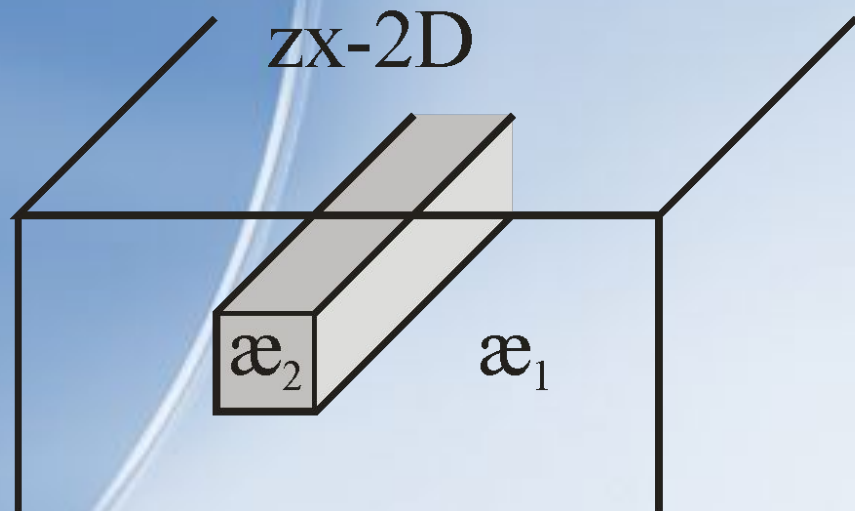
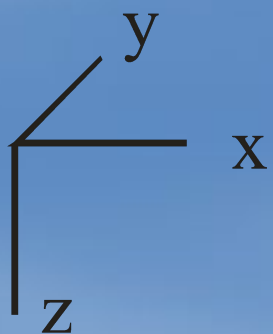
• Упрощения размерности моделей [по Блох, 2009 и Roy, 2007]

Размерность	Изменения свойств среды	Описание модели
0D	Не изменяются во всех направлениях.	Однородное изотропное пространство и полупространство
1D	Только в одном направлении	Горизонтально слоистая среда, вертикально-слоистая среда.
2D	По двум направлениям	Бесконечный горизонтальный цилиндр произвольной формы (длина более чем в 5 раз больше ширины)
2,5D	По двум направлениям	Конечный горизонтальный цилиндр произвольной формы. Частные случаи трехмерных тел.
2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> D		
3D	По трем направлениям	Любые трехмерные объекты.
4D (3Dt)	По трем направлениям и во времени.	Учитывают изменение источников во времени.

