



**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА, ИОНОСФЕРЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН им. Н.В.Пушкова**

**Зверева Т. И.
Динамика главного магнитного поля Земли с
2001 по 2009 годы по данным спутника
CHAMP**

**Научная конференция: Базы данных, инструменты и информационные
основы полярных геофизических исследований 22-26 мая 2012 года,
ИЗМИРАН**

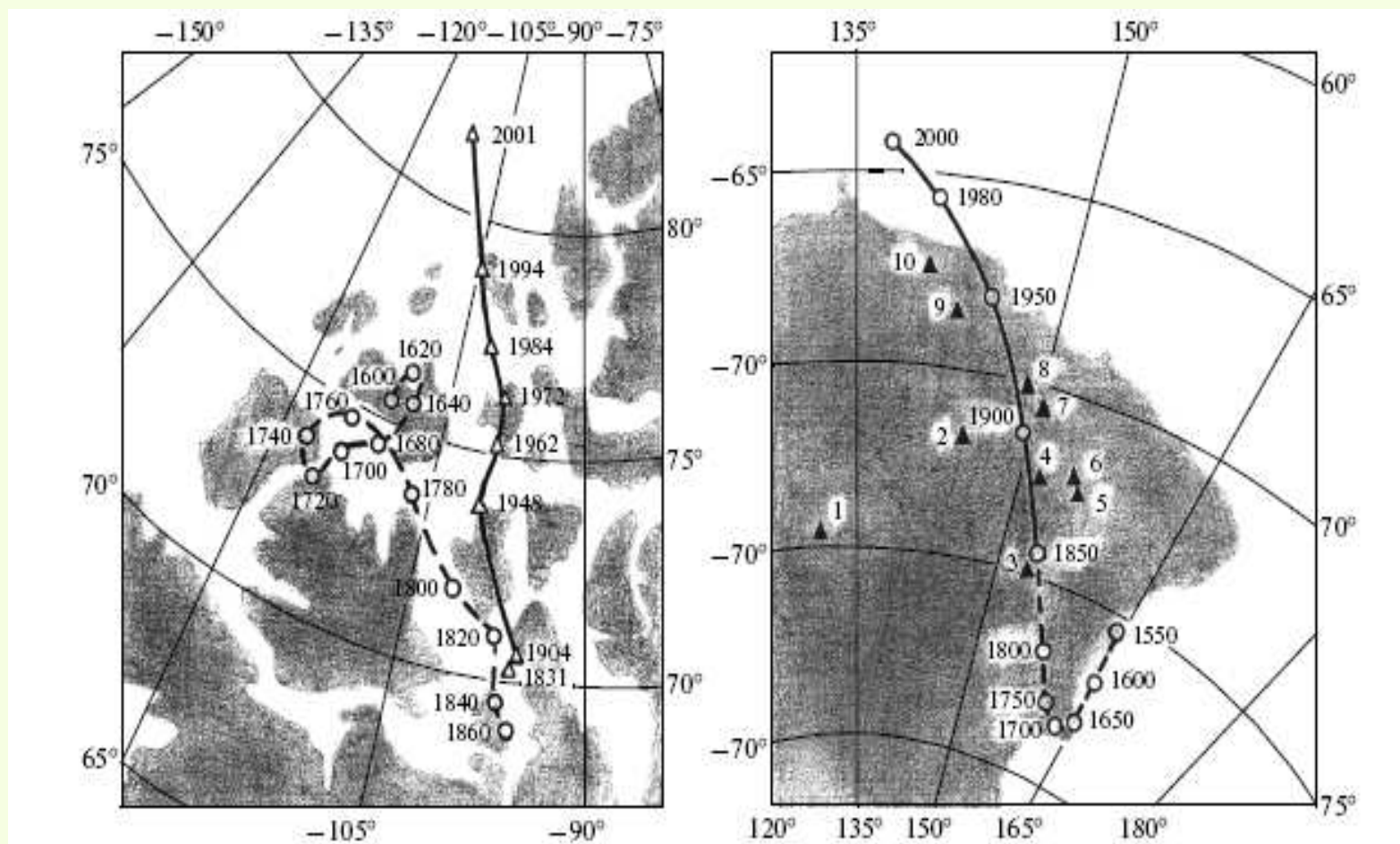
Метод сферического гармонического анализа

исходит из предположения, что магнитное поле потенциально и потенциал главного магнитного поля можно представить в виде разложения по сферическим функциям

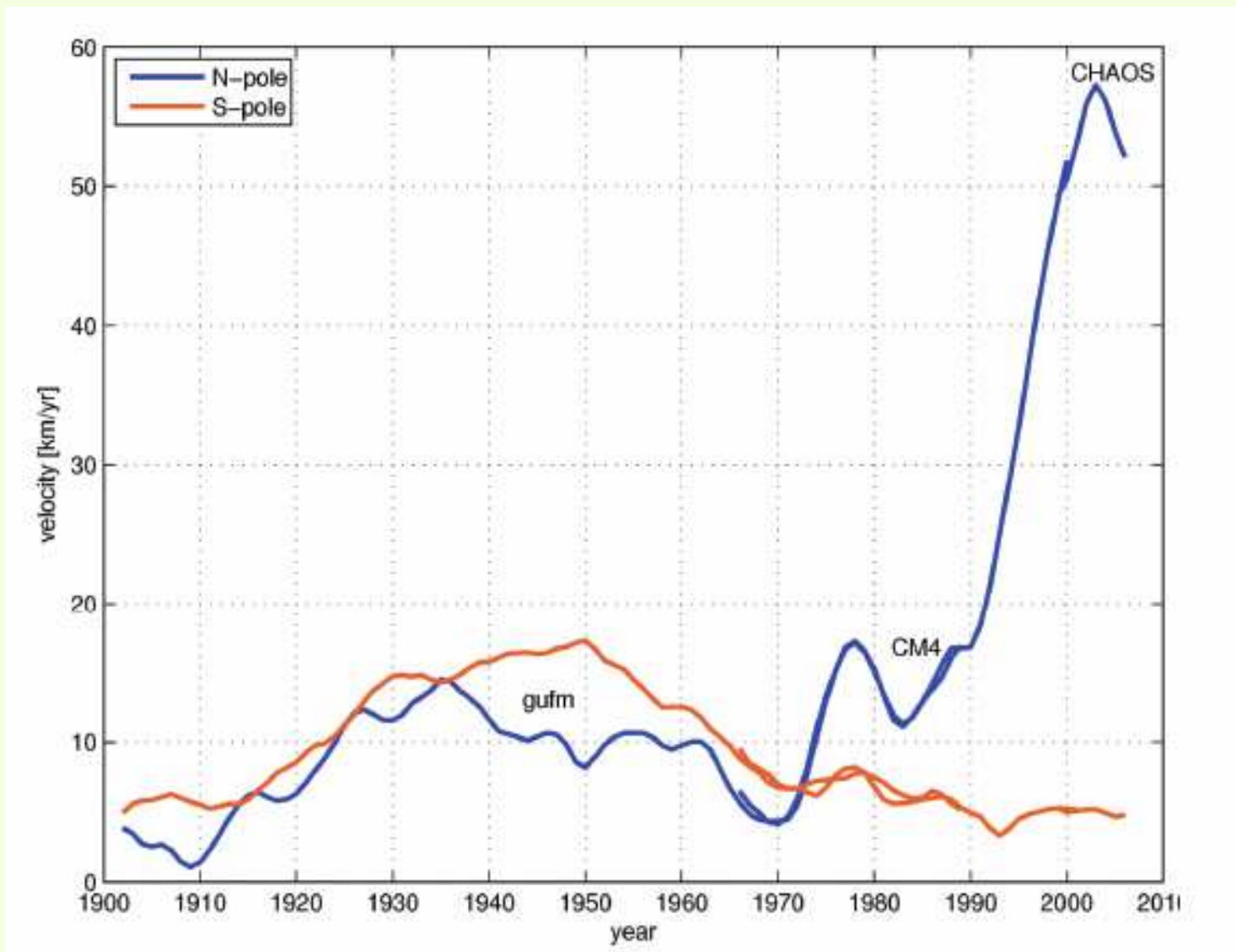
$$U(r, \theta, \lambda) = a \cdot \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) \times P_n^m(\cos \theta)$$

$$X = -\frac{1}{r} \frac{dU}{d\theta}; \quad Y = \frac{-1}{r \sin \theta} \frac{dU}{d\lambda}; \quad Z = -\frac{dU}{dr},$$

