

М.И. Баранов

УТОЧНЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Надано уточнена модель внутрішнього електричного джерела біполярного постійного магнітного поля (ПМП) Землі. Дана модель джерела геомагнітного поля побудована на кругових надмірних електронних струмах напіврідкої мантії Землі. На основі запропонованої моделі виконана чисельна оцінка ПМП в області магнітних полюсів і у екватора Землі. Проведено порівняння отриманих розрахункових і відомих досвідчених даних для індукції геомагнітного поля.

Приведена уточненная модель внутреннего электрического источника биполярного постоянного магнитного поля (ПМП) Земли. Данная модель источника геомагнитного поля построена на круговых избыточных электронных токах полужидкой мантии Земли. На основе предложенной модели выполнена численная оценка ПМП в области магнитных полюсов и у экватора Земли. Произведено сравнение полученных расчетных и известных опытных данных для индукции геомагнитного поля.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время согласно обширным данным геофизических наблюдений известно, что геомагнитное поле планеты Земля носит биполярный характер и характеризуется на ее экваторе усредненным значением индукции примерно в 50 мкТл [1, 2]. Земная магнитосфера, простирающаяся на расстояние около десяти радиусов Земли от ее наружной поверхности (до $7 \cdot 10^7$ м) [2] и выполняющая роль защитного слоя (экрана) нашей планеты, подвержена электромагнитному и динамическому воздействию направленной от Солнца высококоряженной солнечной плазмы ("солнечного ветра"). Потоки солнечной плазмы могут приводить к изменению магнитной индукции геомагнитного поля до 1 мкТл, что в геофизике принято называть "магнитными бурями" [2]. Такие вариации геомагнитного поля в области высоких северных широт Земли вызывают появление полярных сияний. Как электрофизик автор склонен считать, что благодаря именно постоянному магнитному полю (ПМП) на нашей или иной планете вселенной оказывается возможным наличие атмосферы и соответственно существование живых существ на ней. Без наличия вокруг любой планеты ПМП и соответственно ее магнитосферы потоки солнечной (звездной) плазмы будут разрушать и уничтожать атмосферу планеты. А если нет атмосферы вокруг планеты, то нет на ней и биологической жизни. Чем же обуславливается геомагнитное поле? Какой электрический источник лежит в основе ПМП Земли? Вот те непростые вопросы, убедительного ответа на которые нет у человечества до сих пор. В соответствии с известными на сегодня в мире геофизическими данными внешнее ПМП планеты Земля приближенно можно представить в виде суперпозиции двух полей [1]: во-первых, практически не изменяющегося во времени ПМП, обусловленного электрическим источником, находящимся внутри Земли (*поле внутреннего источника геомагнетизма*), и, во-вторых, изменяющегося во времени поля, вызываемого электронно-ионными токами, протекающими вне Земли в области ее магнито- и ионосферы (*поле внешнего источника геомагнетизма*). Определяющей составляющей для напряженности геомагнитного по-

ля является та, которая вызвана внутренним электрическим источником ее магнетизма [2, 3]. Имеющиеся сейчас математические модели внутреннего источника земного магнетизма (например, построенные на теории гидромагнитного динамо в жидкой металлической субстанции ядра Земли [4, 5] или теории гравитационных электрических зарядов массы Земли [6]), на взгляд автора, носят явно гипотетический характер и не могут считаться единственно достоверными и адекватно отражающими электромагнитные процессы, протекающие внутри и снаружи Земли. В поисковых работах [7-9] были представлены новые приближенные модели внутреннего электрического источника ПМП Земли, базирующиеся, как показала в дальнейшем более углубленная литературная проработка в рамках рассматриваемой электромагнитной проблематики, на высказанной еще в 19 веке и долгие годы физико-математически никем не реализованной идее выдающегося французского физика Андре Ампера. Суть этой идеи заключается в том, что магнитное поле Земли вызывается ее круговыми постоянными электрическими токами [4, 6]. Автор в [7-9] свои приближенные расчетные модели ПМП Земли построил на протекающих в наружных сферических слоях полужидкой электропроводящей мантии именно круговых постоянных избыточных электронных (ионных) токов. При этом в [7-9] был описан и возможный механизм появления в полужидкой мантии этих круговых избыточных постоянных токов. Поэтому несмотря на то, что в научном мире явлению геомагнетизма посвящен большой объем исследований, до сих пор в этой геофизической области актуальным вопросом остается физический механизм возникновения и поддержания главного ПМП Земли, вызываемого внутренним электрическим источником геомагнетизма. В связи с этим определенный научный и практический интерес в области геомагнетизма представляет уточненное описание вероятного электрофизического механизма, обозначенного в [7-9] и лежащего в основе внутреннего источника земного магнетизма и появления у равномерно вращающейся вокруг своей оси и Солнца планеты Земля биполярного ПМП, стабильно генерируемого ею вот уже многие миллионы лет.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСТОЯННОГО ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Рассмотрим в сферической системе координат движущуюся в космическом пространстве со скоростью около $v_3=29 \cdot 10^3$ м/с по своей геостационарной орбите планету Земля, имеющую, как известно, примерно сферическую форму. Считаем, что ось OZ , соответствующая оси кругового вращения Земли (см. рисунок) и перпендикулярная плоскости земной орбиты (плоскости эклиптики), по отношению к нормали плоскости небесного экватора составляет известный в астрономии угол, равный около $23^\circ 27'$ [2]. На основании данных геофизики применительно к решаемой задаче магнитостатики полагаем, что внутренняя структура Земли содержит следующие три основные сферические части [1,3]: а) *твердую кору* в виде тонкой однородной немагнитной слабо электропроводной оболочки, толщина h_k смеси геологических пород и тектонических плит которой по порядку величины составляет в среднем не более 10^5 м и является значительно меньшей чем наружный радиус Земли R_3 , равный около $6,4 \cdot 10^6$ м [2]; б) *вязкую полужидкую (полутвердую) мантию*, содержащую электропроводящие расплавы металлов и минералов наружным радиусом R_p [4]; в) *жидкое металлическое ядро*, наружный радиус которого R_d составляет около $3,5 \cdot 10^6$ м, а его температура равна не менее $5 \cdot 10^3$ °С [4]. В рамках рассматриваемой модели влиянием вихревых потоков расплава мантии, мало изученных на сегодня физических процессов внутри ядра на характеристики мантии и неоднородностью ПМП снаружи Земли вблизи ее сферической поверхности пренебрегаем. В этой связи земную мантию при оценочных расчетах биполярного ПМП внутри (снаружи) планеты Земля принимаем в виде однослойного немагнитного электропроводящего полужидкого расплава сферической формы с ламинарным течением его слоев, имеющего наружный радиус $R_p=(R_3-h_k)=6,3 \cdot 10^6$ м и характеризующегося из-за наличия высокотемпературного жидкого металлического ядра Земли своим резко неоднородным по радиусу тепловым состоянием.

