

# SUN, SOLAR SYSTEM AND ASTROBIOLOGY

## СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ГЛАВНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ НА ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ И В БЛИЖНЕМ КОСМОСЕ

М.И.Орлюк, А.А.Роменец

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины  
Киев, Украина  
orlyuk@igph.kiev.ua/

**ABSTRACT.** Determination of space-temporal structure of the Earth's magnetic field (EMF) on its surface and in near space is extremely necessary and actual, in connection with its influence on the character of passing of processes in magnetosphere and ionosphere, and on mechanisms and magnetic activity intensity, which are considered as a substantial ecological factor.

Определение пространственно-временной структуры магнитного поля Земли (МПЗ) на ее поверхности и в ближнем космосе является крайне необходимым и актуальным, в связи с ее влиянием на характер прохождения процессов в магнитосфере и ионосфере, а также на механизмы и величину магнитных возмущений, которые рассматриваются в качестве существенного экологического фактора [Орлюк, 2007; Orlyuk, 2007].

Многие процессы в ближнем космосе и внутренних сферах Земли определяются ее магнитным полем [Яновский, 1975]. Пространственно-временная структура индукции магнитного поля Земли (**B**) определяется суммой полей от различных источников:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_n + (\Delta \mathbf{B})_a + \delta \mathbf{B}$$

где **B<sub>n</sub>** – нормальное (главное) поле Земли, генерируемое процессами в жидком ядре и которое определяет глобальную пространственную и временную структуру поля планеты; **(ΔB)<sub>a</sub>** – аномальное магнитное поле (поле литосферы), обусловленное, в основном, намагниченностью пород, **δB** – внешнее поле, возникающее за счет воздействия солнечного и кос-

мического излучения, магнитных полей Солнца и околоземного пространства

В статье проанализирована структура и динамика главного магнитного поля Земли (ГМПЗ) на ее поверхности и в космосе с целью определения пространственных областей протекания различных процессов в магнитосфере – ионосфере. В частности, высота формирования внутренней и внешней границ радиационного пояса, ионосферных токов, обуславливающих суточные вариации геомагнитного поля и т.д. и т.п. Выполнена также характеристика пространственных особенностей ГМПЗ на разных высотах в зависимости от сезонности и местоположения Земли на околосолнечной орбите.

ГМПЗ состоит из дипольной и недипольной (квадрупольной) частей и принимается за нормальное поле относимости Земли **IGRF** при выделении аномальной компоненты, связанной с литосферой. Большой прогресс в изучении общей структуры магнитного поля Земли и разработке его моделей, как в целом, так и отдельных компонент, связывается с длительными наземными наблюдениями в магнитных обсерваториях и особенно проведения со специальных спутников POGO (400-1510 км), Magsat (325-550 км), Orsted (650-850 км), CHAMP (350-450 км) скалярных и векторных съемок индукции магнитного поля Земли **B** [Mandea, Purucker, 2005; Maus, 2006, 2007; Olsen, 2006, 2007]. Первые наблюдения магнитного поля Земли из космоса были выполнены в СССР в 1958-1964 гг (Sputnik 3, Cosmos 26, Cosmos 49), но масштабы и точность наблюдений были недостаточны для глобального описания магнитного поля Земли.

