

Использование магнитных  
свойств веществ для  
геологической разведки

Ученик 11 класса  
Твердовский Алексей

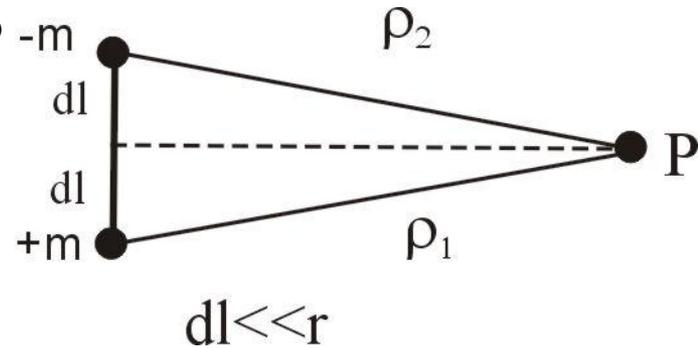
# Введение

- Компас всегда смотрит примерно на север, т.к. Земля имеет магнитное поле.
- Помимо глобального магнитного поля Земли в целом в наблюдаемом магнитном поле проявляется магнитный эффект намагниченных пород. Многие из них обрели намагниченность в момент своего формирования (например, при остывании магматических пород). Породы намагничивались по направлению существовавшего в тот момент поля.
- Магнитные свойства пород и руд частично определяются историей их формирования. Благодаря этому магнетизм используется для изучения:
  - источников осадков,
  - интенсивности эрозии,
  - присутствия в разрезе вулканических компонент.

# Поле намагниченных пород земной коры

## Магнитные свойства пород

- Магнитные свойства пород определяются суммарным аномальным эффектом элементарных диполей (атомарного масштаба).
- Рассмотрим систему из двух аномальных магнитных масс ( $m$ ) разных знаков, расположенных на расстоянии  $2dl$  друг относительно друга.
- $M$ -магнитный момент (основная величина, характеризующая магнитные св-ва).



- Если мы имеем объемные массы то магнитный момент равен сумме диполей:

$$d\bar{M} = 2dl \cdot m$$
$$\bar{M} = \sum d\bar{M}$$

- Вектор  $J$  – магнитный момент, приходящийся на единицу объема – **интенсивность намагничения**.

Единицей интенсивности намагничения является А/м.

Магнитный потенциал объема выражается через  $J$ :

$$U = \int_{\Omega} \frac{J d\Omega}{\rho_0^2 \cdot \mu}$$

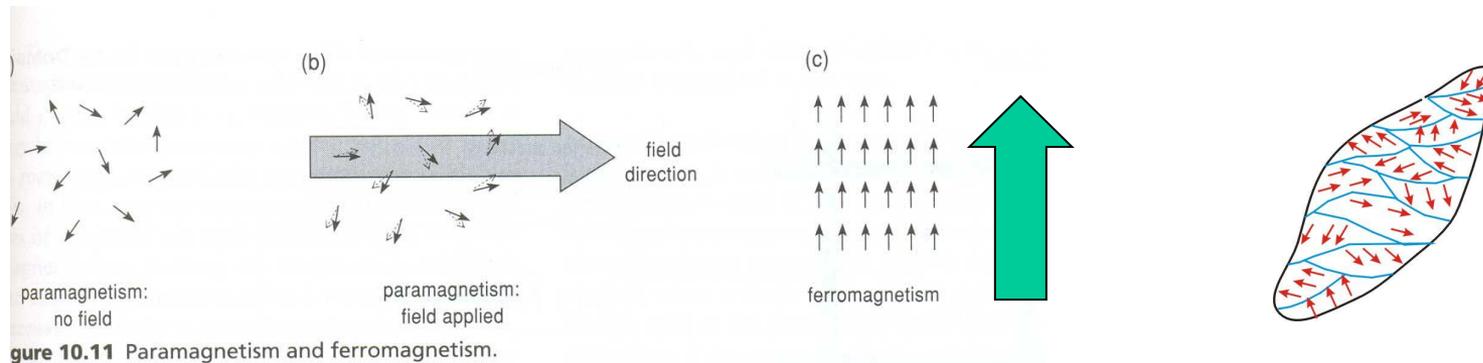
$\Omega$  – объем       $\bar{J}$  – вектор

- Часто для х-ки магнитных св-в используют скалярную величину:

- **Магнитная восприимчивость ( $\chi$ )** – способность г.п. намагничиваться под действием внешнего магнитного поля.

