

РАЗРАБОТКА ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ АДДИТИВНОГО ИСТОЧНИКА ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

NUMERICAL MODEL OF THE ADDITIVE SOURCE OF THE GEOMAGNETIC FIELD

В.В.Кузнецов

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

To account for magnetic poles drift features a numerical model of the geomagnetic field (GMF) generation is proposed. A source of the geomagnetic field generation is represented as an axis-symmetric differential current ring and four radial current rings located at the border of the inner core inside F-layer. According to the model current rings as the long-living Rossby vortices represent the nature of global magnetic anomalies (GMA) which are the sources near-independent of the principal dipole GMF. Thus the additive source of GMF arises from a sum of five field sources. Generation of the dipole field source results from phase transition (PT) of the 1-st order (condensation-evaporation) inside F-layer including electric charges formation and their separation inside PT region, a radial electric field (EF) and a weak magnetic field generation initiated by daily rotation of charges and lastly a principal dipole GMF generation due to dynamo effects inside F-layer. Generated at the F-layer surface the dynamo-current induces a reverse-direction current at the other surface of the F-layer that results in the dipole source in the form of the differential current ring. PT reversing causes a polarity reversion of EF inside the F-layer and an inversion of GMF. The model proposed provides an explanation for features of modern and paleo drift of the magnetic poles.

Введение

В более ранних работах автором показано, что в настоящее время магнитные полюса (МП), северный (СМП) и южный (ЮМП) движутся друг навстречу другу вдоль трасс, по которым палеомагнитные полюса дрейфовали в моменты инверсий геомагнитного поля (ГМП). Была предложена модель дрейфа, согласно которой определяющую роль в дрейфе МП играют четыре глобальные магнитные аномалии (ГМА). Изменения величин источников поля: дипольного и четырех ГМА определяют направление и скорость дрейфа СМП и ЮМП.

Недавно в зарубежных статьях обсуждалась проблема увеличения скорости дрейфа СМП и роль джерков в этом ускорении. Оказалось, что особенности дрейфа ЮМП выпали из области интересов авторов. В настоящем докладе предложена и обсуждается модель дрейфа МП. Скорости и направления дрейфа МП не случайны, а следуют из модели генерации источника ГМП, разрабатываемой автором в контексте модели горячей Земли.

Модель дипольного источника ГМП

Модель основана на предположении о возможной аналогии между процессами, происходящими на границе внутреннего ядра и в атмосфере. Обратим внимание на характер распределения скорости звука по высоте - в атмосфере Земли и Р-волн, распространяющихся в области границы внутреннего ядра Земли (в F-слое), а так же на характер распределения температуры в атмосфере и F-слое (рис.1). Легко видеть их внешнюю схожесть. Но это не только внешняя сторона проблемы, на самом деле, и в том, и в другом случае, мы имеем дело с распределением скорости звука в двухфазной среде, в которой происходит образование и разделение электрически заряженных частиц, обладающих различными массами и весом.

Согласно развиваемой модели, и в том, и в другом случае мы имеем дело с двухфазными средами – «жидкость – пар», в которых происходит фазовый переход (ФП): конденсация и, обратный ему, – испарение, аналогично тому, как изменяется фазовое состояние воды в атмосфере. При конденсации плотного газообразного вещества внутреннего G-ядра, более плотного, чем вещество внешнего ядра,

образуются большие «капли», которые, поскольку они легче «пузырей», скапливаются вблизи внутренней поверхности внешнего ядра, представляющего собой конденсат вещества внутреннего ядра. Конденсация, процесс экзотермический, приводящий к выделению дополнительного тепла и повышению температуры среды. Если нет специального «канала» для отвода тепла, то в системе, после достижения в ней определенной температуры, режим конденсации изменится на преимущество испарения (рис. 2). Во время этого цикла (преимущества испарения при перегреве) кипящие «пузыри» собираются около поверхности внутреннего ядра. Подчеркнем, что в модели горячей Земли, в отличие от ситуации в атмосфере, капли «легче» пузырей. Известно, что в области ФП происходит образование электрических зарядов и их разделение при дрейфе пузырей и капель в поле силы тяжести. При этом в F-слое образуется двойной электрический слой (ДЭС). Причем, в ситуации, когда $K > J$, внешняя граница F-слоя становится отрицательной, а внутренняя – положительной, когда же $K < J$, – наоборот, полярность ДЭС меняется – на обратную. F-слой будем в дальнейшем рассматривать как ДЭС, в котором происходит смена полярности при смене режима «работы» фазового перехода (см. рис. 3).

