Геотермия (англ. geothermy) — раздел геофизики, изучающий тепловое состояние, распределение температуры, её источники в недрах Земли, а также тепловую историю Земли. Происходит от греческого Geo — Земля и Therme — тепло.

Геотермия – один из наиболее спекулятивных разделов глобальной геофизики, поскольку все наши знания о распределении источников тепла и механизмах теплопереноса в Земле базируются на измерениях, выполненных на ее поверхности или вблизи нее.

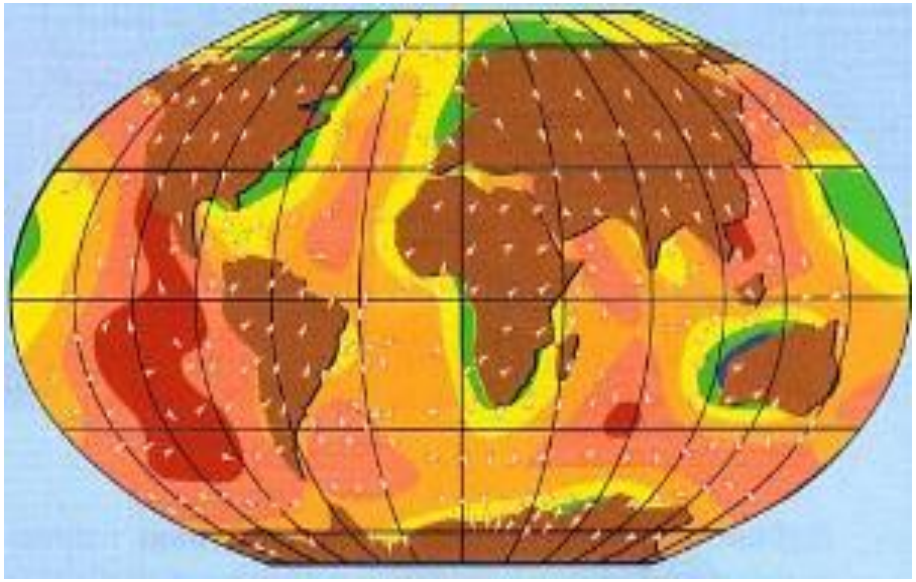
ИСТОЧНИКИ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ЗЕМЛИ

- распад радиоактивных изотопов U, Th, K;
- гравитационная дифференциация вещества;
- приливное трение;
- метаморфизм;
- фазовые переходы.

- **Радиоактивный распад долгоживущих изотопов 40K, 235U, 238U и 232Th. Но содержания указанных радиоактивных изотопов в глубинных оболочках современной Земли (мантии и ядре) ничтожно малы Одного радиоактивного распада явно не хватает для обеспечения современной геотермальной энергии.**
- **Остаточное тепло, накопленное в недрах Земли еще с ранних стадий ее эволюции (в процессе начального разогрева, аккреционного, радиогенного и приливного)**
- **Гравитационная дифференциация ее недр (конвекция), начавшаяся на самых ранних стадиях эволюции Земли и продолжающаяся в настоящее время, часть энергии которой также переходит в тепло.**

Под *тепловым полем Земли* понимаются температура в ее недрах, с одной стороны, и плотность теплового потока на ее поверхности – с другой. Тепловое поле связано как с термическим режимом недр, так и со способностью различных оболочек Земли передавать глубинное тепло и самостоятельно его генерировать.

***Тепловой поток Q* – это то тепло, которое уходит из недр Земли через ее поверхность в атмосферу, а затем в космическое пространство (те самые ничтожные 0,02% от теплового бюджета земной поверхности). Современная скорость потери тепла Землей примерно равна 4,3 · 1013 Вт (Дж/с), или 1,35 · 1021 Дж/год.**



$4{,}3 \cdot 10^{13}$ Вт (Дж/с), или

$1{,}35 \cdot 10^{21}$ Дж/год.

- Тепловой поток — количество теплоты, переданное через изотермическую поверхность в единицу времени. Тепловой поток измеряется в ваттах или ккал/ч (1 вт = 0,86 ккал/ч). Тепловой поток, отнесённый к единице изотермической поверхности, называется плотностью теплового потока или тепловой нагрузкой; обозначается обычно q, измеряется в Вт/м^2 или ккал/(м^2×ч). Плотность теплового потока —вектор, любая компонента которого численно равна количеству теплоты, передаваемой в единицу времени через единицу площади, перпендикулярной к направлению взятой компоненты.

- Теплоперенос в Земле осуществляется преимущественно за счет двух механизмов – *молекулярного (кондуктивного)* и *конвективного*.
- Важнейшим процессом, обусловливающим динамику мантии и в конечном счете и земной коры, является *конвекция*, прежде всего тепловая. Если бы внутреннее тепло, накапливающееся в Земле в результате действия описанных факторов, поступало к поверхности лишь путем обычной теплопроводности, т.е. кондуктивного теплопереноса, Земля неминуемо довольно быстро разогрелась бы до полного плавления. Именно то обстоятельство, что в мантии Земли теплоперенос осуществляется не только кондуктивным, но и конвективным путем, гарантирует нашу планету от перегрева..

- Плотность кондуктивного теплового потока *q* на поверхности Земли описывается *законом Фурье*:

$$q = -k \frac{dT}{dz}$$

где k – коэффициент теплопроводности, T – температура, а z – координата в направлении изменения температуры.

- Коэффициент теплопроводности *k* (или *удельная теплопроводность*) измеряется в Вт · м $^{-1}$ · °С$^{-1}$ или Дж · м$^{-1}$ · с$^{-1}$ · °С$^{-1}$) и служит мерой того, насколько легко тепло распространяется через материал, или, более строго, сколько тепла нужно подвести к нижней границе слоя единичной толщины, чтобы за единицу времени температура на его верхней границе изменилась на 1°С.

- Зависимость распространения температурного возмущения от времени при нагревании или охлаждении материала определяется *коэффициентом температуропроводности* χ

$$\chi = k/Cp \cdot \rho$$

где ρ – плотность материала, а Cp – его удельная теплоемкость

- Температуропроводность литосферы, как уже отмечалось, чрезвычайно низка и составляет в среднем около 10 – 6 $м^2/с$, а для проникновения температурных возмущений на расстояние l требуется время l^2/χ.

- Среднее по всем континентам значение плотности теплового потока (*qc*) составляет 56,5 мВт/м^2, по океанам (*qo*) – 102,2 мВт/м^2. Полный тепловой поток *Q* из недр Земли получается суммированием произведений континентального и океанского тепловых потоков на площади континентов (включая континентальные окраины) *Sc* = 2 · 1014 м^2 и океанов *So* = 3,1 · 1014 м^2:

$$Q = Scqc + Soqo = Qc + Qo = 4{,}3 \cdot 1013 \text{ Вт}.$$

- **Разделив глобальный тепловой поток *Q* на площадь поверхности Земли *S* = 5,1 · 1014 м^2, получаем среднее значение плотности глобального теплового потока *q*ср = 84 мВт/м^2.**

- **Плотность теплового потока, генерируемого только в коре *qcr*, может быть рассчитана по формуле**

$$q\,cr = \rho_c\, h_c\, H_c,$$

где ρ_c – плотность коры, h_c – ее мощность, а H_c – радиогенная теплогенерация на единицу массы.

