



МАГНИТОРАЗВЕДКА

Глава 1

«Введение в магниторазведку»

Ver 1.5.

НОВИКОВ К.В. 2011 – 2017 гг.

Основная литература по курсу «Магниторазведка»

1. Гринкевич Г.И. Магниторазведка. Учебник для техникумов. – М.: Недра, 1987.
2. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. – Л.: Недра, 1979.
3. Инструкция по магниторазведке. М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1981.

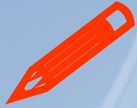
Дополнительная литература по курсу «Магниторазведка»

1. Яновский Б.М. Земной магнетизм. – Л.: ЛГУ, 1978.
2. Серкерев С.А. Гравиразведка и магниторазведка. – М.: Недра, 1999
3. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. М.: Мир, 1986.
4. Гордин В.М. Очерки по истории геомагнитных измерений. – М.: ИФЗ РАН, 2004. – 162 с.
5. Магниторазведка. Справочник геофизика. – М.: Недра, 1980.
6. Ревякин П.С., Бродовой В.В., Ревякина Э.А.. Высокоточная магниторазведка. – М.: Недра, 1986. – 272 с.
7. Lanza R., Meloni A.. The Earth's Magnetism: An Introduction for Geologists. – Berlin: Springer, 2006.

Применяемые в презентациях условные обозначения



- напоминания из разных областей науки

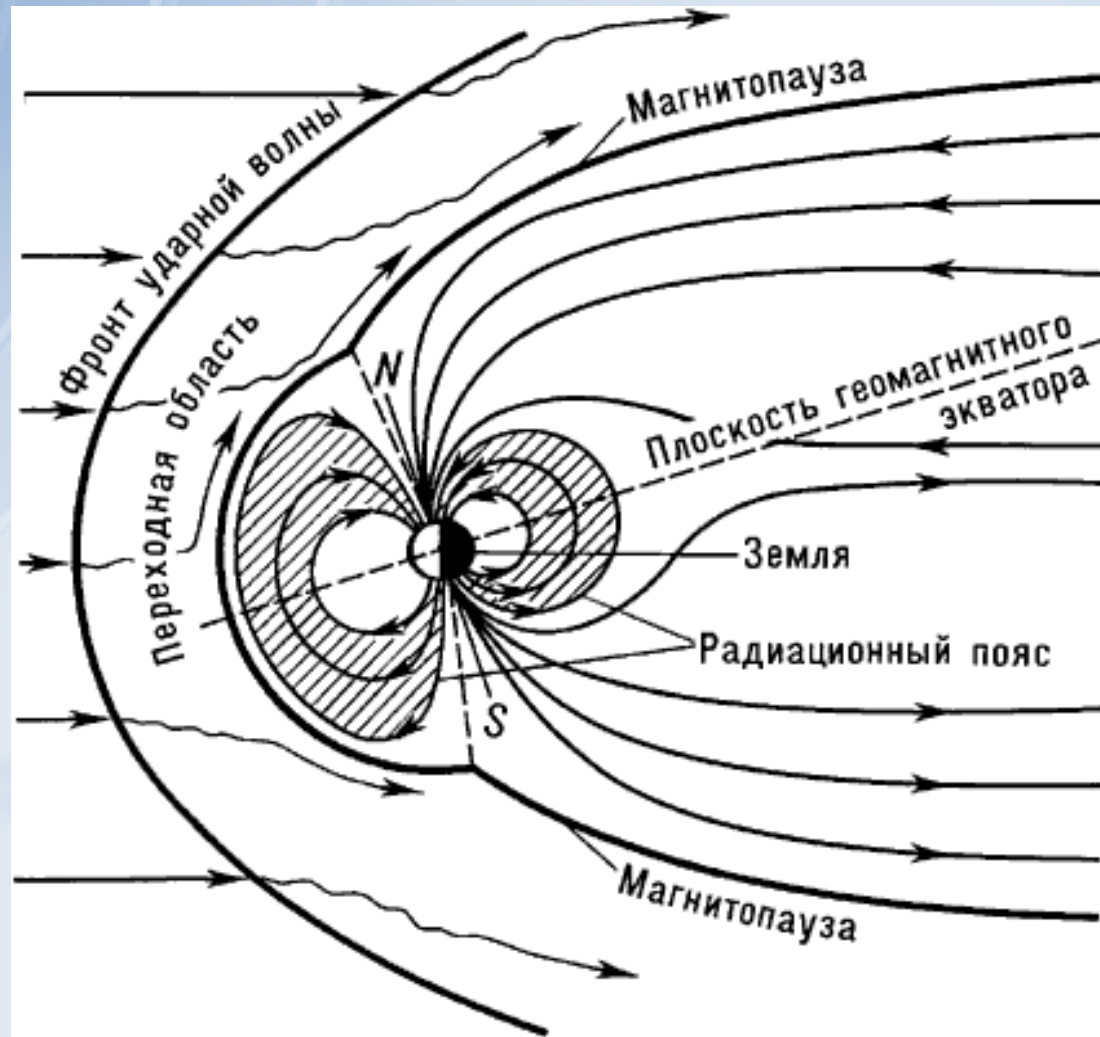


- важные и ключевые моменты



- исторические факты

1.1. Основы магниторазведки



1.1.1. Что такое магниторазведка?

Магниторазведка (Магнитометрия) – раздел геофизики занимающийся изучением естественного магнитного поля Земли.

Задачи:

- Геологическое картирование.
- Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых.
- Инженерно-геологические задачи.
- Археологические задачи.

Виды магнитной съемки (по месту проведения и носителю)

1. Наземные

Пешеходные

Автомобильные

Велосипедные

Обсерваторные

2. Воздушные

Самолетные

Вертолетные

Спутниковые

3. Морские



4. Подземные

Шахтные

Скважинные



1.1.2. Магнитное поле и его основные характеристики



Величина	Обозн.	Размерность СИ	Размерность СГС	Связь СГС и СИ
1	2	3	4	5
Индукция	\vec{B}	тесла (Тл) = $\text{Гн} \cdot \text{А} \cdot \text{м}^{-2} =$ $= \text{кг} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$	гаусс (Гс)	$1 \text{ Тл} = 10^4 \text{ Гс}$
Напряженность	\vec{H}	ампер/метр (А/м)	эрстед (Э)	$1 \frac{\text{А}}{\text{м}} = 4\pi 10^{-3} \text{ Э}$
Намагниченность	$\vec{j}(\vec{i})$	ампер/метр (А/м)	ед. СГС·см ⁻³	$1 \frac{\text{А}}{\text{м}} = 10^{-3} \frac{\text{ед. СГС}}{\text{см}^3}$
Магнитный момент	\vec{M}	ампер·метр ² (А·м ²)	ед. СГС	$1 \frac{\text{А} \cdot \text{м}^2}{\text{ед. СГС}} = 10^3 \frac{\text{ед. СГС}}{\text{ед. СГС}}$
Магнитный поток	$\vec{\Phi}$	вебер (Вб) = $= \text{Гн} \cdot \text{А} =$ $= \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$	максвелл (Мкс)	$1 \text{ Вб} = 10^8 \text{ Мкс}$

\vec{H}

Напряженность магнитного поля – это векторная физическая величина, являющаяся количественной характеристикой магнитного поля, показывающая силу, с которой поле действует на точечную массу, отнесенную к единице этой массы.

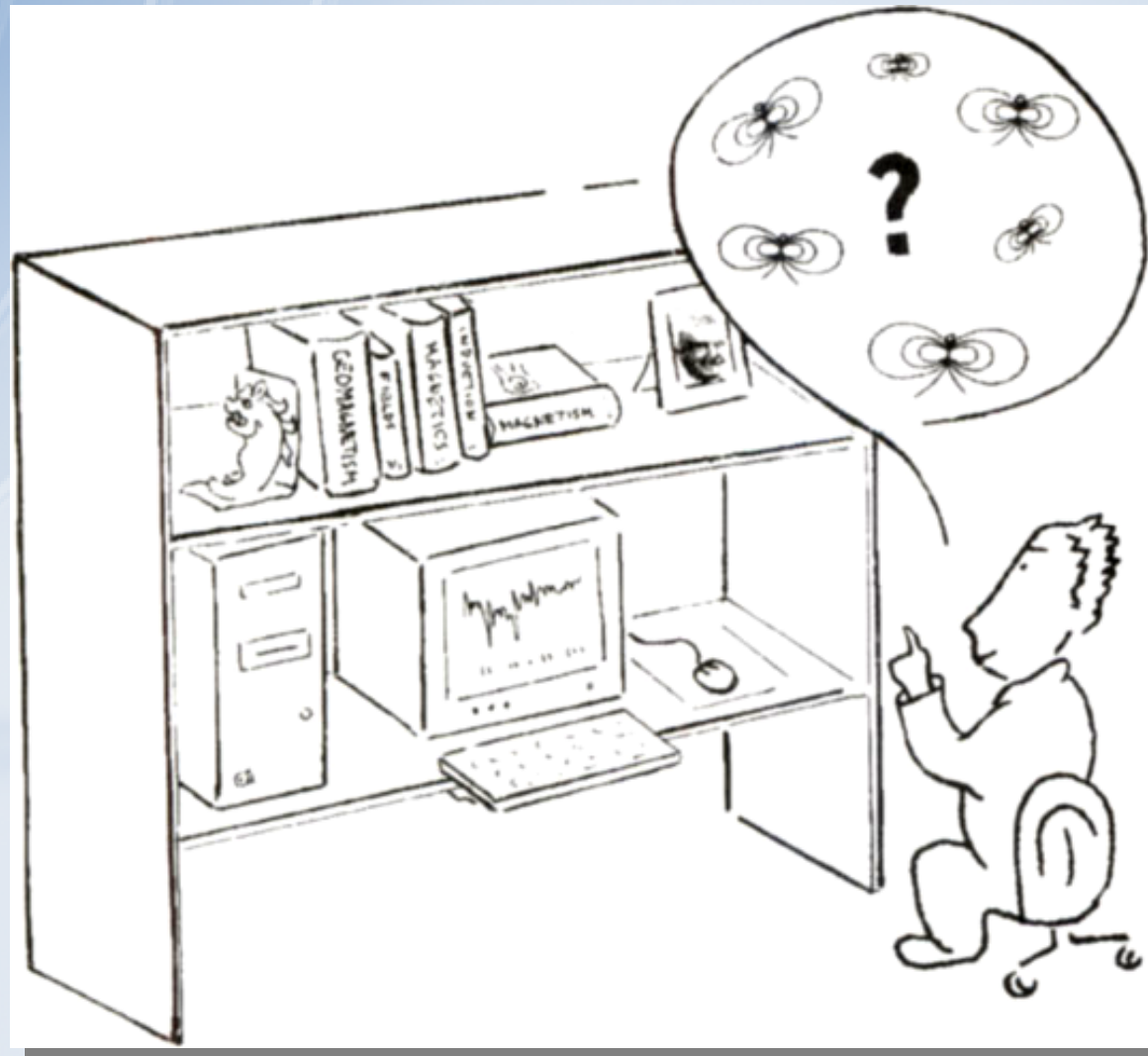
$$\vec{H} = \frac{\mu_0 \cdot m_1 \cdot m_2}{4\pi \cdot m_1} \cdot \frac{\vec{L}_{12}}{L_{12}^3} = \frac{\mu_0 m_2}{4\pi} \cdot \frac{\vec{L}_{12}}{L_{12}^3}$$

 \vec{B}

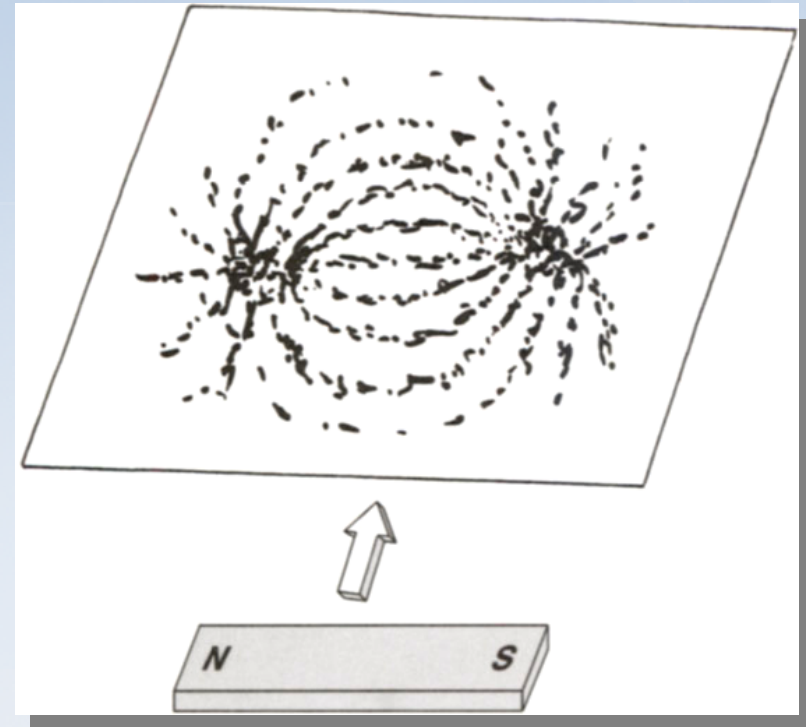
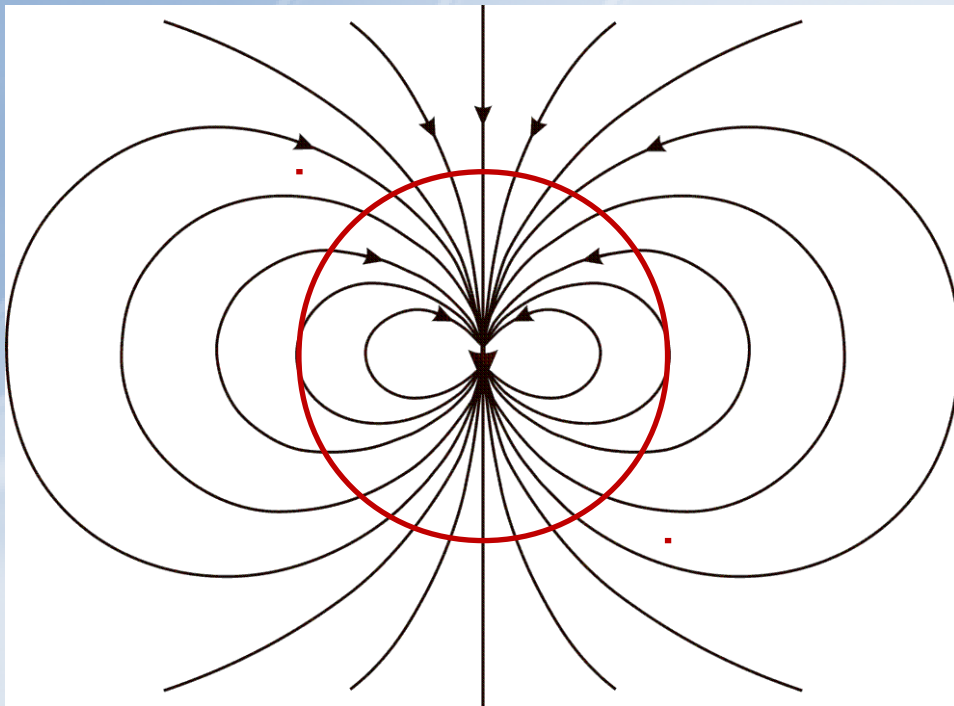
Магнитная индукция – векторная физическая величина, которая показывает напряженность суммарного поля, то есть сумму напряженностей намагничивающего и внутреннего поля, возникающего внутри намагниченного тела под действием намагничивающего поля.