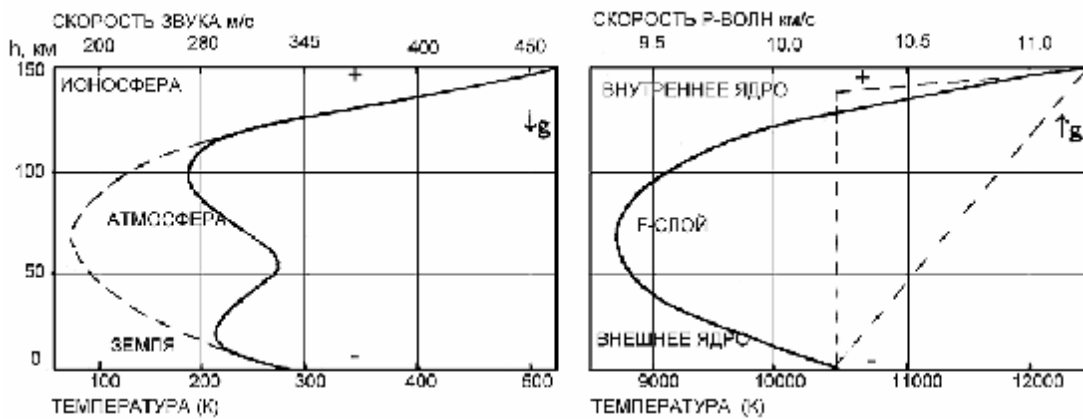


Рис.1. Распределение температуры и скорости звука в ионосфере и F-слое ядра Земли.

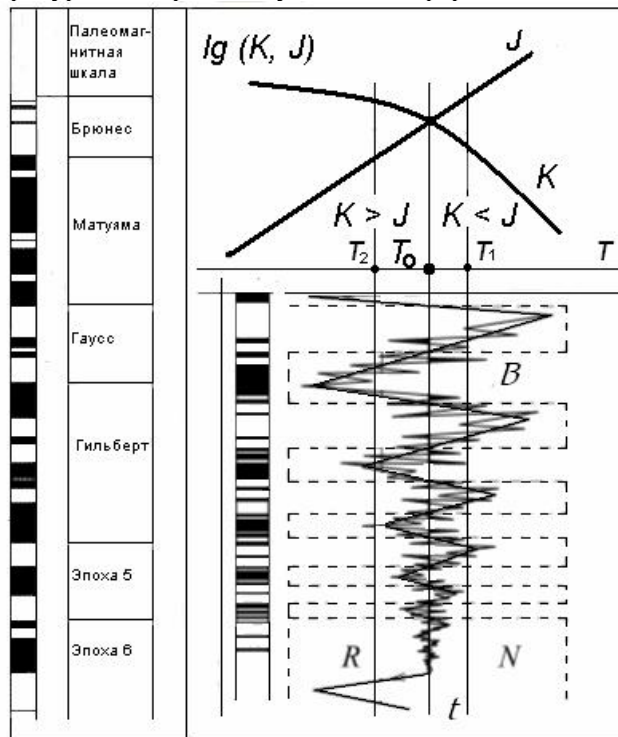


Рис.2. Слева – палеомагнитная шкала. Справа – наша модель изменений полярности поля. Зависимость явлений, связанных с «работой» фазового перехода во времени и их отражение в геомагнитном поле.

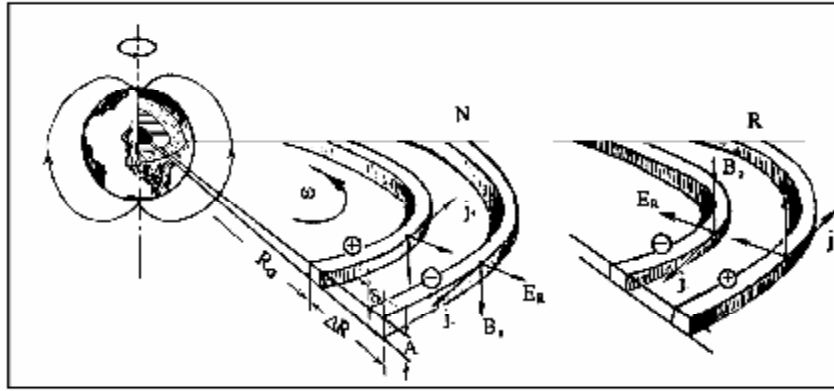


Рис.3. Токовые системы в F-слое в случае прямой (N) и обратной (R) полярности МПЗ.