- главным отличием океанского и континентального тепловых потоков является то, что первый в основном (на 99%) имеет мантийное происхождение и распространяется конвективным путем, тогда как второй в значительной степени радиогенного происхождения и распространяется, за исключением локальных областей, кондуктивным путем.

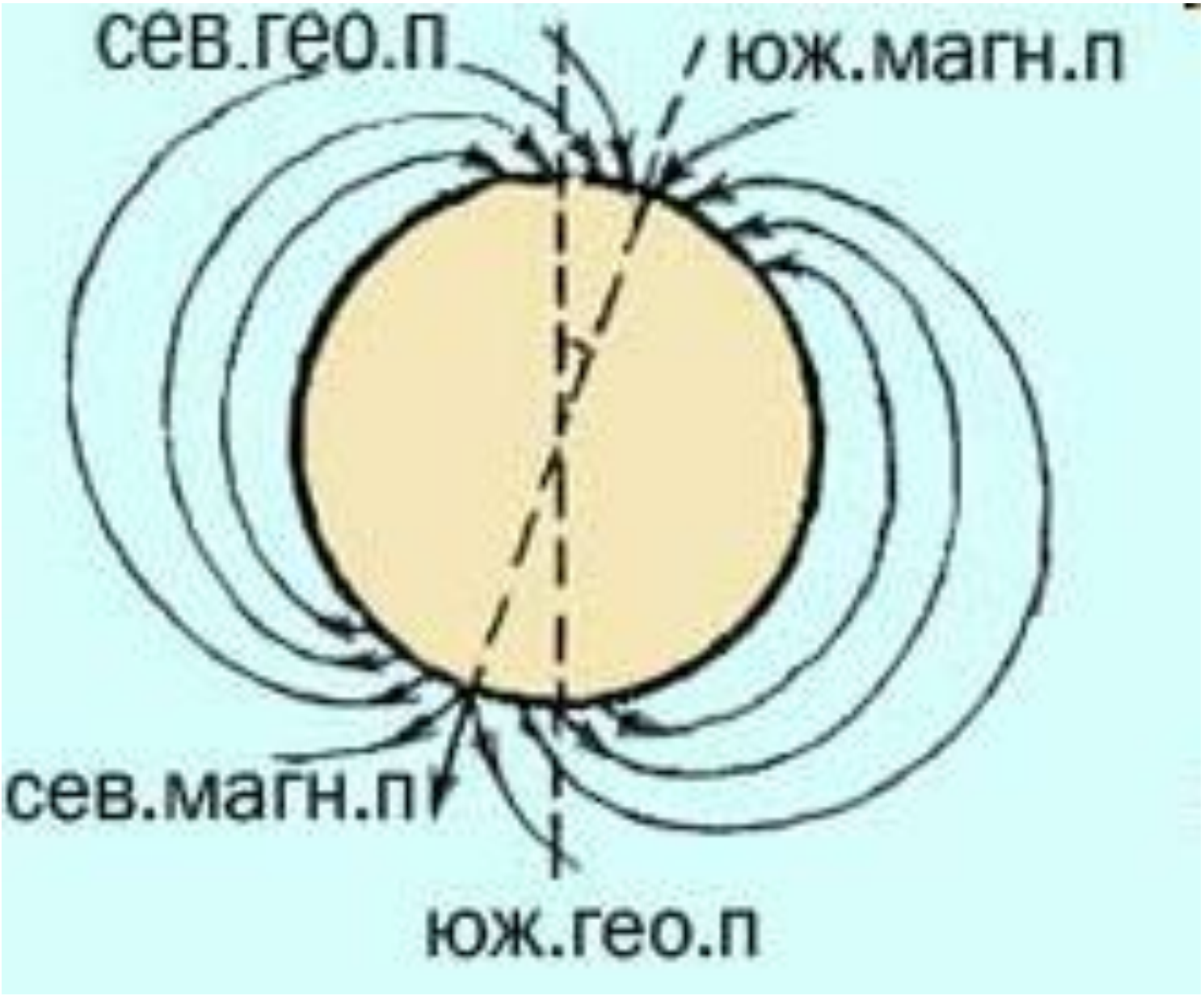
Геомагнетизм

- Геомагнети́зм — раздел геофизики, изучающий происхождение и природу магнитного поля Земли.

Геомагнетизм рассматривает вопросы:

- возникновение и эволюция основной, постоянной составляющей геомагнитного поля;
- природа переменной составляющей (примерно 1 % от основного поля);
- структура магнитосферы;
- изучение закономерностей вариаций геомагнитного поля.

- В 1600 году английский ученый Уильям Гильберт в своей книге «О магните, магнитных телах и большом магните - Земле». представил Землю, как гигантский постоянный магнит, ось которого не совпадает с осью вращения Земли (угол между этими осями называют магнитным склонением)


сев.гео.п
юж.магн.п
сев.магн.п
юж.гео.п

Геомагнетизм

- *Магнитное поле* Земли создается замкнутыми электрическими токами в ее недрах и намагниченностью горных пород. Оно характеризуется двумя векторными величинами – напряженностью **H** и магнитной индукцией **B**, связанными уравнением

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{J}), \qquad (1.5.1)$$

- где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума (скалярная величина), а **J** – намагниченность среды (векторная величина).

Геомагнетизм

- *Магнитное поле* Земли создается замкнутыми электрическими токами в ее недрах и намагниченностью горных пород. Оно характеризуется двумя векторными величинами – напряженностью **H** и магнитной индукцией **B**, связанными уравнением

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{J}), \qquad (1.5.1)$$

- где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума (скалярная величина), а **J** – намагниченность среды (векторная величина).

Геомагнетизм

- Те́сла (обозначение: Тл, Т) — единица измерения индукции магнитного поля в СИ, численно равная индукции такого однородного магнитного поля, в котором на 1 метр длины прямого проводника, перпендикулярного вектору магнитной индукции, с током силой 1 ампер действует сила 1 ньютон.

Геомагнитные полюса располагаются в точках с координатами 79° с.ш. и 71° з.д. (в Гренландии) и 79° ю.ш. и 109° в.д. (в Антарктиде).