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H} = \mu_a \vec{H}$$

1.2. Структура магнитного поля Земли



Магнитное поле Земли, в первом приближении, представляет собой поле диполя. Такую же структуру имеет поле обыкновенного полярного магнита.

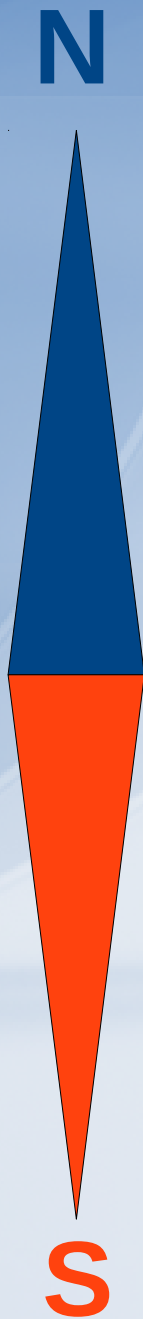


Источник магнитного поля находится внутри Земли, поэтому силовые линии пересекают земную поверхность.

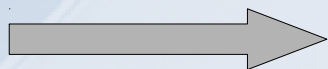
Традиционная раскраска стрелки компаса

Север — холод — синий цвет

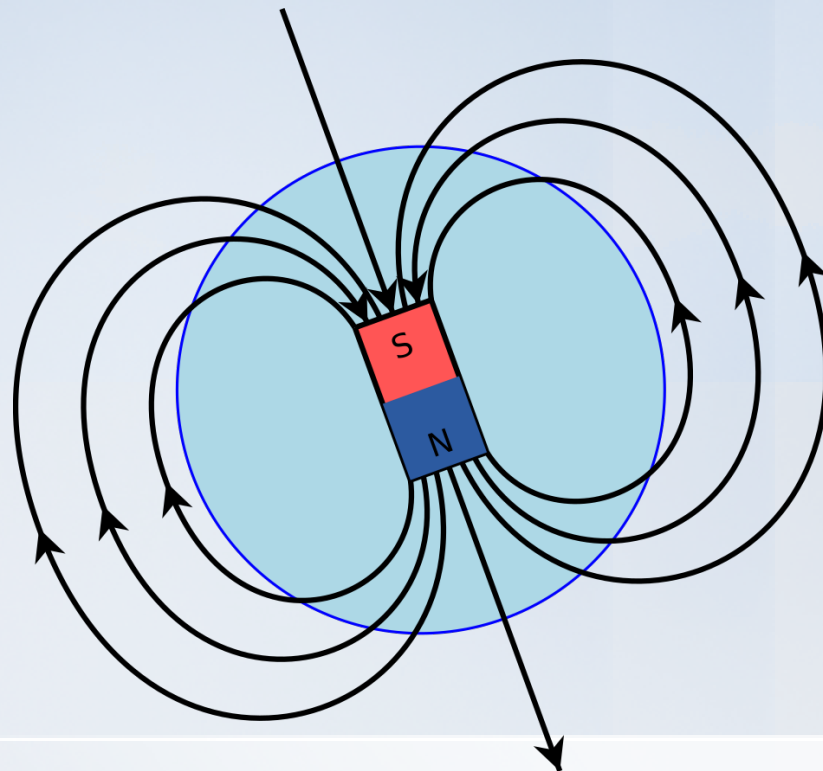
Юг — жара — красный цвет



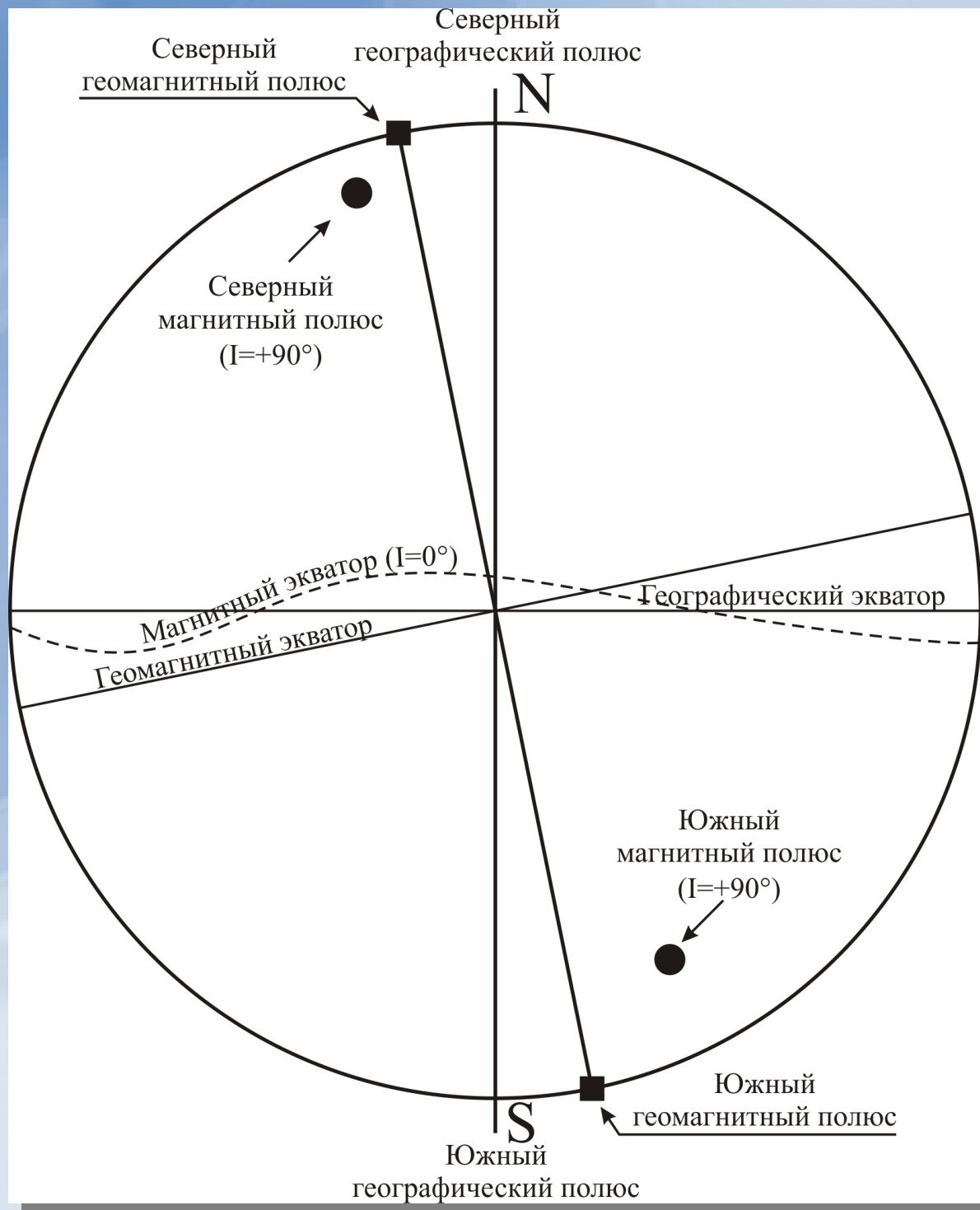
Такие же цвета
были приняты для
магнита



Если источник магнитного поля внутри
Земли представить в виде магнита, то
северный полюс магнита окажется около
географического южного.

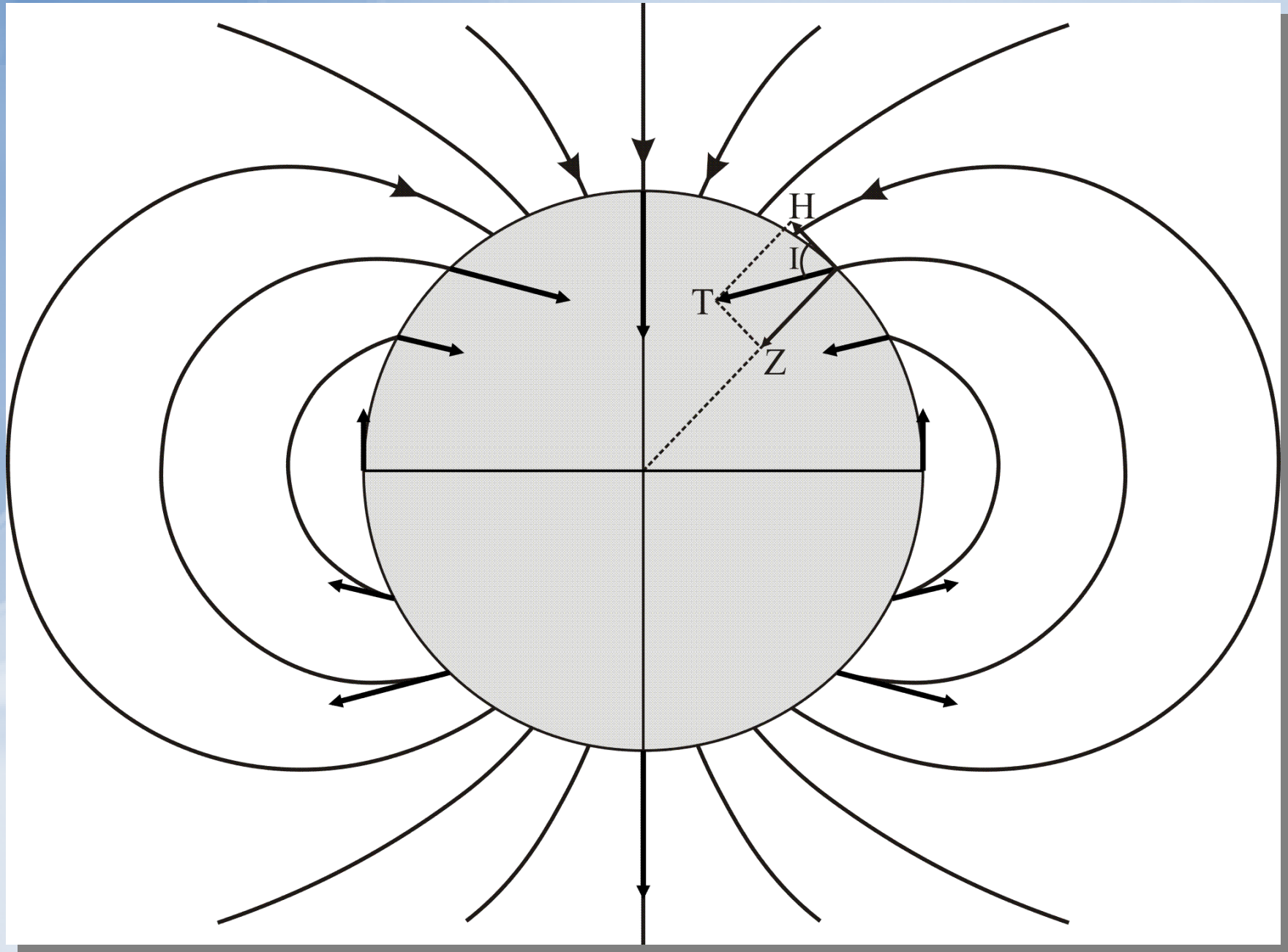


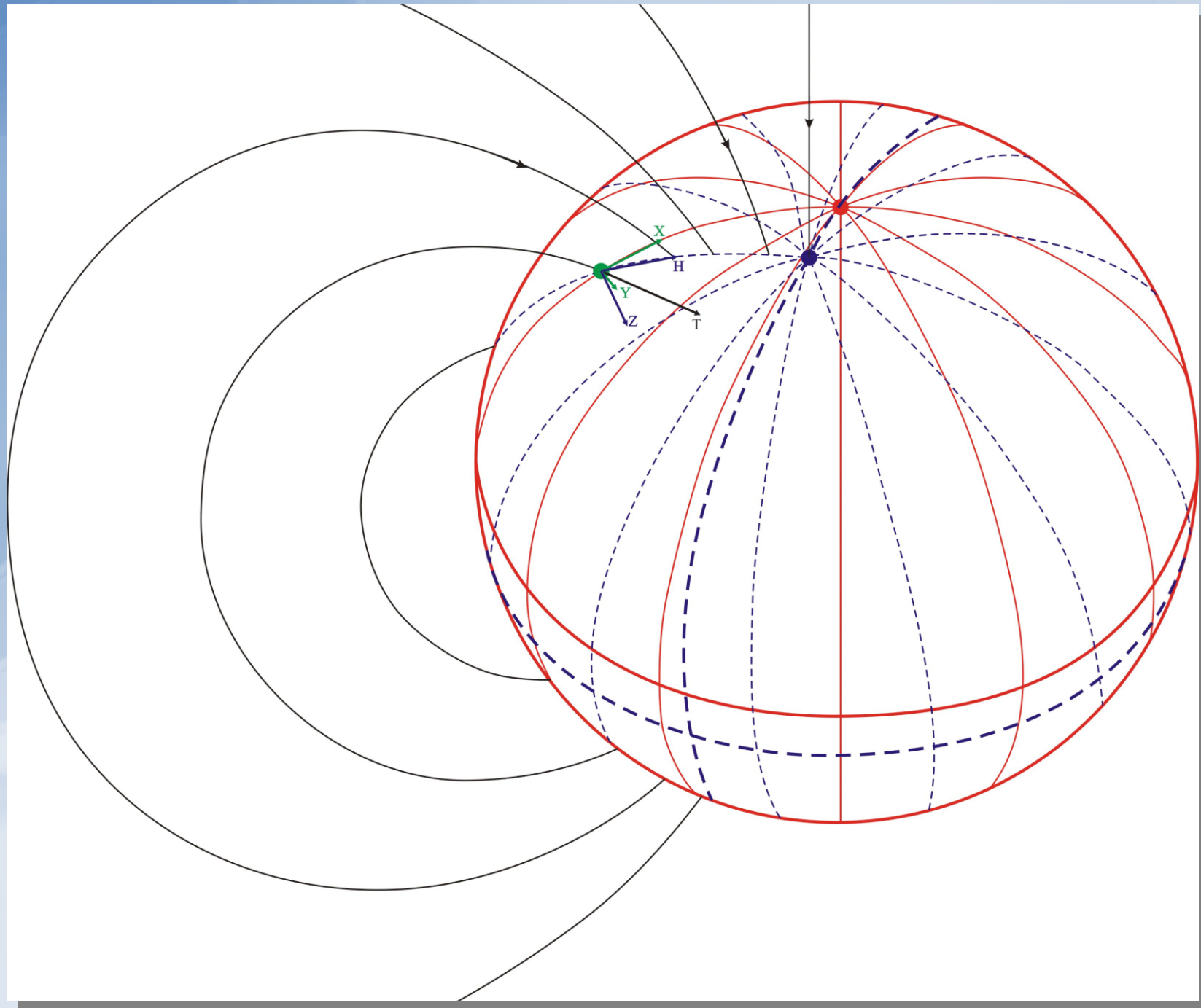
Стрелка компаса будет ориентироваться
по вдоль силовых линий, ее северный
полюс будет направлен к южному
полюсу источника магнитного поля.