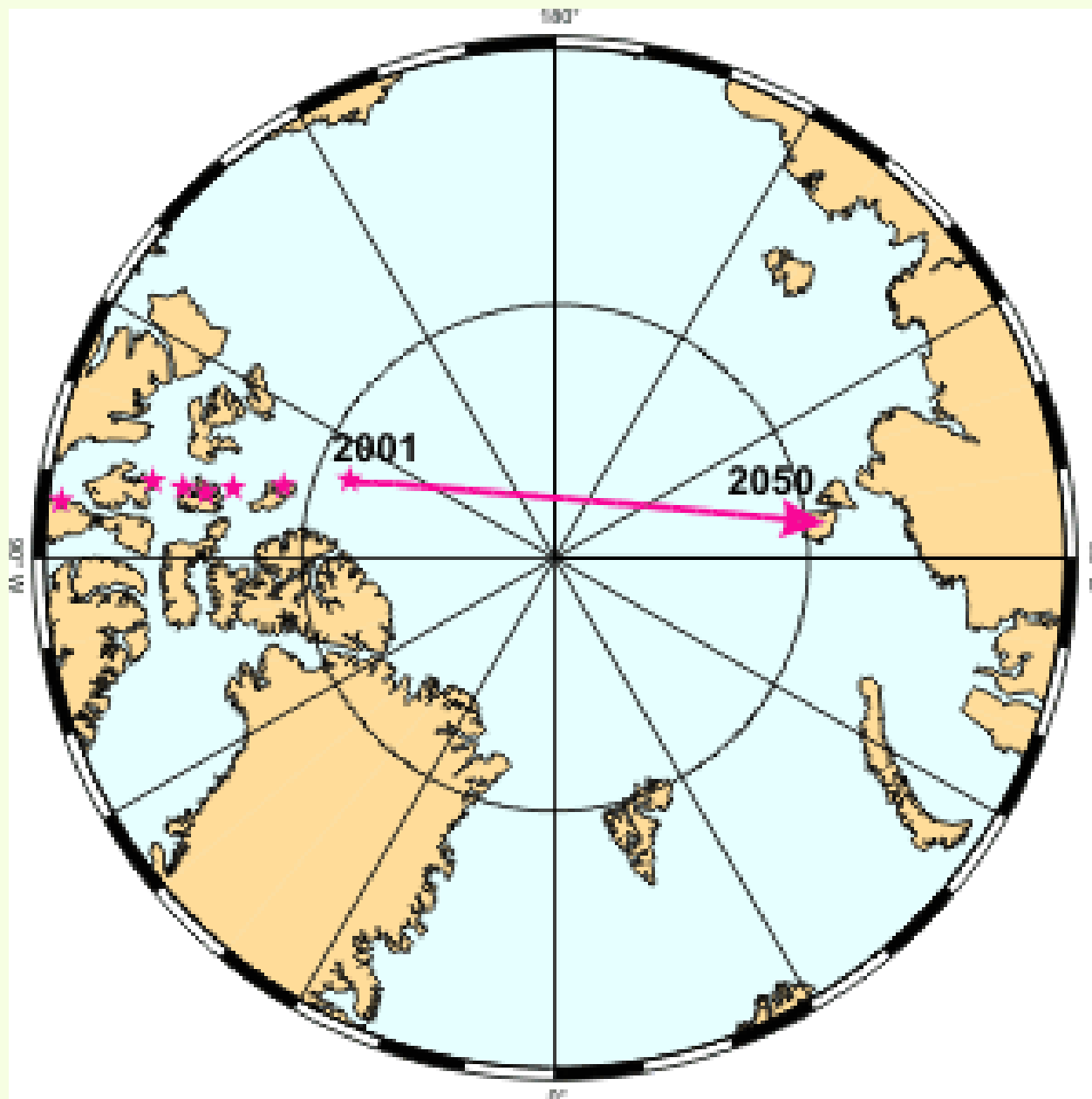
где U - геомагнитный потенциал в точке с географическими координатами r, θ, λ ; X, Y и Z представляют собой северную, восточную и вертикальную, направленную вниз, компоненты поля; a - средний радиус Земли; $P(\cos \theta)$ - присоединенные функции Лежандра степени n и порядка m в нормировке Шмидта; g и h - постоянные коэффициенты



Перемещение Северного магнитного полюса с 1600 по 2001 гг. (слева). Сплошная линия – движение измеренного магнитного полюса (с 1831 по 2001 гг.), штриховая – реконструкция дрейфа магнитного полюса с 1660 по 1860 гг. Реконструкция дрейфа южного магнитного полюса за 450 лет (справа). Треугольниками обозначены места, в которых положение магнитного полюса определялось измерениями.

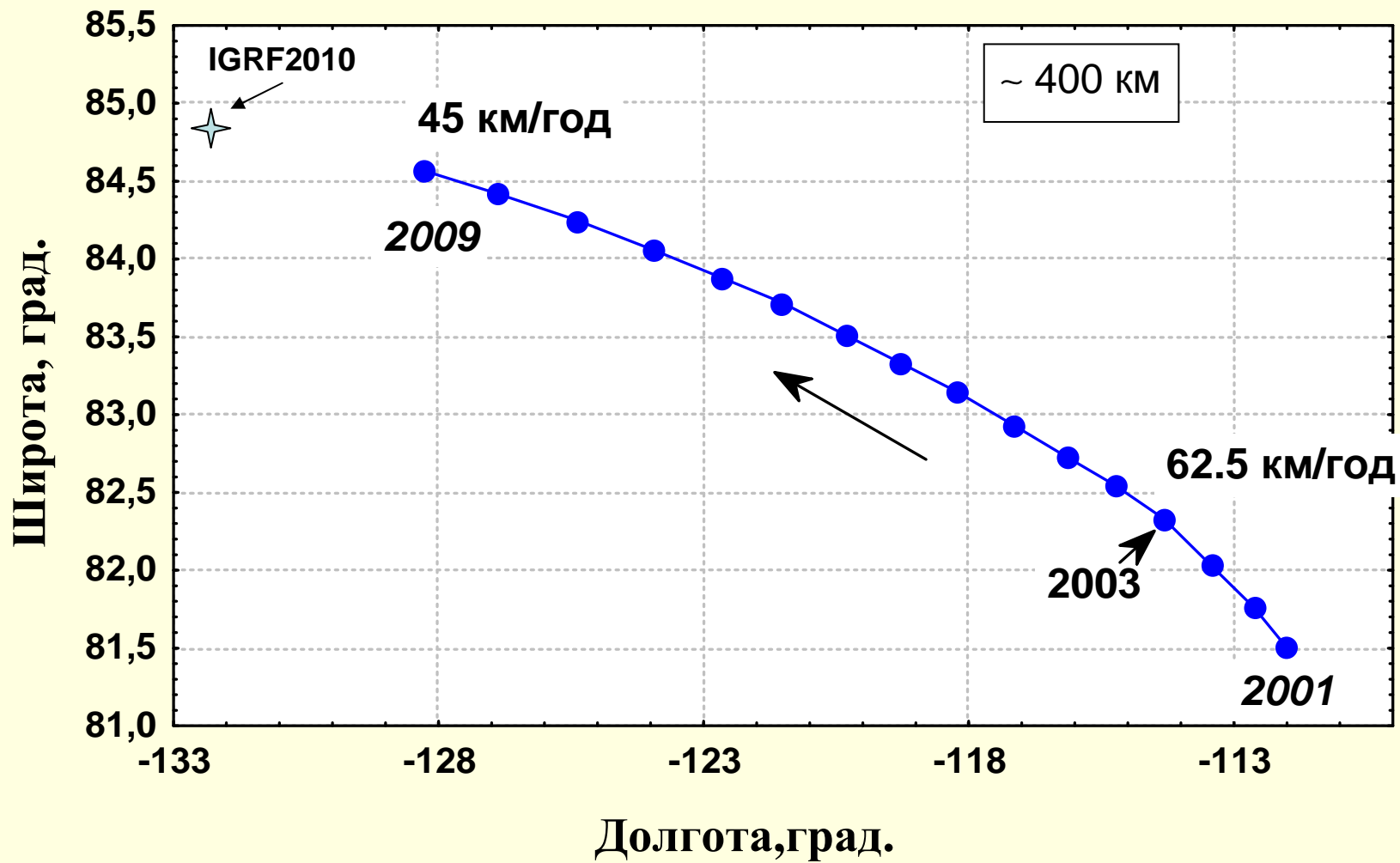


Скорость движения северного (синяя кривая) и южного (красная кривая) полюсов за последнее с небольшим столетие [Olsen,2007]₄