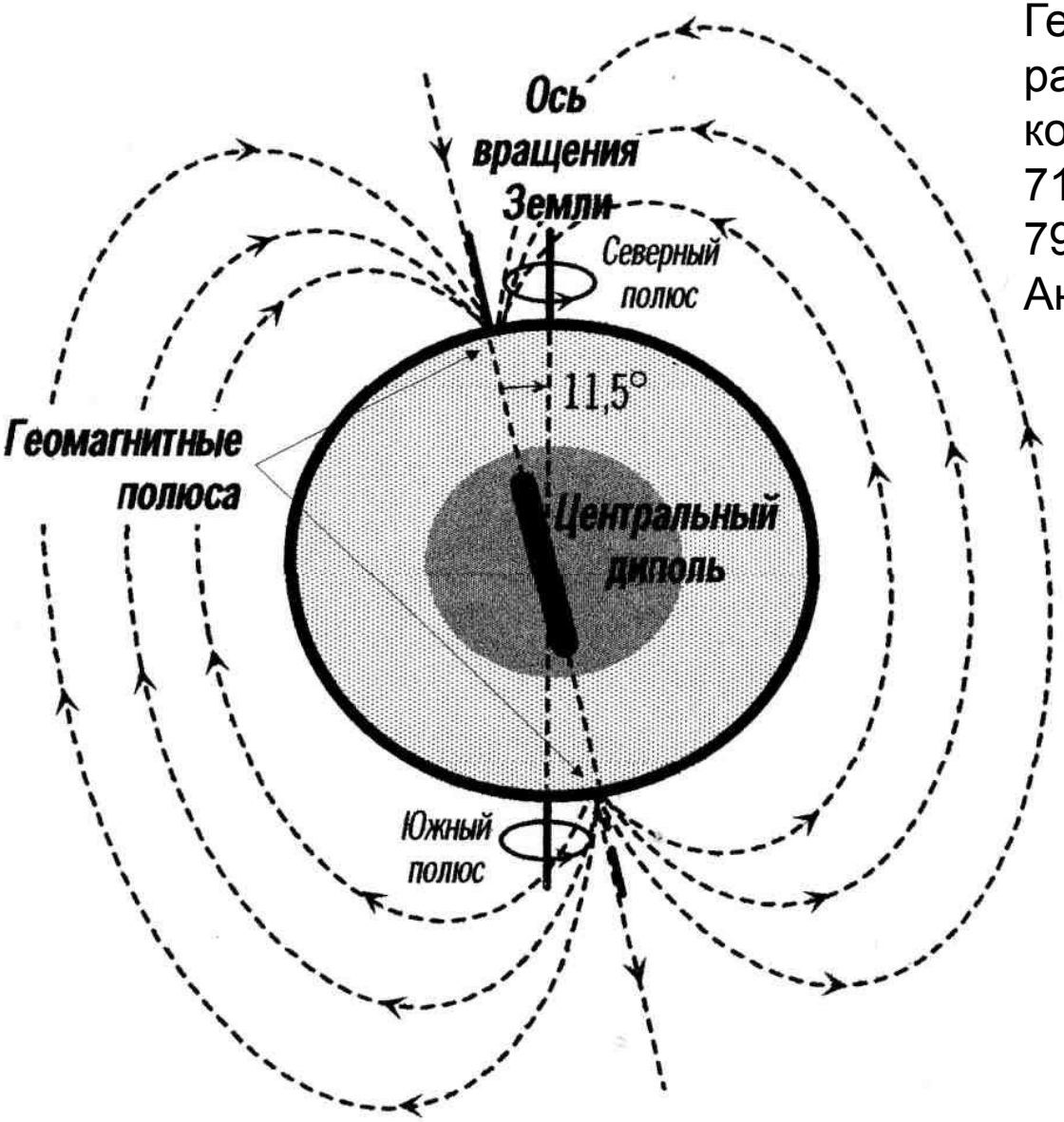


Рис. 1.5.1. Аппроксимация магнитного поля Земли полем центрального осевого диполя.

Геомагнетизм

- Те́сла (обозначение: Тл, Т) — единица измерения индукции магнитного поля в СИ, численно равная индукции такого однородного магнитного поля, в котором на 1 метр длины прямого проводника, перпендикулярного вектору магнитной индукции, с током силой 1 ампер действует сила 1 ньютон.

- Магнитные полюса Земли - это часть магнитного (геомагнитного) поля нашей планеты, которое генерируется потоками расплавленного железа и никеля, окружающего внутреннее ядро Земли (другими словами, турбулентная конвекция во внешнем ядре Земли генерирует геомагнитное поле). Поведение Магнитного поля Земли объясняют течением жидких металлов на границе земного ядра с мантией. Смена магнитных полюсов Земли (инверсия магнитного поля, англ. geomagnetic reversal) происходит каждые 11,5-12,5 тысяч лет. Называют и другие цифры - 13.000 лет и даже 500 тысяч лет, а последняя инверсия произошла 780.000 лет назад. По всей видимости, переполюсовка Магнитного Поля Земли - явление непериодическое.

Элементы магнитного поля

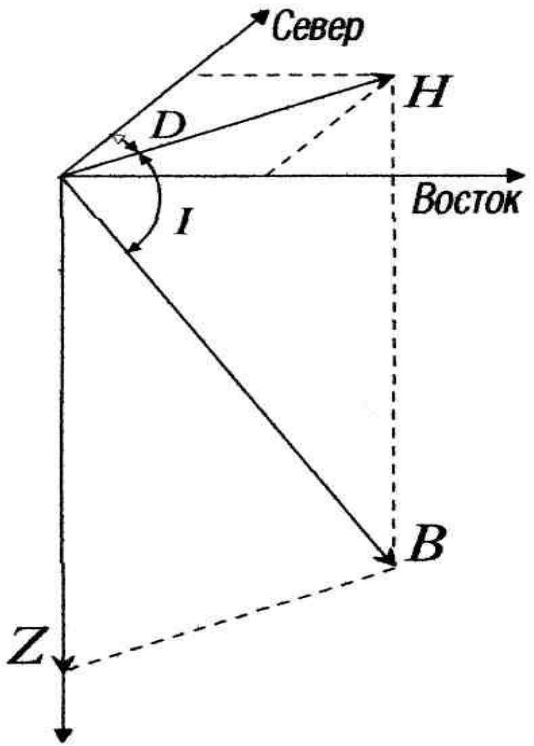
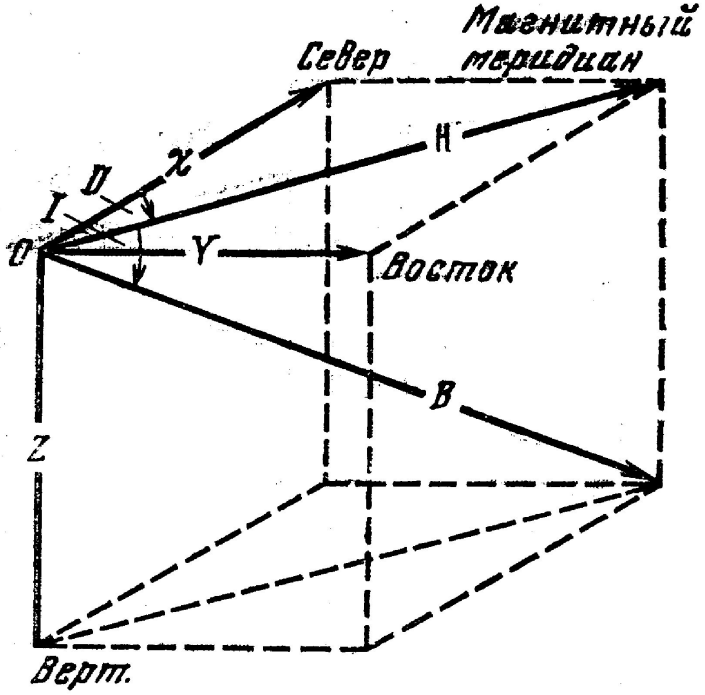
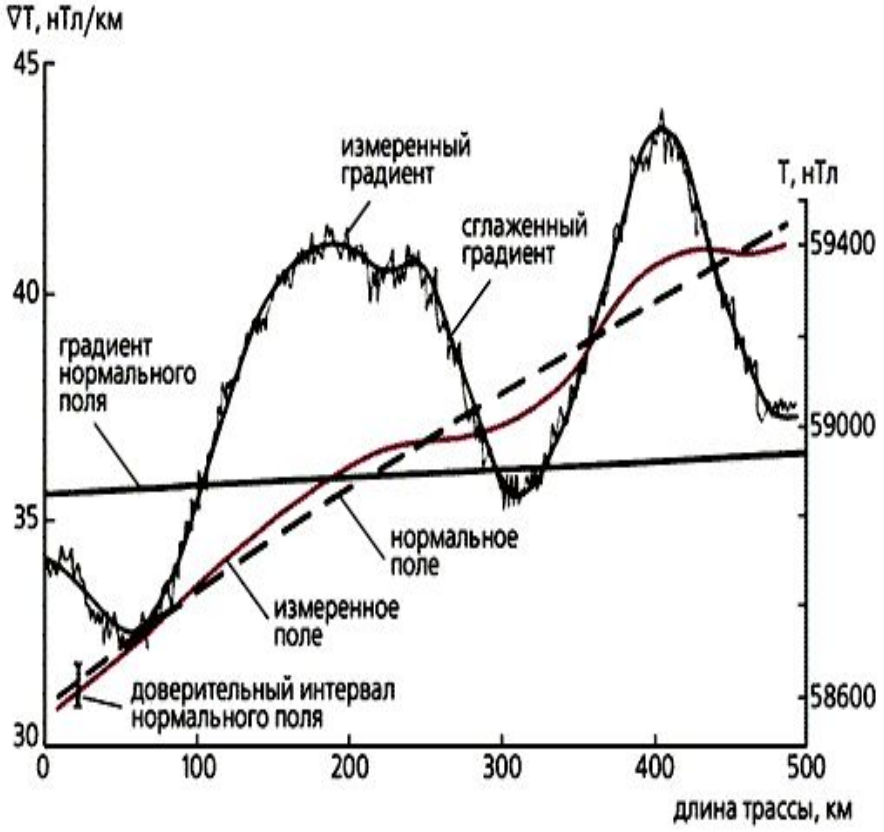