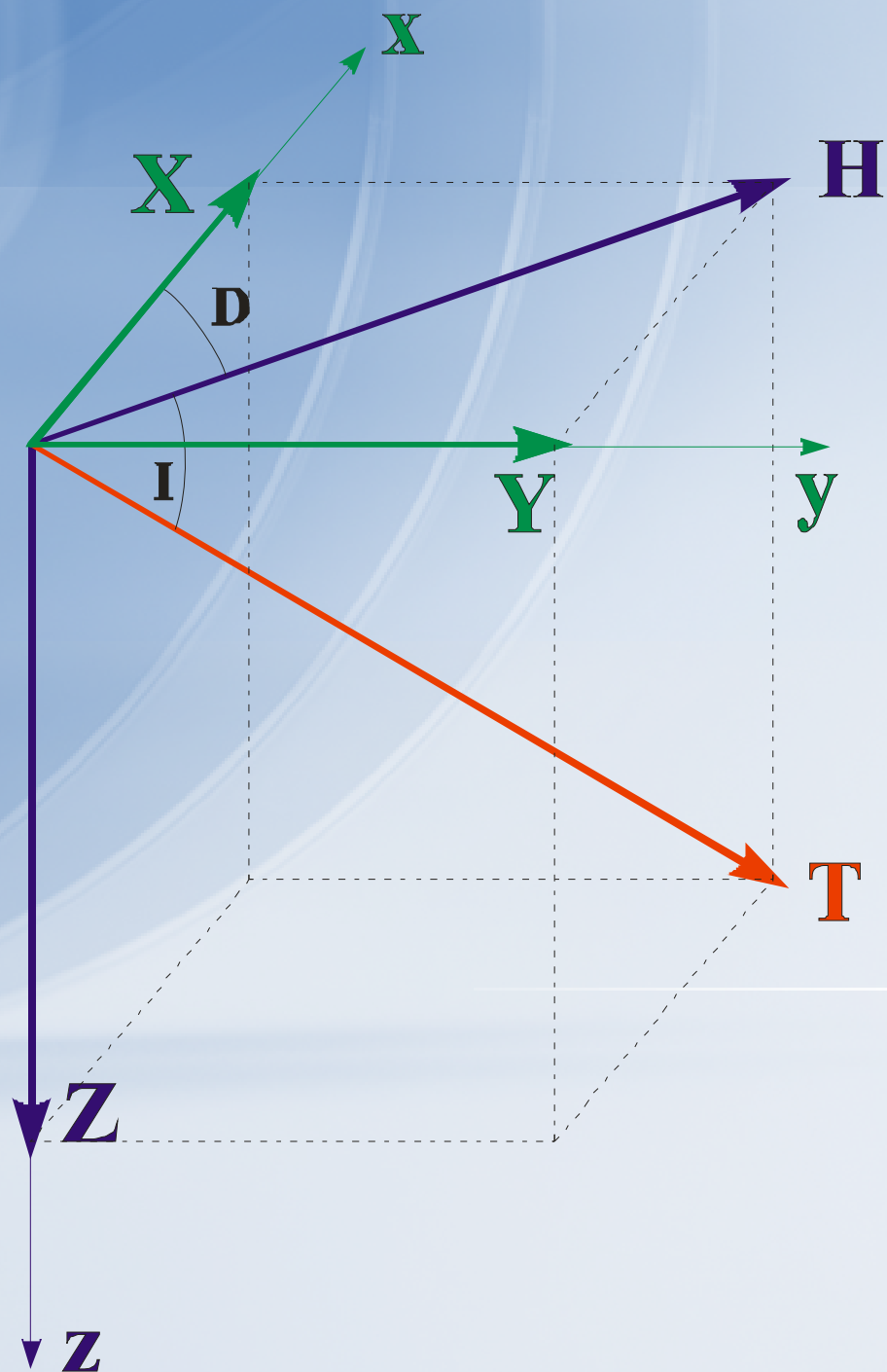
Истинное магнитное поле Земли отличается от поля диполя, которым его часто описывают. Поэтому ввели еще одно понятие – геомагнитные полюса. Геомагнитными полюсами называются (Нг.п., Сг.п.) точки пересечения земной поверхности и оси диполя, который наиболее близко описывает магнитное поле Земли.

В каждой точке магнитное поля можно представить в виде вектора, который направлен по касательной к силовой линии в данной точке.





Компоненты магнитного поля Земли



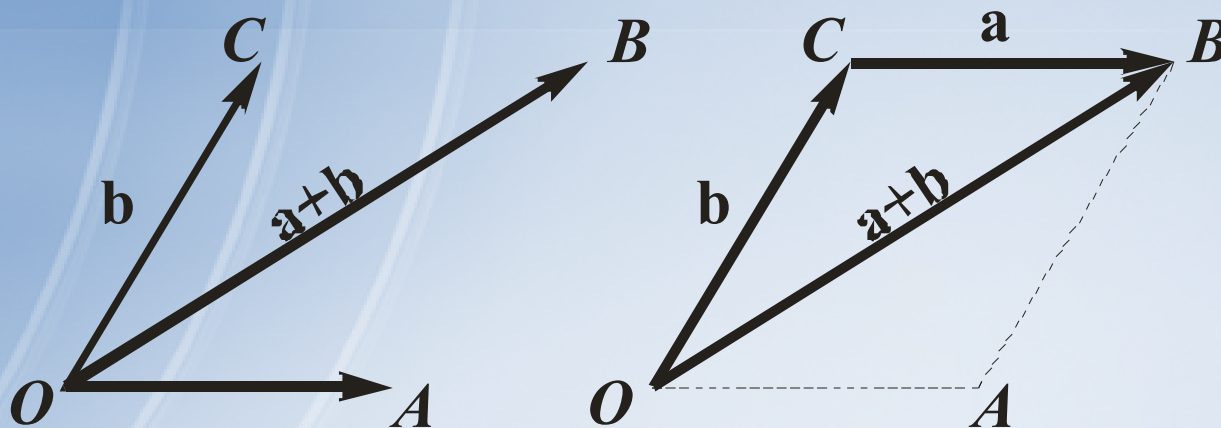
T — полный вектор МПЗ;
 H — горизонтальная компонента T ;
 Z — вертикальная компонента T ;
 X — северная компонента T ;
 Y — восточная компонента T ;
 D — магнитное склонение;
 I — магнитное наклонение.

$$T = \sqrt{Z^2 + H^2}$$
$$= \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

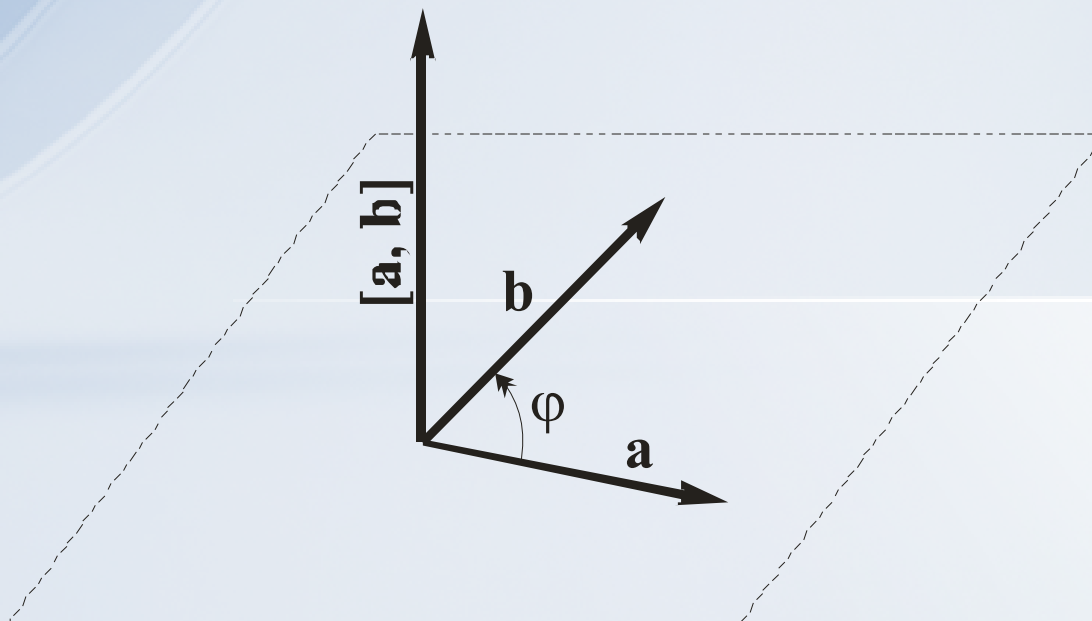
Математика: векторы.