Оценим напряженность электрического поля E_R в F-слое: $E_R = q/(C \cdot DR)$, здесь $q = NeV$ – электрический заряд слоя, DR – толщина F-слоя, N – концентрация зарядов, e – заряд электрона. Заметим, что отношение $1/Ne$ – имеет смысл холловской постоянной. Обозначим её через D , а через V – объем сферического “конденсатора”: $V = 4\pi R_G^2 DR$, где R_G – радиус внутреннего ядра, тогда C – электрическая емкость ДЭС: $C = 4\pi\epsilon_0 R_G^2 / DR$, ϵ_0 – электрическая постоянная. Получаем: $E_R = DR/(e_0 D)$.

При суточном вращении ДЭС, в соответствии с известным опытом Эйхенвальда, возникает электрический “ток” j_w . Магнитное поле такого “тока” на оси вращения системы: $B = \mu_0 j_w S_X / 2R_G$, где S_X – эффективная площадь сосредоточения зарядов: $S_X \gg \delta \times A$, здесь $\delta \ll DR$ – толщина слоя, по которому “течет ток” j_w (m_b – магнитная постоянная, A – высота слоя). Поле B оказывается значительно меньше геомагнитного поля, иначе, необходим механизм его усиления. Один из возможных вариантов усиления поля B , это динамо, типа ионосферного динамо. Для его реализации необходимо наличие гидродинамического переноса проводящей жидкости. В нашей модели такой перенос осуществляется за счет известного явления супервращения внутреннего ядра.

Движение вещества F-слоя, реализующее этот перенос, перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, оно индуцирует электродвижущую силу, которая вызывает электрический ток. Для любой частицы среды, на которую действует электрическое и магнитное поле, можно записать уравнение:

$$m \frac{dV}{dt} = eE + \epsilon V \times B - mn(V - U).$$

Здесь V – скорость заряженной частицы, U – скорость нейтральной атмосферы. Приравняв $mn(V - U)$ силе Лоренца $eV \times B$, можно определить скорость V . Вектор U , направленный поперек линий магнитного поля, индуцирует поле $U \times B$. Это наведенное поле вызывает электрический ток $s \times U \times B$, где σ – тензор проводимости:

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} \\ -\sigma_{xy} & \sigma_{yy} \end{bmatrix}.$$

Наведенное и поляризационное поля складываются и образуют общее электрическое поле E_t . Ток определяется следующим образом:

$$j = \sigma' E_t = \sigma' \times (U \times B - \nabla\Phi).$$

Этот ток течет в области экватора, в восточном направлении, образуя т.н. экваториальную токовую струю. На внутренней поверхности F-слоя Земли наводится токовая струя противоположного направления. Дипольный источник представляет собой двойное токовое кольцо, обкладками которого являются границы F-слоя (Рис. 4-а). Изменение направления ФП, иначе, смена преимущества конденсации преимуществом испарения приводит к изменению направления поля, возникающего

при разделении зарядов, смене направления токов и изменению полярности ГМП.

