

УДК 550.388.2

СООТНОШЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН МЕЖДУ СЛОЯМИ В ПОЛНОЙ МОДЕЛИ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА И СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ

Ю.С. ВАРДАНЯН

Институт радиофизики и электроники НАН Армении, Аштарак

(Поступила в редакцию 5 июля 2007 г.)

Показано, что аналитическое решение задачи “атмосферного динамо” во всем объеме комплексной модели околоземного космического пространства и строения Земли, а также граничные условия физических величин между ее слоями однозначным образом определяют электродинамическое состояние всей системы.

К настоящему времени установлено, что Земля и ее газовая оболочка составляют, по крайней мере в электродинамическом отношении, физическое единство. Это есть сложная физическая система, состоящая из ее твердой неоднородной части – Земли и окружающей ее газовой части, простирающейся до верхней границы магнитосферы. Как известно, магнитосфера – это та область околоземного космического пространства, которая образуется путем сжатия солнечным ветром магнитного поля Земли. Естественно, что в такой системе, обладающей хорошей проводимостью, любые электродинамические возмущения должны передаваться из одной части в другую и иметь взаимное отражение. Отсюда ясно, что электродинамическое состояние газовой оболочки Земли должно иметь свое отображение внутри нее и наоборот, процессы в недрах Земли должны оставить свой “электродинамический след” на состоянии ее газовой оболочки, т.е. существует как бы однозначное, равновесное электродинамическое состояние между Землей и ее газовой оболочкой, на которое накладываются возмущения, передающиеся из одной части системы в другую. Однако заметим, что ионосферные возмущения, размеры которых меньше высоты однородной атмосферы, затухают в газовой оболочке [1] и не воздействуют на Землю.

В работе [2] изучена задача мелкомасштабного (по сравнению с радиусом Земли) динамо, связанного с движением нейтрального газа в ионосфере, для полной модели околоземного космического пространства, состоящей из нейтральной атмосферы, E, F_{1,2} – слоев ионосферы и идеально проводящей магнитосферы. При условии идеально проводящей Земли на границе с нейтральной атмосферой, рассчитаны электрические поля, токи и возмущения концентраций заряженных частиц в ионосфере. Однако условие идеальной проводимости реальной границы является упрощающим задачу приближением. Так как оно экранирует электродинамическую систему от внешних условий и не позволяет при

исследовании выходить за ее пределы и отыскать электромагнитные поля вне системы, то на границе нейтральная атмосфера – сверхпроводящая среда возникают поверхностные заряды и препятствуют проникновению электрических полей из атмосферы в Землю и возникновению электрических полей и токов в ее внутренних областях.

Как видим, в принятой модели работы [2] идеально проводящая стенка между нейтральной атмосферой и Землей не позволяет делать какие-либо теоретические рассуждения относительно просачивания электрических полей во внутренние области Земли, возникновения токов и магнитных полей, прогнозирования различных природных явлений (землетрясений и др.), а также физико-химического состава недр Земли.

В дальнейшем с учетом этих обстоятельств для комплексной модели околоземного космического пространства работы [2] и Земли, состоящей из плоских слоев коры, мантии, жидкого и твердого ядра [3], была изучена та же задача механизма динамо и показано, что электрические поля, возбуждаемые ионосферными ветрами, размеры которых больше высоты однородной атмосферы, передаются в соседние области почти без затухания и, распространяясь через атмосферу, просачиваются в земную толщу, обладающую определенной электропроводностью, и создают там электрические токи и магнитные поля. Для каждой области околоземного космического пространства и внутреннего строения Земли решены системы физических уравнений, описывающих рассматриваемые процессы в каждом из слоев, и получены в общем виде аналитические выражения для электродинамических величин [2,3].