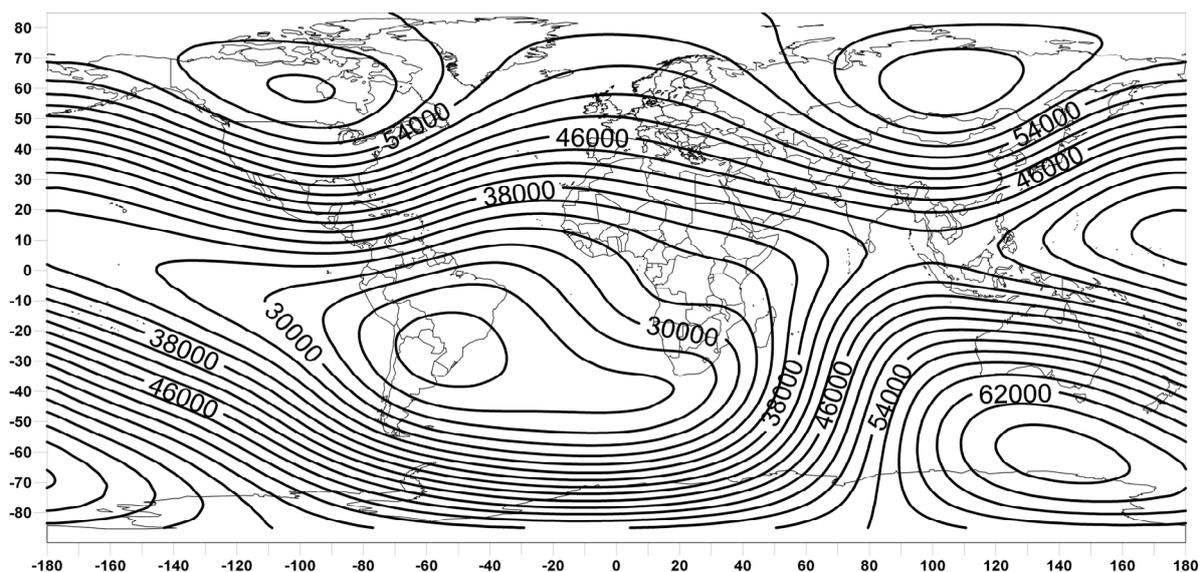


Рис. 1. Главное магнитное поле Земли **B** на эпоху 2000г.

К настоящему времени для представления, анализа и решения целого ряда задач по разделению поля на поля от разных источников и т.д., магнитное поле Земли представляется сферическим гармоническим рядом с определенным количеством гармоник (до 64 и более). Главное магнитное поле Земли обычно представлено рядом с длиной 10-13 гармоник [Purucker, 2011]. В соответствии с расчетами на поверхности планеты максимальные значения главного магнитного поля Земли **B<sub>n</sub>** для 1950 и 2000 гг характерны для отрицательного магнитного полюса (**B<sub>n</sub>**,1950 = 69000 нТл, **B<sub>n</sub>**,2000 = 67000 нТл), расположенного вблизи Северного географического полюса Земли, а минимальные – для приэкваториальных областей Южной Атлантики (так называемая Южно – Атлантическая Аномалия) (**B<sub>n</sub>**,1950 = 24500 нТл, **B<sub>n</sub>**,2000 = 22900 нТл) (рис.1). За период с 1950 по 2010гг. среднее значение модуля индукции на поверхности планеты уменьшилось на 1516 нТл (с 47300 нТл до 45784 нТл, (рис.2). При сохранении такой динамики поля (уменьшение на 25 нТл / год), всего через 1800 лет магнитного поля на Земле не будет. Уже через 300-400 лет величина **B** будет меньше "экологической нормы" (**B<sub>кол</sub>**=45000±10000нТл) [Орлюк, Роменец, 2005], а

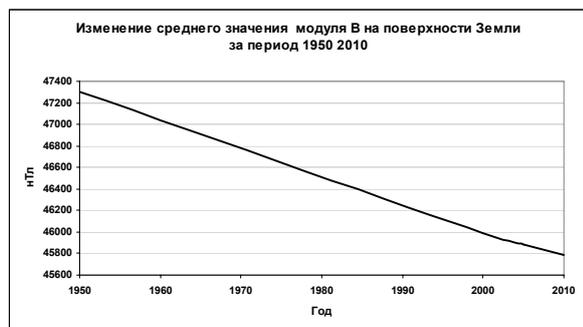


Рис. 2. Изменение среднего значения модуля **B** на поверхности Земли за период 1950-2000гг (расчеты с использованием [http://omniweb.gsfc..]).

через 1000-1200 лет перестанет защищать биосферу Земли от космического излучения. На фоне общего уменьшения магнитного поля планеты выделяются области с экстремальными величинами его изменения. Максимумы уменьшения поля с 1950г. по 2000г (-5500) ÷ (-6500) нТл (110-130 нТл/год) располагаются вблизи Антарктического побережья Центральной Америки (18°СШ; -65°ЗД), а также между Африкой и Антарктидой (-50°ЮШ; 10°ВД). Максимумы увеличения поля (2000 нТл) (40 нТл / год) характерны для Европы (60°СШ; 30°ВД) и Индийского океана (30°ЮШ; 80°ВД). В 2000-2010гг. область максимального уменьшения поля (-1400 нТл, 140 нТл/год) переместилась в район Мексиканского залива (30°СШ; -80°ЗД), а максимально поле увеличилось (1150 нТл, 115 нТл/год) в районе Индийского океана, юго-восточнее о. Мадагаскара (25°ЮШ; 60°ВД) (рис.3).