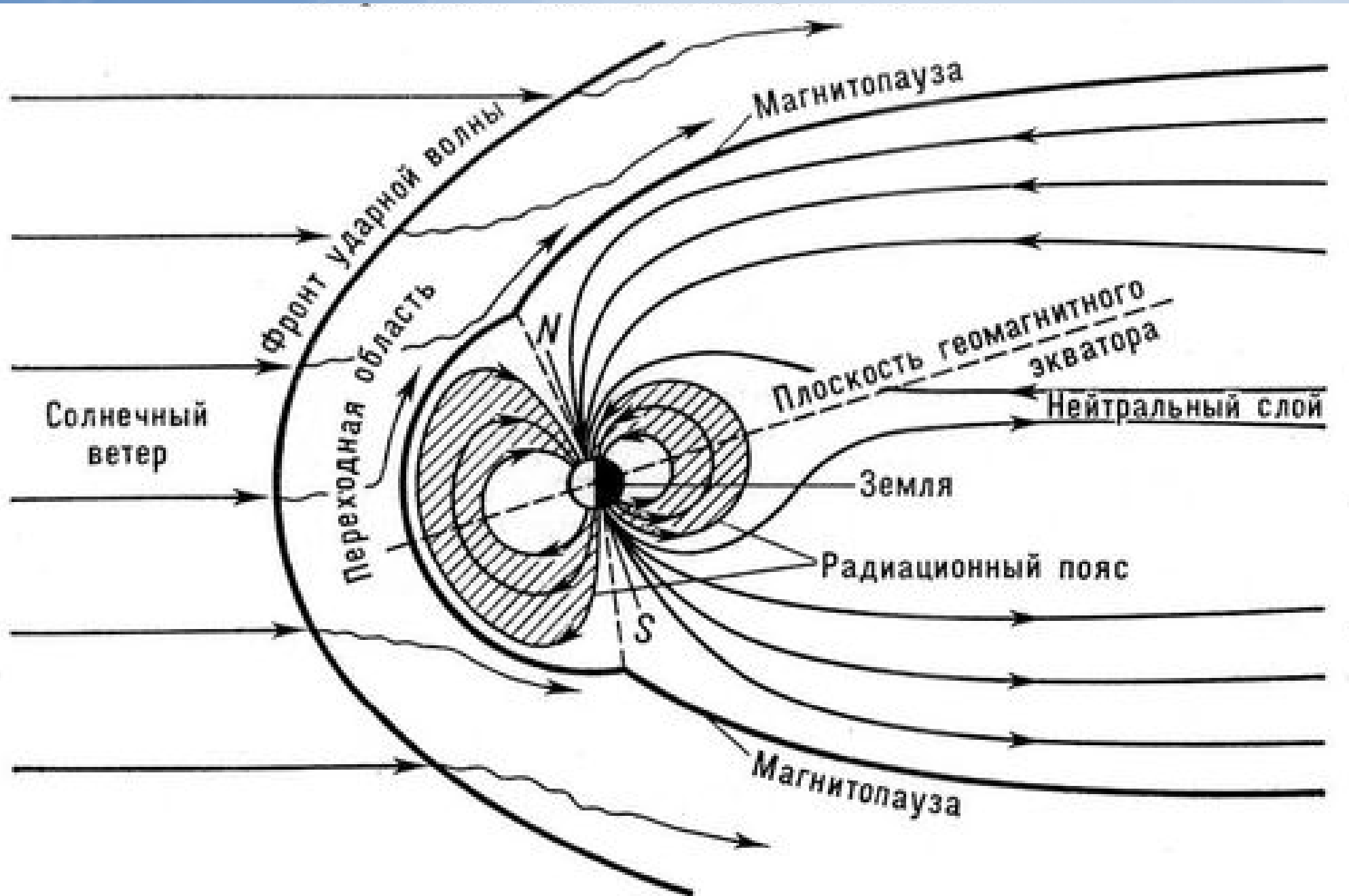
Сложение векторов



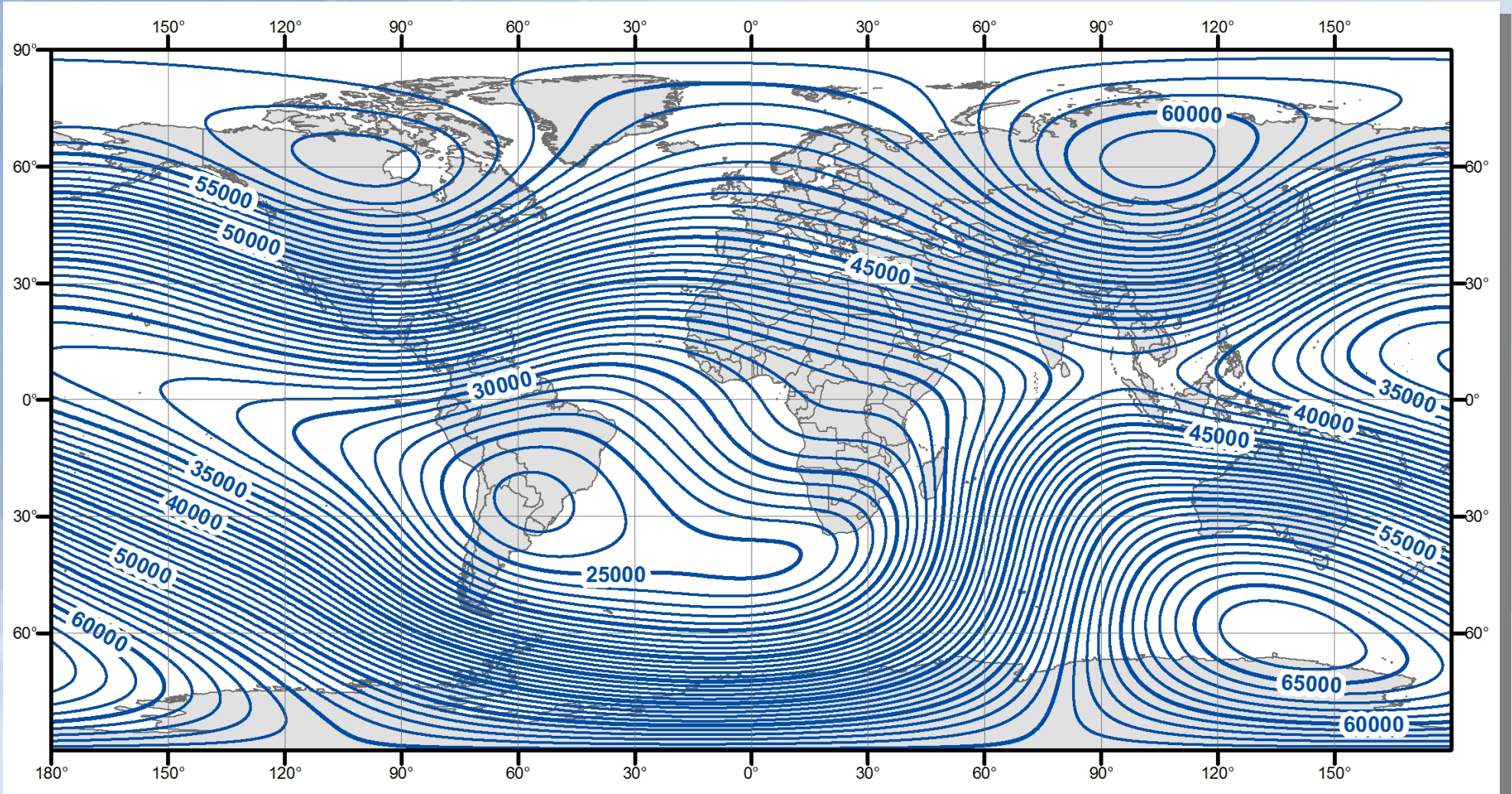
Векторное произведение векторов



Строение магнитосферы Земли



1.3. Нормальное и аномального магнитное поле



Составляющие магнитного поля Земли



$$\vec{T} = \vec{T}_0 + \vec{T}_m + \vec{T}_a + \vec{T}_e + \delta \vec{T}$$

$$\vec{T} = \vec{T}_0 + \vec{T}_m$$

– главное магнитное поле Земли

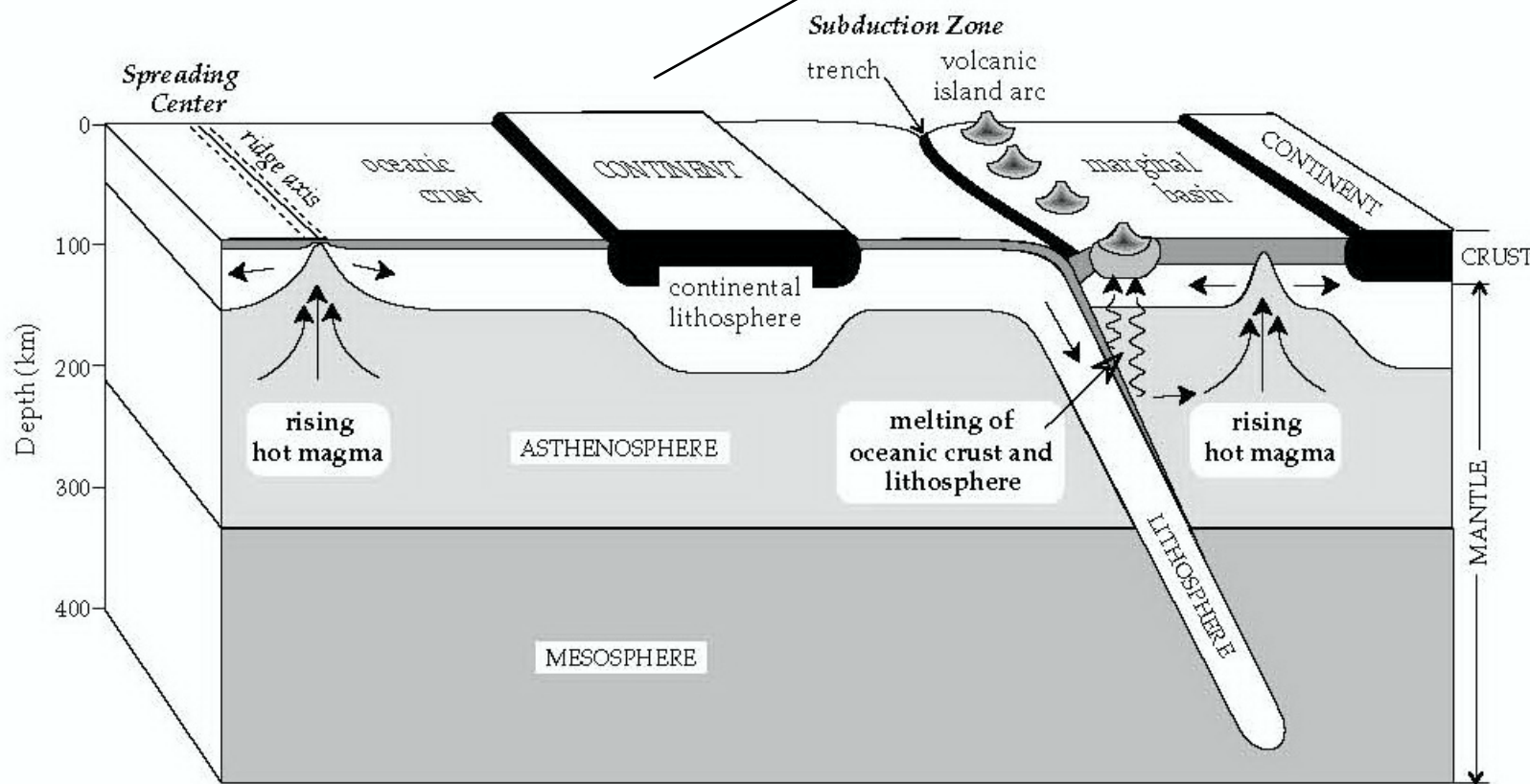
$$\vec{T}_a = \vec{T}_a^{\text{лок}} + \vec{T}_a^{\text{рег}}$$

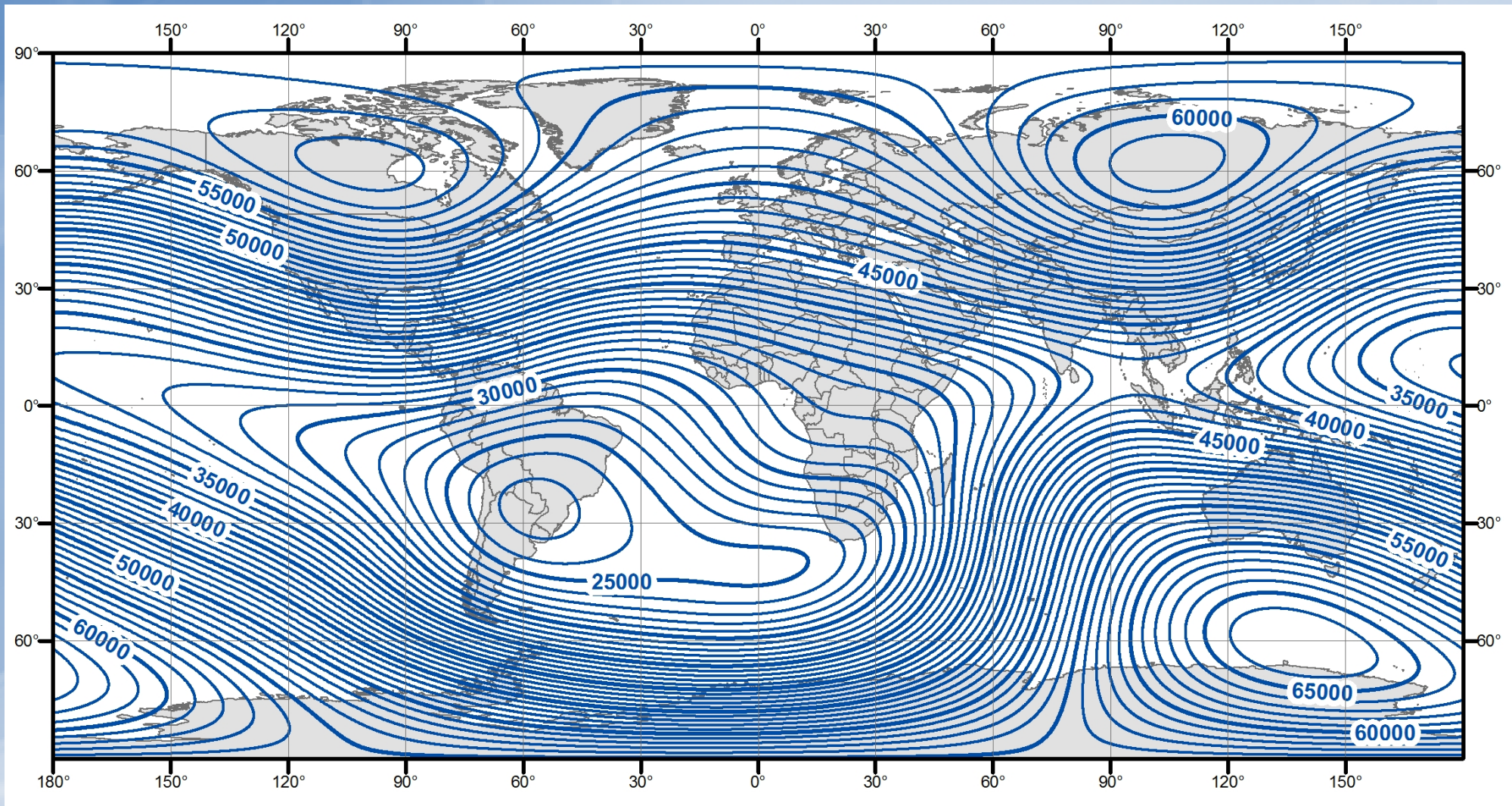
– аномальное поле

$$\vec{T}_n = \vec{T}_0 + \vec{T}_m + \vec{T}_e$$

– нормальное поле Земли

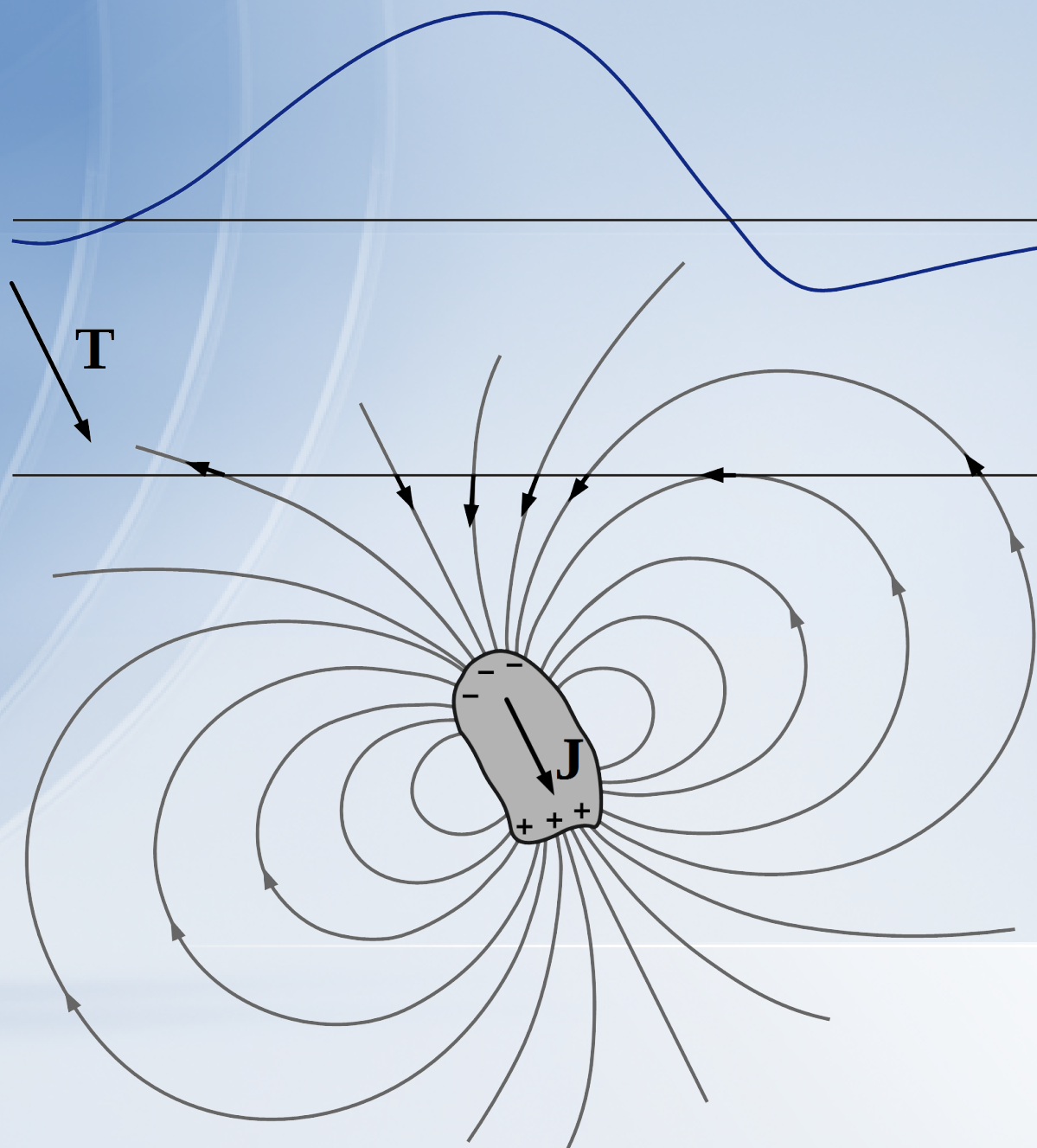
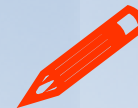
H_m