Магнитная гидродинамика отличается от обычной гидродинамики "действием на расстоянии", имеющим место в электромагнитных явлениях, и нельзя просто ограничиться рассмотрением только области, занятой проводящей жидкостью. Нужно учитывать также условия в остальной части пространства. Отсюда понятно, что в магнитной гидродинамике возникает задача в связи с внешними и граничными условиями для интересующих нас физических величин и их производных на границах областей проводящей жидкости, на поверхностях раздела между областями и вне проводящей области. Каждое уравнение порождает соответствующее условие и при решении каждой задачи необходимо самостоятельно установить, сколько требуется граничных условий и какими должны быть необходимые и достаточные граничные условия. В работах [2,3] установлены граничные условия для физических величин, которые однозначным образом определяют поставленную задачу. Здесь будут приведены граничные условия для соответствующих физических величин между слоями для рисунков, представленных в работах [2,3], в полной комплексной модели околоземного космического пространства и строения Земли как для случая антивращения, так и для случая ко вращения [4].

Случай антивращения. Когда движение нейтрального газа в сопряженных точках северного и южного полушарий противоположно, для потенциала электрического поля имеем следующие граничные условия: $f_1^{F_2} = 0$ при $z = \pm(d - a - l - p)$ на границе слоя F_2 и магнитосферы, $f_1^{F_2} = f_1^{F_1}$ при $z = \pm(d - a - l)$ на границе слоев F_2 и F_1 , $f_1^{F_1} = f_1^E$ при $z = \pm(d - a - l)$ на границе слоев F_1 и E , $f_1^E = f_1^a$ при $z = \pm d$ на границе слоя E и нейтральной атмосферы, $f_1^a = f_3^k$ при $z = \pm(d + f)$ на границе нейтральной атмосферы и поверхности Земли, $f_3^k = f_3^m$ при $z = \pm(d + f + h)$ на границе коры и мантии Земли, $f_3^m = 0$ при

$z = \pm(d + f + h + h_1)$ на границе мантии и жидкого ядра Земли, $f_3^{я.жс.} = f_3^{я.м.} = 0$ при $z = \pm(d + f + h + h_1 + h_2)$ на границе жидкого и твердого ядра Земли. Для электрического тока j имеем следующие граничные условия: $f_z^{F_2} = f_z^m$ при $z = \pm(d - a - l - p)$ на границе слоя F₂ и магнитосферы. Причем ток в магнитосфере направлен по магнитному полю Земли, постоянен и равен значению $j_z^{F_2}$ на границе [4], $j_z^{F_2} = j_z^{F_1}$ при $z = \pm(d - a - l)$ на границе слоев F₂ и F₁, $f_z^{F_1} = j_z^E$, при $z = \pm(d - a)$ на границе слоев F₁ и E, $j_z^E = j_z^a = 0$ при $z = \pm d$ на границе слоя E и нейтральной атмосферы, $j_z^a = j_{3z}^k = 0$ при $z = \pm(d + f)$ на границе нейтральной атмосферы и поверхности слоистого строения Земли, $j_{3z}^k = j_{3z}^m$ при $z = \pm(d + f + h)$ на границе коры и мантии Земли, $j_{3z}^m = j_{3z}^{я.жс.}$ при $z = \pm(d + f + h + h_1)$ на границе мантии и жидкого ядра Земли, $j_{3z}^{я.жс.} = j_{3z}^{я.м.}$ при $z = \pm(d + f + h + h_1 + h_2)$ на границе жидкого и твердого ядра Земли. Заметим, что ток в жидком ядре, как и в магнитосфере, направлен по магнитному полю Земли и равен значению j_{3z}^m на границе мантии и жидкого ядра.

Случай ковращения. Когда движение нейтрального газа в сопряженных точках северного и южного полушарий одинаково, граничные условия те же, что и для случая антивращения, за исключением условия $f_z^{F_2} = 0$ при $z = \pm(d - a - l - p)$ на границе слоя F₂ и магнитосферы, т.е. ток через магнитосферу отсутствует.