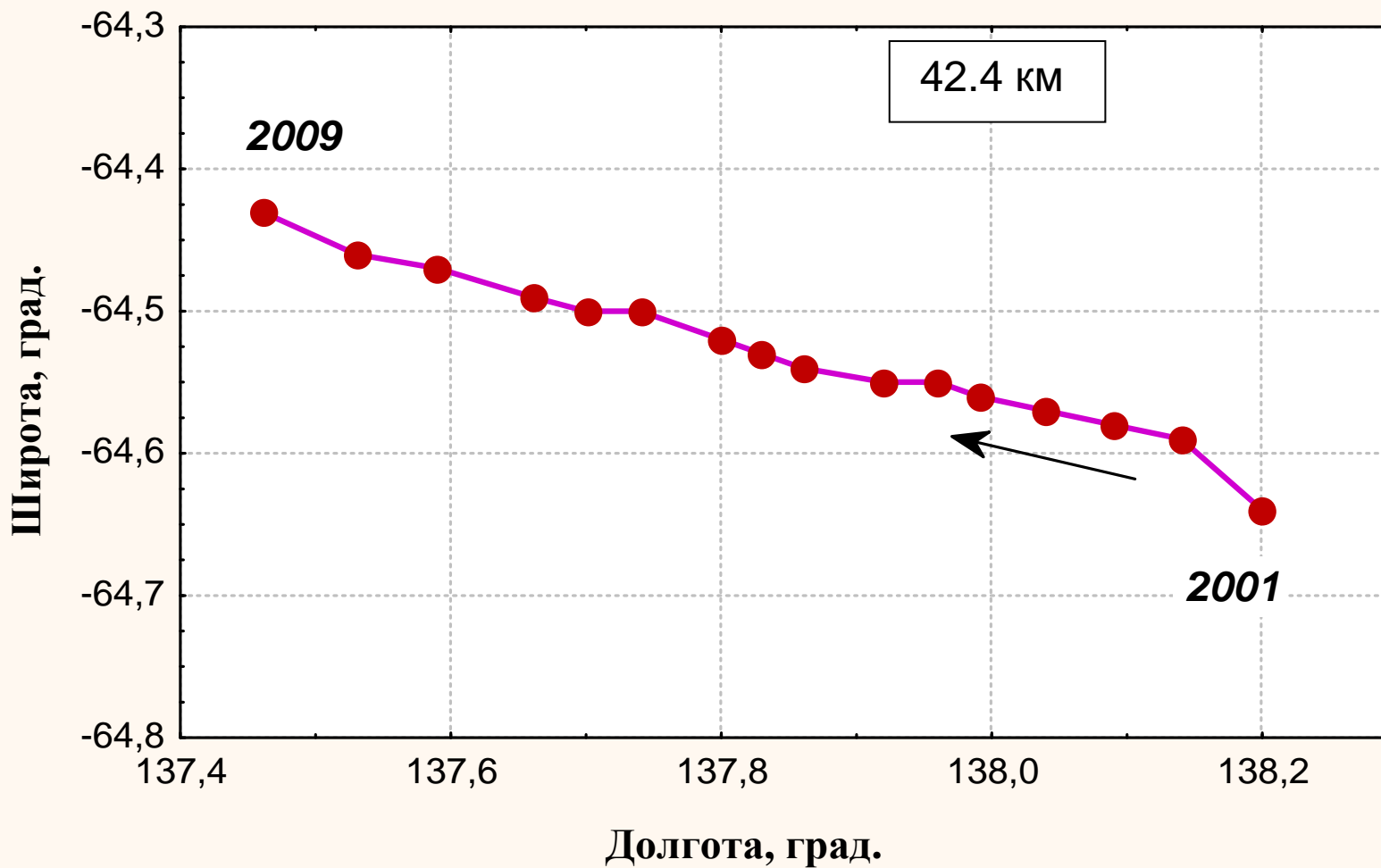


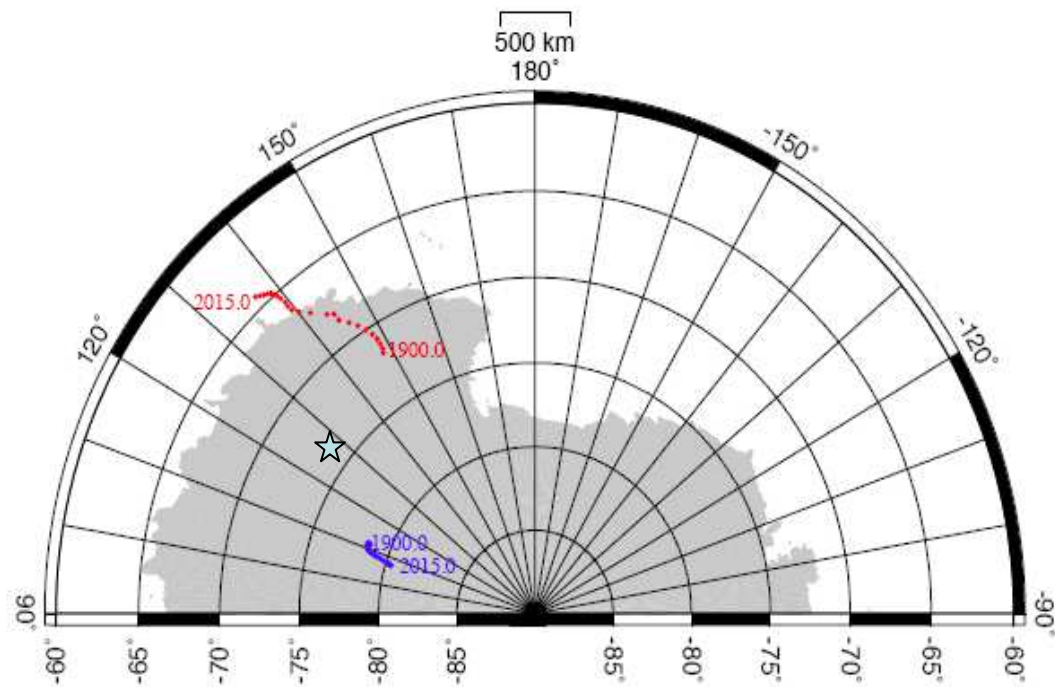
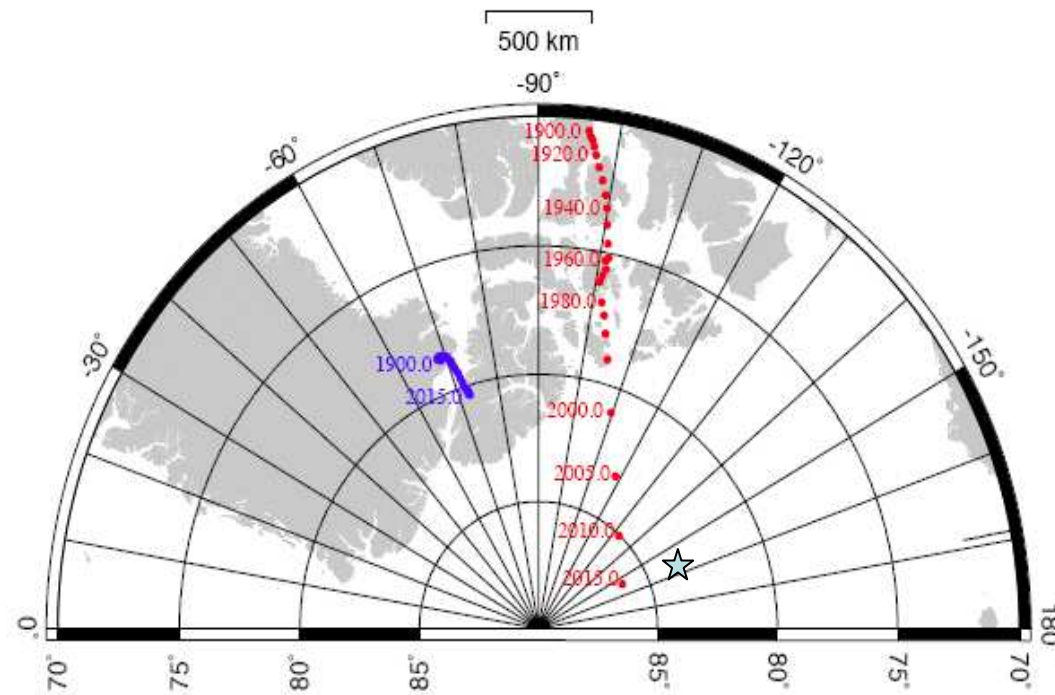
Примерно с 1970 северный магнитный полюс ускорился и сейчас движется в более чем 40 км в год. Если полюс сохранит свою скорость и направление, то достигнет Сибири примерно через 50 лет.
[Geological Survey of Canada]

Движение Северного магнитного полюса с 2001 по 2009 гг.