$$\bar{J} = \chi \cdot \mu_0 \cdot \bar{T}$$

# Намагниченность пород



- **ДИАМАГНЕТИКИ** – намагничивание происходит в направлении, противоположном действующему на материал внешнему магнитному полю (вода, соль, Au, Ag, Cu и др)
- Атомы большинства химических элементов магнитоактивны, но у большинства элементов направления намагниченности атомов случайно ориентированы. Под воздействием внешнего магнитного поля Земли атомы слабо ориентируются – м-л становится слабомагнитным. После снятия поля – намагниченность исчезает (отсутствует способность создавать остаточное поле) – **«ПАРАМАГНЕТИК»**
- У **«ФЕРРОМАГНЕТИКОВ»** направления намагниченности атомов самопроизвольно согласуется в пределах доменов. Под воздействием внешнего поля домены стремятся перестроиться под него. После снятия внешнего поля сохраняется частичная ориентация доменов – остаточное поле.

Большинство ферромагнетиков – соединения железа, широко представленные во многих породах.

# Точка Кюри

- При подъеме температуры колебания зерен (или доменов) возрастают, увеличивается возможность разрушения стен между доменами или разворота направления их намагничения. — «блокирующая температура»;
- При дальнейшем нагревании до точки Кюри атомарные магниты теряют связь друг с другом и свойство самопроизвольной намагниченности (св-во ферромагнетика) исчезают — М-Л становится парамагнетиком.

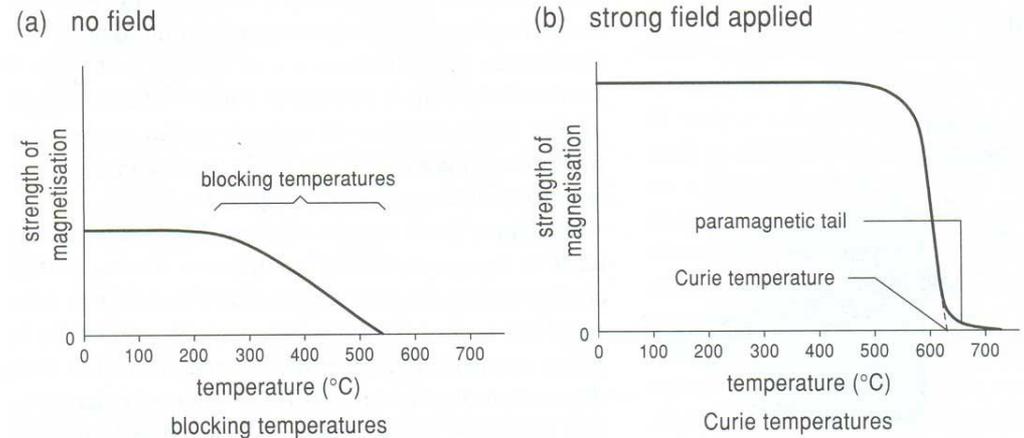


Figure 10.14 Demagnetisation by increasing temperature.

# Механизмы намагничивания пород

- **1. Термальная (остаточная) намагниченность.**  
Когда лава или интрузия остывает, происходит формирование зерен ферромагнетиков. При охлаждении ниже точки Кюри атомарные магниты внутри каждого зерна начинают самопроизвольно формировать домены и ориентируются по внешнему полю – формируется остаточная намагниченность.
- **2. Изотермальная остаточная намагниченность (без нагрева).** Отдельные осадочные породы могут быть намагничены за счет удара молнии (редко).
- **3. Химическая остаточная намагниченность.** Формируется при химическом преобразовании немагнитных железистых материалов в магнитные в результате выветривания или при осаждении окислов железа из воды, просачивающейся через горные породы. Это важный механизм намагничивания песчаников .
- **4. Кластическая (осадочная) намагниченность.** Если намагниченные зерна осаждаются вместе с продуктами эрозии, они стремятся согласовать свою намагниченность с внешним полем.
- **5. Вязкая остаточная намагниченность.** Механизм действует в породах, которые имеют точку Кюри немного более высокую, чем температура окружающей среды. За счет длительного времени часть доменов намагничивается по современному полю.

# Магнитные свойства минералов и пород

## Магнитные свойства ферромагнитных минералов

Минерал	Хим. формула	Точка Кюри (°C)	Намагниченность $10^3$ А/м	$\chi$ Ед. СИ
магнетит	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	578	490	4-25
гематит	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	560-640	1.5-2.5	$10^{-4}$ - $2 \cdot 10^{-3}$
маггемит	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	560-640	435	4-25
пирротин	$\text{Fe}_7\text{O}_8$	300-325	17-70	$10^{-2}$ - $10^{-1}$

## Магнитные свойства горных пород

$\chi$  (магнитная восприимчивость) опр-ся главным образом концентрацией ферромагнитных минералов.