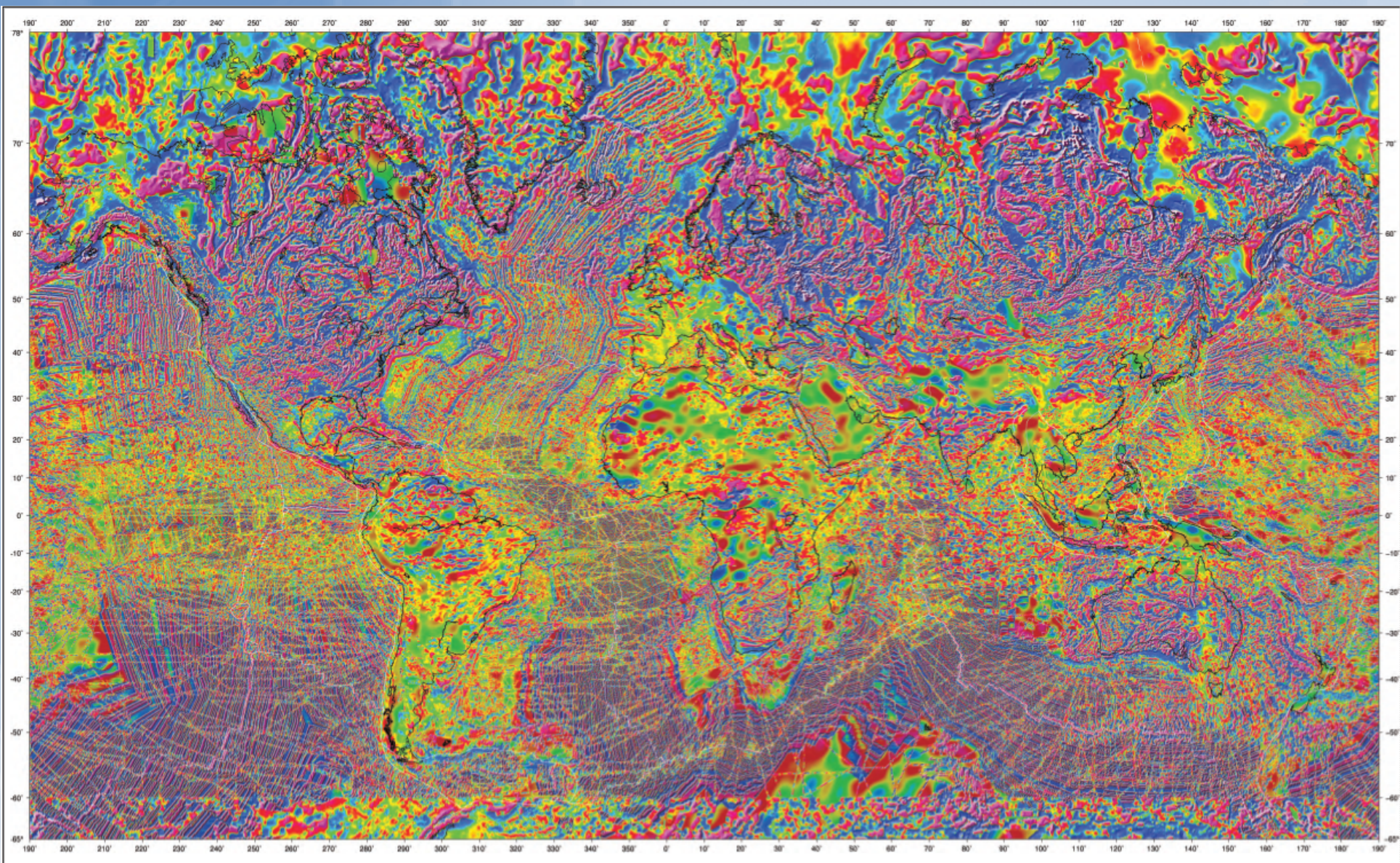


В структуре магнитного поля Земли хороши видны аномалии над материками.

\overline{H}_a

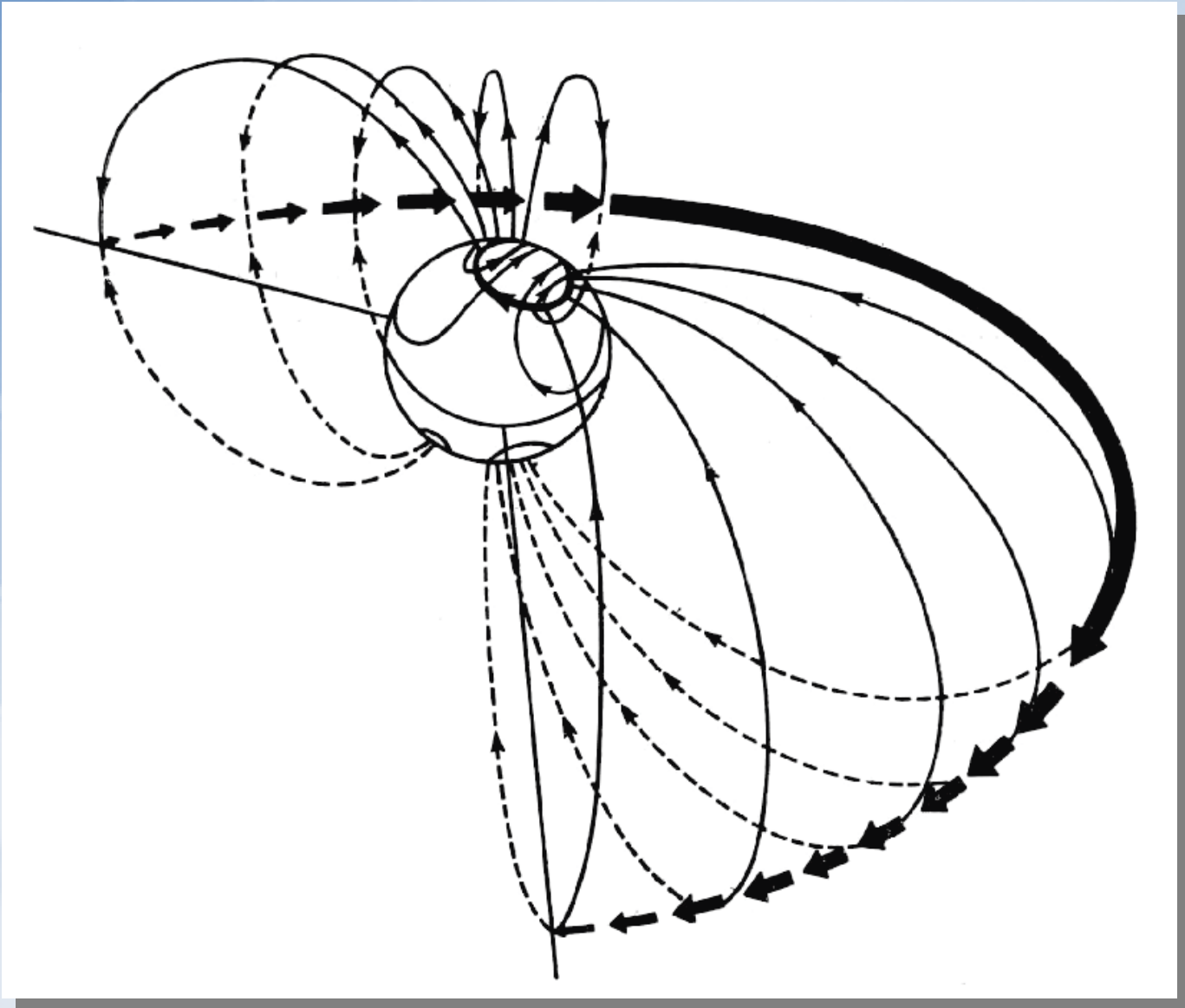


Магнитная аномалия от индуктивно намагниченного тела

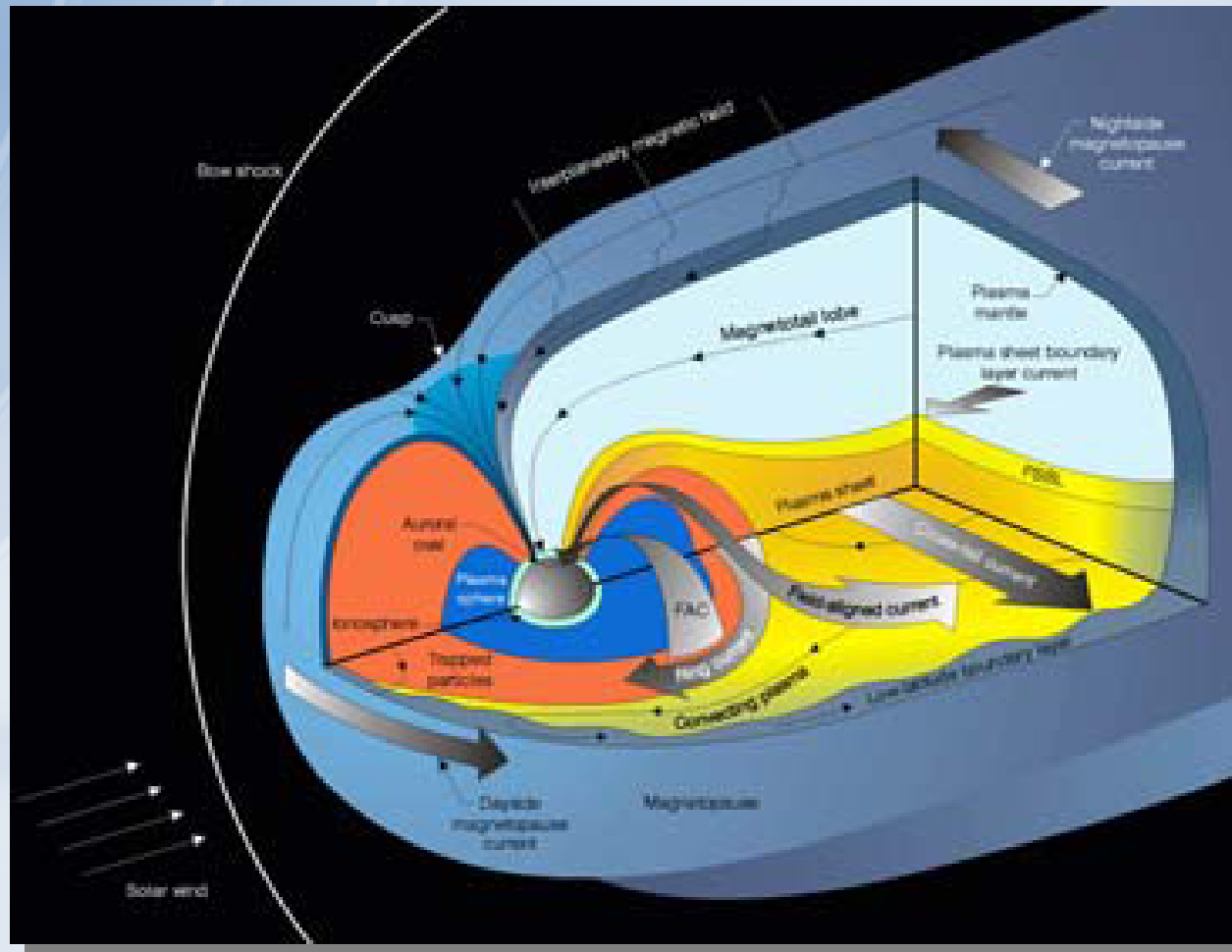


Карта аномального магнитного поля Земли

\vec{H}_e



1.4. Происхождение магнитного поля Земли



Постоянная намагниченность (модель Гильберта, 1600 г.)

Намагниченность, необходимую для создания поля, напряженность которого равна напряженности главного магнитного поля Земли, можно определить из формулы

$$M = JV,$$

если $M = 8,2 \cdot 10^{22}$ А/м, а $V \approx \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} 3,14 \cdot (6,37^6)^3 = 1 \cdot 10^{21}$ м³

$$J = \frac{M}{V} \approx 80 \text{ А/м}$$

Магнитная восприимчивость пород, имеющих такую намагниченность должна быть слишком велика, поэтому гипотеза не может соответствовать действительности.

Гипотеза ферромагнитного гироскопа

Высказана Альбертом Эйнштейном.

Суть: каждый атом ферромагнитного тела представляет из себя ферромагнитный гироскоп, который обладает кроме механического момента еще и магнитным моментом, совпадающим по направлению с механическим. Поэтому, при вращении какого-либо ферромагнитного тела, например стрежня, атомы-гироскопы будут обладать механическим моментом, который будет стремиться сориентировать свою ось по направлению оси вращения тела и последнее намагничивается. Возникающее магнитное поле можно оценить по формуле

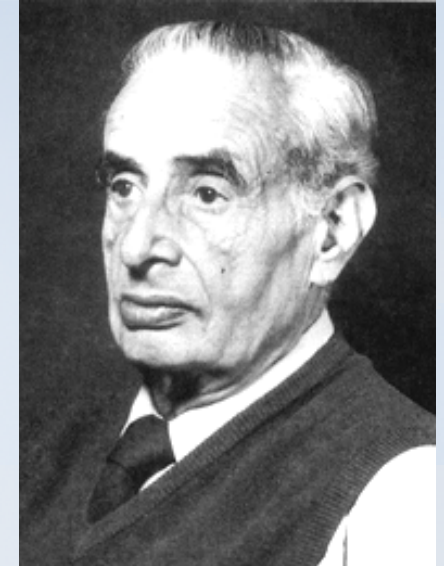
$$H = ct_e n / e$$

Где e – заряд электрона, t_e – масса электрона, n – число оборотов стрежня в секунду, c – скорость света.