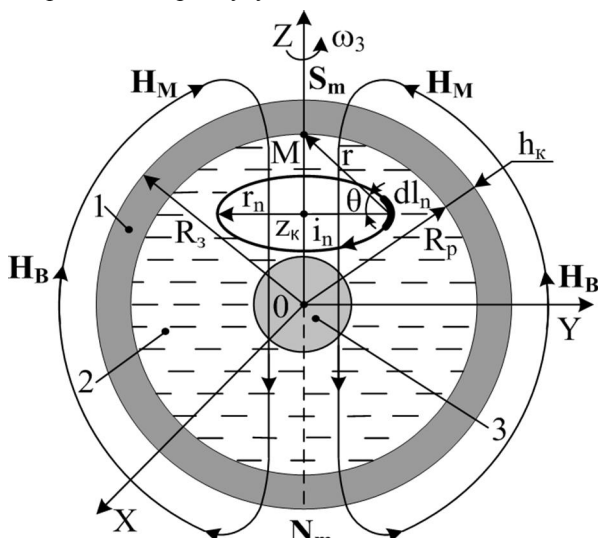


Рис. 1. Расчетная схема уточненной модели внутреннего электрического источника биполярного ПМП планеты Земля (1 – твердая кора; 2 – полужидкая мантия; 3 – жидкое ядро)

В наличии внешней твердой коры у Земли легко убеждается практически ежедневно каждый житель нашей планеты, а подтверждением наличия у Земли расплава мантии могут служить известные геофизические данные, относящиеся к повышению температуры горных пород при вертикальном опускании в глубь Земли (в среднем на 1°C на каждые 33 м) и извержениям ее надводных (подводных) вулканов, сопровождающимся выходом наружу мощных потоков лавы из расплавленных вулканических пород – магмы температурой примерно 2000°C [1, 2]. Допускаем, что из-за явления термоэлектронной эмиссии [10, 11] и возможного радиального движения от вращающегося центрального жидкого ядра Земли к периферии также вращающейся мантии нашей планеты потока свободных электронов (например, из-за действия на них силы Лоренца и резко неоднородного по радиусу мантии температурного поля) в наружном слое полужидкой электропроводящей мантии присутствуют в избытке многочисленные свободные нерелятивистские электроны. Считаем, что эти электроны хаотично перемещаются между ионами расплава мантии с тепловой скоростью, определяемой их энергией Ферми, и имеют элементарный отрицательный электрический заряд, численно равный по модулю $e_0=1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл [12]. Пусть усредненная объемная плотность (концентрация) n_{e0} свободных электронов в наружном слое расплава земной мантии численно составляет величину, равную около $5 \cdot 10^{27}$ м⁻³, что примерно в 30 раз меньше концентрации свободных электронов в твердом электропроводном железе Fe [13, 14]. Принимаем, что как твердая кора Земли совершает круговое вращение, так и сферические части ее вязкой (полужидкой) мантии и расплавленного ядра осуществляют круговое относительно оси OZ равномерное движение против часовой стрелки (с запада на восток) с постоянной круговой частотой ω_3 и с периодом обращения, соответствующим их одному полному обороту за земные сутки и численно равным $T_3=2\pi/\omega_3=86,4 \cdot 10^3$ с. Ограничимся рассмотрением внутреннего источника постоянного геомагнитного поля, обуславливаемого радиальным дрейфом свободных электронов жидкого ядра и полужидкой мантии и предположительно расположенного в наружной сферической области полужидкой мантии Земли.