В настоящее время (2005г) Северный магнитный полюс Земли (СМПЗ) находится в точке с координатами 82.9° СШ, 117.3° ЗД, а Южный магнитный полюс Земли (ЮМПЗ) - 64.2°ЮШ, 137.75°ВД. При этом наблюдается существенное отличие в расположении магнитных полюсов (местоположение которых определяется суммой дипольной и недипольной составляющих ГМПЗ) от геомагнитных полюсов (79.75°СШ, 71.8°ЗД – Северный и 79.75°ЮШ, 108.2°ВД – Южный) (положение которых определяется только дипольной составляющей магнитного поля Земли). Также можно обратить внимание, что изолинии с одинаковыми величинами наклонения вектора магнитного поля, образуют своего рода 'гентелеподобный' овал вокруг СМПЗ (с вытянутостью от Канады до России) и имеют изометричную форму вблизи ЮМПЗ.

За последние 100 лет СМПЗ переместился более чем на 1100км. С 2005г по 2011г он движется в направлении России (республика Саха) со скоростью 55-60 км/год. С 1904 по 1970 гг скорость перемещения была в пределах 15 км, с1970г по 2001г – 40 км.

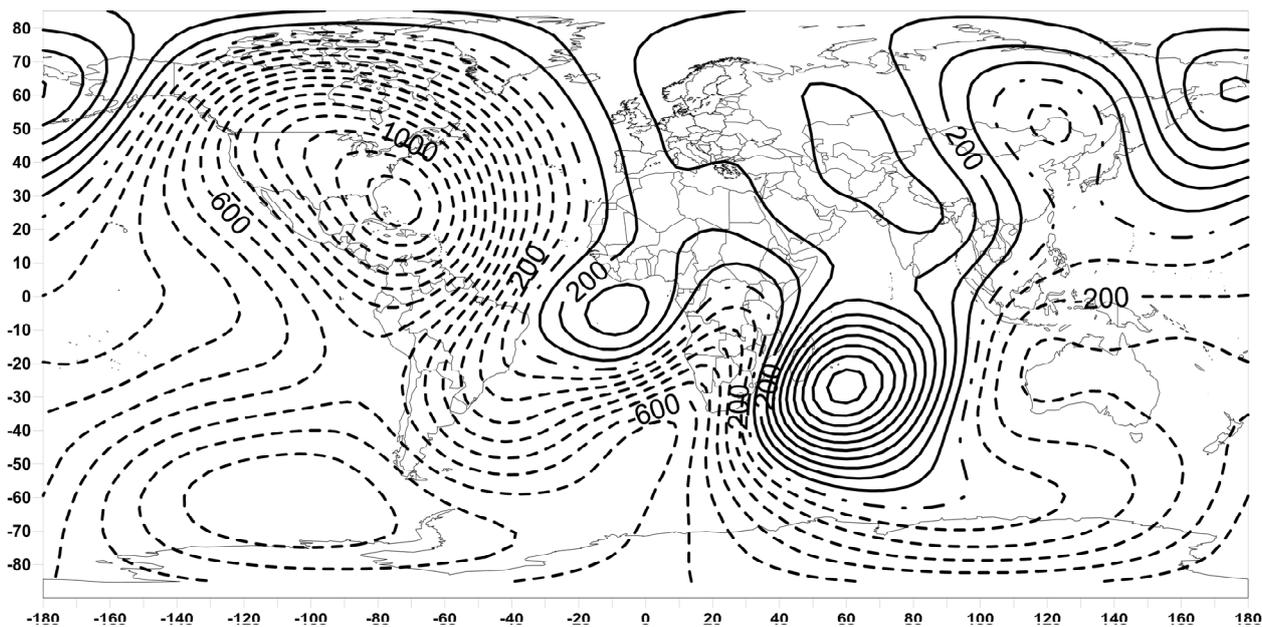


Рис. 3. Динамика магнитного поля **BIGRF** за 10 лет (2000-2010гг.)