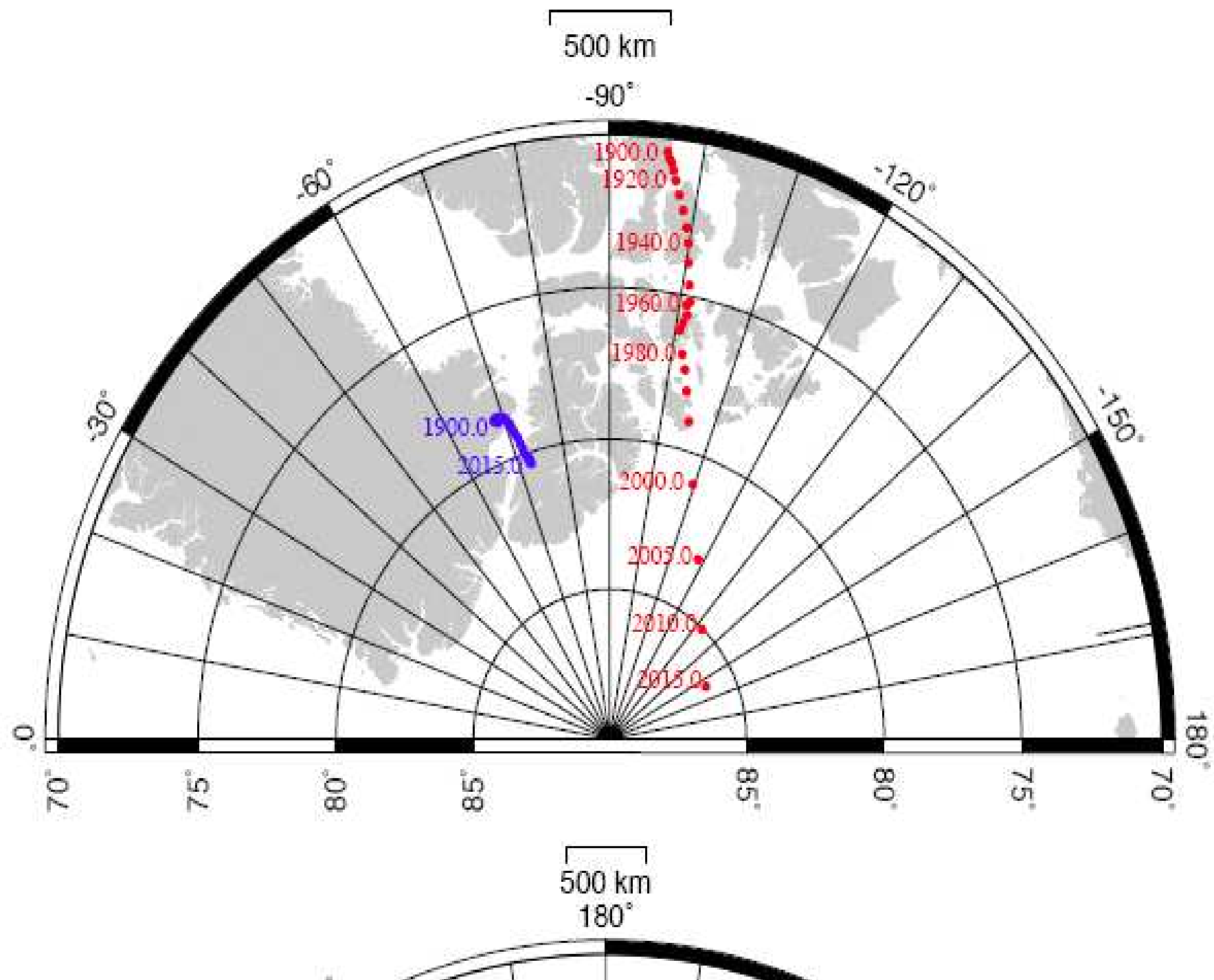


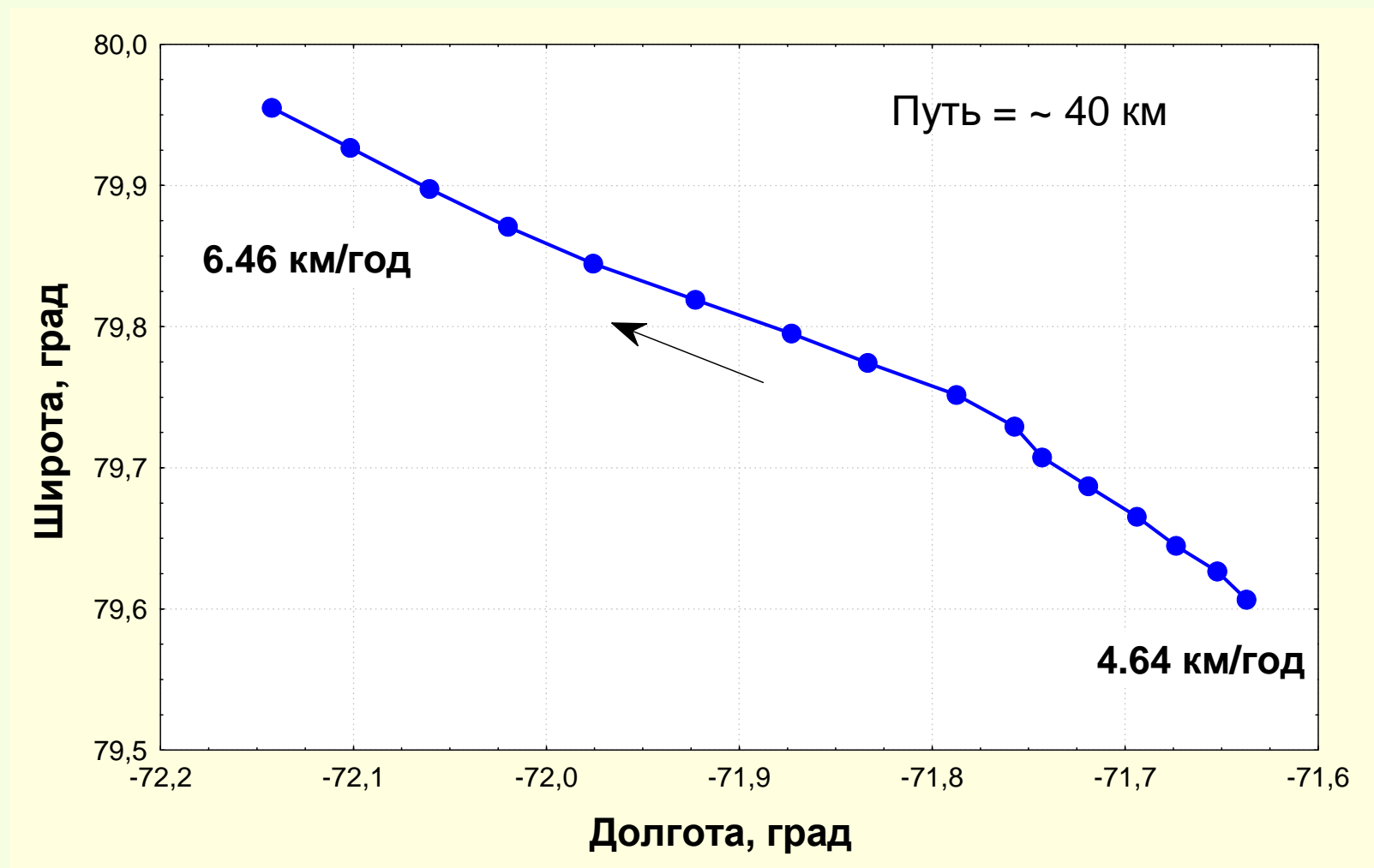
Движение южного магнитного полюса на интервале 2001-2009





Движение северного и южного модельных полюсов (красные точки) и геомагнитных полюсов (синие точки) с 1900 года. Построено по последней генерации эталонного магнитного поля IGRF-11, принятой в 2010 году. Сверху – северное полушарие, снизу – южное.





Движение северного дипольного полюса в период с 2001 по 2009 гг.