Опыты показали, что намагниченность получается близкой к теоретической. Тогда, принимая для Земли $n = (1/8,6) \cdot 10^{-4}$ 1/с, получим величину намагниченности $J \approx 2 \cdot 10^{-8}$ А/м, что существенно меньше намагниченности Земли. Поэтому данная теория себя не оправдала.

Гипотеза Вальтера Эльзассера

Эльзассер предположил, что внутри ядра вследствие разности температур возникает вихревое движение, первоначально направленное вертикально, то есть по нормали к поверхности Земли. Под влиянием силы Кориолиса, которая перпендикулярна скорости движения жидкости, вихревые кольца располагаются в среднем в плоскостях, перпендикулярных оси вращения.



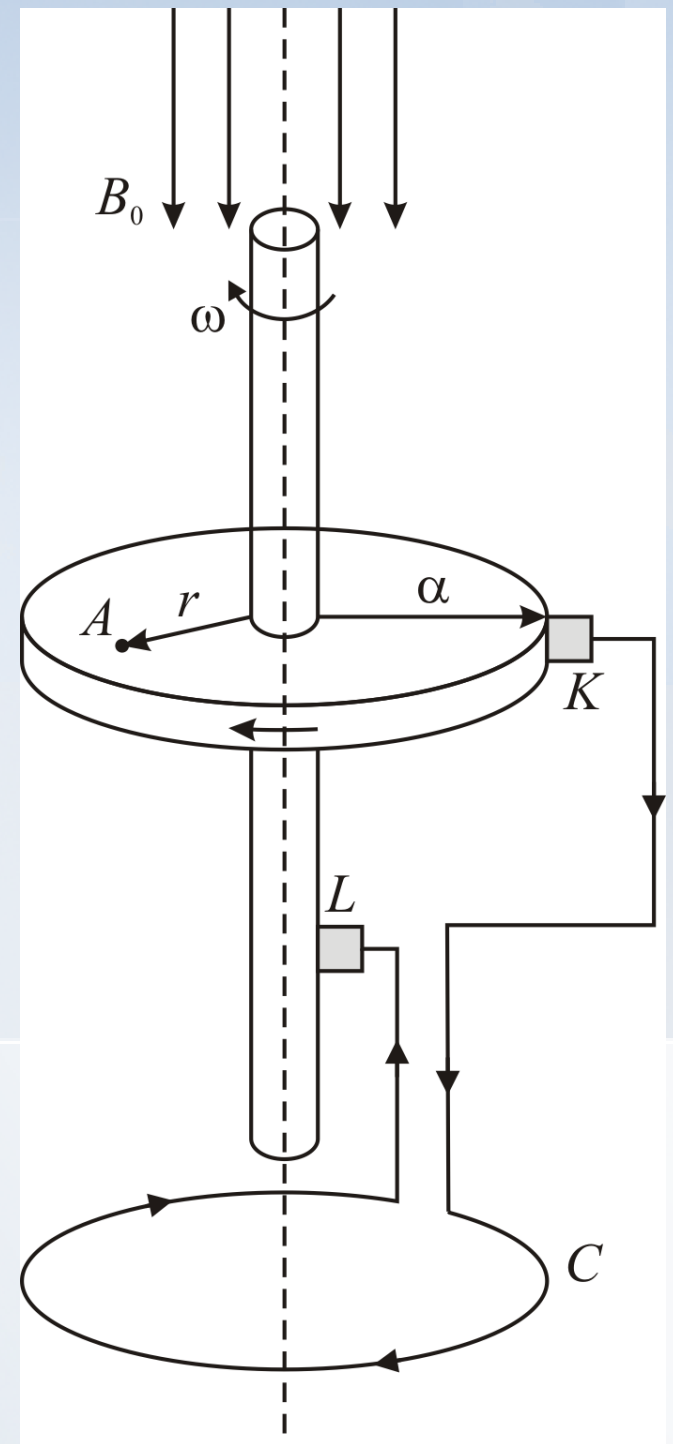
Вальтер Мориц
Эльзассер

Теория магнитного гидродинамо

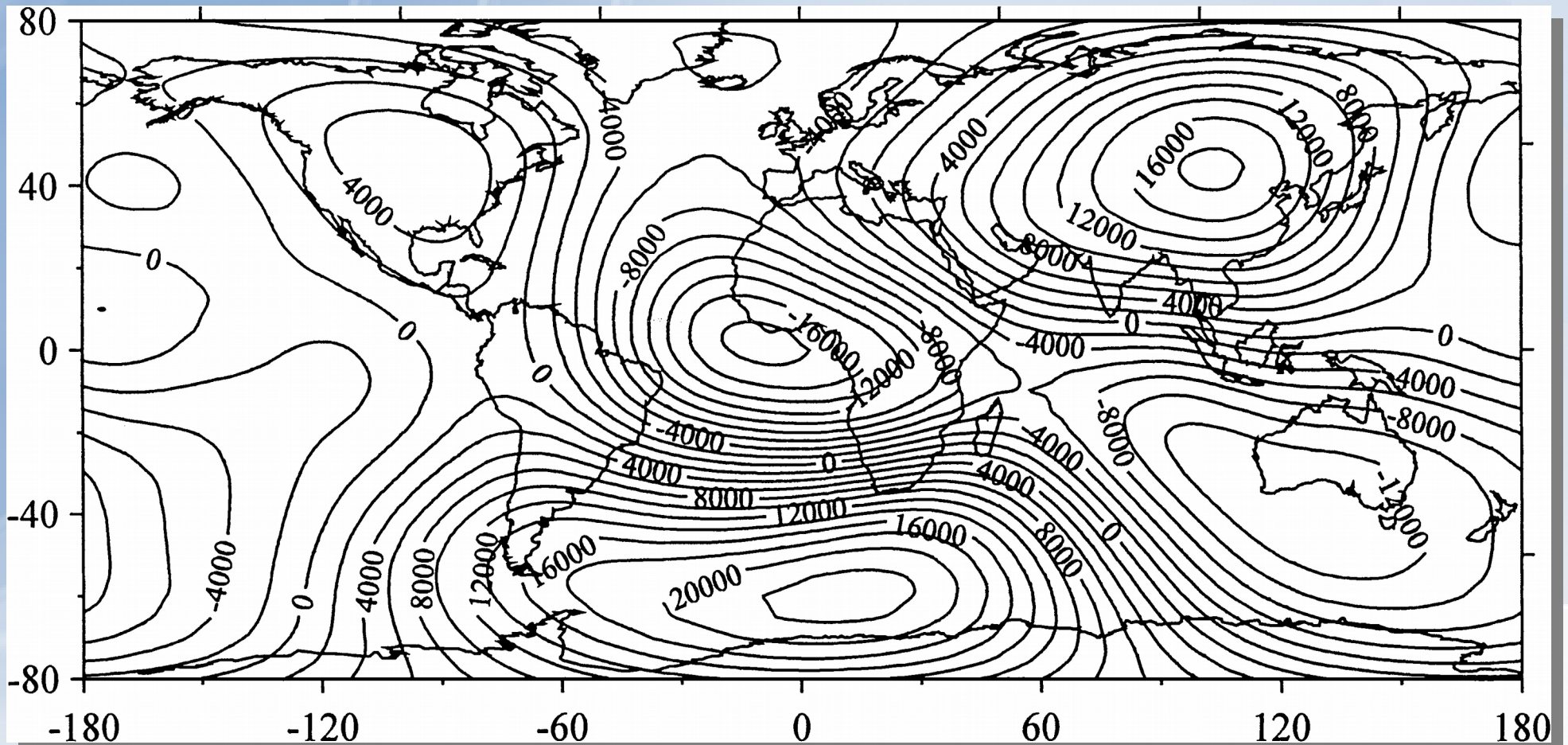
Гипотеза была высказана советским физиком Яковом Френкелем, который предположил, что образование токов в ядре должно происходить путем индукции при вихревом движении металлических масс ядра в магнитном поле, которое создается самими токами и непрерывно ими регенерируется. Подобный процесс происходит в динамо-машинах, поэтому сама теория получила название *динамо-эффекта*.



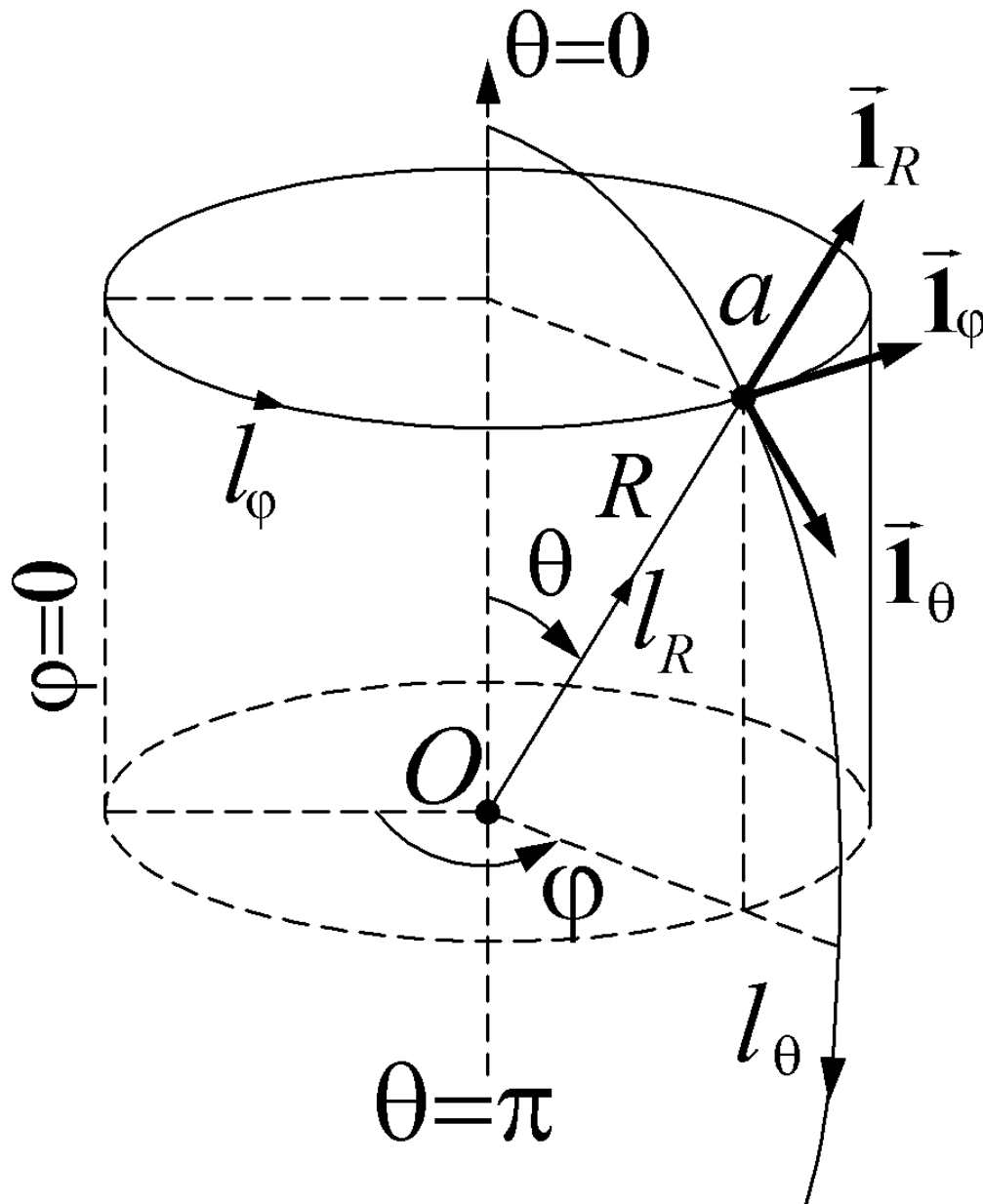
Яков Ильич
Френкель



1.5. Аналитическое представление и модели МПЗ



Сферическая система координат



Из декартовой системы x, y, z

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\theta = \arctg(\sqrt{x^2 + y^2} / z)$$

$$\varphi = \arctg(y/x)$$

Из цилиндрической системы r, φ, z

$$R = \sqrt{r^2 + z^2}$$

$$\theta = \arctg(r/z)$$

$$\varphi = \varphi$$

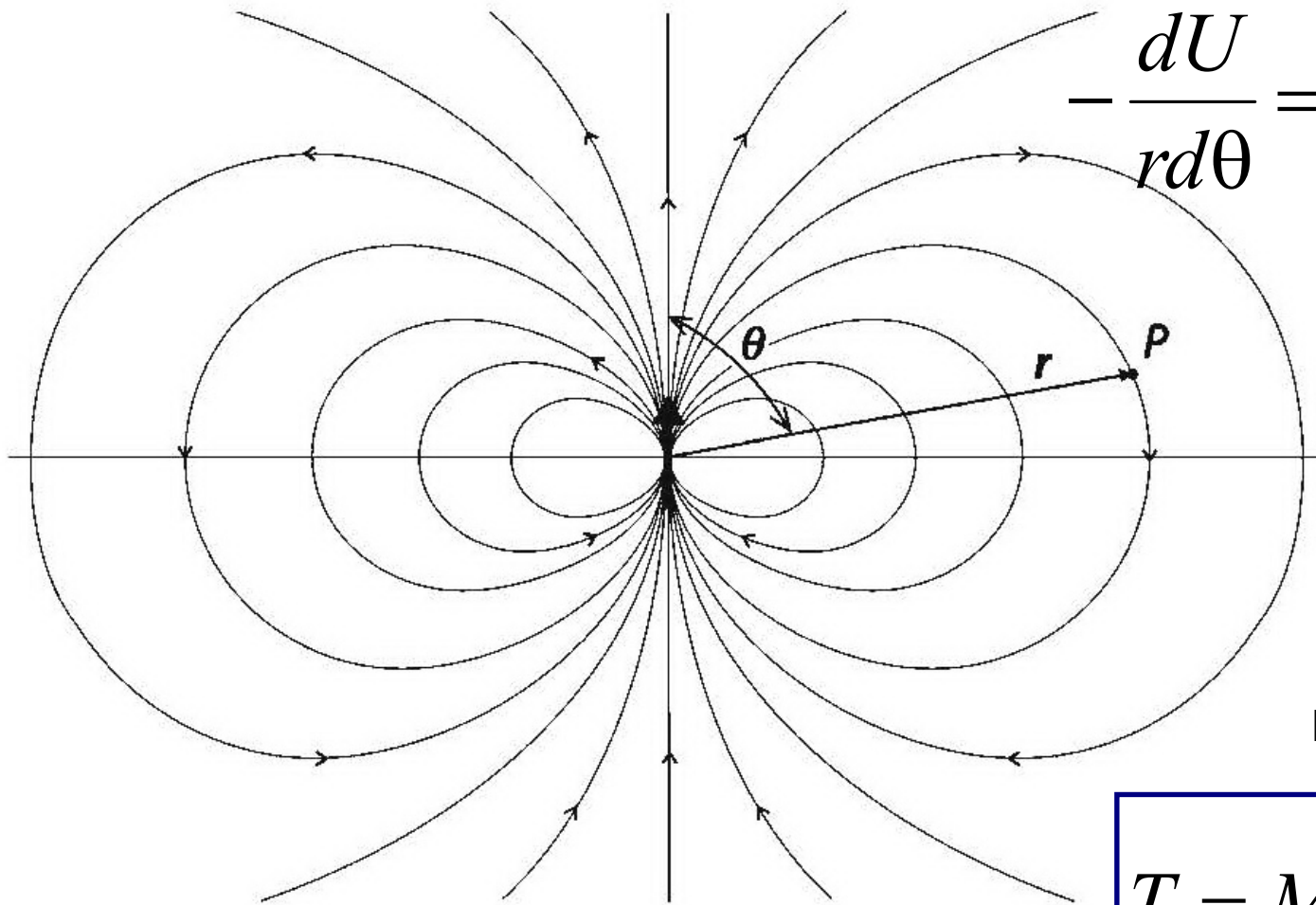
Поле диполя в сферических координатах

$$U = M \frac{1}{r^2} \cos \theta$$

Компоненты

$$-\frac{dU}{dr} = Z = 2M \frac{1}{r^3} \cos \theta$$

$$-\frac{dU}{rd\theta} = H = M \frac{1}{r^3} \sin \theta$$



Полный вектор

$$T = M \frac{1}{r^3} \sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta}$$