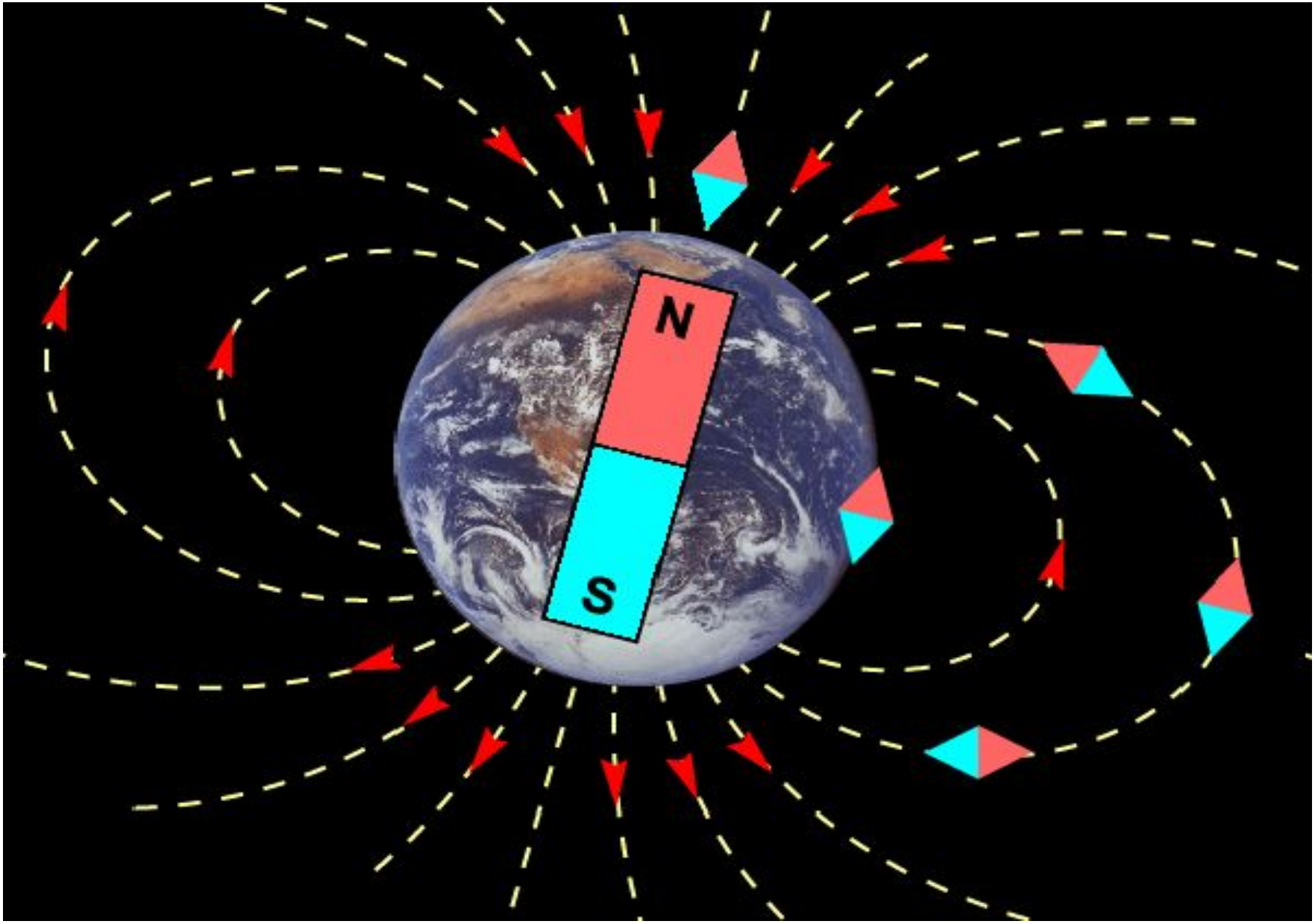
Рис. 1.5.2. Элементы геомагнитного поля.

Полный вектор индукции геомагнитного поля **B** может быть разложен на составляющие: вертикальную *Z* и горизонтальную *H.* Угол между горизонтальной составляющей геомагнитного поля *H* и направлением на географический север называется ***склонением*** *D*, а угол между полным вектором **B** и его горизонтальной составляющей *H* – *наклонением I*.