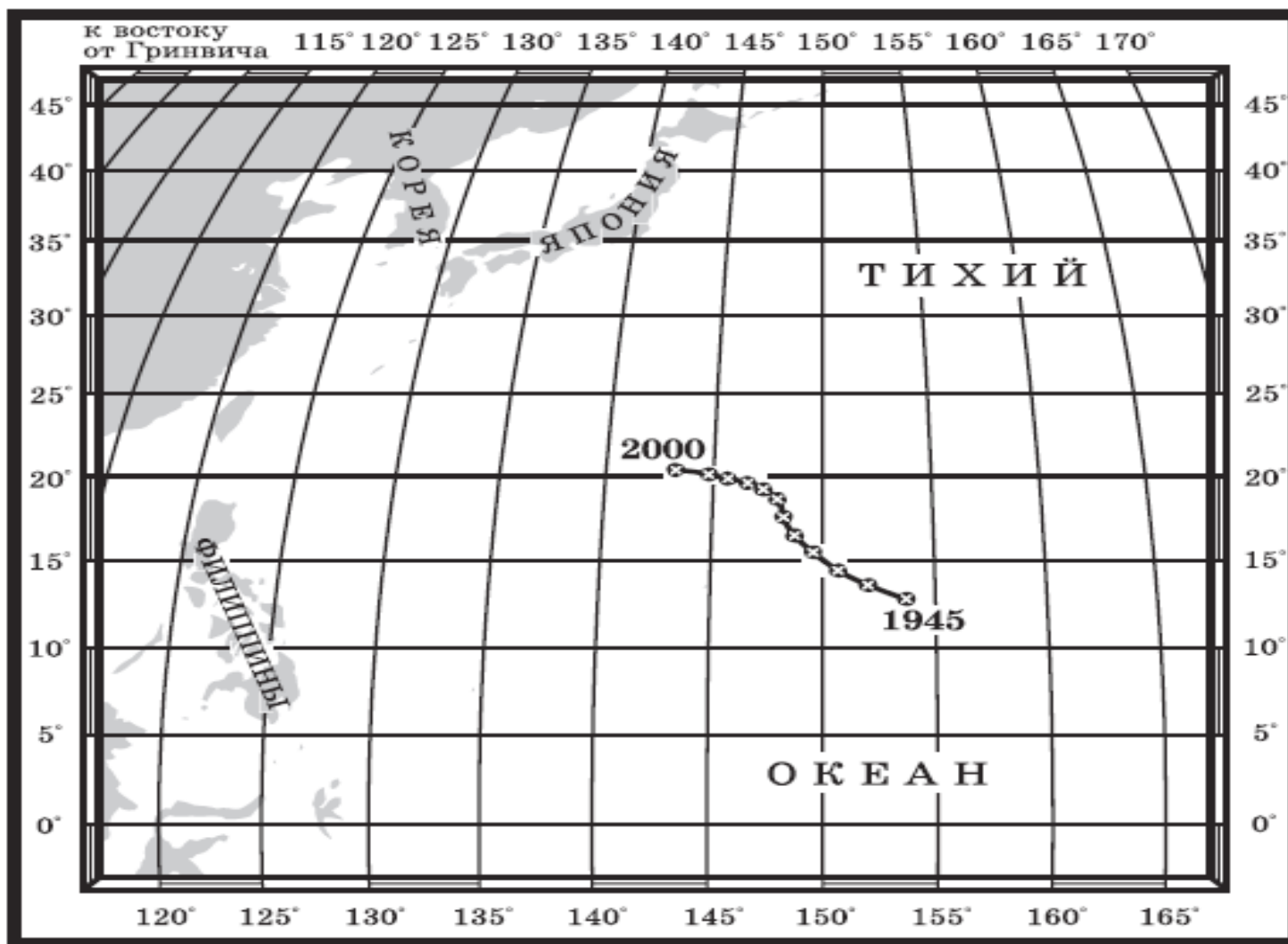
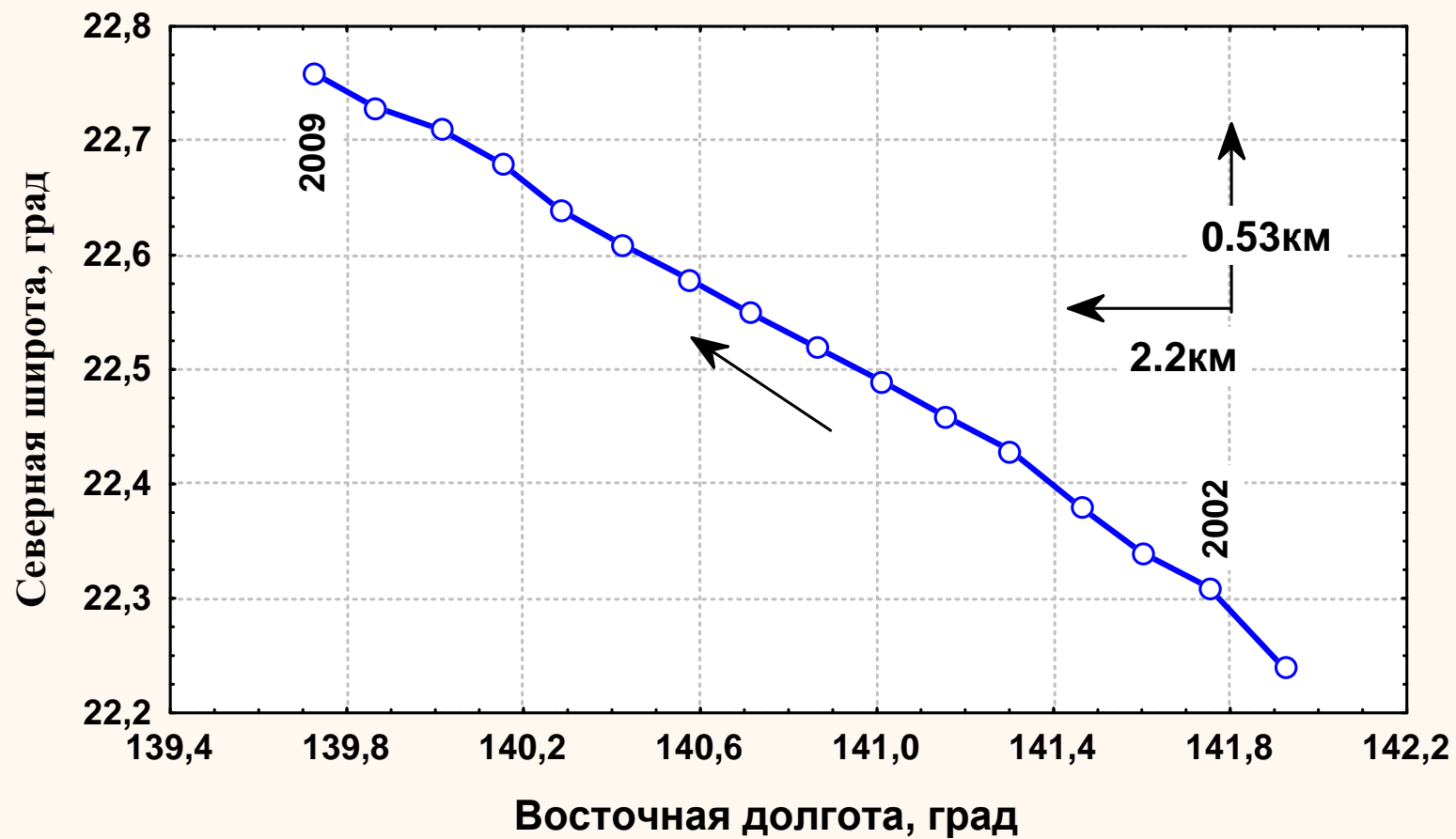
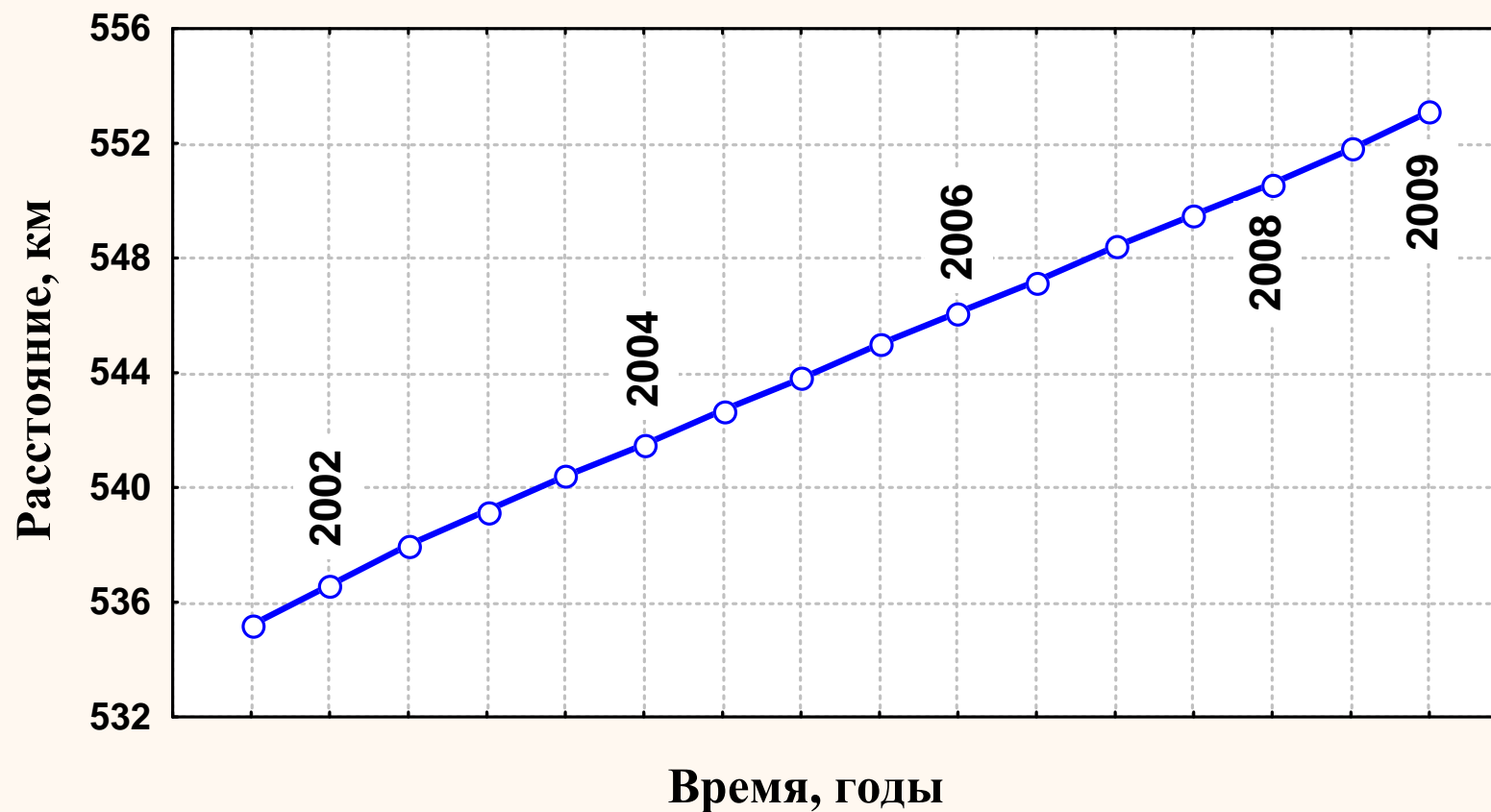