Подставляя в эти соотношения граничные значения физических величин, аналитические решения для потенциалов электрических полей и токов, найденные в каждом из слоев в работах [2,3], для случая антивращения получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} f_1^{F_2} \Big|_{z=\pm(d-a-l-p)} &= \alpha_1 \left(A\bar{\beta}_1(t) + B\bar{\beta}_2(t) + C_1\bar{\beta}_3(t) + C_2\bar{\beta}_4(t) \right) + \alpha_6 \Big|_{z=\pm(d-a-l-p)} = 0, \\ f_{1a.d.}^{F_2} \Big|_{z=\pm(d-a-l-p)} &= \alpha_1 \left(A\bar{\bar{\beta}}_1(t) + B\bar{\bar{\beta}}_2(t) + C_1\bar{\bar{\beta}}_3(t) + C_2\bar{\bar{\beta}}_4(t) \right) \Big|_{z=\pm(d-a-l-p)} = 0, \quad (1) \\ j_{za.d.}^{F_2} \Big|_{z=\pm(d-a-l-p)} &= eN_0 \left\{ A\bar{\bar{G}}_1(t) + B\bar{\bar{G}}_2(t) + C_1\bar{\bar{G}}_3(t) + C_2\bar{\bar{G}}_4(t) \right\} \Big|_{z=\pm(d-a-l-p)} = 0 \end{aligned}$$

на границе слоя F₂ и магнитосферы – областей слабоионизованного газа (где в фотохимических процессах преобладают ионно-молекулярные реакции, а в распределении заряженных частиц играет роль также амбиполярная диффузия) и бесконечно проводящей плазмы;

$$\begin{aligned} f_1^{F_2} \Big|_{z=\pm(d-a-l)} &= \alpha_1 \left(A\bar{\beta}_1(t) + B\bar{\beta}_2(t) + C_1\bar{\beta}_3(t) + C_2\bar{\beta}_4(t) \right) + \alpha_6 \Big|_{z=\pm(d-a-l)} = \\ &= f_1^{F_1} \Big|_{z=\pm(d-a-l)} = \alpha_1 \left(C_3\beta_5(t) + C_4\beta_6(t) + C_5\beta_7(t) \right) \Big|_{z=\pm(d-a-l)}, \\ f_{1a.d.}^{F_2} \Big|_{z=\pm(d-a-l)} &= \alpha_1 \left(A\bar{\bar{\beta}}_1 \left(B\bar{\bar{\beta}}_2(t) + C_1\bar{\bar{\beta}}_3(t) + C_2\bar{\bar{\beta}}_4(t) \right) \right) + \alpha_6 \Big|_{z=\pm(d-a-l)} = 0, \quad (2) \\ j_z^{F_2} \Big|_{z=\pm(d-a-l)} &= eN_0 \left[A\bar{G}_1(t) + B\bar{G}_2(t) + C_1\bar{G}_3(t) + C_2\bar{G}_4(t) \right] \Big|_{z=\pm(d-a-l)} = \\ &= j_z^{F_1} \Big|_{z=\pm(d-a-l)} = eN_0 \left[C_3G_5(t) + C_4G_6(t) + C_5G_7(t) \right] \Big|_{z=\pm(d-a-l)}, \end{aligned}$$

$$j_{z a.o.}^{F_2} \Big|_{z=\pm(d-a-l)} = eN_0 \left[A\overline{G}_1(t) + B\overline{G}_2(t) + C_1\overline{G}_3(t) + C_2\overline{G}_4(t) \right] \Big|_{z=\pm(d-a-l)} = 0,$$

на границе слоев F1 и F2 – областей слабоионизованного газа, где фотохимические процессы образования и уничтожения ионов и электронов почти совпадают (за исключением амбиполярной диффузии, которая в слое F1 отсутствует);

$$\begin{aligned} f_1^{F_1} \Big|_{z=\pm(d-a)} &= \alpha_1 [C_3\beta_5(t) + C_4\beta_6(t) + C_5\beta_7(t)] + \alpha_6 \Big|_{z=\pm(d-a)} = f_1^E \Big|_{z=\pm(d-a)} = \\ &= \alpha_{10}\beta_8(t) [C_6\beta_9(t) + C_7\beta_{10}(t) + C_8\beta_{11}(t)] + \alpha_6 \Big|_{z=\pm(d-a)}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} j_z^{F_1} \Big|_{z=\pm(d-a)} &= eN_0 [C_3G_5(t) + C_4G_6(t) + C_5G_7(t)] \Big|_{z=\pm(d-a)} = j_z^E \Big|_{z=\pm(d-a)} = \\ &= eN_0 [C_6G_8(t) + C_7G_9(t) + C_8G_{10}(t)] \Big|_{z=\pm(d-a)} \end{aligned}$$