2. РАСЧЕТ КРУГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ТОКОВ ПОЛУЖИДКОЙ МАНТИИ ЗЕМЛИ

В рассматриваемом нерелятивистском приближении ($v_3 \ll v_c$, где $v_c=3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме [12]) исследуемые нами электрофизические процессы будут инвариантны и не будут зависеть от выбора инерциальной системы отсчета, привязанной выше к центру Земли. Расчетную модель избыточных постоянных электрических токов, круговым образом протекающих в тонком наружном сферическом слое полужидкой и вращающейся совместно с твердой корой Земли с постоянной круговой частотой $\omega_3=2\pi/T_3$ земной мантии построим на основе кольцевого однонаправленного движения ее отрицательно заряженных избыточных свободных электронов, осуществляющих один полный оборот вокруг оси OZ за

время $T_3=86,4 \cdot 10^3$ с. При этом примем во внимание то обстоятельство, что в теории электричества (электротехнике) за положительное направление электрического тока принимается направление движения положительно заряженных частиц [12]. Поэтому круговые избыточные электронные токи i_n реально вращающегося против часовой стрелки (с запада на восток) тонкого наружного слоя полужидкого расплава мантии Земли, пространственно локализованные под ее твердой корой на окружностях текущим радиусом r_n , при дальнейших электромагнитных расчетах будут согласно прилагаемому рисунку направлены в противоположную сторону – по часовой стрелке (с востока на запад). Выполним первоначально приближенную оценку усредненного взаимного расстояния a_p между соседними свободными электронами вращающейся с частотой ω_3 тонкой сферической оболочки полужидкого расплава мантии Земли. В рассматриваемом упрощенном случае возникновения и функционирования внутреннего электрического источника геомагнетизма для искомой величины a_p в полужидком электропроводящем расплаве мантии Земли имеем [14]:

$$a_p = n e_0^{-1/3}. \quad (1)$$

Подставив в (1) принятое для полужидкого электропроводящего расплава мантии численное значение объемной плотности его носителей электричества $n_{e0}=5 \cdot 10^{27}$ м⁻³, для a_p получим величину, равную около $0,59 \cdot 10^{-9}$ м. Далее найдем модуль величины элементарного кругового электронного тока i_{e0} во вращающемся слое полужидкого расплава мантии, обусловленного кольцевым движением вокруг оси OZ его одного свободного электрона, в следующем виде [15]:

$$i_{e0} = e_0 / T_3. \quad (2)$$

Выделив во вращающейся наружной полый сфере полужидкого электропроводящего расплава мантии толщиной $(R_N - R_n)$ в плоскости, параллельной плоскости экватора Земли, кольцевой электрический контур с текущим радиусом $r_n \in [R_n, R_N]$, с учетом (2) для его кругового избыточного электронного тока проводимости i_n запишем расчетное выражение вида:

$$i_n = 2\pi r_n i_{e0} / a_p, \quad (3)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots, N$ – номер сверхтонкого круглого контура во вращающемся слое полужидкого электропроводящего расплава мантии с постоянным электронным током, начиная с внутренней поверхности этого слоя ($n=1$) и заканчивая твердой корой Земли ($n=N=(R_N - R_n)/a_p$; $R_N=(R_p^2 - z_k^2)^{1/2}$; z_k – расстояние между параллельными плоскостями сверхтонких кольцевых электрических контуров произвольным радиусом r_n с током проводимости i_n и экватора планеты Земля).

В соответствии с исследуемой здесь приближенной моделью внутреннего электрического источника земного магнетизма вращающаяся вокруг оси OZ незначительная часть полужидкого расплава мантии, примыкающая к твердой коре Земли, будет содержать в себе по высоте этого расплава (вдоль оси OZ) с учетом верхнего (северного) и нижнего (южного) полушарий Земли суммарное число кольцевых коаксиальных электрических контуров с электронным током i_n , примерно равное $K=\pi R_p/a_p$. Остановимся далее на рас-

смотрении наиболее простого для внутреннего электрического источника геомагнетизма случая, соответствующего сверхтонкой сферической оболочке вращающегося совместно с твердой корой полужидкого расплава мантии ($r_n=R_N$). Тогда на основании соотношений (2) и (3) для суммарного избыточного кругового постоянного электронного тока i_K вращающейся против часовой стрелки (с запада на восток) сверхтонкой сферы принятого нами полужидкого электропроводящего расплава мантии Земли получаем:

$$i_K = \frac{2\pi^2 e_0 R_N R_p}{a_p^2 T_3}. \quad (4)$$

Из (4) следует, что при усредненном значении радиуса кругового электрического контура с электронным током i_n для сверхтонкого сферического слоя вращающегося вместе с твердой корой нашей планеты расплава мантии, равном $R_N=R_p/2=3,15 \cdot 10^6$ м, и принятых выше исходных электрофизических параметрах для твердой коры и полужидкого расплава мантии Земли ($R_3=6,4 \cdot 10^6$ м; $h_k=10^5$ м; $T_3=86,4 \cdot 10^3$ с; $e_0=1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл; $n_{e0}=5 \cdot 10^{27}$ м⁻³; $a=0,59 \cdot 10^{-9}$ м) расчетное усредненное значение суммарного кругового постоянного избыточного электронного тока проводимости i_K планеты Земля оказывается примерно равным $2,086 \cdot 10^9$ А. Видно, что приведенные выше численные оценки для круговых токов проводимости расплава мантии свидетельствуют о том, что при равномерном вращении против часовой стрелки (с запада на восток) твердой коры Земли с круговой частотой $\omega_3=7,27 \cdot 10^{-5}$ с⁻¹ из-за вовлечения в указанное вращение наружной части полужидкой сферы электропроводящей мантии Земли под твердой корой нашей планеты могут протекать огромные кольцевые коаксиально расположенные относительно оси вращения OZ избыточные постоянные электронные токи i_n . Важно отметить, что в остальной части вращающейся мантии избыточных круговых токов не будет. Именно эти пространственно распределенные на наружной сферической поверхности вращающегося вместе с твердой корой Земли полужидкого расплава мантии круговые избыточные электронные токи i_n , в появлении которых участвуют радиально дрейфующие электроны ядра и мантии, и определяют внутренний электрический источник геомагнетизма. Кроме того, из приближенного соотношения вида $i_K/(2R_3+\pi R_3)$, вытекающего из закона полного тока согласно [12, 14] для многовитковых круглых контуров вращающегося слоя земной мантии с электронными токами i_n , следует, что усредненное расчетное значение напряженности (магнитной индукции) ПМП снаружи Земли должно составлять при ее указанном суммарном постоянном токе мантии $i_K=2,086 \cdot 10^9$ А и принятом радиусе Земли $R_3=6,4 \cdot 10^6$ м около 63,4 А/м (79,7 мкТл).

3. РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ОТ КРУГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ТОКОВ ПОЛУЖИДКОЙ МАНТИИ ЗЕМЛИ

Данную оценку осуществим в приближении того, что ось кругового вращения OZ Земли совпадает с осью ее биполярного геомагнитного поля. В действительности данные оси для нашей планеты разнесены

друг от друга на угол, составляющий около $11,5^\circ$ [2, 16]. В рамках рассматриваемой здесь прямой задачи магнитостатики ограничимся уточненным, по сравнению с приведенной выше в разделе 2 грубой оценкой по найденному постоянному электронному току i_k силовых характеристик геомагнитного поля, расчетом напряженностей ПМП внутри Земли на оси ее вращения OZ (значение H_M в полярных точках M вблизи ее географических полюсов и значение H_O в точке O – центре Земли) и снаружи нашей планеты вблизи ее экватора – значение H_B (см. рис. 1). Воспользовавшись законом Био-Савара-Лапласа [12, 14], для напряженности ПМП в искомой точке M вблизи северного географического (южного магнитного) полюса Земли, создаваемой размещенным на высоте z_k над плоскостью земного экватора малым криволинейным элементом длиной dl_n одиночного кругового контура радиусом $r_n=R_N=R_k$ с током электронной проводимости i_n по (3), можно в соответствии с принятыми нами обозначениями записать следующее выражение:

$$dH_{M1} = \frac{i_n \cos \theta dl_n}{4\pi r^2}, \quad (5)$$

где $r=R_k/\cos\theta$ – расстояние от центра элемента длиной dl_n кругового контура с постоянным электронным током i_n до расчетной точки M на оси OZ .

Используя соотношение $dl_n=R_k d\varphi$ и (4), после интегрирования в (5) по азимутальному углу φ в пределах от 0 до 2π для напряженности H_{M1} ПМП Земли в исследуемой точке M , формируемой одиночным круговым контуром радиусом R_k электронного тока i_n вращающегося вместе с твердой корой против часовой стрелки (с запада на восток) сверхтонкого сферического слоя полужидкого расплава мантии верхнего (северного) полушария Земли ($z_k \geq 0$), получаем:

$$H_{M1} = \frac{\pi e_0 R_k^3}{a_p T_3 [R_k^2 + (R_p - z_k)^2]^{3/2}}, \quad (6)$$

где $R_k = [R_p^2 - z_k^2]^{1/2}$.

При учете влияния одиночных круговых контуров радиусом R_k электронных токов i_n вращающегося сверхтонкого слоя полужидкого расплава мантии нижнего (южного) полушария Земли ($z_k \leq 0$) на напряженность ПМП в рассматриваемой точке M верхнего (северного) полушария Земли с учетом (6) и принципа суперпозиции магнитных полей для ее результирующей величины H_{M1P} в этой расчетной точке будет справедлива следующая приближенная формула:

$$H_{M1P} = \frac{\pi e_0 R_k^3}{a_p T_3 [R_k^2 + (R_p - z_k)^2]^{3/2}} + \frac{\pi e_0 R_k^3}{a_p T_3 [R_k^2 + (R_p + |z_k|)^2]^{3/2}}. \quad (7)$$

Отметим, что при $K=\pi R_p/a_p$ и принятых исходных параметрах ($R_p=6,3 \cdot 10^6$ м; $a_p=0,59 \cdot 10^{-9}$ м) количество одиночных круговых контуров с изменяющимся вдоль оси OZ радиусом R_k и постоянным избыточным электронным током i_n различной по высоте их размещения z_k величины для сверхтонкого под твердой корой вращающегося против часовой стрелки (с запада

на восток) сферического слоя полужидкого электропроводящего расплава мантии Земли численно составляет порядка $K=\pi R_p/a_p=3,3 \cdot 10^{16}$. Для обеспечения с помощью соотношения (7) при таком огромном числе круговых контуров с избыточными электронными токами i_n практической реализуемости расчетных полевых оценок, сравнительно малых затрат машинного времени и упрощения численных расчетов на ПЭВМ напряженностей ПМП в указанных точках планеты Земля с произвольной и наперед заданной точностью их вычисления ε_p автором предлагается следующий приближенный физико-математический прием.