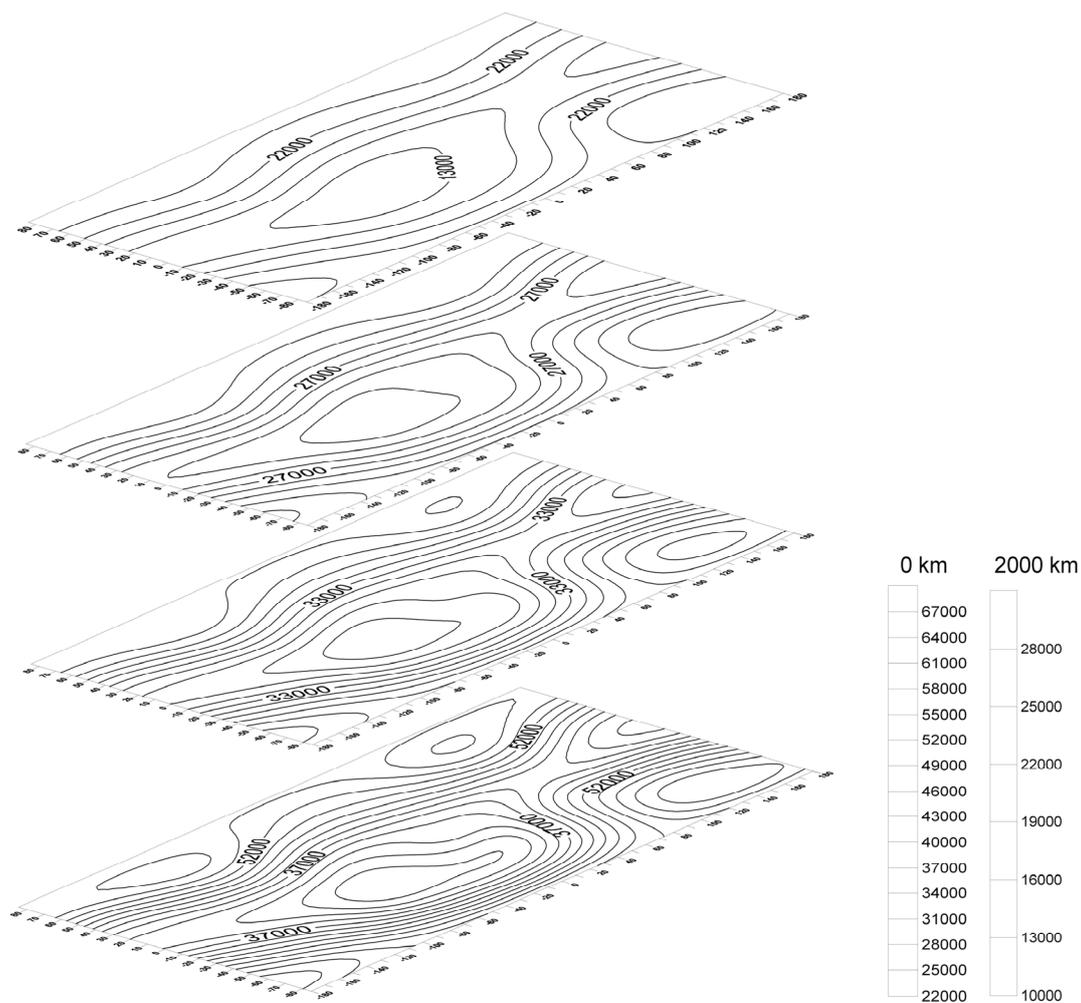


Рис. 4. Интенсивность индукции на высотах 0-500-1000-2000 км

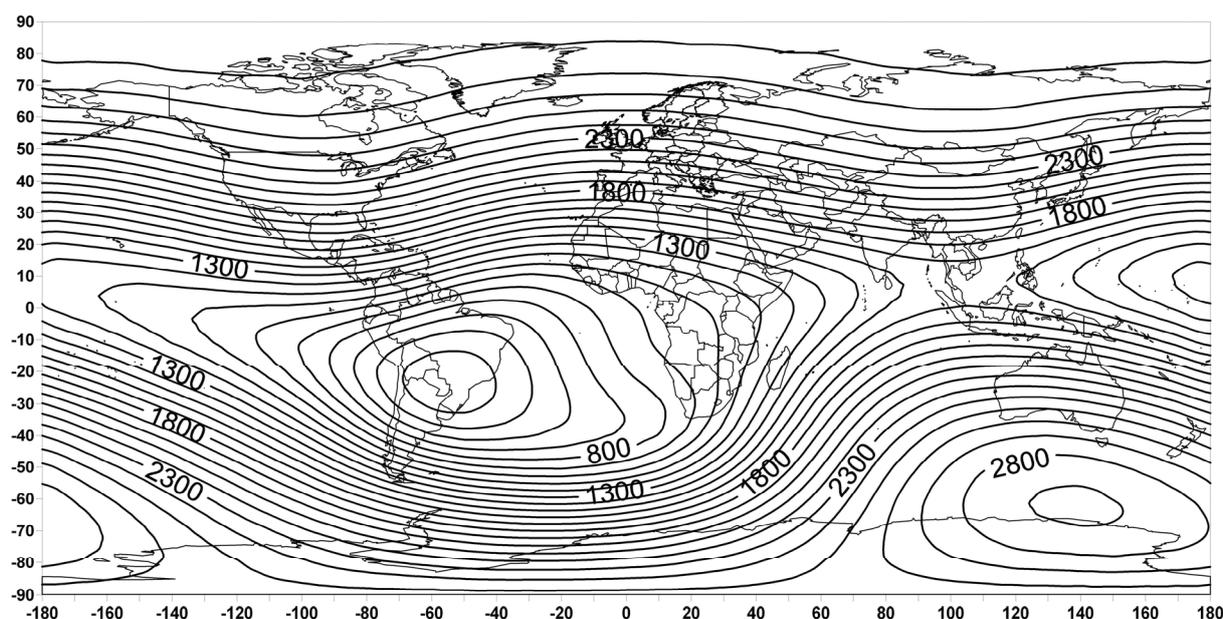


Рис. 5. Эквипотенциальная поверхность с индукцией поля  $\mathbf{B} = 20000$  нТл.

ЮМПЗ менее подвижен, за последние 100 лет переместился на 900 км, в настоящее время движется в северо-западном направлении со скоростью 10-15 км/год.

Рассмотрим наряду с анализом пространственно-временной структуры ГМПЗ на поверхности планеты некоторые особенности поведения магнитного поля в ближнем космосе. С этой целью с использованием online-программ [http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/igrf\_vitmo.html, Purucker, 2011] выполнен расчет ГМПЗ с размерами ячейки  $5^\circ \times 5^\circ$  на высоты до 2000 км с интервалом 50 км, а также оценено затухание поля с высотой по сети  $10^\circ \times 10^\circ$  до высоты 30 000 км.

На высоте полета спутников 300-1000 км значение BIGRF уменьшаются на 10-30% в областях максимумов и на 7-20% - в областях минимумов на поверхности Земли. В соответствии с результатами расчетов, приведенных на рис. 3 на высоте 2000 км интенсивность поля изменяется в пределах 10 000 – 28 000 нТл, т.е. уменьшается более чем в два раза по сравнению со значениями на поверхности. В целом структура магнитного поля на поверхности Земли в той или иной степени сохраняется вплоть до высот 30000 км, а интенсивность составляет, например  $B = 850 \div 1260$  нТл на высоте 12000 км и  $B = 170 \div 250$  нТл на высоте 30000 км.