Модели нормального магнитного поля Земли

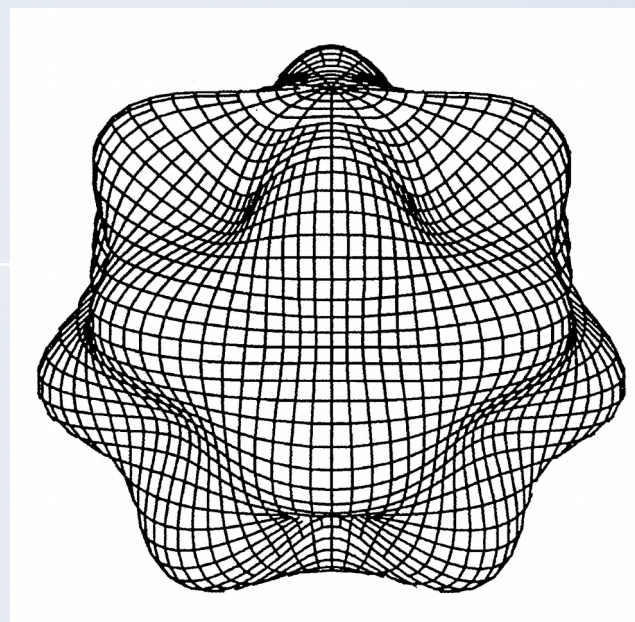
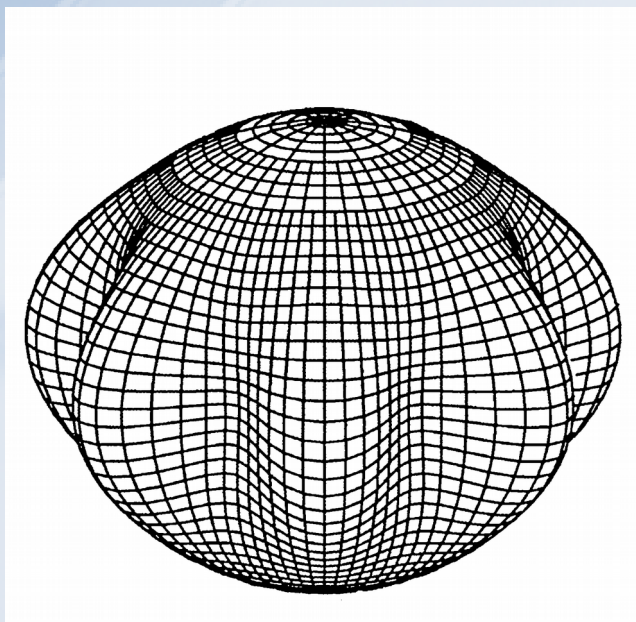
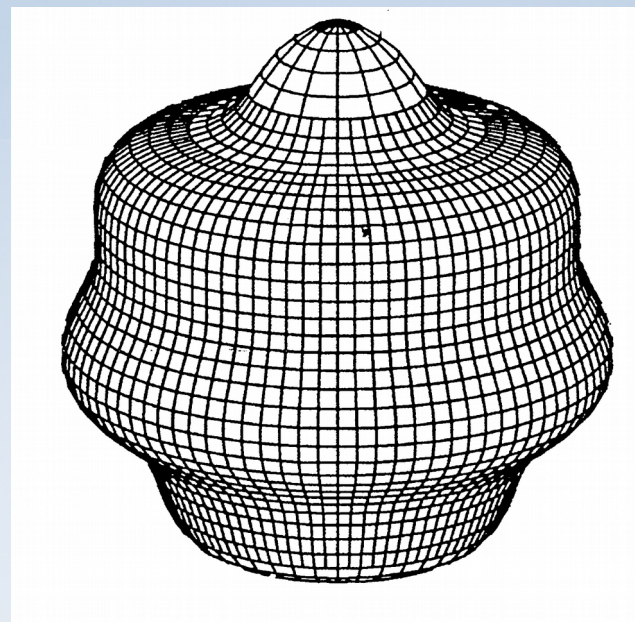
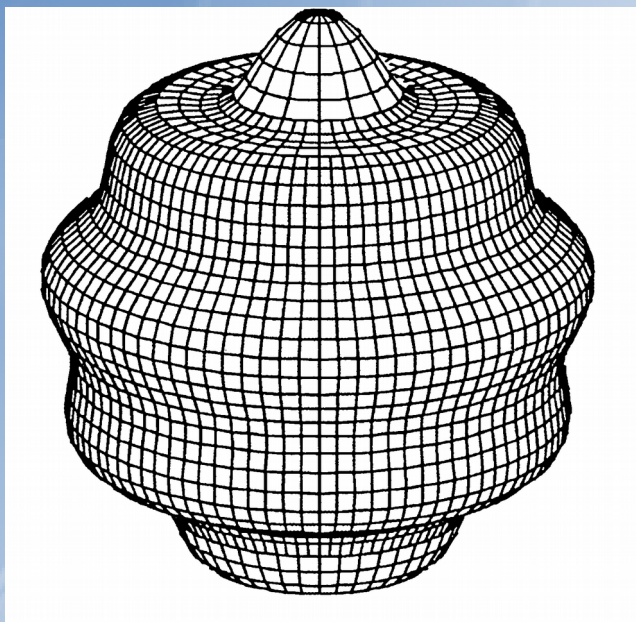
Эмпирические
(IGRF)

Полуэмпирические
(TMFM)

Для расчетов в IGRF используется ряд Гаусса:

$$U(r, \theta, \lambda, t) = \sum_{n=1}^N \left(\frac{R}{r} \right)^{n+1} \sum_{m=0}^n \left(g_n^m(t) \cos m\lambda + h_n^m(t) \sin m\lambda \right) P_n^m \cos \theta$$

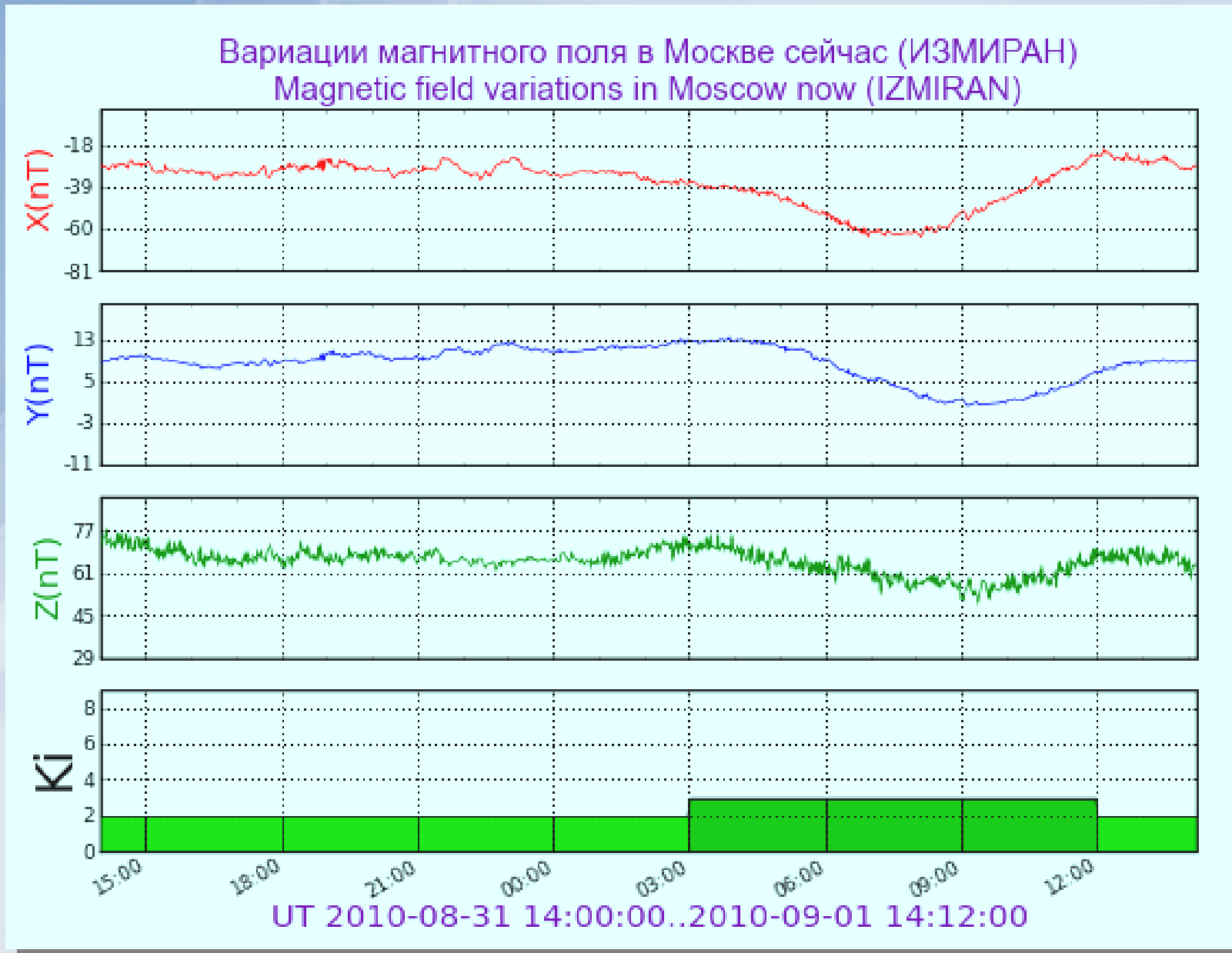
Некоторые сферические гармоники дипольного магнитного поля



Поколения модели IGRF

Поколение модели	Год принятия	Предел расчетов	По данным
1	2	3	4
IGRF-12	2015	1900-2020	1945-2015
IGRF-11	2010	1900-2015	1945-2010
IGRF-10	2005	1900-2010	1945-2000
IGRF-9	2003	1900-2005	1945-2000
IGRF-8	1999	1900-2005	1945-1990
IGRF-7	1995	1900-2000	1945-1990
IGRF-6	1991	1945-1995	1945-1985
IGRF-5	1987	1945-1990	1945-1980
IGRF-4	1985	1945-1990	1965-1980
IGRF-3	1981	1965-1985	1965-1975
IGRF-2	1975	1955-1980	-
IGRF-1	1969	1955-1975	-