Во-первых, задаемся возможным отличием напряженностей ПМП вдоль оси OZ на смежных уровнях высот z_k и z_{k+1} размещения рассматриваемых круглых токовых контуров радиусом R_k над плоскостью земного экватора, численно составляющим $H(z_{k+1})/H(z_k) = \lambda$. При заданном значении λ величина ε_p приближенно может быть оценена из соотношения $\varepsilon_p=(1-\lambda)$. Тогда исходя из (6), для толщины рассматриваемого слоя расплава мантии $\Delta z=(z_{k+1}-z_k)$, удовлетворяющей заданному значению λ отличия на его граничных плоских поверхностях нормальных составляющих напряженности ПМП, получаем оценочное соотношение, равное около $\Delta z=R_p(1-\lambda^2)^{1/2}$.

Во-вторых, зная количественное значение толщины Δz указанного слоя, находим расчетное число электрических контуров радиусом R_k с постоянным электронным током i_n , послойно размещенных на каждом макроскопическом слое полужидкого расплава земной мантии толщиной Δz в следующем аналитическом виде: $\Delta z/a_p=R_p(1-\lambda^2)^{1/2}/a_p$.

В-третьих, найденное расчетное число указанных электрических контуров $R_p(1-\lambda^2)^{1/2}/a_p$ используем на каждом расчетном слое толщиной Δz (на каждом дискретном пространственном шаге вычисления значений H_M и H_O по продольной координате z при наибольшем числе таких расчетных шагов k_m в каждом полушарии Земли, равном $R_p/\Delta z=(1-\lambda^2)^{-1/2}$) в качестве множителя в выражениях для результирующих значений напряженностей ПМП в той или иной принятой выше расчетной точке внутри (снаружи) Земли.

Учитывая формулу (7) и описанный нами выше физико-математический прием по упрощенному расчету биполярного ПМП Земли, для его суммарной напряженности H_M в области земного северного географического полюса (в точке M и ей идентичной по модулю величины H_M диаметрально противоположной точке в области земного южного географического полюса) от круговых контуров избыточных электронных токов i_n сверхтонкого вращающегося одновременно с твердой корой против часовой стрелки (с запада на восток) сферического слоя полужидкого электропроводящего расплава мантии Земли находим:

$$H_M = \frac{\pi e_0 R_p (1-\lambda^2)^{1/2}}{a_p^2 T_3} \cdot \left[\sum_{k=1}^{(1-\lambda^2)^{-1/2}} \frac{R_k^3}{[R_k^2 + (R_p - z_k)^2]^{3/2}} + \sum_{k=1}^{(1-\lambda^2)^{-1/2}} \frac{R_k^3}{[R_k^2 + (R_p + |z_k|)^2]^{3/2}} \right], \quad (8)$$

где $z_k = k \cdot R_p (1 - \lambda^2)^{1/2}$; $k = 1, 2, 3, \dots, (1 - \lambda^2)^{-1/2}$.

Аналогично (8) для суммарной напряженности H_O биполярного ПМП в центре Земли (в точке O) от круговых контуров избыточных электронных токов i_n , размещенных в сверхтонких вращающихся сферических слоях расплава мантии северного и южного полушарий планеты Земля, приближенно получаем:

$$H_O = \frac{2\pi e_0 R_p (1 - \lambda^2)^{1/2}}{a_p^2 T_3} \cdot \sum_{k=1}^{(1 - \lambda^2)^{-1/2}} \frac{R_k^3}{[R_k^2 + z_k^2]^{3/2}}. \quad (9)$$

Из (8) и (9) следует, что уровни напряженностей H_M и H_O для биполярного ПМП внутри полужидкого (полутвердого) расплава земной мантии и у географических полюсов Земли при строго фиксированных численных значениях величин e_0 и T_3 могут варьироваться (изменяться) практически только в зависимости от количественных значений R_p и a_p . Видно, что чем больше геометрические размеры сферы расплава электропроводящей мантии (ее радиус R_p), меньше значения a_p (выше электронная плотность n_{e0} в полужидком расплаве мантии) и меньше значения T_3 (выше круговая частота ω_3 вращения Земли), тем будут большими значения указанных напряженностей H_M и H_O для постоянного геомагнитного поля. При резком уменьшении n_{e0} (резком возрастании a_p) данная расчетная модель позволяет осуществлять компенсацию резкого уменьшения значений H_M и H_O за счет учета влияния на них толщины $(R_N - R_n)$ вращающегося слоя мантии. Отметим важное свойство для напряженностей H_M и H_O биполярного ПМП Земли: они при принятом круговом вращении планеты Земля будут всегда направлены сверху вниз (от северного полушария планеты к южному), будут выходить из твердой коры в зоне южного географического полюса Земли и входить в ее твердую кору в зоне северного географического полюса Земли. Поэтому указанное вращение сверхтонкого наружного слоя полужидкой мантии Земли и ее соответствующие круговые избыточные электронные токи проводимости i_n будут вызывать появление в зоне северного географического полюса (вверху Земли) южного магнитного полюса S_m Земли, а в зоне южного географического полюса (внизу Земли) – северного магнитного полюса N_m Земли. В этой связи можно говорить о том, что в соответствии с предлагаемой уточненной математической моделью внутреннего электрического источника биполярного ПМП Земли замкнутые кольцевые постоянные избыточные электронные токи i_n ее круговым образом вращающегося с постоянной скоростью сверхтонкого слоя полужидкой электропроводящей мантии выполняют своеобразную роль отдельных сверхтонких круглых витков природного земного многовиткового сфероподобного постоянного электромагнита, имеющего верхний вход (южный магнитный полюс S_m) и нижний выход (северный магнитный полюс N_m) для своих замкнутых линий магнитной индукции.