Кроме того:  $\chi = f$  (размера кристалла ф.м. —  $\chi$  — растет с увел. зерен),

$\chi = f$  (формы включений ф.м. — менее магнитны г.п., где ф.м. минералы образуют изолированные включения),

$J_n$ -(естеств. остат. намагн.)=  $f$  (состава и истории развития — не изм-ся при изменении направления и интенсивности внешнего поля),

$J_i$ .- индуцированная намагниченность обычно пропорциональна  $\chi$  и имеет то же направление, , что и магнитное поле Земли.

# Магнитные свойства горных пород

$J_n$  и  $J_i$  - в общем случае не совпадают. Причины:

- инверсии (изменения полярности Земли),
- остаточная намагниченность отражает намагниченность, полученную в ходе предыдущих эпох.

**Осадочные породы** – наименее магнитны  $\chi=5-10 \cdot 10^{-5}$  СИ,  
в т.ч. карбонатные и хемогенные  $\chi=4 \cdot 10^{-5}$  СИ,

**Магматические породы:**  $\chi$  зависит от состава. Содержание ферромагнетиков повышается от кислых к основным и ультра-основным г.п.

Наименее магнитны - граниты:  $\chi_{\text{ср}}=0-0.4 \cdot 10^{-3}$  СИ,

- диориты:  $\chi_{\text{ср}}=2-4 \cdot 10^{-3}$  СИ,

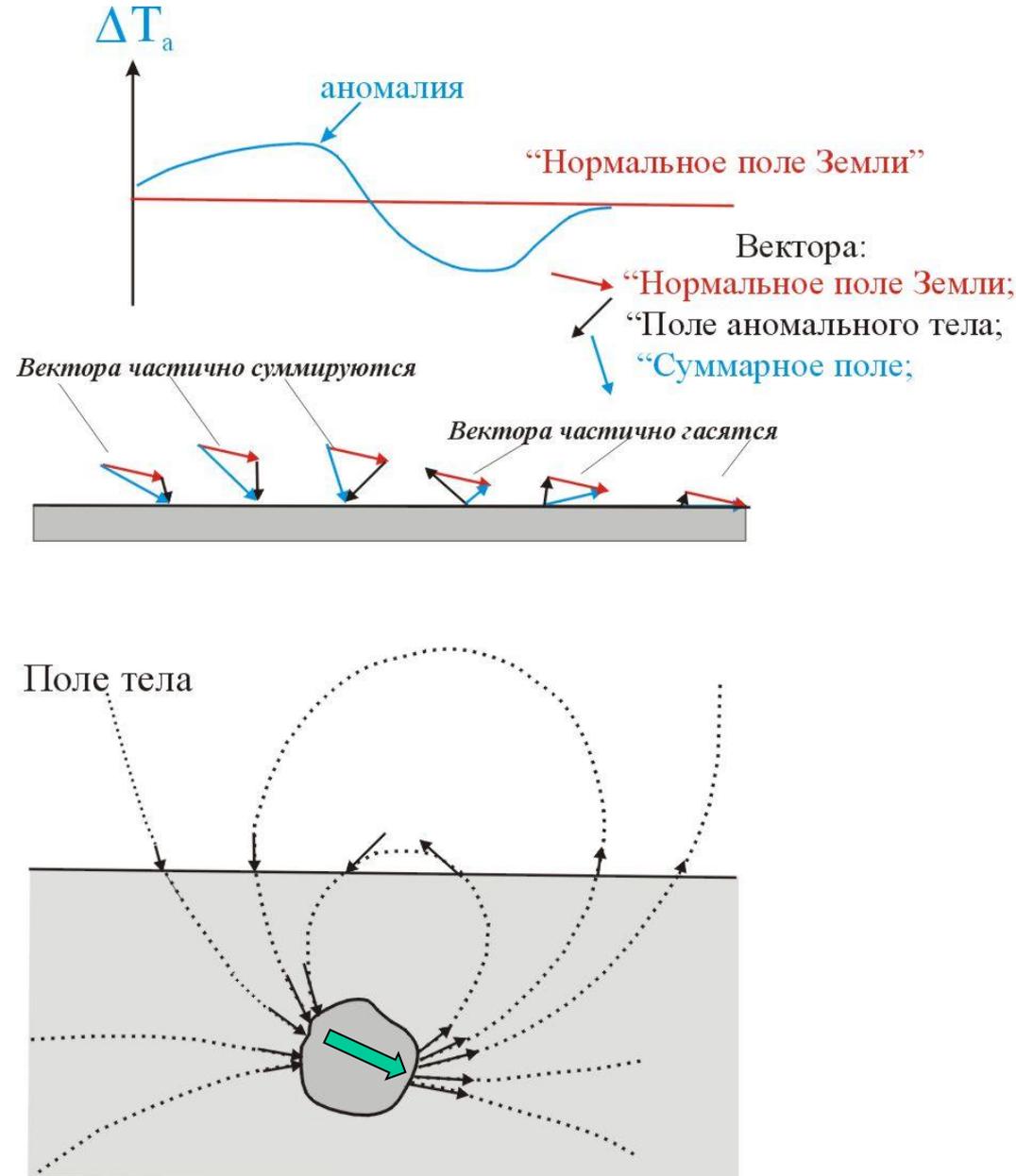
- габбро:  $\chi_{\text{ср}}=2-8 \cdot 10^{-3}$  СИ,