на границе слоев E и F1 – областей слабоионизованного газа, где в фотохимии заряженных частиц преобладают, соответственно, процессы диссоциативной рекомбинации и ионно-молекулярные реакции;

$$\begin{aligned} f_1^E \Big|_{z=\pm d} &= \alpha_{10}\beta_8(t) [C_6\beta_9(t) + C_7\beta_{10}(t) + C_8\beta_{11}(t)] + \alpha_6 \Big|_{z=\pm d} = f_1^a \Big|_{z=\pm d} = \\ &= \left\{ C_9 \exp[k(d+f-|z|)] + C_{10} \exp[-k(d+f-|z|)] \right\} \Big|_{z=\pm d}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$j_z^E \Big|_{z=\pm d} = eN_0 [C_6G_8(t) + C_7G_9(t) + C_8G_{10}(t)] \Big|_{z=\pm d} = j_z^a \Big|_{z=\pm d} = 0$$

на границе слоев нейтральной атмосферы и слоя E – областей, где соответственно отсутствуют заряженные частицы и превалируют процессы диссоциативной рекомбинации;

$$\begin{aligned} f_1^a \Big|_{z=\pm(d+f)} &= \left\{ C_9 \exp[k(d+f-|z|)] + C_{10} \exp[-k(d+f-|z|)] \right\} \Big|_{z=\pm(d+f)} = f_1^k \Big|_{z=\pm(d+f)} = \\ &= \left\{ A_1^k \exp\left(t_0 - \frac{m_0}{2}\right) \xi + A_2^k \exp\left[-\left(t_0 + \frac{m_0}{2}\right) \xi\right] \right\} \Big|_{z=\pm(d+f)}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} j_z^k \Big|_{z=\pm(d+f)} &= -eN_0 \sigma_{\parallel} \sqrt{\sigma_p / \sigma_{\parallel}} \times \\ &\times \left\{ A_1^k \left(t_0 - \frac{m_0}{2}\right) \exp\left(t_0 - \frac{m_0}{2}\right) \xi - A_2^k \left(t_0 + \frac{m_0}{2}\right) \exp\left[-\left(t_0 + \frac{m_0}{2}\right) \xi\right] \right\} \Big|_{z=\pm(d+f)} = 0 \end{aligned}$$

на границе поверхности Земли и нейтральной атмосферы, откуда электрическое поле просачивается во внутренние области Земли.

Прежде чем перейти к граничным соотношениям между слоями строения Земли, отметим, что ось z координатной системы работы [2] продолжена до центра Земли, h_1, h_2, h_3, h_4 и k, m, j, τ – соответственно, толщины и индексы постоянных и функций слоев коры,

мантии, жидкого и твердого ядра Земли.

Во внутреннем строении Земли будем иметь следующие уравнения:

$$\begin{aligned}
 f_1^k \Big|_{z=\pm(d+f+h)} &= \left\{ A_1^k \exp\left(t_0 - \frac{m_0}{2}\right) \xi + A_2^k \exp\left[-\left(t_0 + \frac{m_0}{2}\right) \xi\right] \right\} \Big|_{z=\pm(d+f+h)} = \\
 &= f_1^m \Big|_{z=\pm(d+f+h)} = \left\{ A_1^m \exp\left(t_0 - \frac{m_0}{2}\right) \xi + A_2^m \exp\left[-\left(t_0 + \frac{m_0}{2}\right) \xi\right] \right\} \Big|_{z=\pm(d+f+h)}, \\
 j_z^k \Big|_{z=\pm(d+f+h)} &= -eN_0 \sigma_{\parallel} \sqrt{\sigma_p / \sigma_{\parallel}} \times \\
 &\times \left\{ A_1^k \left(t_0 - \frac{m_0}{2}\right) \exp\left(t_0 - \frac{m_0}{2}\right) \xi - A_2^k \left(t_0 + \frac{m_0}{2}\right) \exp\left[-\left(t_0 + \frac{m_0}{2}\right) \xi\right] \right\} \Big|_{z=\pm(d+f+h)} = \\
 &= j_z^m \Big|_{z=\pm(d+f+h)} = -eN_0 \sigma_{\parallel} \sqrt{\sigma_p / \sigma_{\parallel}} \times \\
 &\times \left\{ A_1^m \left(t_0 - \frac{m_0}{2}\right) \exp\left(t_0 - \frac{m_0}{2}\right) \xi - A_2^m \left(t_0 + \frac{m_0}{2}\right) \exp\left[-\left(t_0 + \frac{m_0}{2}\right) \xi\right] \right\} \Big|_{z=\pm(d+f+h)}
 \end{aligned} \tag{6}$$

на границе коры и мантии Земли;

$$\begin{aligned}
 f_1^m \Big|_{z=\pm(d+f+h+h_1)} &= \left\{ A_1^m \exp\left(t_0 - \frac{m_0}{2}\right) \xi + A_2^m \exp\left[-\left(t_0 + \frac{m_0}{2}\right) \xi\right] \right\} \Big|_{z=\pm(d+f+h+h_1)} = f_1^{я.жс.} = 0, \\
 j_z^m \Big|_{z=\pm(d+f+h+h_1)} &= j_z^{я.жс.}
 \end{aligned}$$

на границе мантии и жидкого ядра Земли;

$$\begin{aligned}
 f_1^{я.жс.} \Big|_{z=\pm(d+f+h+h_1+h_2)} &= f_1^{я.мс.} = 0, \\
 j_z^{я.жс.} \Big|_{z=\pm(d+f+h+h_1+h_2)} &= j_z^{я.мс.}
 \end{aligned} \tag{7}$$

на границе жидкого и твердого ядра Земли.

Для случая ковращения следует первое уравнение системы (1) $f_1^{F_2} \Big|_{z=\pm(d-a-l-p)} = 0$ заменить уравнением

$$j_z^{F_2} \Big|_{z=\pm(d-a-l-p)} = eN_0 \left[AG_1(t) + BG_2(t) + C_1 G_3(t) + C_2 G_4(t) \right] \Big|_{z=\pm(d-a-l-p)} = 0.$$

Здесь $f_1^{F_2}$, $j_z^{F_2}$ и $f_{1a.d.}^{F_2}$, $j_{za.d.}^{F_2}$ – выделенные части электрических полей и токов в слое F_2 , которые ответственны соответственно за фотохимию, движение ветров и амбиполярную диффузию в ионосфере, A, B, C_1, \dots, C_{10} – произвольные постоянные, которые определяются из граничных условий, $\alpha_1, \dots, \alpha_9$ – постоянные, определяющие учет процессов амбиполярной диффузии, состоящие из регулярных физических параметров структуры околосреднего космического пространства. Причем они входят в известные функции от $t = e^{-2(d+f-|z|)/H_n}$ $\beta_1(t), \dots, \beta_{11}(t)$ и $G_1(t), \dots, G_{11}(t)$, заключенные в аналитических решениях задачи [2], линейным и аддитивным образом. Следовательно, $\beta_1(t), \dots, \beta_{11}(t)$ и $G_1(t), \dots, G_{11}(t)$, можно представить в виде суммы слагаемых $\beta_i(t) = \bar{\beta}_i(t) + \beta_i(t)$ и $G_i(t) = \bar{G}_i(t) + G_i(t)$, где каждая пара

$\bar{\beta}_i(t), \underline{\beta}_i(t)$ и $\bar{G}_i(t), \underline{G}_i(t)$ содержит соответственно члены, характеризующие фотохимию, движение ветров в ионосфере и амбиполярную диффузию. Именно такой смысл имеют $\bar{\beta}_i(t), \underline{\beta}_i(t)$ и $\bar{G}_i(t), \underline{G}_i(t)$ в системе уравнений (1), (2).