Рис. 20. Проекция центра эксцентричного диполя из центра Земли на её поверхность за период 1945—2000 гг. (DGRF/IGRF).

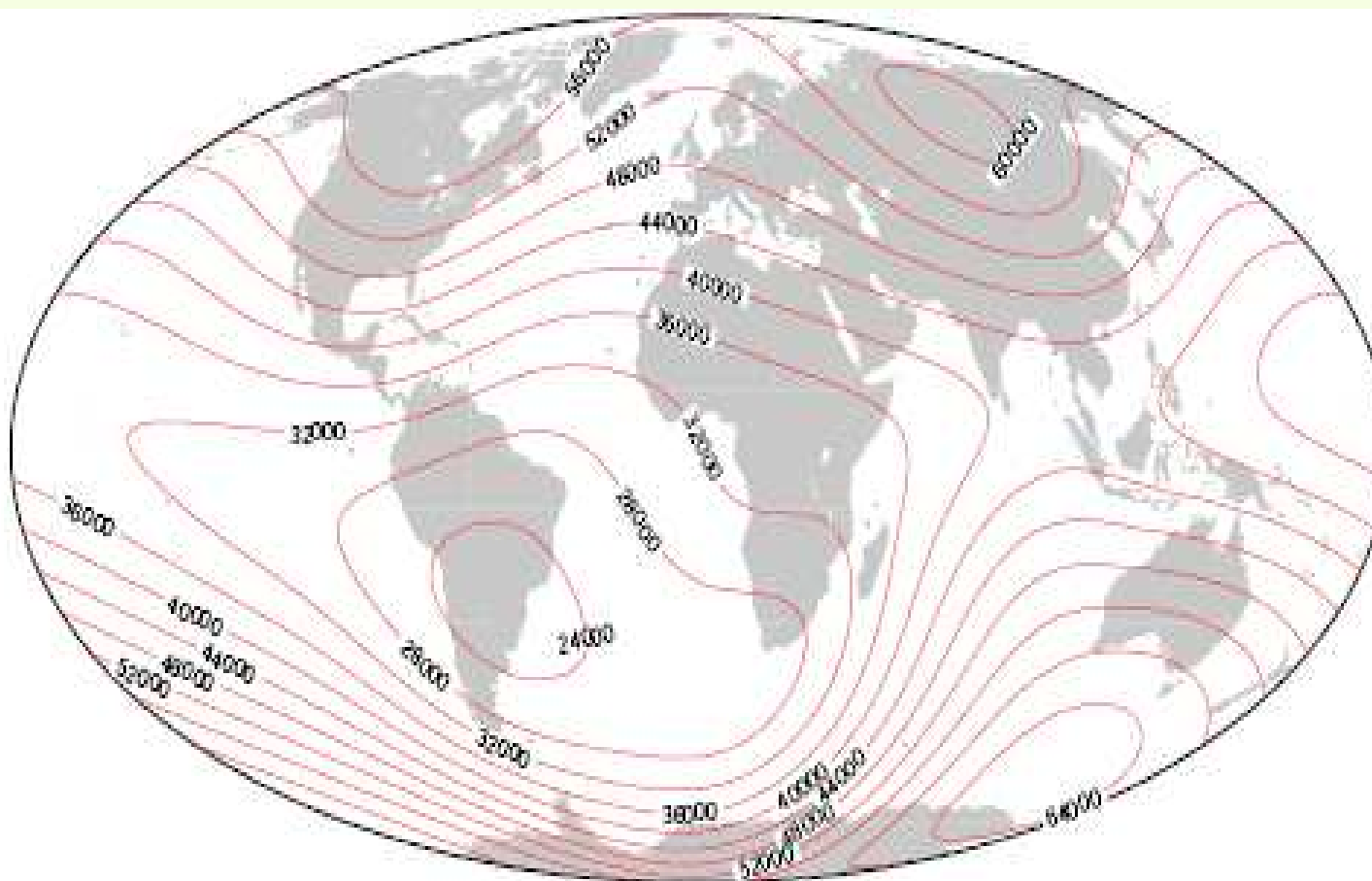
[Из книги Дьяченко А.И. Магнитные полюса Земли]



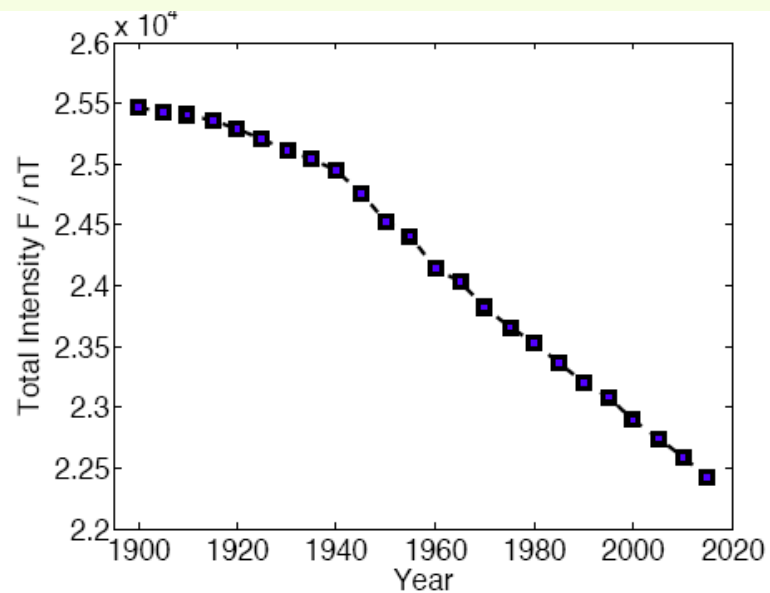
**Перемещение проекции центра эксцентричного диполя
за период времени с 2001 по 2009 гг.**



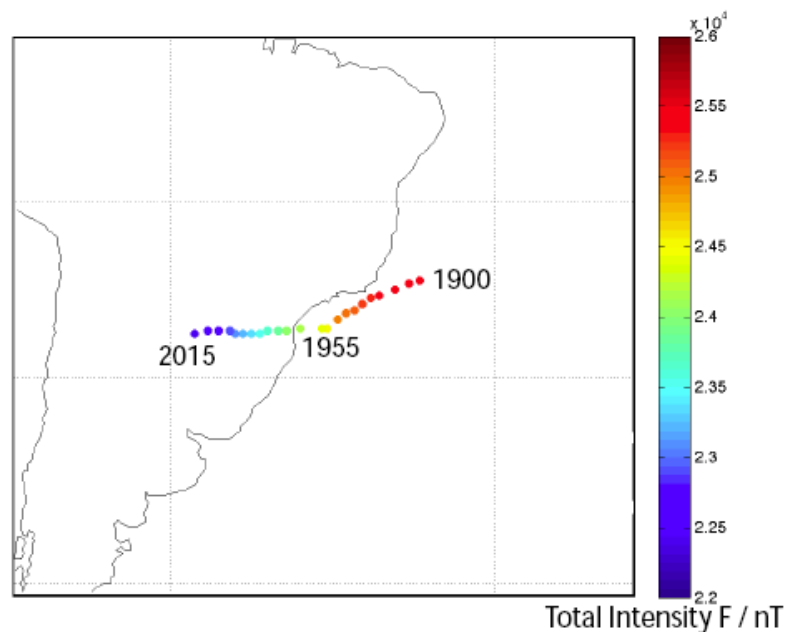
Изменение расстояние магнитного центра эксцентричного диполя от центра Земли за период времени с 2001 по 2009 гг.