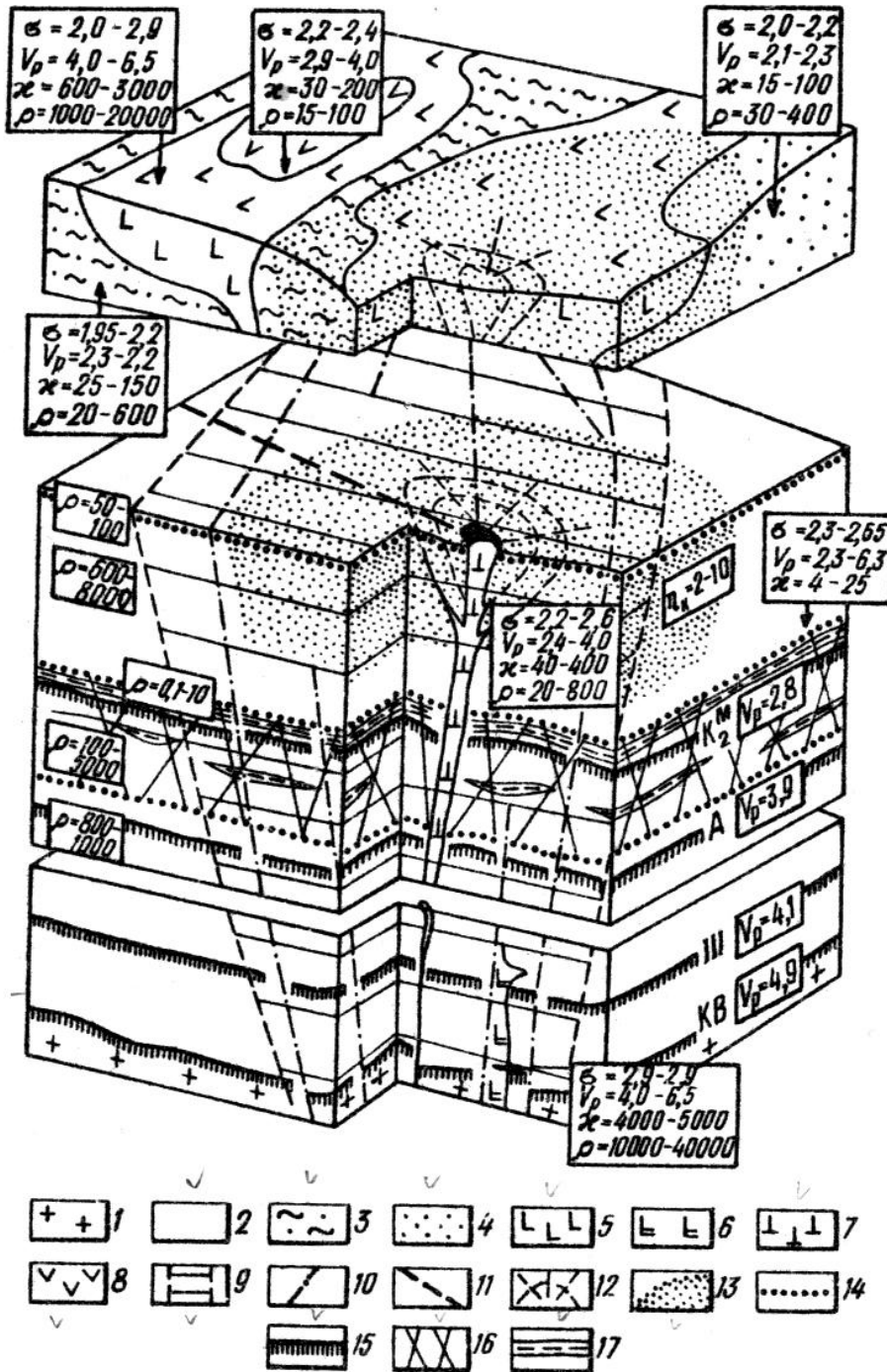
# 0D и 1D модели

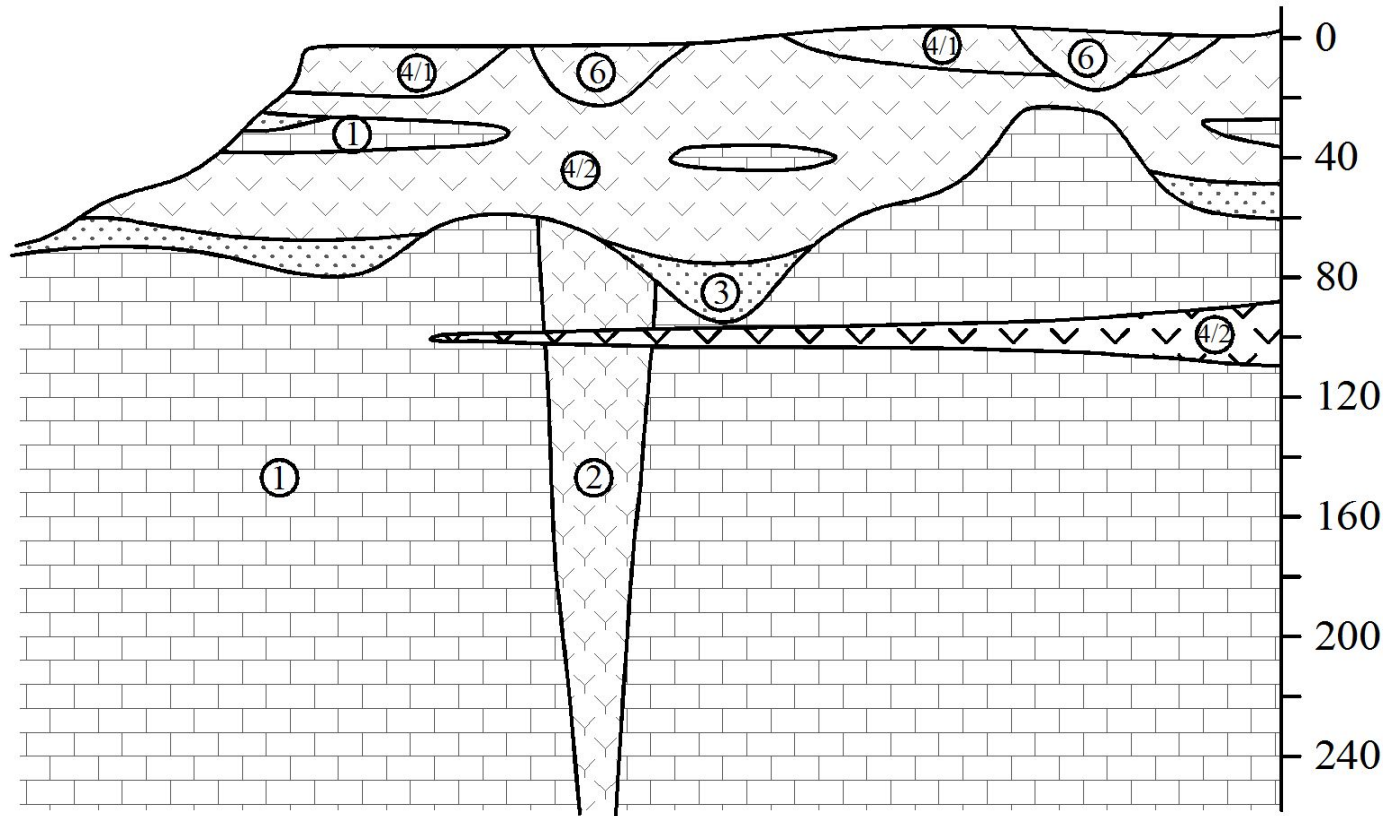


# 2D и 3D модели



• Геолого-геофизическая модель кимберлитовой трубки и околотрубного пространства Якутской алмазонасной провинции (по Л.А. Богданову и др.).





• ФГМ для кимберлитовой трубки Далдынского поля Якутской алмазоносной провинции. [Доброхотова и др., 1987]

№ п/п	Магнитная восприимчивость, $\cdot 10^{-5}$ ед.СИ	Направление вектора ЕОН, $I_n$	Отношение $Q = I_n/I_i$	Суммарная намагниченность, $\cdot 10^{-2}$ ед.СИ
1	0,12	–	–	–
2	0,25–2,0 (23%) 3,1–20,0 (38%) 20,0–45,0 (39%)	положительное	0,4 (0,1/1,0)	–
3	0,2	–	–	–
4-1	11,0 (8,8/16,0)	положительное	6,5 (4/12)	380 (210/1010)
4-2	18,0 (11,3/25,0)	отрицательное	1,8 (0,8/2,5)	-10,4 (-90/+28,5)
5	1,1 (0,38/2,5)	положительное	5,0 (2/6)	–
6	0,5–13,8	положительное	1–20	–



- Обобщенная физико-геологическая модель для Архангельской алмазоносной провинции [Кутинов, Чистова, 2001]