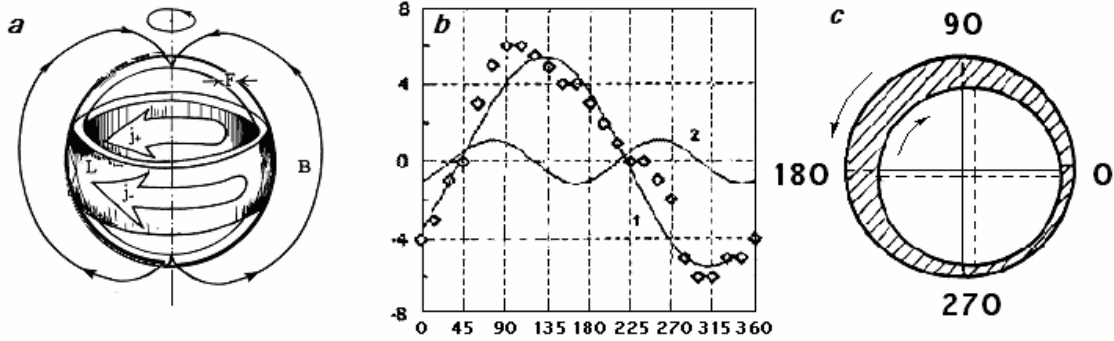


Рис.4. Модель генерации основного диполя ГМП – *a*; Точки – переменная часть *H* компоненты в плоскости экватора. Разложение по \sin -функциям: 1 – первая и 2 – вторая гармоники – *b*. Сечение F-слоя – *c*.

Глобальные магнитные аномалии

В атмосферах больших планет обнаружена и изучена т.н. циклон - антициклонная асимметрия: циклонов всегда много меньше, чем антициклонов. Это связано с тем, что антициклоны (А), это солитоны, в то время как циклоны (С), - нет. Однако, если «рождается» пара циклон-антициклон, то они оба могут быть солитонами. В атмосферах Юпитера и Сатурна наблюдается по три антициклона и одному циклону. БКПЮ тоже является антициклоном. Картина магнитных аномалий на Земле удивительно напоминает картину вихрей на Сатурне, где можно видеть даже хорошее совпадение их по широтам.

Вихри Юпитера		Вихри Сатурна		ГМА	
Большое красное пятно	22° S	Большая Берта	5° N	Сибирская (SA)	67° N
Малое красное пятно	19° N	Коричневое пятно	42° N	Канадская (CA)	58° N
Коричневый овал	14° N	Ультрафиолетовое пятно	24° N	Бразильская	15° S
Белый овал	34° S	Пятно Анны	55° S	Антарктическая	55° S

Рис. 5 показывает расположение ГМА в F-слое и на карте, а также схему дрейфа СМП в пространстве между двумя ГМА: Канадской и Сибирской.

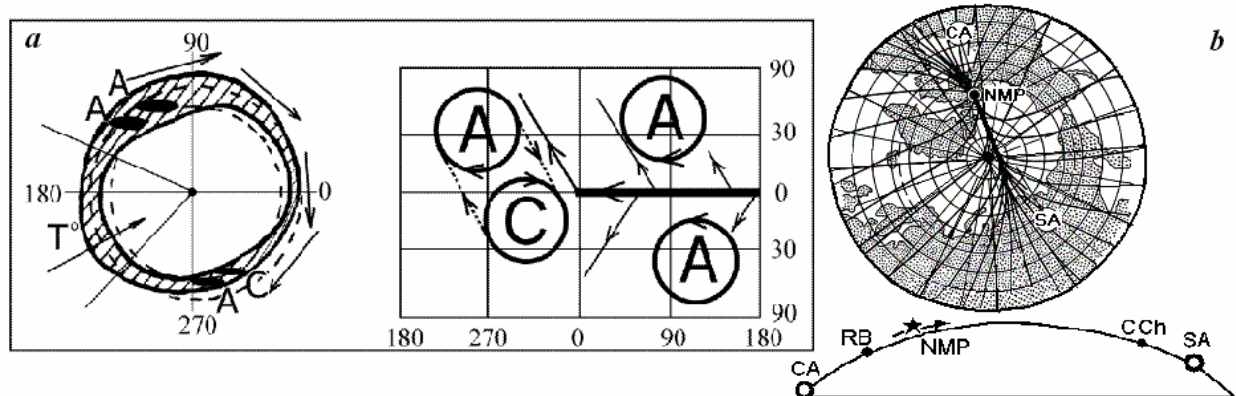


Рис.5. *a* – Модель глобальных магнитных аномалий как циклонов и антициклонов. Слева проекция вихрей на F-слой, стрелками показано направление гидродинамического переноса. Стрела поперек слоя – температурный градиент. Выделенная область соответствует Тихому океану. Справа размещение антициклонов («А», и пара «А-С» – солитоны). Линия вдоль экватора – гидродинамический перенос, ответвления показывают направления «рингов» (ФВХ). *b* – схема дрейфа СМП.