Для расчетной оценки усредненной напряженности H_B биполярного ПМП снаружи Земли вблизи сферической поверхности ее твердой коры в зоне экватора используем выражения (4), (8), (9) и закон полного тока [12, 14] для исследуемого природного многовит-

кового постоянного электромагнита Земли длиной (высотой) $2R_3$ с его сверхтонкими круглыми электрическими контурами (витками) усредненным радиусом $R_k = R_p/2$ в количестве $K = \pi R_p/a_p$ и согласно (4) суммарным круговым избыточным постоянным электронным током i_k . Тогда для искомой напряженности H_B биполярного ПМП у экватора планеты Земля имеем следующее приближенное расчетное соотношение:

$$H_B = \frac{\pi e_0 R_p^2}{a_p^2 T_3 R_3} - \frac{(H_M + H_O)}{\pi}. \quad (10)$$

4. ПРЕДЛОЖЕННАЯ МОДЕЛЬ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И НЕКОТОРЫЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ ИЗ НЕЕ

Предложенная автором уточненная математическая модель биполярного ПМП планеты Земля позволяет феноменологически представить инверсию ее магнитных полюсов в виде изменения в наружном вращающемся слое полужидкой мантии круговых избыточных электронных (отрицательных) токов на избыточные ионные (положительные) токи материала расплава мантии. Возможный гипотетический электрофизический механизм такой инверсии геомагнитного поля был в общих чертах представлен автором в его предыдущей работе [8] по земному магнетизму. Кроме того, предложенная модель позволяет установить прямую связь между наличием или отсутствием биполярного ПМП у вращающихся вокруг своих осей планет (или их спутников) солнечной или иной системы нашей галактики и внутренним построением этих небесных тел. Так, из нее, например, следует то, что наличие биполярного ПМП у вращающейся против часовой стрелки (с запада на восток) вокруг своей оси планеты с немагнитной слабо электропроводной твердой оболочкой и южным магнитным полюсом S_m наверху в ее северном полушарии может свидетельствовать о присутствии внутри нее огромной сферы расплавленного электропроводящего вещества с центральным высокотемпературным жидким ядром и многочисленным количеством избыточных свободных электронов в ее тонком наружном слое, который вращается совместно с твердой оболочкой этой планеты. Согласно данной модели геомагнитного поля присутствие у иной планеты и аналогично вращающейся Земле против часовой стрелки (с запада на восток) биполярного ПМП с северным магнитным полюсом N_m наверху в ее северном полушарии (например, как у Юпитера, обладающего самым мощным среди планет солнечной системы биполярным ПМП, магнитная индукция которого на порядок превышает соответствующее значение магнитной индукции для ПМП Земли [2]) может указывать на наличие под ее внешней твердой оболочкой огромной сферической электропроводящей структуры (субстанции) с радиальным потоком свободных электронов от ее периферии к центру, наружный слой которой вместе с немагнитной оболочкой этой планеты вращается в одну сторону и обладает при своем круговом вращении однонаправленным избыточным потоком не свободных электронов, а положительно заряженных ионов материала этой субстанции. Отсутствие у вращаю-

щейся вокруг своей оси планеты (или ее спутника) с внешней немагнитной слабо электропроводной твердой оболочкой биполярного ПМП (например, как у Венеры или Марса) в соответствии с рассматриваемой здесь моделью геомагнитного поля может говорить о том, что под твердой оболочкой внутри таких небесных тел присутствуют охлажденные с примерно одинаковой по радиусу низкой температурой твердые вещества, которые из-за практического отсутствия в их наружных слоях избыточных свободных электронов (или ионов) не способны при своем круговом вращении обеспечить протекание вокруг своих осей вращения круговых постоянных избыточных токов электронной (или ионной) проводимости и соответственно генерировать вокруг себя слабое постоянное биполярное магнитное поле. Следует подчеркнуть то, что предлагаемый автором подход по приближенному физико-математическому описанию механизма происхождения и поддержания биполярного ПМП Земли за счет естественного для нашей планеты кругового характера движения под ее твердой корой избыточных свободных электронов незначительной наружной части сферы полужидкого расплава мантии с ее резко неоднородным по радиусу температурным полем и радиальным дрейфом от ядра к периферии мантии огромного потока свободных электронов и появления из-за этого огромного количества сверхтонких коаксиально размещенных относительно оси вращения OZ и симметрично расположенных относительно земного экватора кольцевых компланарных контуров радиусом R_k с постоянными избыточными электронными токами i_n обеспечивает возникновение внутри и вокруг Земли слабого биполярного ПМП. Причем, такого ПМП как у гигантского постоянного электромагнита общей длиной $2R_3=12,8 \cdot 10^6$ м с южным магнитным полюсом S_m в северном полушарии и с северным магнитным полюсом N_m в южном полушарии Земли.

