

Магниторазведка

Бакалавры 2 курс

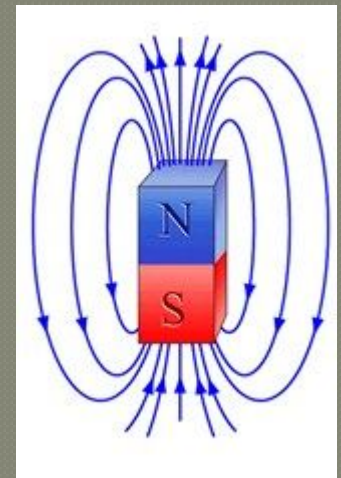
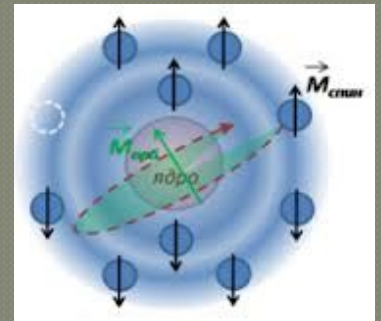
Магнетизм и магнетики

При движении электрически заряженных частиц, между ними, возникает, особого рода взаимодействие которое называется магнетизм. Например, при вращении электрона (отрицательно электрически заряженная частица) вокруг атомного ядра, возникает орбитальный магнитный момент.

Минимальный орбитальный момент определяется выражением $\mu_B = (h \times e) / 2m$ и называется магнетоном Бора (h – постоянная Планка деленная на 2π , e – заряд электрона, m – его масса).

Кроме того, электрон вращается вокруг собственной оси, создавая при этом дополнительный спиновый магнитный момент (от английского слова spin - вращаться).

Пространство, в котором, действуют силы магнетизма, называется магнитным полем.



Магнетизм и магнетики

Количественной характеристикой магнитного поля является его напряженность и называется магнитной индукцией (B). В вакууме величина магнитной индукции может быть определена по закону Био-Савара-Лапласа.

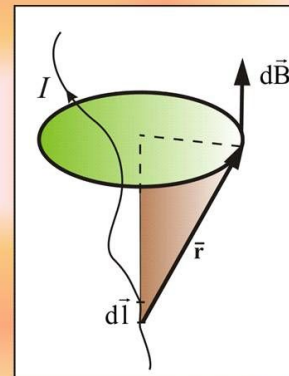
Закон Био-Савара-Лапласа

Элемент тока длины $d\vec{l}$ создает поле с магнитной индукцией:

$$dB = k \frac{Idl}{r^2}$$

или в векторной форме:

$$d\vec{B} = k \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}.$$



28

$d\vec{B}$ – магнитная индукция, которая создается проводником длиной dL , по которому протекает ток силой I . В системе СИ $k = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – угол между $d\vec{L}$ и направлением на точку, где определяется $d\vec{B}$, r – расстояние до точки где определяется B .

Магнетизм и магнетики

Согласно приведенному выше закону электрический ток является единственным источником магнитного поля.

$$1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$$

Магнитная индукция поля равна одному тесле, если в этом поле на проводник длиной в 1 метр с током в 1 ампер действует сила в 1 ньютон.

Магнетизм и магнетики

Намагниченность — векторная физическая величина характеризующая магнитное состояние макроскопического физического тела. Обозначается обычно M или J . Единица измерения J в системе СИ — А/м.

Для объяснения намагничивания тел Ампер предположил, что в молекулах вещества циркулируют круговые токи, которые обладают магнитным моментом и создают в окружающем пространстве магнитное поле. В отсутствие внешнего поля молекулярные токи ориентированы хаотично, вследствие чего обусловленный ими результирующий магнитный момент равен нулю. Под действием поля магнитные моменты молекул приобретают преимущественную ориентацию в одном направлении, вследствие чего суммарный магнитный момент вещества становится отличным от нуля — вещество намагничивается.