Напряженность геомагнитного поля $\overline{B}$, ее ортогональные компоненты X, Y и Z и элементы H, D и I


N
S

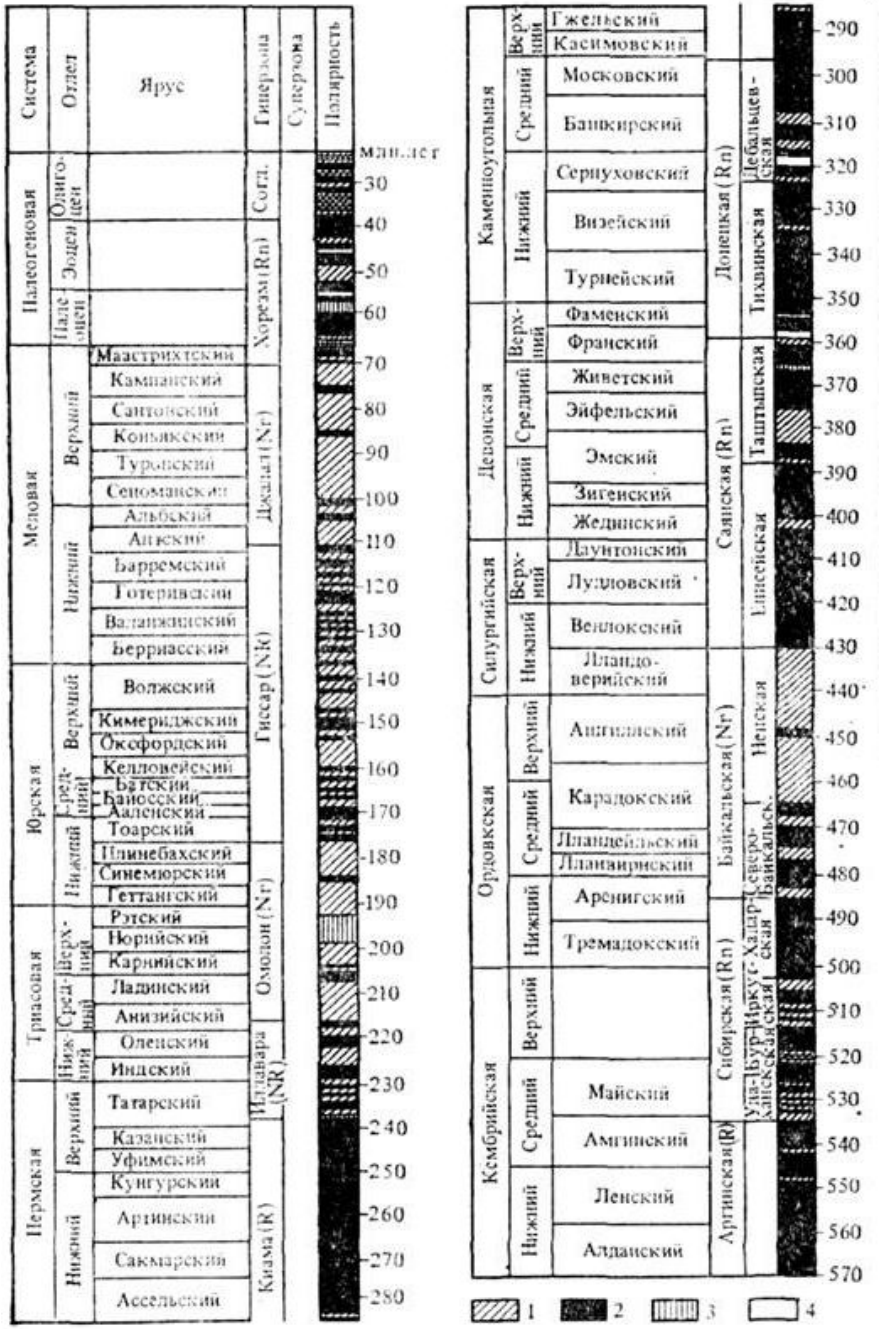
- $\sin\Phi = \sin\phi \sin\phi_м + \cos\phi \cos\phi_м \cos D$,

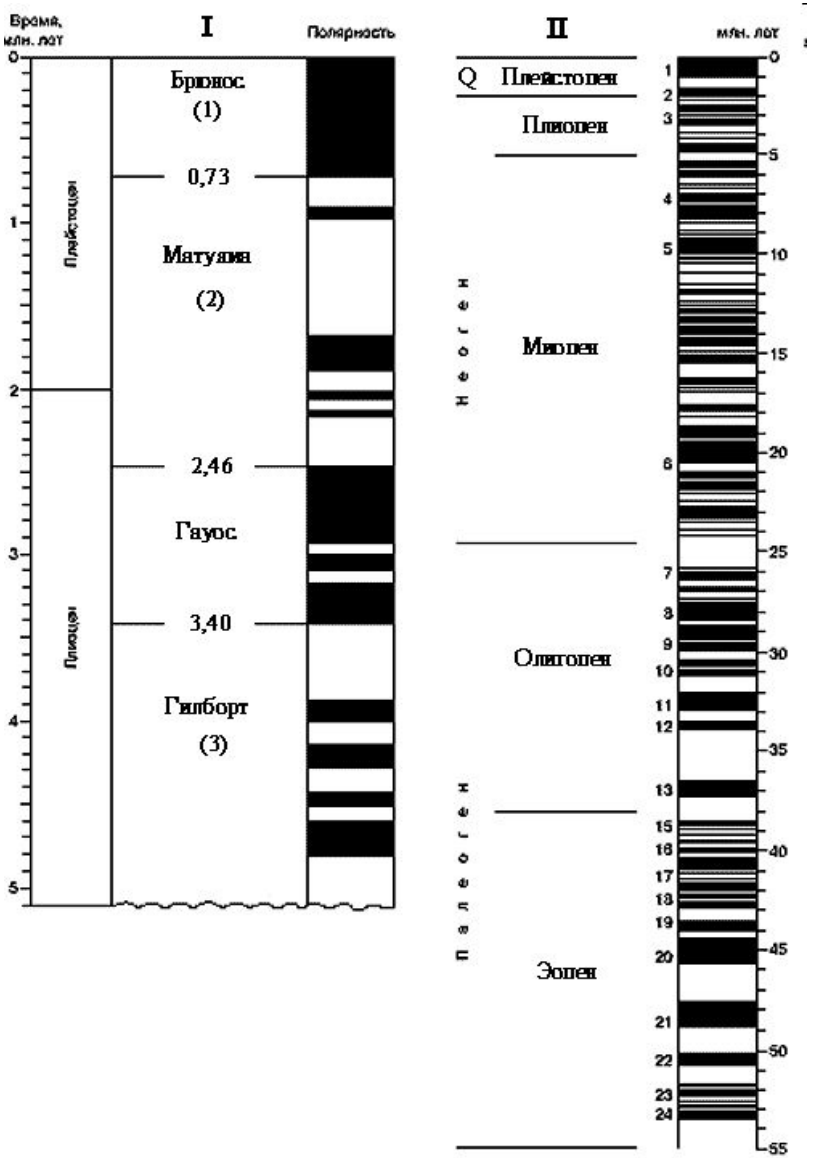
- $\sin(\Lambda - \lambda) = \cos\phi_м \sin D / \cos\Phi$,
  где ϕ_m – геомагнитная широта в точке наблюдения:

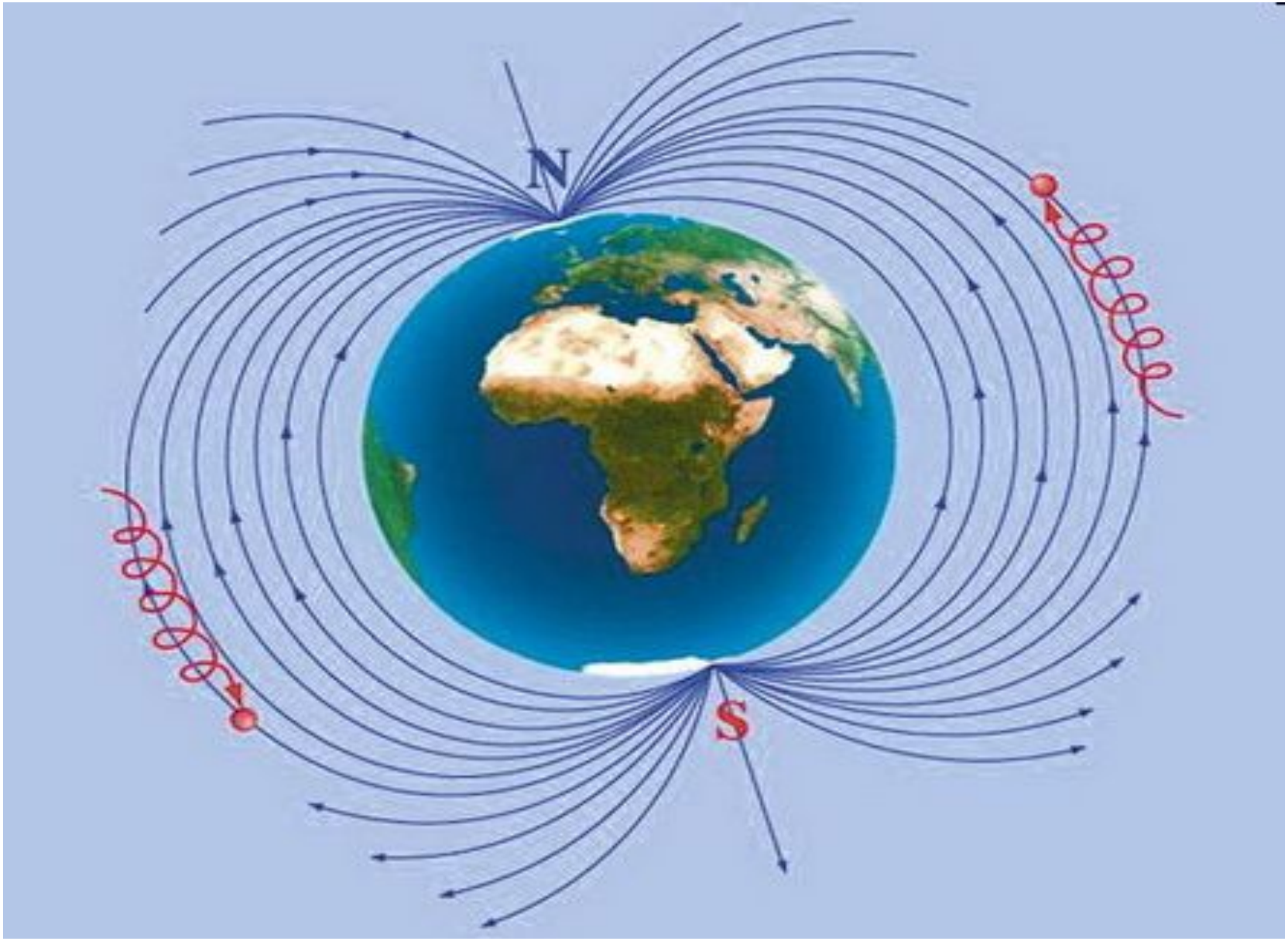
Как дипольная, так и недипольная составляющие геомагнитного поля со временем меняются по направлению и интенсивности. Это явление получило название *вариаций геомагнитного поля*.

Периоды вариаций изменяются от миллионов лет до долей секунд. Причины длиннопериодных вариаций связывают с процессами, идущими в глубоких недрах Земли, а короткопериодных – с процессами, протекающими в ее магнитосфере.

Инверсии магнитного поля






N
S

- Магнитное поле измеряют со спутника, выведенного на заданную орбиту, с которой, как считается, уже неощутимы эффекты неоднородной намагниченности земной коры. Это поле рассматривают в качестве нормального (главного) и вычитают из полного геомагнитного поля, измеряемого на земной поверхности. Полученное в остатке поле считают ***аномальным***.

- При работе с аномальным магнитным полем единица индукции в системе СИ – тесла (Тл), оказывается неудобной, поэтому на практике используют дробную единицу нанотесла,

$$\mathbf{1\ нТл = 10^{-9}\ Тл.}$$

Существуют три геомагнитных поля, образованных разными источниками.

- Первое - главное, или нормальное (в пределах 20-60·103 нТл), генерируемое токами в жидкой части ядра Земли. Расположение именно его силовых линий фиксируют компасы.
- Второе - переменное, оно порождается токами в ионосфере и магнитосфере. Типичное его проявление - магнитные бури. Для умеренных широт значения солнечно-суточных вариаций ~ 30 нТл, а возмущенных (магнитных бурь) 100-1000 нТл.
- И наконец - аномальное. Последнее существует благодаря намагниченности земной коры по всей ее толщине (~40 км),

Намагниченность, созданная современным геомагнитным полем, называется ***индуцированной (или современной)*** и обозначается $\mathbf{J_i}$ Ее направление в любой точке Земли может быть определено обратным пересчетом по формулам (1.5.4) – (1.5.6). Интенсивность (амплитуда) индуцированной намагниченности целиком зависит от магнитной восприимчивости породы **χ -** определяется содержанием в горной породе ферромагнитных минералов Эмпирическим путем получены соотношения определяющие магнитную восприимчивость горных пород:

$$\chi = 1{,}185\rho$$

для магматических пород, где ρ – объемная доля ферромагнитных минералов, и ,

$$\chi = 0{,}033v^{1{,}33}$$

для метаморфических пород, где V – объемное содержание ферромагнитных минералов (в процентах).