5. ПРИМЕР РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОСТЕЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ С ИЗВЕСТНЫМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ

Выполним по формулам (8)–(10) приближенную численную оценку для напряженностей H_M , H_O и H_B биполярного ПМП Земли при следующих исходных электрофизических данных: $R_3=6,4 \cdot 10^6$ м; $h_k=10^5$ м; $R_p=6,3 \cdot 10^6$ м; $T_3=86,4 \cdot 10^3$ с; $e_0=1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл; $n_{e0}=5 \cdot 10^{27}$ м⁻³; $a_p=0,59 \cdot 10^{-9}$ м. Примем, что расчетный параметр $\lambda=0,999$, а соответствующая ему величина точности вычислений ε_p искомым полевым характеристик примерно составляет 0,001, то есть до третьего знака после запятой в численных значениях указанных напряженностей. При принятом значении λ максимальное число $(1-\lambda^2)^{-1/2}$ членов в рядах (8) и (9) составит $k_m=22$. Выполненный численный эксперимент с изменением параметра λ показал, что при $\varepsilon_p=10^{-5}$ ($\lambda=0,99999$; $k_m=223$) изменения значений напряженностей H_M и H_O по сравнению с соответствующим расчетным вариантом для $\lambda=0,999$ не превышают 1 %. После подстановки этих данных в расчетные выражения (8)–(10) и использования стандартной программы MathCAD 13 для искомым величин напряженностей

геомагнитного поля получаем следующие оценочные результаты: $H_M=83,30$ А/м (магнитная индукция $V_M=\mu_0 H_M=104,68$ мкТл); $H_O=119,48$ А/м (магнитная индукция $V_O=\mu_0 H_O=150,14$ мкТл); $H_B=39,23$ А/м (магнитная индукция $V_B=\mu_0 H_B=49,29$ мкТл, где $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная [12,14]). Приведенные выше расчетные численные оценки для биполярного ПМП Земли свидетельствуют о том, что в области земных географических и соответственно магнитных полюсов расчетное значение напряженности H_M примерно в 2,12 раза превышает расчетное значение напряженности H_B у экватора Земли. В центре Земли расчетная напряженность H_O биполярного ПМП оказывается в 1,43 раза выше его расчетной напряженности H_M у ее магнитных (географических) полюсов. Согласно [2, 16] известно, что экспериментально зафиксированные максимальные значения для напряженности H_M ПМП у магнитных полюсов Земли составляют около 55,7 А/м (магнитная индукция $V_M=70$ мкТл), а для напряженности H_B ПМП у земного экватора – примерно 31,8 А/м (магнитная индукция $V_B=40$ мкТл). Сравнение полученных расчетных результатов для геомагнитного поля и опытных данных для биполярного ПМП Земли свидетельствует об их приемлемом для геомагнитной практики согласовании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Расчетным путем показано, что в качестве внутреннего электрического источника земного магнетизма может выступать круговым образом равномерно вращающаяся с периодом суточного обращения $T_3=86,4 \cdot 10^3$ с совместно с немагнитной слабо электропроводной твердой корой Земли радиусом R_3 против часовой стрелки (с запада на восток) наружная часть огромной сферы полужидкой немагнитной электропроводящей мантии Земли радиусом R_p , содержащая избыточные свободные электроны и обеспечивающая с их помощью протекание под твердой корой Земли в тонком сферическом слое кольцевых избыточных постоянных электронных токов с переменным по высоте z_k размещения радиусом R_k их контуров и коаксиальных по отношению к ее оси вращения OZ . Установлено, что многочисленные сверхтонкие круглые компланарные витки данных избыточных токов электронной проводимости образуют гигантский сфероподобный природный постоянный электромагнит длиной (высотой) около $2R_3=12,8 \cdot 10^6$ м, вызывающий появление внутри и снаружи планеты Земля слабого биполярного главного ПМП (с расчетной магнитной индукцией у ее магнитных полюсов V_M до 100 мкТл и у ее экватора V_B до 50 мкТл) с южным магнитным полюсом S_m в ее северном полушарии и с северным магнитным полюсом N_m в южном полушарии Земли. На основе предложенной здесь модели внутреннего электрического источника слабого биполярного главного ПМП планеты Земля выполнен оценочный численный расчет напряженностей постоянного магнитного поля в ее центре, у магнитных полюсов и у экватора, результаты которого удовлетворительно согласуются с известными данными опытных измерений напряженности ПМП как в зоне земных магнитных полюсов, так и у экватора Земли.