Магнетизм и магнетики

Напряжённость магнитного поля (стандартное обозначение **H**) — векторная физическая величина, связанная с магнитной индукцией и намагниченностью, следующим соотношением (в СИ):

$$B = \mu_0 (H + J)$$

где — μ_0 магнитная постоянная

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Гн/м} .$$

Единица измерения H — А/м

Магнетизм и магнетики

- Величина вектора намагничивания зависит от намагничивающего поля и может быть выражена следующим соотношением:

$$J = \chi_m * H, \quad \text{где } \chi_m -$$

магнитная восприимчивость -

величина, зависящая от природы

вещества.

Магнетизм и магнетики

Магнитные материалы, *Магнетики* — материалы, вступающие во взаимодействие с магнитным полем, выражающееся в его изменении.

В этом смысле к магнетикам относятся все вещества, большинство из них относится к классам *диамагнетиков* (имеющие небольшую отрицательную магнитную восприимчивость — и несколько ослабляющие магнитное поле) или *парамагнетиков* (имеющие небольшую положительную магнитную восприимчивость — и несколько усиливающие магнитное поле); более редко встречаются *ферромагнетики* (имеющие большую положительную магнитную восприимчивость — и намного усиливающие магнитное поле).

Магнетизм и магнетики

Диамагнетики — вещества, намагничивающиеся против направления внешнего магнитного поля. В отсутствие внешнего магнитного поля диамагнетики немагнитны. Под действием внешнего магнитного поля каждый атом диамagnetика приобретает магнитный момент, пропорциональный магнитной индукции и направленный навстречу полю. Диамagnetики имеют отрицательную магнитную восприимчивость.

Парамагнетики — вещества, которые намагничиваются во внешнем магнитном поле в его направлении и имеют положительную магнитную восприимчивость.

Особый класс магнетиков образуют вещества, у которых магнитная проницаемость в сотни и тысячи раз превышает магнитную проницаемость обычных материалов. Эти вещества получили название **ферромагнетиков**. К ним относятся железо, никель, кобальт и их соединения и сплавы. Другой отличительной особенностью ферромагнетиков является то, что их намагниченность J зависит от H нелинейно, причем при больших полях наступает состояние магнитного насыщения.

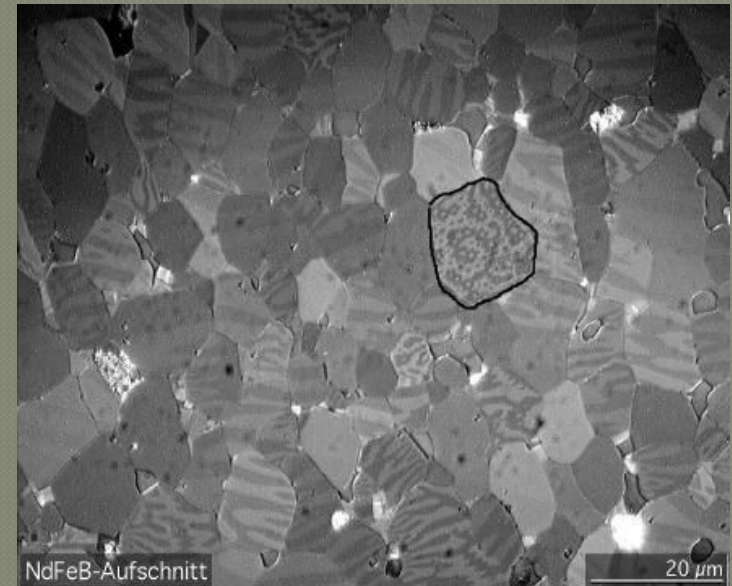
Магнетизм и магнетики

Опытами Эйнштейна и де Гааза было доказано, что ответственным за магнитные свойства ферромагнетиков являются собственные (спиновые) магнитные моменты электронов (а не орбитальные, как у диа- и парамагнетиков).