С использованием массива числовых данных относительно значений поля в ближнем космосе, было построено серию повысотных карт, на которых приведены высоты с одинаковыми значениями индукции  $\mathbf{B}$  ГМПЗ. Для этого из массива данных выбирались высоты, значения поля на которых близки или равны по интенсивности. В качестве примера на рис.5 приведена карта высот с изолинией поля  $B = 20\,000$  нТл. Как видно из рис.5 высота “эквипотенциальной” поверхности с индукцией магнитного поля  $B = 20000$  нТл меняется в долготном направлении от 350 км в районе центральной части Южной Америки (область Южно-

Атлантической Аномалии) до 2200 км в районе Индонезии и Австралии (рис.5). Естественно, что соответствующие отличия в поле будут сохраняться и на больших высотах, и это будет сказываться на проникновении в нижнюю атмосферу Земли части высокоэнергетических частиц, что может приводить к сбоям в работе космической аппаратуры уже на высотах более 100 км [Heitzler et al., 2002].

Краткие выводы. Существенное уменьшение магнитного поля Земли, на фоне которого нарастает его своеобразная “контрастность” с наличием областей с резким уменьшением и ростом интенсивности  $\mathbf{B}$  вблизи магнитных полюсов, а также направление и скорость перемещения самих полюсов по - видимому свидетельствуют о том, что в настоящее время Земля находится в состоянии или экскурса МПЗ (с уменьшением магнитного момента и резким перемещением полюсов, с последующим возвратом в исходное положение), или конца эпохи Брюнес и реального изменения его полярности. Поскольку ни того, ни другого явления за время инструментальных наблюдений не происходило, то и невозможно предсказать, что будет и какие последствия (главное для органического мира) могут при этом возникнуть. В случае изменения полярности магнитного поля Земли (что вполне вероятно) следует отдать предпочтение модельным вариантам без уменьшения его значений до нуля. Такой вариант с возникновением временной “многополюсности” на планете возможен.