2. Предложенный электрофизический подход в области геомагнетизма позволил установить взаимосвязь между наличием (отсутствием) биполярного ПМП у планет (спутников) солнечной или иной системы нашей галактики и построением, направлением кругового вращения и агрегатным состоянием основных частей их внутренней сферической структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яновский Б.М. Земной магнетизм / Под ред. В.В. Металловой. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. – 592 с.
2. Белов К.П., Бочкарев Н.Г. Магнетизм на Земле и в космосе. – М.: Наука, 1983. – 192 с.
3. Вонсовский С.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1984. – 208 с.
4. <http://2012new.org/?p=972>.
5. Зельдович Я.Б., Рузмайкин А.А. Гидромагнитное динамо как источник планетарного, солнечного и галактического магнетизма // Успехи физических наук. – Том 152. – Вып. 6. – 1987. – С. 263-284.
6. <http://n-t.ru/tp/mr/pmpz.htm>.
7. Баранов М.И. Постоянное магнитное поле планеты Земли. Новая гипотеза происхождения и его приближенный расчет // Электротехника і електромеханіка. – 2010. – № 5. – С. 39-42.
8. Баранов М.И. Приближенная модель радиального распределения свободных электронов в мантии Земли и инверсия геомагнитного поля // Электротехника і електромеханіка. – 2010. – № 6. – С. 42-45.
9. Баранов М.И. Приближенный расчет магнитного момента Земли // Электротехника і електромеханіка. – 2010. – № 6. – С. 46-48.
10. Фоменко В.С. Эмиссионные свойства материалов. Справочник. – Киев: Наукова думка, 1981. – 339 с.
11. Баранов М.И. Термоэлектронная эмиссия из металла при нагреве и электрическом взрыве проводников под воздействием больших импульсных токов // Технічна електродинаміка. – 2008. – № 3. – С. 3-8.
12. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский. – Киев: Наукова думка, 1989. – 864 с.
13. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 2, Кн. 1: Теория электрофизических эффектов и задач. – Харьков: Изд-во НТУ "ХПИ", 2009. – 384 с.
14. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука, 1990. – 624 с.
15. Баранов М.И. Электродинамическое развитие квантовой теории атома Бора // Электротехника і електромеханіка. – 2006. – № 5. – С. 65-73.
16. Бондина Н.Н., Хавина И.П. Физические поля в биологических объектах. Учебное пособие. – Харьков: Изд-во НТУ "ХПИ", 2001. – 185 с.

Bibliography (transliterated): 1. Yanovskij B.M. Zemnoj magnetizm / Pod red. V.V. Metallovoj. – L.: Izd-vo Leningr. un-ta, 1978. – 592 s. 2. Belov K.P., Bochkaev N.G. Magnetizm na Zemle i v kosmose. – M.: Nauka, 1983. – 192 s. 3. Vonsovskij S.V. Magnetizm. – M.: Nauka, 1984. – 208 s. 4. <http://2012new.org/?p=972>. 5. Zel'dovich Ya.B., Ruzmajkin A.A. Gidromagnitnoe dinamo kak istochnik planetarnogo, solnechnogo i galakticheskogo magnetizma // Uspehi fizicheskikh nauk. – Tom 152. – Vyp. 6. – 1987. – S. 263-284. 6. <http://n-t.ru/tp/mr/pmpz.htm>. 7. Baranov M.I. Postoyannoe magnitnoe pole planety Zemlya. Novaya gipoteza proishozhdeniya i ego priblizhennyj raschet // Elektrotehnika i elektromehaniika. – 2010. – № 5. – S. 39-42. 8. Baranov M.I. Priblizhennaya model' radial'nogo raspredeleniya svobodnyh `elektronov v mantii Zemli i inversiya geomagnitnogo polya // Elektrotehnika i elektromehaniika. – 2010. – № 6. – S. 42-45. 9. Baranov M.I. Priblizhennyj raschet magnitnogo momenta Zemli // Elektrotehnika i elektromehaniika. – 2010. – № 6. – S. 46-48. 10. Fomenko V.S. `Emissionnye svojstva materialov. Spravochnik. – Kiev: Naukova dumka, 1981. – 339 s. 11. Baranov M.I. Termo`elektronnaya `emissiya iz metalla pri nagreve i `elektricheskom vzryve provodnikov pod vozdejstviem bol'shix impul'snyh tokov // Tehnichna elektrodinamika. – 2008. – № 3. – S. 3-8. 12. Kuz'michev V.E. Zakony i formuly fiziki / Otv. red. V.K. Tartakovskij. – Kiev: Naukova dumka, 1989. – 864 s. 13. Baranov M.I. Izbrannye voprosy `elektrofiziki: Monografiya v 2-h tomah. Tom 2, Kn. 1: Teoriya `elektrofizicheskikh `effektov i zadach. – Har'kov: Izd-vo NTU "HPI", 2009. – 384 s. 14. Yavorskij B.M., Detlaf A.A. Spravochnik po fizike. – M.: Nauka, 1990. – 624 s. 15. Baranov M.I. `Elektrodinamicheskoe razvitie kvantovoj teorii atoma Bora // Elektrotehnika i elektromehaniika. – 2006. – № 5. – S. 65-73. 16. Bondina N.N., Havina I.P. Fizicheskie polya v biologicheskikh ob`ektah. Uchebnoe posobie. – Har'kov: Izd-vo NTU "HPI", 2001. – 185 s.

Поступила 11.05.2011

*Баранов Михаил Иванович, д.т.н., с.н.с.
НИПКИ "Молния"
Национального технического университета
"Харьковский политехнический институт".
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47
тел. (057) 707-68-41, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua*

Baranov M.I.

A refined mathematical model of the electric source of the permanent geomagnetic field.

A refined model of the internal electric source of the Earth's bipolar permanent magnetic field (PMF) is presented. This model of the geomagnetic field source is based on circular excess electron currents of the Earth's semisolid mantle. With the model introduced, numerical evaluation of the PMF in the area of the magnetic poles and at the equator of the Earth is made. For induction of the geomagnetic field, calculated data obtained are compared with available experimental data.

Key words – mathematical model, permanent geomagnetic field, internal electric source, numeral evaluation.