Атомы элементов, обладающих ферромагнитными свойствами (Fe, Co, Ni), имеют некоторую особенность. В них нарушается последовательность заполнения мест в оболочках и слоях: прежде чем полностью “застроится” нижняя оболочка, начинается заполнение выше расположенной оболочки. В результате электронные спины некоторых внутренних оболочек оказываются нескомпенсированными.

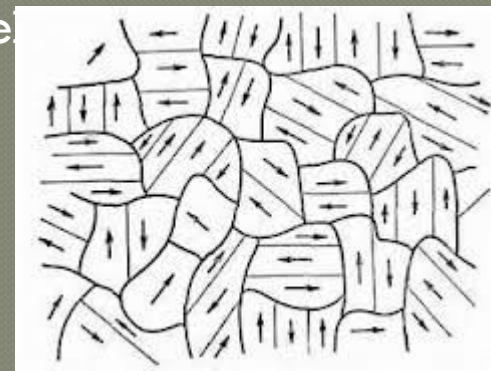
Таким образом, ферромагнитными свойствами могут обладать только такие вещества, в атомах которых имеются недостроенные внутренние электронные оболочки.

Кроме того, исследования ферромагнитных кристаллов позволили выявить в них области с самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью - так называемые **домены**, линейные размеры которых 1-10 мкм