В уравнениях (5), (6), (7) A_1^k, A_2^k и A_1^m, A_2^m – произвольные постоянные (вообще говоря, разные для каждого слоя), которые определяются из граничных условий, $\sigma_{||}$ и ρ – продольная проводимость и проводимость Педерсена – тоже разные в различных слоях, $t_0 = \sqrt{m_0^2 + 4k^2} / 2$, m_0 – постоянная аппроксимации выражения $\sigma_{m_0} = \sqrt{\sigma_{||}\sigma_p}$ экспонентой, $\sigma_{m_0} = \sigma_0 e^{m_0 \xi}$, $\xi = \int \sqrt{\sigma_{||}/\sigma_p} dz$, $k^2 = k_1^2 + k_2^2$, k_1 и k_2 те же, что и в работе [2].

Легко увидеть, что уравнения (1)–(7) составляют полную систему линейных, неоднородных алгебраических уравнений относительно постоянных A, B, C_1, \dots, C_{10} , $A_1^k, A_2^k, A_1^m, A_2^m$, заключенных в аналитических решениях задач [2,3]. Это означает, что задача механизма "атмосферного динамо" для многослойной комплексной модели околоземного космического пространства и проводящей Земли, представленная в виде многослойного униполярного индуктора, где каждый слой обладает специфическими физико-химическими и динамическими свойствами, имеет однозначное решение. Иными словами, на языке физики однозначно возможно просачивание электрических полей из газовой оболочки во внутренние области Земли. Электрические поля, возбуждаемые ионосферными ветрами, размеры которых больше высоты однородной атмосферы, просачиваясь в проводящие слои Земли, создают там электрические токи и магнитные поля.

Предполагается, что проводимость вдоль магнитных силовых линий внутри Земли существенно выше соответствующих проводимостей в перпендикулярном направлении, имеющих наибольшее значение в верхних слоях Земли. Тогда электрические токи внутри Земли будут замыкаться по магнитным силовым линиям через внутреннее ядро и горизонтальный слой коры.

Уравнения (1)–(7) относительно постоянных $A, B, C_1, \dots, C_{10}, A_1^k, A_2^k, A_1^m, A_2^m$ решаются при следующих значениях реальных параметров: расстояние по силовой линии магнитного поля Земли между сопряженными точками северного и южного полушария на широтах 65° $d = 4 \times 10^4$ км; высота нейтральной атмосферы от поверхности Земли $f = 100$ км; толщина E-слоя $a = 40$ км; толщина F₁-слоя $l = 60$ км (занимает область от 140 до 200 км). На высотах от 200 км до условно принятой нами высоты 400 км простирается F₂-слой, с параметром толщины $p = 200$ км. Ионная и нейтральная компоненты в слоях E и F, соответственно, состоят из O_2^+ , O_2 и O^+ , O .

Значения температуры нейтралов T_n в E- и F-слоях приняты соответственно равными 300 К и 1000 К, температура ионов/электронов в F₂-слое $T_{ie} = 1000$ К. Высота однородной атмосферы $H_n = 8 \times 10^5$ см в E-слое и $H_n = 8 \times 10^6$ см в F-слое. Коэффициент рекомбинации положительных ионов и электронов в E-слое $\alpha = 10^{-7}$ см³/сек; коэффициент уничтожения заряженных частиц в F₁- и F₂-слоях принят равным $a_r = 10^{-13}$ см³/сек, чепменовское распределение скорости ионизации $q_0 = 10^2$ см⁻³/сек. Концентрация нейтральных и заряженных частиц на начальных условных высотах принята равной $N_{0n} = 10^{12}$ ат/см³ и $N_0 = 10^5$ ат/см³ в E-слое и $N_{0n} = 4 \times 10^{10}$ ат/см³ и $N_0 = 4 \times 10^5$ ат/см³ в F-слое. Частоты столкновений ионов и электронов с нейтральными частицами на тех же высотах $\gamma_{io} = 10^4$ сек⁻¹, $\gamma_{eo} = 3(10^4$ сек⁻¹ в E-слое и $\gamma_{io} = 2 \times 10^3$ сек⁻¹, $\gamma_{eo} = 10^4$ сек⁻¹ в F-слое. Амплитуда скорости ветра $w_0 / k_{1,2} = 200$ м/сек, а