Карта модуля магнитного поля Земли, построенная по модели IGRF-2010.
Значения поля в нанотеслах.



(b)

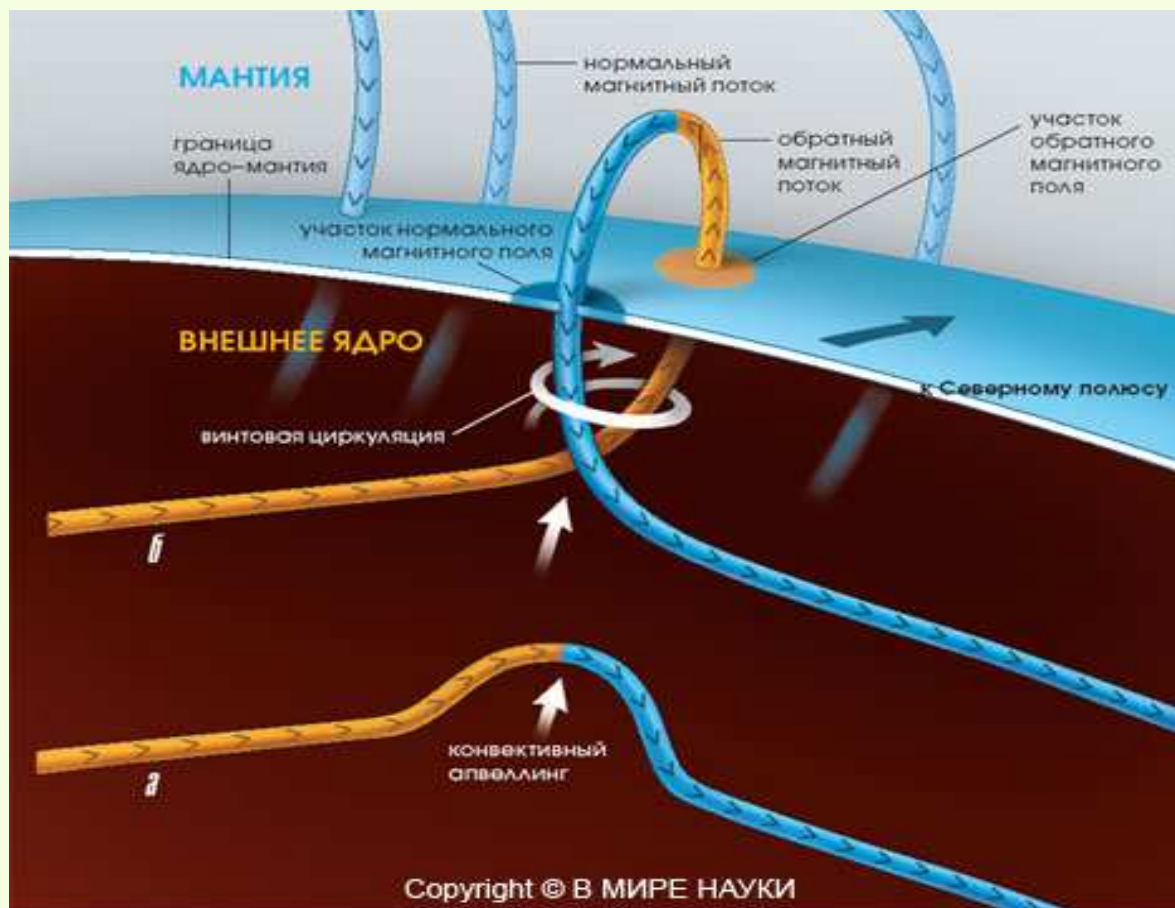


Движение Южной Атлантической аномалии во время XX столетия. Верхняя кривая показывает, как минимум модуля магнитного поля F (который наблюдается на юге Атлантики, так называемая Бразильская аномалия) уменьшается с 1900 года до наших дней. На нижней кривой показаны точки локализации минимума модуля поля в зависимости от времени.

Выводы

Ускоренное движение Северного магнитного полюса прекратилось в районе 2003 года, достигнув значения примерно 62.5 км/год. Затем движение полюса начало замедляться и в 2009 году уменьшилось до значения примерно 45 км/год. При этом следует отметить, что полюс стал немного разворачиваться в сторону Канады, двигаясь по-прежнему в северо-западном направлении. Так скорость движения полюса в исследуемом временном интервале (2001-2009) по широте уменьшилась с 58 до 35 км/год, в то время как скорость движения по долготе увеличилась с 23 до 32 км/год. Это дает основания надеяться, что северный полюс всего на всего “блуждает”, не покинет района Канадской аномалии и не достигнет примерно через 50 лет Сибири, как это прогнозировалось ранее.

Спасибо за внимание



УЧАСТКИ ОБРАТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ. Районы, где магнитное поле направлено в противоположную для данного полушария сторону, возникают при случайном прорыве закрученных и петляющих линий магнитного поля за пределы ядра Земли. Участки обратного магнитного поля могут существенно ослабить магнитное поле на поверхности Земли, называемое диполем, и свидетельствовать о начале смены земных полюсов. Они появляются, когда поднимающаяся жидкая масса проталкивает горизонтальные магнитные линии вверх в расплавленном внешнем ядре. Такое конвективное излияние иногда закручивает и выдавливает магнитную линию (а). Одновременно силы вращения Земли вызывают винтовую циркуляцию расплава, которая может затянуть петлю на выдавленной магнитной линии (б). Когда выталкивающая сила достаточно велика, чтобы выбросить петлю из ядра, на границе ядро-мантия образуется пара участков магнитного потока.

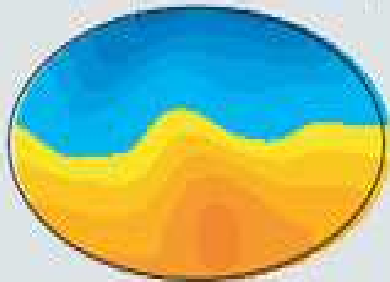
НОРМАЛЬНАЯ ПОЛЯРНОСТЬ

СМЕНА ПОЛЮСОВ В РАЗВИТИИ

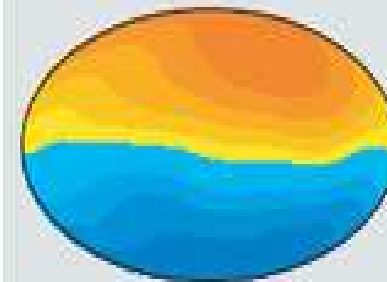
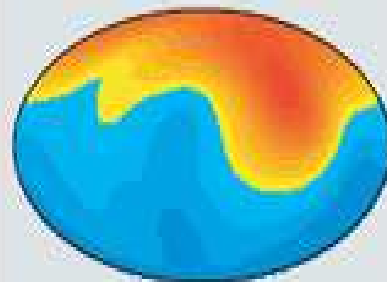
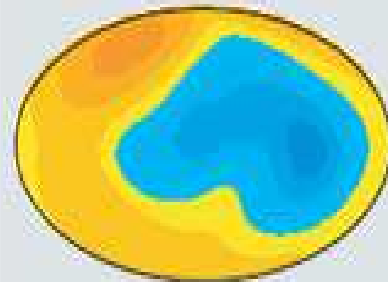
ОБРАТНАЯ ПОЛЯРНОСТЬ

ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ

географический север

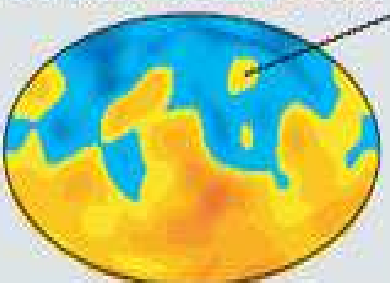


географический юг



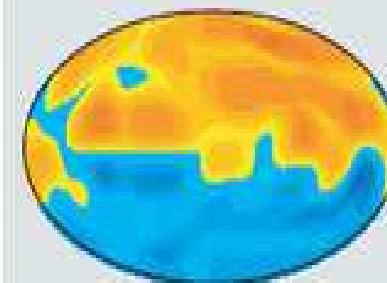
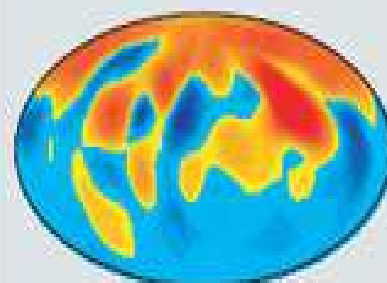
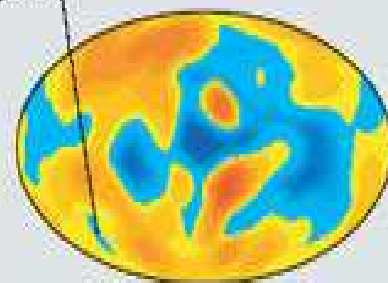
ГРАНИЦА ЯДРО-МАНТИИ

географический север



географический юг

участки обратного магнитного поля



Copyright © В МИРЕ НАУКИ

время = 0

3000 лет

6000 лет

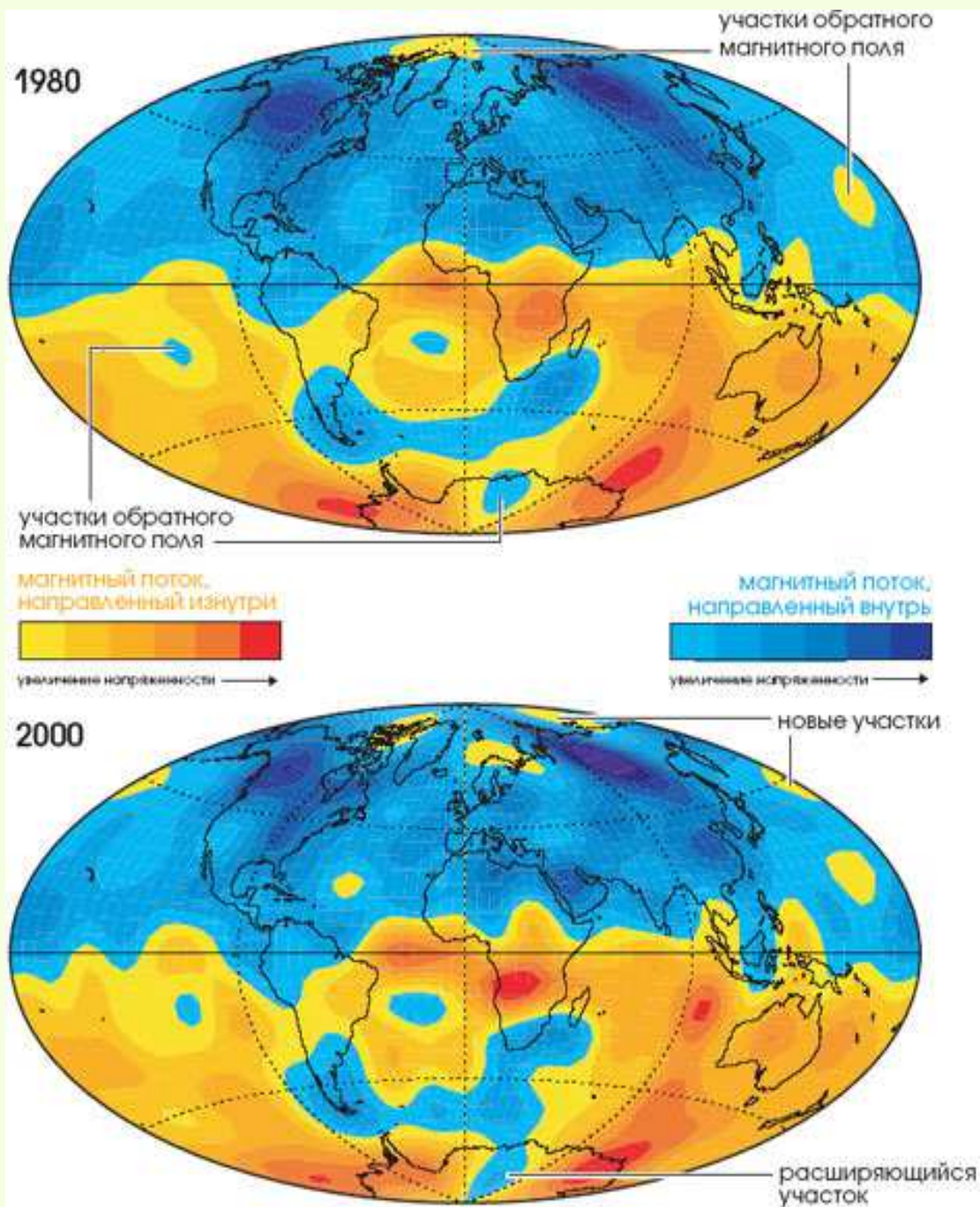
9000 лет

Модель смены полюсов. Начало переполаризации отмечается появлением нескольких ареалов обратного магнитного поля (голубой цвет в Южном полушарии и желтый в Северном), напоминающих об образовании его участков на границе ядро-мантия. Приблизительно за 3 тыс. лет напряженность поля диполя сменилось более слабым, но более сложным переходным полем на границе ядро-мантия. Через 6 тыс. лет на границе ядро-мантия стали преобладать участки обратного магнитного поля. К этому времени полная смена полюсов проявилась и на поверхности Земли. Но только еще через 3 тыс. лет произошла полная замена диполя, включая ядро Земли.

Перевод статьи Шульи 2010

Дальнейшее понимание процессов, происходящих внутри ядра, на причину ускорения СМП дает недавнее трехмерное численное моделирование геодинамо [Aubert et al., 2008]. Плюмы, представляющие собой жидкость меньшей плотности, формируются на границе внутреннего ядра и впоследствии поднимаются внутри цилиндра, касательного к внутреннему ядру и с осью, совпадающей с осью вращения Земли. Такие плюмы подвержены сильному закручиванию из-за быстрого вращения Земли. В ядре закрученные плюмы закручивают магнитные силовые линии, формируя так называемый полярный магнитный апвеллинг (ПМА). При достижении границы ядро-мантия, ПМА ведет к выталкиванию магнитных силовых линий в мантию и к формированию пары потоков магнитной концентрации, обнаруживаемой как пятна интенсивного радиального поля на поверхности ядра. Потоки противоположно направлены друг к другу.

Совпадение модели радиального поля на границе ядро-мантия с наблюдаемым под Новосибирскими островами поражает. Может ли быть ПМА быть причиной ускорения СМП, остается гипотезой, реальность которой должна быть оценена более тщательным численным моделированием.



Контурные карты магнитного поля Земли на границе ядро-мантия, составленные по измерениям, сделанным со спутника, показывают, что большая часть магнитного потока направлена от центра Земли в Южном полушарии и к центру в Северном. Но в некоторых районах складывается обратная картина. Участки обратного магнитного поля росли в числе и размерах между 1980 и 2000 г. Если они заполнят все пространство у обоих полюсов, то может произойти переполяризация.

- Интересно, что [Olson and Aurnou, 1999] гипотетически предположили существование другого магнитного плюма под СМП (там существует большое пятно силовых линий, направленных в противоположную сторону по сравнению с окружением. Кажется, что некоторый магнитный поток здесь также будет выталкиваться из ядра. Но этот плюм не должен дать вклада в перемещение СМП (согласно математической функции переноса поля от границы ядро-мантия на поверхность Земли. Из геометрических соображений только плюм под Новосибирскими островами даст вклад в движение СМП.
- Одна такая область расположена в Южной Атлантике, где по меньшей мере 2 пятна магнитных потоков, направленных противоположно их окружению, являются причиной большой области низких значений магнитного поля. Продолжающееся долгое время погружение этой аномалии, (что следует из уменьшения значения величины поля и одновременно увеличения размера аномалии) может являться следствием увеличением магнитных потоков, выталкиваемых из этих двух пятен на поверхности ядра [Bloxman, 1989]. Точного знания об этой аномалии нет, т.к. регулярно модели поля появились после 1980 года.
- Выбросы магнитного потока на поверхности ядра будь то под Бразильской аномалией или внутри касательного цилиндра к внутреннему ядру Земли являются аналогом солнечных пятен на Солнце.