Магнитные домены в

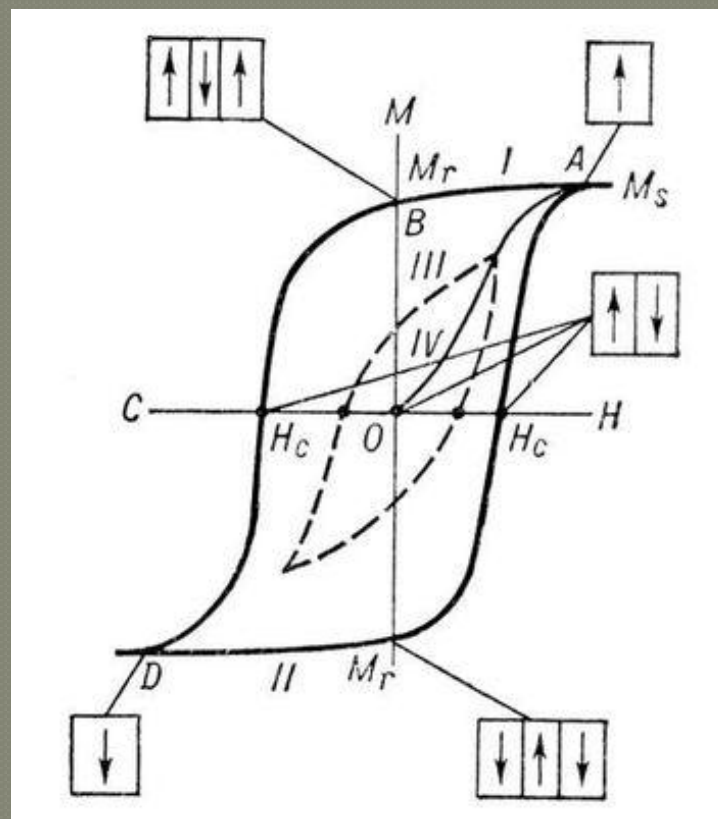
NdFe



Магнетизм и магнетики

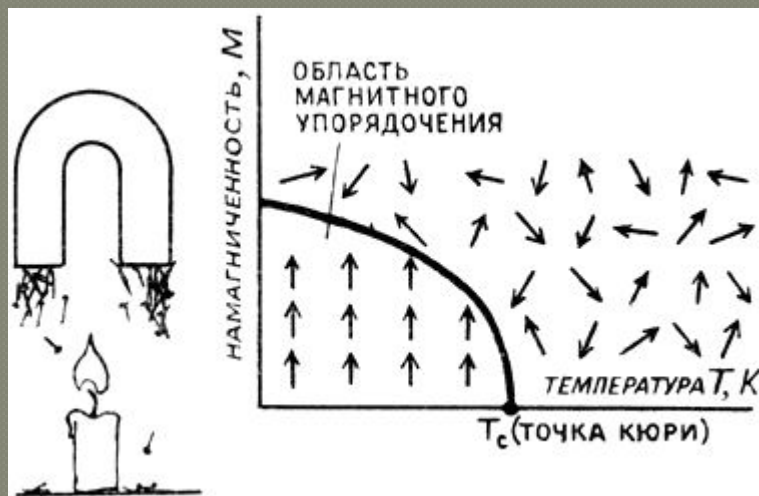
На рисунке изображена зависимость магнитного момента M ферромагнитного образца от напряжённости H внешнего магнитного поля (кривая намагничивания). В достаточно сильном магнитном поле образец намагничивается до насыщения (при дальнейшем увеличении поля значение M практически не изменяется, точка A). При этом образец состоит из одного домена с магнитным моментом насыщения M_s , направленным по полю. При уменьшении напряжённости внешнего магнитного поля H магнитный момент образца M будет уменьшаться по кривой I преимущественно за счёт возникновения и роста доменов с магнитным моментом, направленным против поля. Рост доменов обусловлен движением доменных стенок. Это движение затруднено из-за наличия в образце различных дефектов (примесей, неоднородностей и т.п.), которые закрепляют доменные стенки в некоторых положениях; требуются достаточно сильные магнитные поля для того, чтобы их сдвинуть. Поэтому при уменьшении поля H до нуля у образца сохраняется т. н. остаточный магнитный момент M_r (точка B).

Образец полностью размагничивается лишь в достаточно сильном поле противоположного направления, называемом коэрцитивным полем (коэрцитивной силой) H_c (точка C).



Магнетизм и магнетики

Для каждого ферромагнетика имеется определенная температура T_c , при которой области спонтанного намагничивания распадаются и вещество утрачивает ферромагнитные свойства (становится обычным парамагнетиком). Эта температура называется точкой Кюри.



Происхождение намагниченности горных пород

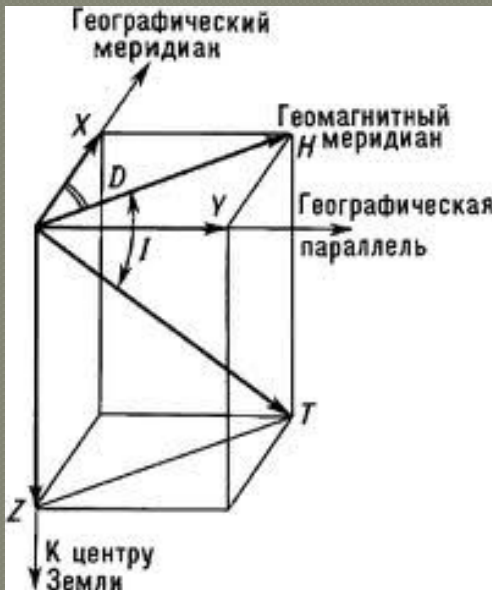
В зависимости от условий формирования горные породы приобретают различную по интенсивности и по стабильности (то есть по способности противостоять размагничивающим воздействиям) намагниченность. Для пород наиболее существенна остаточная термонамагниченность (TRM), которая образуется при остывании горной породы в геомагнитном поле начиная с температуры выше точки Кюри. TRM возникает главным образом при охлаждении расплавов (лав, интрузий), то есть свойственна изверженным и магматическим породам. TRM может в десятки и сотни раз превышать намагниченность, возникающую в том же поле при комнатной температуре. Для разрушения TRM требуются магнитные поля, в десятки и сотни раз превышающие поле, создавшее TRM.