- пироксениты  $\chi_{\text{ср}}=2-25 \cdot 10^{-3}$  СИ.

**Ультраосновные породы:** неизменные разности – слабомагнитны, т.к. большая часть Fe входит в состав силикатов. Но при серпентинизации этих г.п. часть высвобождаемого Fe преобразуется в магнетит.

# Аномалия погребенного тела

- Реальное поле представляет собой сумму двух векторов:
  - «нормальное поле Земли»,
  - поле геологического тела (тел).
- На одних участках вектора близки по направлениям – суммарный вектор становится длиннее (положительная часть аномалии);
- На других участках вектора нормального поля и поля тела имеют разные направления – суммарный вектор становится короче (отрицательная часть аномалии).
- Вывод:  
**Аномалия погребенного тела зависит от направления и интенсивности поля Земли (т.е. широты) и направления и интенсивности тела.**



# Измерения магнитного поля

• Для измерения магнитного поля используются магнитометры:

- протонные,
- квантовые,
- феррозондовые и др.

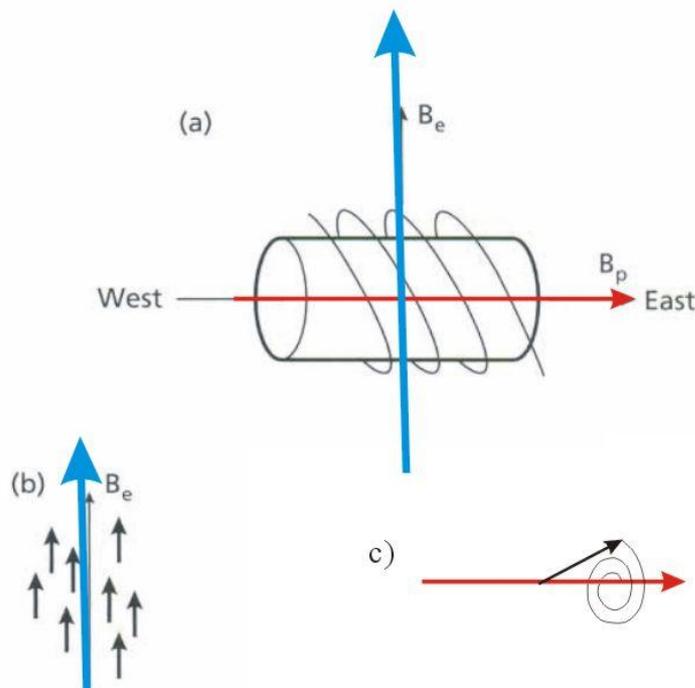
• Протонные магнитометры используются для измерений модуля полного вектора напряженности магнитного поля.

Ядра водорода (или углеводорода (керосин)) располагаются в центре атома и имеют положительный заряд – маленький магнит.

Главный элемент системы – сосуд с керосином помещенный в соленоид.

а) С помощью соленоида вокруг сосуда создается сильное магнитное поле  $\gg$  поля Земли. Направление поля соленоида перпендикулярно полю Земли.

б) При включении поля соленоида протоны жидкости выстраиваются вдоль направления этого поля.



с) После выключения поля соленоида элементарные магнитики начинают подстраиваться под поле Земли. Наведенный момент протонов начинает вращаться (процессирует) вокруг оси поля Земли как волчек (гороскоп) в течении нескольких секунд.

Напряженность поля =  $f$  (частоты процессии)

available -- reflecting Overhauser effect

## **Внешний вид протонного магнитометра**