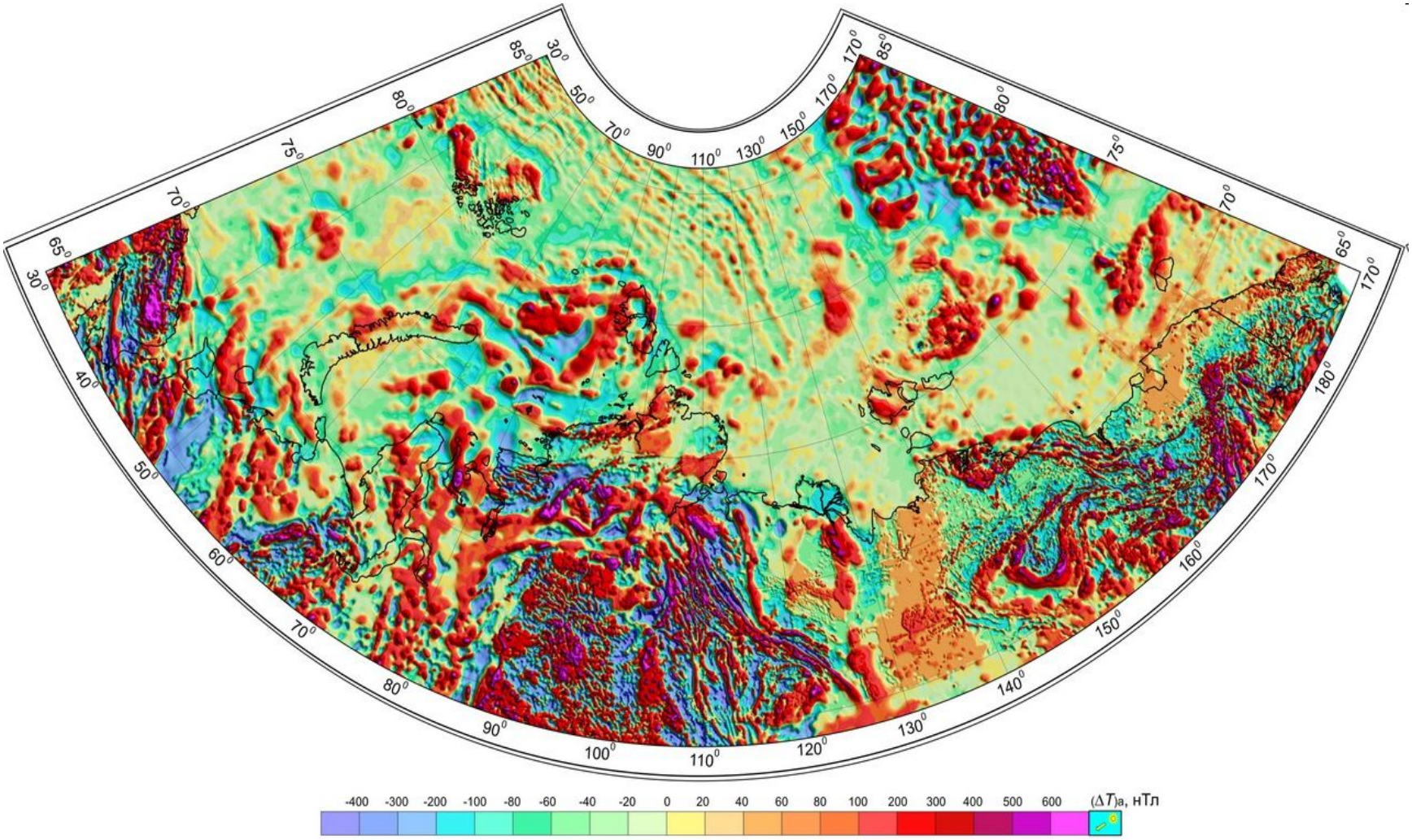


Рис. 2. Аномальное магнитное поле Российской Арктики.

- **Намагниченность остаточная, намагниченность *Jr*, которую имеет ферромагнитный материал при напряжённости внешнего поля, равной нулю. Н. о. зависит как от магнитных свойств материала, так и от его магнитной предыстории — характера предыдущих воздействий на него магнитного поля**

кристаллизации.