Существуют ещё остаточная химическая намагниченность (CRM), возникающая при росте ферромагнитных зёрен в магнитном поле, вязкая остаточная намагниченность (VRM), образующаяся при длительном воздействии магнитного поля на породу (за счёт термоактивационных и диффузионных процессов), и, наконец, ориентационная остаточная намагниченность (DRM).

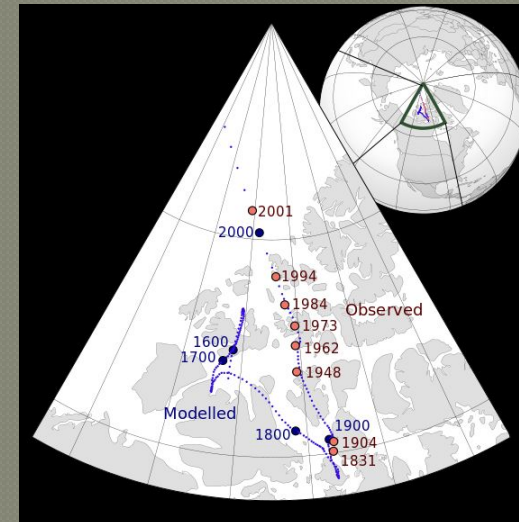
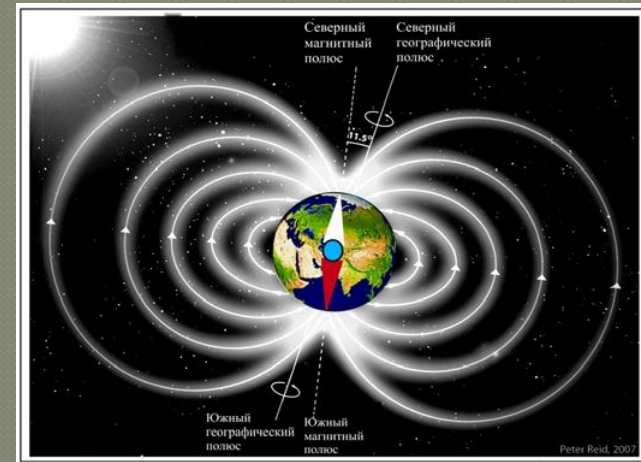
Последняя образуется в осадочных породах: магнитные зёрна из размывших кристаллических пород, уже обладающие TRM или CRM, осаждаются на дне водоёмов и рек, ориентируются подобно стрелке компаса в магнитном поле. Затем частицы при отвердевании осадка оказываются вцементированными в него и сохраняют свою ориентацию, которая и обуславливает остаточную намагниченность породы.

Магнитное поле Земли

Пространство, в котором действуют магнитные силы Земли, называют магнитным полем Земли. Принято считать, что магнитные силовые линии земного поля выходят из южного магнитного полюса и сходятся в северном, образуя замкнутые кривые.