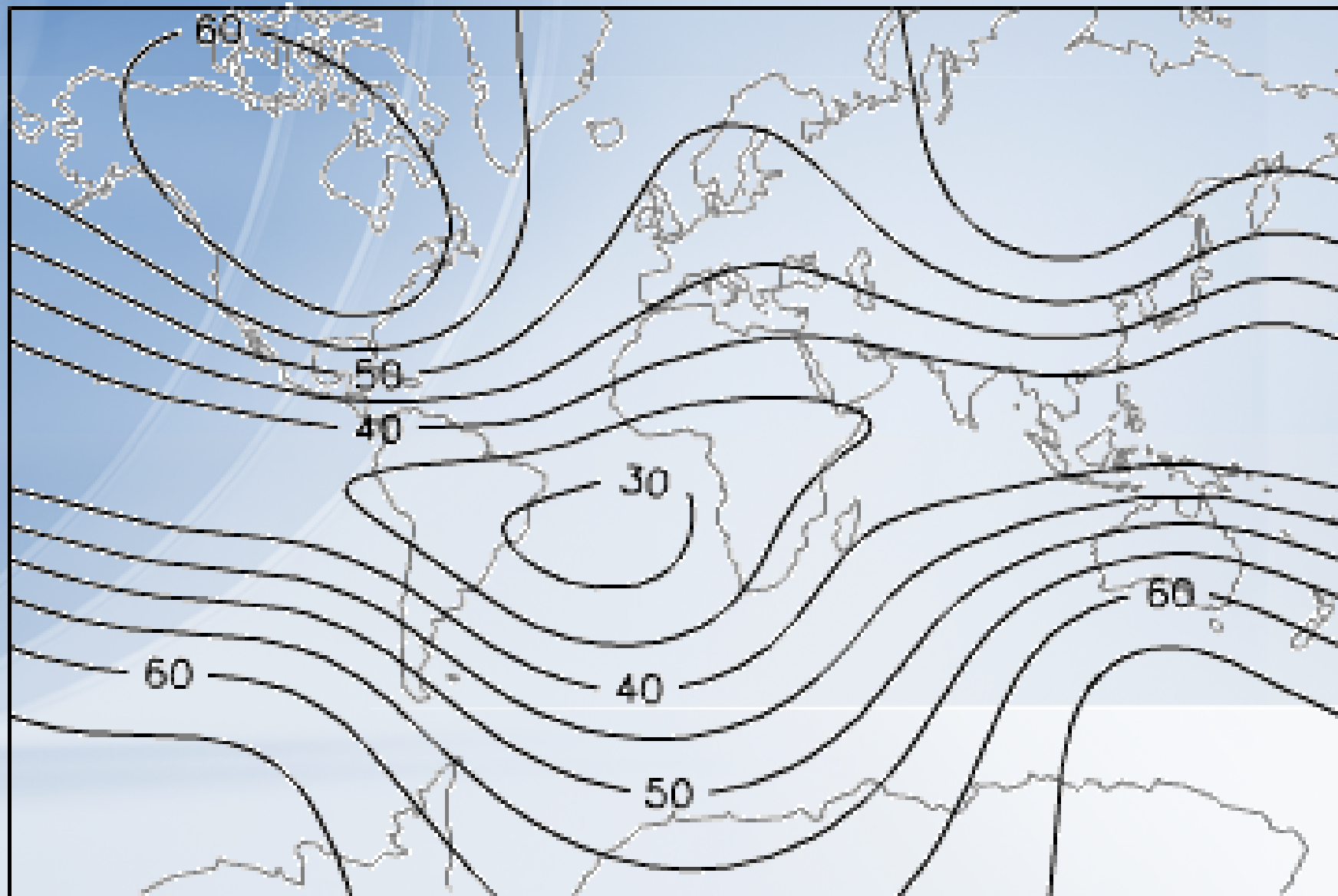
1.6. Вариации магнитного поля Земли



		Вариация	Период	нТл
Магнитные бури	Возмущенные	Периодические: возмущенные солнечносуточные и короткопериодические колебания (КПК)	24 ч 0,01 с – 100	1 - 100
		Непериодические: аperiодическая возмущенная вариация.	0,3 – 150 сек	0,1 – 300
		Бухтообразные	15 мин – 3 ч	До 1000
		Неправильные флюктуации – это следующие друг за другом изменения элементов земного магнетизма с различным периодом и амплитудой.	0,1 – 5000 сек	0,1 – 100
Быстрые	Спокойные	Солнечносуточные	24 ч	70
		Лунносуточные	25 ч	5
		Годовые	1 год	30
Медленные		Вековые вариации	100 лет	100

1840

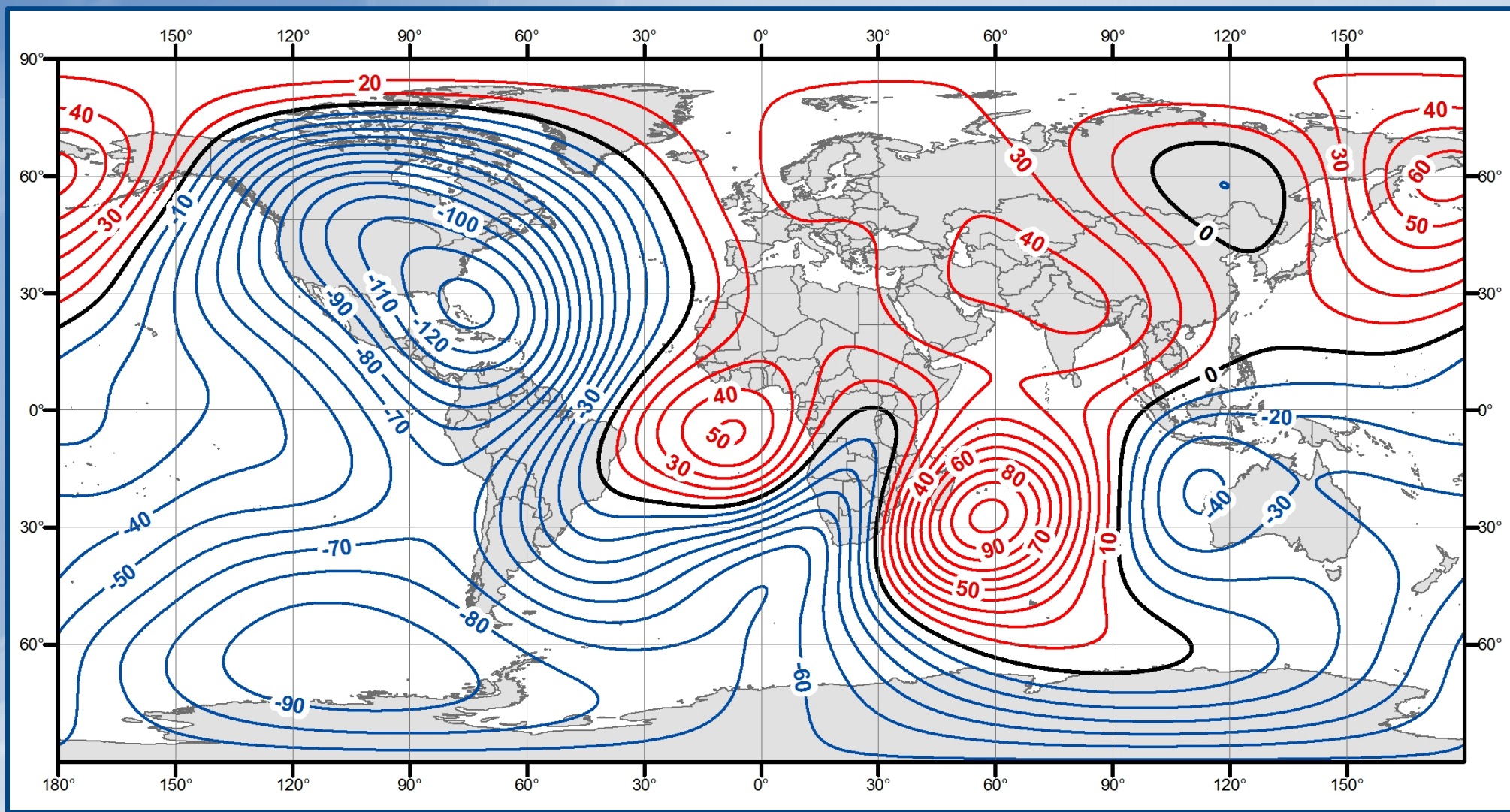
Total Intensity (microTesla)



<http://geomag.usgs.gov>

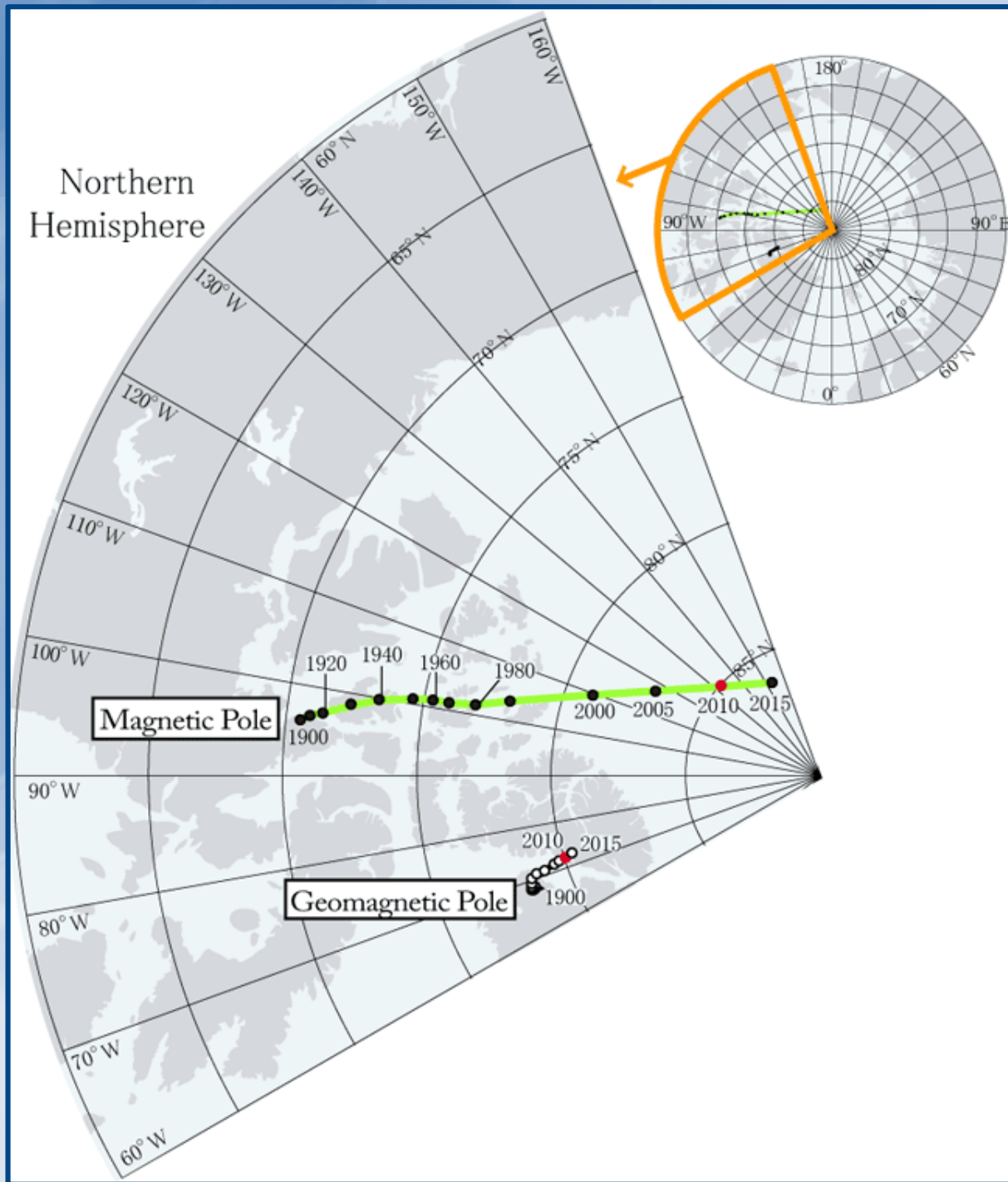
Model by A. Jackson, A. R. T. Jonkers, M. R. Walker,
Phil. Trans. R. Soc. London A (2000), 358, 957–990.

Карта изопор T для эпохи 2010–2015 гг. по модели WMM2010 [по данным NOAA].



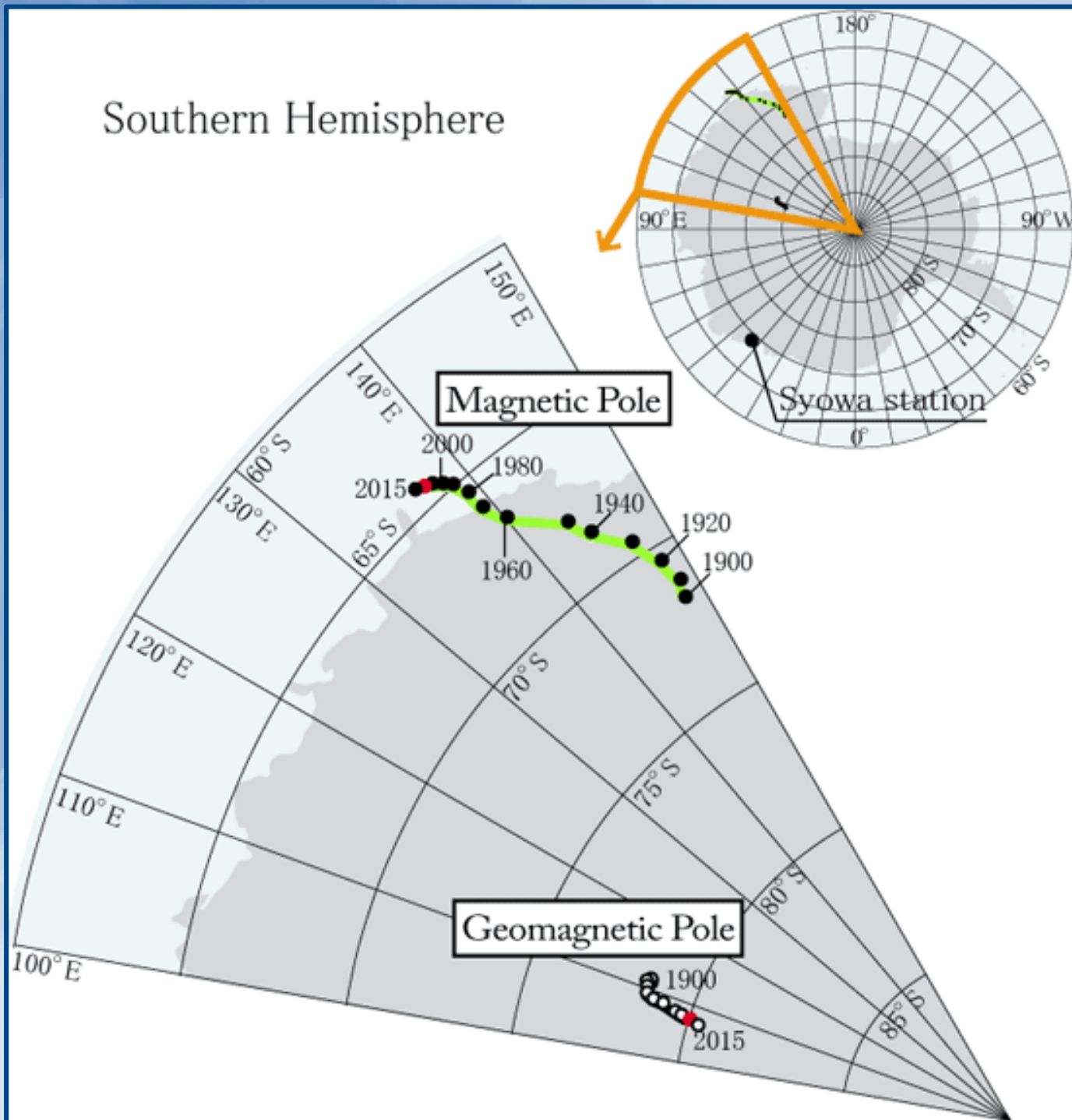
Изопора – линия равных скоростей изменения полного вектора магнитного поля.

Центрами или **фокусами векового** хода называют точки, где величина векового хода достигает максимального значения.



Миграция южного (условно северного) магнитного и геомагнитного полюса в северном полушарии (по модели IGRF-11).

Southern Hemisphere



Миграция северного (условно южного) магнитного и геомагнитного полюса в северном полушарии (по модели IGRF-11).



Конец главы 1