Дрейф полюсов

На рис. 6 (слева) показана схема дрейфа СМП по данным склонения и наклонения, зарегистрированных в Лондоне и Бостоне. Справа – схема дрейфа магнитных полюсов в периоды инверсий ГМП. На рис. 7 приведены данные наблюдений местоположений СМП (звездочки). Если СМП будет дрейфовать так, как это следует из лондонских данных, то в 2140 СМП должен остановиться и начать дрейф в обратном направлении. Как видно из рис. 8, в настоящее время возможны два варианта дрейфа: либо возвращение, либо инверсия. Решить в наше время эту проблему однозначно нет возможности, тем не менее, тенденция дрейфа СМП такова, что второй вариант – кажется предпочтительней.

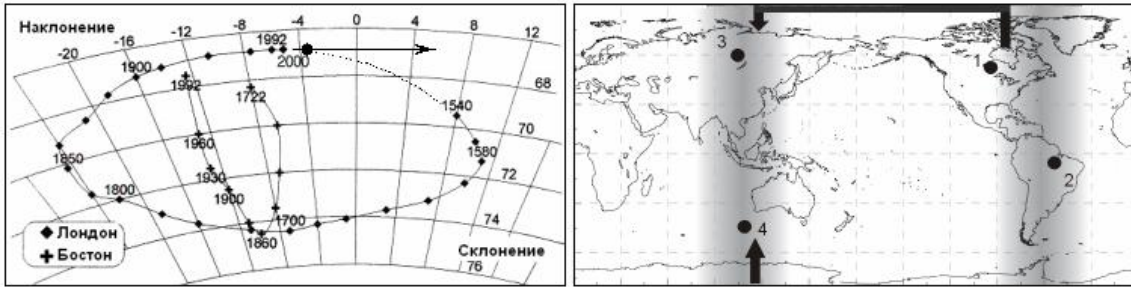


Рис. 6. Склонение и наклонение на обсерваториях Лондона и Бостона (слева). Пути дрейфа магнитного полюса во время инверсий, 1-4 ГМА (справа).

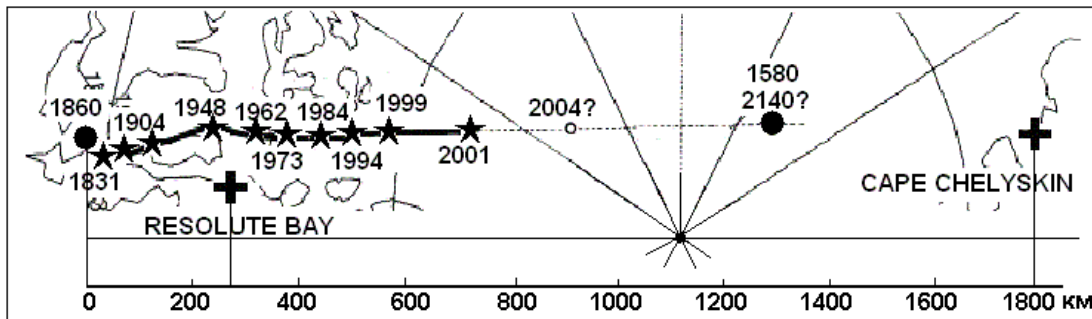


Рис.7. Схема дрейфа СМП (слева – направо), начиная с 1831 г. Точка поворота – 1860.

Регистрируя изменения величин H -компонент на обсерваториях Резольют Бей и Мыс Челюскин, находящихся на трассе дрейфа СМП (рис. 5-в и 7), можно предсказывать его местоположение (рис. 8):

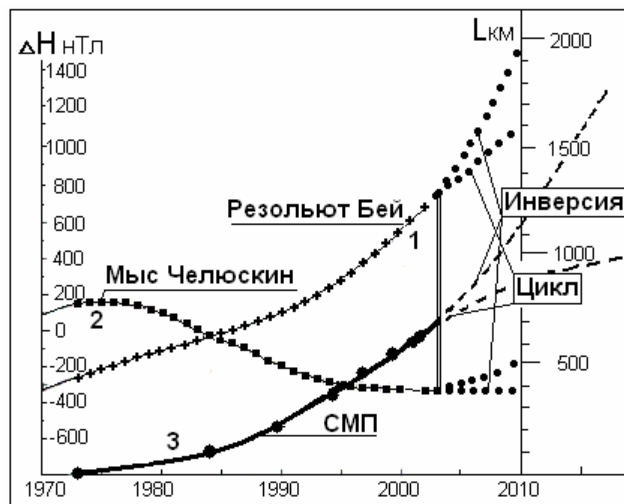


Рис.8. Вариации H компоненты: 1 – на станции Резольют Бей; 2 – на станции Мыс Челюскин. 3 – разность между величинами этих компонент (DH) – положения СМП по шкале (L км, относительно 1973 г, где $L = 0$).