Уменьшение главного магнитного поля  $\mathbf{B}$  на поверхности Земли естественно сопровождается соответствующим уменьшением его с высотой. В связи с этим эквипотенциальные (изоуровневные) поверхности со временем будут приближаться к поверхности Земли. Это будет обуславливать автоматическое уменьшение размеров магнитосферы, и, соответственно, высоты и характера протекания тех или иных процессов, связанных с магнитосферой.

Прежде всего, будет меняться характер взаимодействия магнитосферы с межпланетным магнитным полем, индукция которого на границе с магнитосферой имеет в среднем величину 7 нТл, но может изменяться в связи с солнечной активностью в пределах 0,7-70 нТл. Характер взаимодействия будет определяться структурой главного магнитного поля Земли в месте встречи межпланетного возмущения и, естественно, в связи с вышеизложенным, сезоном года с одной стороны и направлением межпланетного магнитного поля – с другой.

Вторым важным моментом является приближение к поверхности Земли верхней и нижней границы радиационного пояса Ван Алена. С учетом вышеизложенного можно рассчитать место захвата частиц с разными энергиями и глубину их проникновения в атмосферу Земли.

Третьим моментом является точный расчет напряженности магнитного поля с учетом его структуры в отношении образования кольцевых токов на высотах 100-150 км, обуславливающих суточные вариации магнитного поля.

### Литература

1. Орлюк М.И. Магнітосфера Землі// Екологічна енциклопедія: У 3 т./ редколегія: А.В.Толстоухов (головний редактор) та ін. – К. : ТОВ “Центр екологічної освіти та інформації”.— 2007. — Т.2: Є-Н. — 416 с (С.266).
2. Орлюк М.И., Роменец А.А.. Новый критерий оценки пространственно-временной возмущенности магнитного поля Земли и некоторые аспекты его использования// Геофизич. Журн., 2005.—Т.27, №6. – С.1012-1023.
3. Яновский Б.А. Земной магнетизм. — М.: Наука, 1978. — 580 с.
4. Dolginov S, Zhuzgov LN, Pushkov NV, Tyurmina LO, and Fryazinov IV (1962) Some results of measurements of the constant geomagnetic field above the USSR from the third artificial Earth satellite. *Geomagnetism and Aeronomy* №2., pp. 877–889.
5. Heirtzler J, Allen H, and Wilkinson D (2002) Ever-present South Atlantic Anomaly damages spacecraft. *EOS, Transactions American Geophysical Union* 83(15): 165–172.
6. [http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/igrf\\_vitmo.html](http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/igrf_vitmo.html)
7. Manda M and Purucker M (2005) Observing, modeling, and interpreting magnetic fields of the solid Earth. *Surveys in Geophysics* <http://dx.doi.org/10.1007/s10712-005-3857-x>.
8. Maus S (2007) CHAMP magnetic mission. In: Gubbins D and Herrero-Bervera E (eds.) *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*. Heidelberg: Springer.
9. Maus S, Rother M, Hemart K, et al. (2006) Earth’s lithospheric magnetic field determined to spherical harmonic degree 90 from CHAMP satellite measurements. *Geophysical Journal International* 164: 319–330.
10. Olsen N (2007) Orsted. In: Gubbins D and Herrero-Bervera E (eds.) *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism* Heidelberg: Springer.
11. Olsen N, Hulot G, Sabaca T.J. (2009) *Treatise on Geophysics. Volume 5. Geomagnetism. The present Field.* Volume editors: Masaru Kono. Publisher at Elsevier.
12. Olsen N, Lu. H, Sabaka TJ, et al. (2006) CHAOS-A model of Earth’s magnetic field derived from CHAMP, Orsted, and SAC-C magnetic field data. *Geophysical Journal International* 166: 67–75.
13. Orlyuk M.I. (2007). Analysis of a geomagnetic field in Ecology// [www.cosis.net/06649/EGS02-A-06649.pdf](http://www.cosis.net/06649/EGS02-A-06649.pdf)
14. Purucker M. (2011). Planetary magnetic fields of the solar system// <http://planetary-mag.net/index.html/>