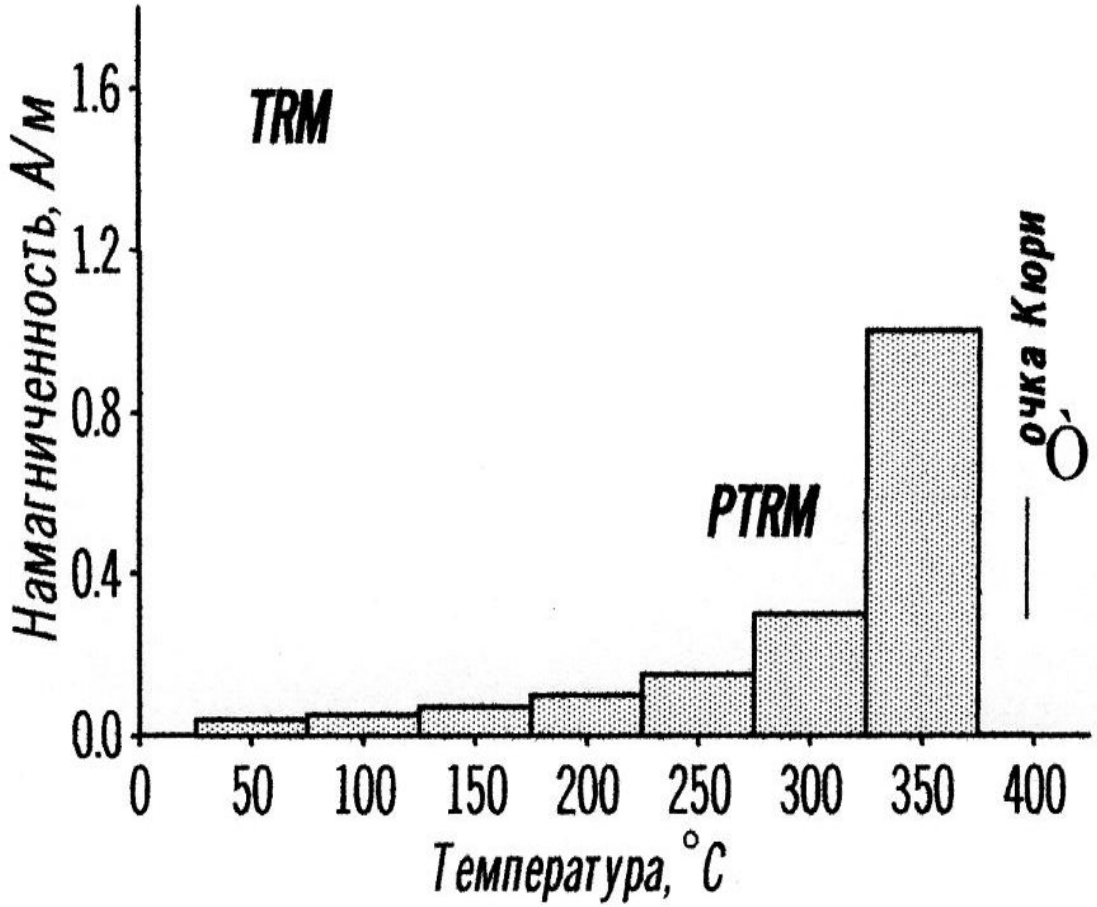
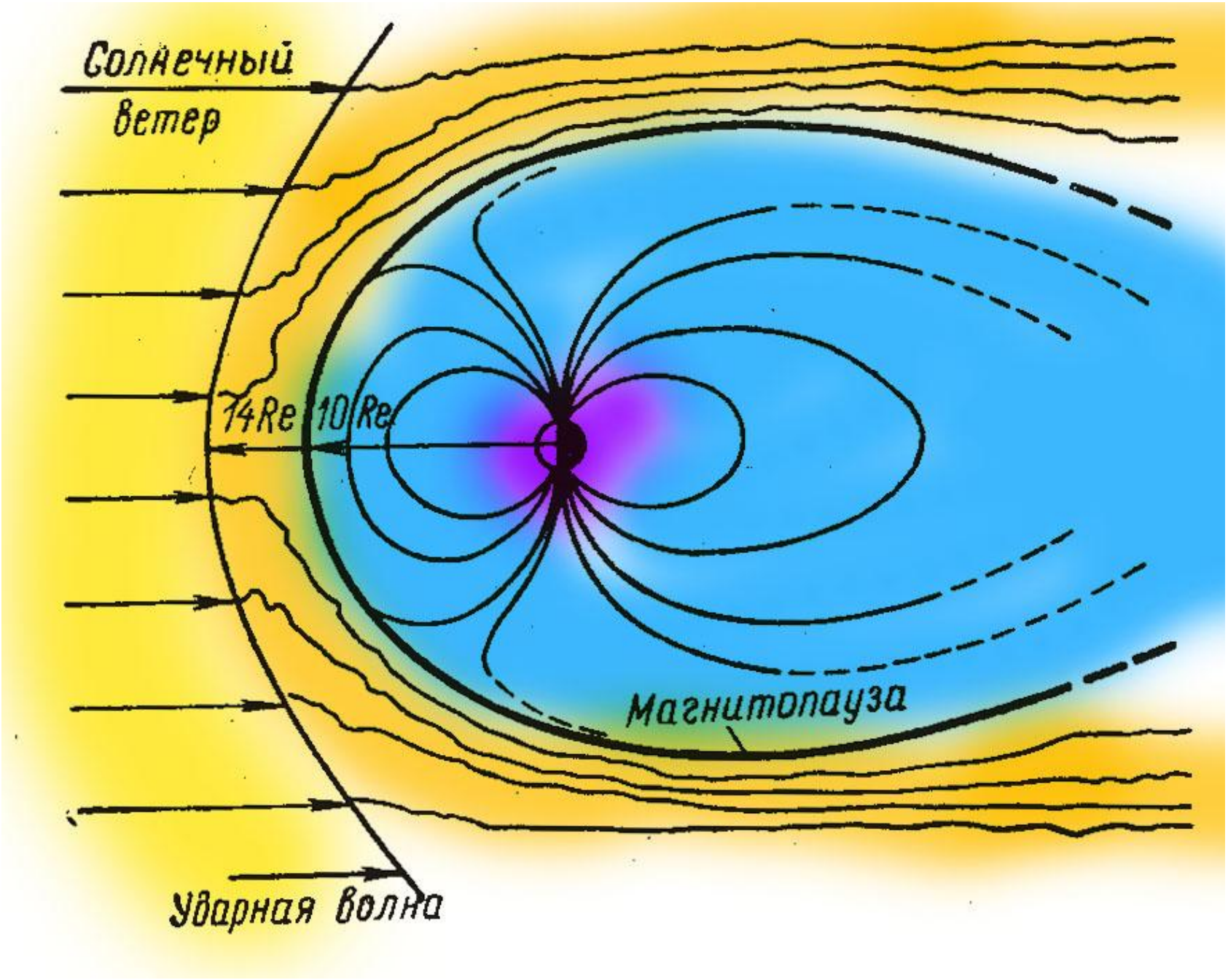
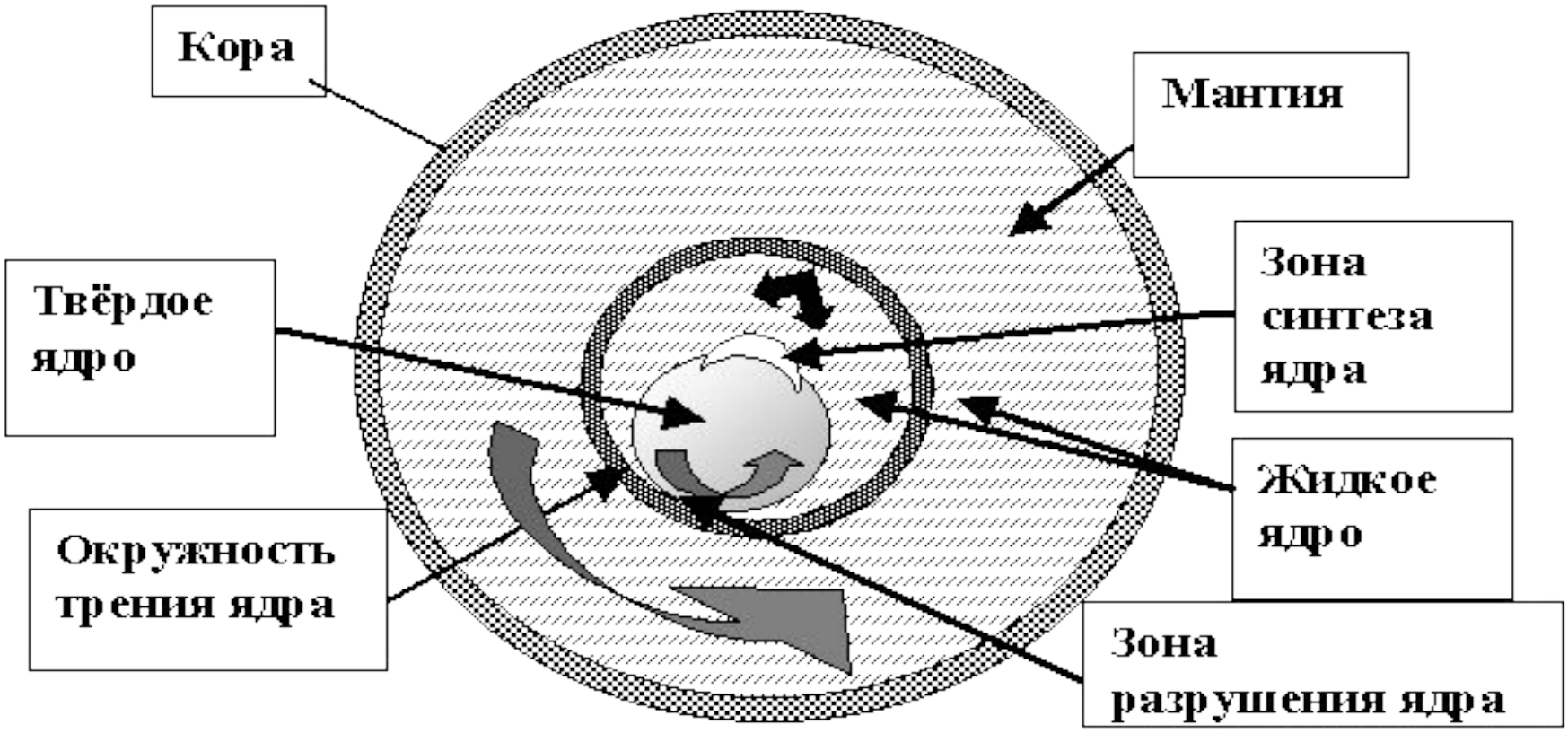


Рис. 1.5.3. Процесс приобретения горной породой термоостаточной намагниченности.


Солнечный
ветер
14Re
10Re
Магнитопауза
Ударная волна


Кора
Мантия
Твёрдое ядро
Зона синтеза ядра
Жидкое ядро
Окружность трения ядра
Зона разрушения ядра

- В 1947 г. советский физик *Я. И. Френкель* совсем иначе объяснил образование магнитного поля в Земле. Он предположил, что 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