Результат численного моделирования

На рис. 9 приведен один из примеров численного моделирования источника генерации ГМП. Модули, координаты и направления центрального диполя и 4 радиальных диполей, соответствующих ГМА, – приведены справа в таблице. На рис. 9-а показан результат вычисления полного модуля ГМП с участием всех пяти диполей. На рис. 9-б – только центральный диполь.

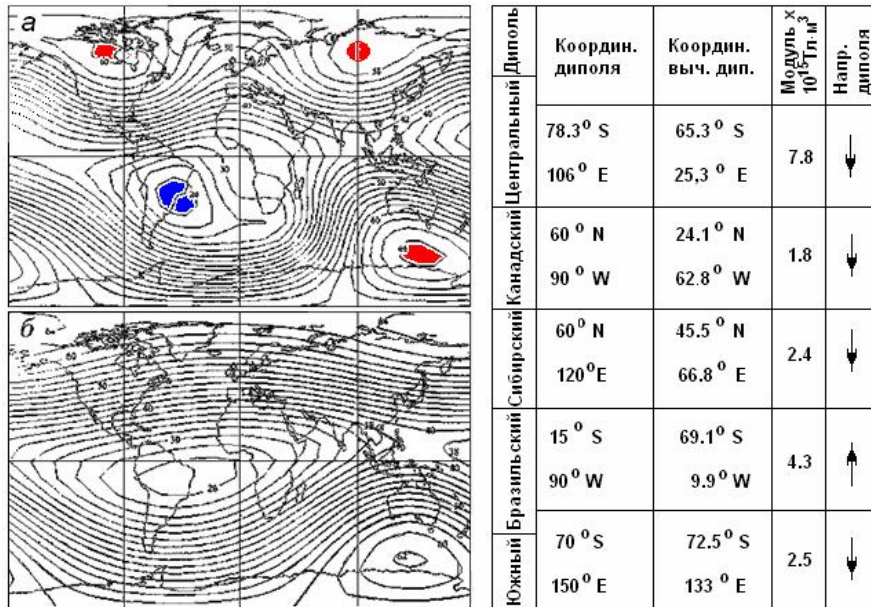


Рис.9. Численное моделирование ГМП (9-а) как суммы центрального диполя и 4-х ГМА (параметры диполей справа). Центральный диполь без ГМА – 9-б.

Заключение

Перечислим основные положения модели генерации ГМП и дрейфа МП:

1. Согласно модели горячей Земли, в области F-слоя реализуется фазовый переход (ФП), в котором происходит разделение электрических зарядов и образование двойного электрического слоя (ДЭС);
2. Полярность ДЭС зависит от направления ФП и меняется при смене его направления;
3. Суточное вращение ДЭС вызывает образование небольшого по величине дипольного магнитного поля;
4. В области F-слоя во внешнем ядре наблюдается течение двухфазного проводящего вещества, регистрируемого как супервращение ядра Земли;
5. Дрейф проводящей жидкости в слабом магнитном поле вызывает возникновение электрического поля, которое является причиной образования кругового тока;
6. Этот ток индуцирует другой ток в обратном направлении, протекающий вдоль границы внутреннего ядра;
7. Эти токи формируют основной диполь ГМП, полярность ГМП меняется при смене направления ФП;
8. На внешней поверхности F-слоя, за счет нагрева её от внутреннего ядра и как способ сброса излишков тепла, возникают вихри Россби - ГМА;
9. В момент инверсии дипольное поле уменьшается до нуля. В это время основными источниками ГМП являются ГМА, что и определяет направление дрейфа магнитных полюсов.

Работа выполнялась при поддержке гранта Президиума РАН № 16. Часть 3. Проект 19.2 и гранта ДВО РАН по разделу С07.