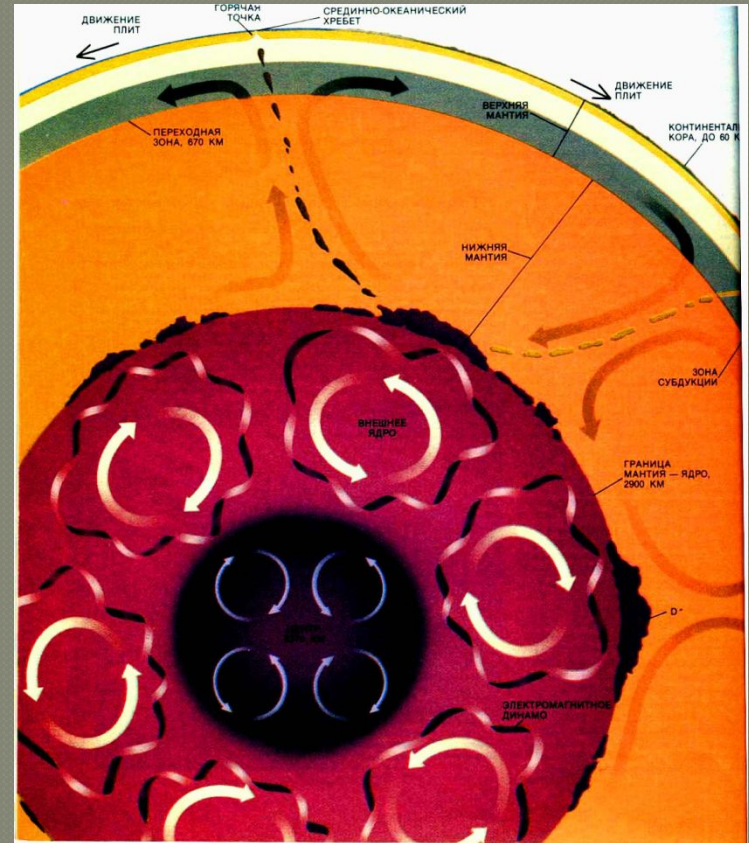
В каждой точке пространства геомагнитное поле характеризуется вектором напряжённости T , величина и направление которого определяются составляющими X, Y, Z (северной, восточной и вертикальной) в прямоугольной системе координат или 3 элементами горизонтальной составляющей напряжённости H , магнитным склонением D (угол между H и плоскостью географического меридиана) и наклонением магнитным I (угол между T и плоскостью горизонта).



Магнитное поле Земли

Происхождение магнитного поля Земли

Вещество земного ядра обладает электрической проводимостью и совершает вихреобразные перемещения. Если имеется какое-то небольшое начальное магнитное поле, то земное ядро будет представлять собой некое подобие генератора электрического тока: движение проводника в магнитном поле приведет к возникновению электрического тока, а электрический ток вызовет магнитное поле, которое будет складываться с первоначальным и усилит его.



Магнитное поле Земли

Структура магнитного поля земли

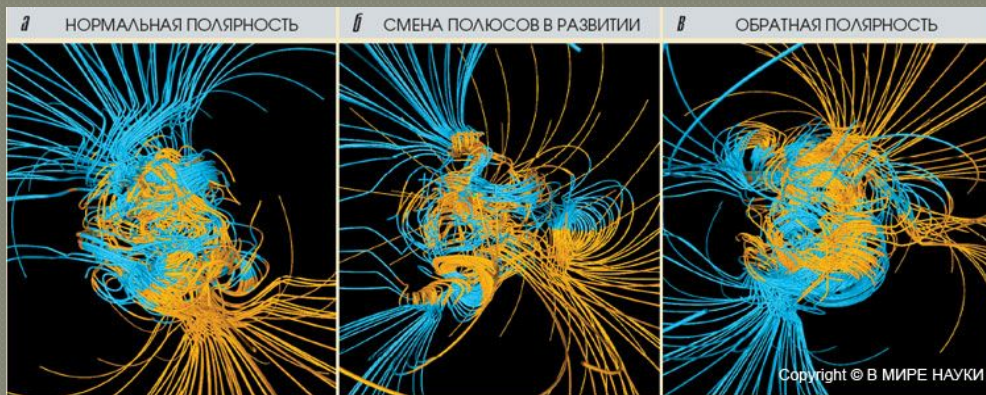
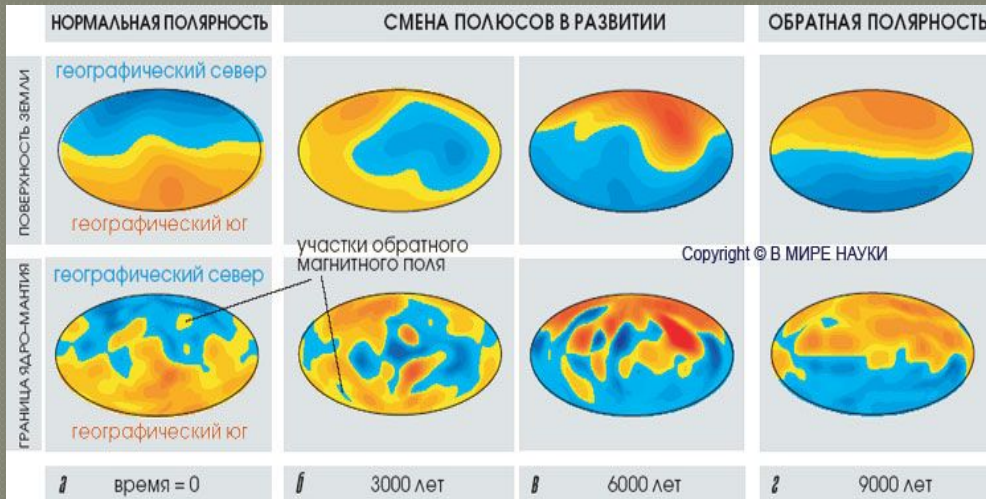
1. Основное магнитное поле Земли, испытывающее медленные изменения во времени (вековые вариации) с периодами от 10 до 10 000 лет, сосредоточенными в интервалах 10–20, 60–100, 600–1200 и 8000 лет. Последний связан с изменением дипольного магнитного момента в 1,5–2 раза.

2. Мировые аномалии – отклонения от эквивалентного диполя до 20% напряженности отдельных областей с характерными размерами до 10 000 км. Эти аномальные поля испытывают вековые вариации, приводящие к изменениям со временем в течение многих лет и столетий. Примеры аномалий: Бразильская, Канадская, Сибирская. В ходе вековых вариаций мировые аномалии смещаются, распадаются и возникают вновь. На низких широтах имеется западный дрейф по долготе со скоростью $0,2^\circ$ в год.

3. Магнитные поля локальных областей внешних оболочек с протяженностью от нескольких до сотен км. Они обусловлены намагниченностью горных пород в верхнем слое Земли, слагающих земную кору и расположенных близко к поверхности. Одна из наиболее мощных – Курская магнитная аномалия.

4. Переменное магнитное поле Земли (так же называемое внешним) определяется источниками в виде токовых систем, находящимися за пределами земной поверхности и в ее атмосфере. Основными источниками таких полей и их изменений являются корпускулярные потоки замагниченной плазмы, приходящие от Солнца вместе с солнечным ветром, и формирующие структуру и форму земной магнитосферы.

Магнитное поле Земли



Инверсия магнитного поля —

изменение направления магнитного поля Земли в геологической истории планеты. При инверсии северный и южный полюса меняются местами. Инверсия — относительно редкое явление. Предположительно, последний раз оно произошло 780 тысяч лет назад.

Инверсии магнитного поля происходят через интервалы времени от десятков тысяч лет, до огромных промежутков спокойного магнитного поля в десятки миллионов лет, когда инверсии не происходили. Таким образом не обнаружено никакой периодичности в смене полюсов, и этот процесс считается случайным.

Некоторые исследователи полагают, что во время инверсий магнитосфера Земли ослабевала настолько, что космическое излучение могло достигать поверхности Земли, поэтому это явление могло наносить вред живым организмам на планете, а очередная смена полюсов может привести к ещё более серьёзным последствиям вплоть до глобальной катастрофы.

Магнитное поле Земли

Магнитное поле геологического прошлого Земли

За последние 150 млн. лет реполяризация происходила сотни раз, о чем свидетельствуют минералы, намагниченные полем Земли во время разогрева горных пород. Затем породы остыли, а минералы сохранили прежнюю магнитную ориентацию.

Шкалы инверсий магнитного поля:
I - за последние 5 млн. лет;
II - за последние 55 млн. лет. Черный цвет - нормальная намагниченность, белый цвет - обратная намагниченность (по У.У. Харленду и др., 1985)