размер ячейки $2\pi/k_{1,2} = 200$ км.

Концентрация заряженных частиц аппроксимируется следующей формулой: $N_{0i,e} = N_0 \exp(z/H_m)$, а напряженность магнитного поля на поверхности Земли принимается равной $H = 0,5$ Гс. Далее принимается, что при радиусах Земли $R_3 = 6370$ км, ее твердого ядра $R_T = 1250$ км, жидкого ядра $R_J = 3450$ км кора, мантия, жидкое и твердое ядра имеют соответствующие значения толщины: $h_1 = 40$ км, $h_2 = 2880$ км, $h_3 = 2200$ км и $h_4 = 1250$ км. Магнитные поля, создаваемые электрическими токами всей системы, определяются из уравнения $-\Delta \mathbf{h} = (4\pi/c) \text{rot } \mathbf{j}$.

Если нам известны (с определенной точностью) проводимости ядра и мантии, т.е. железа и силикатов, образующих основную массу названных слоев, то можно получить выражение для возмущения магнитного поля \mathbf{h} как функции проводимости коры. Это в свою очередь позволит сделать важные физические выводы – путем измерения полей найти характеристики изучаемого объекта, создающего эти поля, т.е. фактически решить обратную задачу геофизики. Автору статьи удалось получить аналитическое решение в рамках предложенной математической модели для рассмотренной задачи – во всем объеме системы и единственное. Однако задача некорректна по Адамару, как и большинство задач геофизики. В силу неустойчивости обратной задачи можно с приближенными значениями входных данных получить решение, сильно отличающееся от истинного. Как же решаются такие неустойчивые задачи? Эта проблема решена в математической теории регуляризации, в основе которой лежит понятие условно корректной (или корректной по А.Н.Тихонову) постановки задачи. Результаты этой теории широко применяются во всех областях современной физики, где требуется решение обратных задач.

Таким образом, используя теорию регуляризации, можно решить предложенную автором обратную задачу: по полученным им результатам прямой задачи исследовать физико-химический состав земной коры. Поскольку, как уже отмечалось выше, геофизические методы являются косвенными методами изучения строения и состава Земли. Но это уже задача разведочной геофизики, требующая отдельного исследования.

По вопросам электромагнитных зондирований Земли существует много работ. Среди них можно назвать работы [6-9]. Разными авторами, основываясь на теории скин-эффекта, проведены исследования по изучению электропроводности Земли при разных частотах и глубинах проникновения электромагнитной волны. Предложенная многослойная модель позволяет при исследовании природных ресурсов изучить более обширные (соответственно размерам ионосферных ветров) области поверхности и глубокие слои Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Б.Н.Гершман.** Динамика ионосферной плазмы. М., Наука, 1974.
2. **Ю.С.Варданян.** Изв. НАН Армении, Физика, **27**, 163 (1992).
3. **Ю.С.Варданян.** Изв. НАН Армении, Физика, **30**, 261 (1995).
4. **Л.М.Алексеева, Ю.С.Варданян, Б.А.Тверской.** Геомагнетизм и аэрономия АН СССР, **9**, 437 (1969).
5. **А.Нишида.** Геомагнитный диагноз магнитосферы. М., Мир, 1980.
6. **А.Н.Тихонов.** ДАН СССР, **73**, 2 (1950).
7. **Б.М.Яновский.** Земной магнетизм. Л., изд. ЛГУ, 1978.
8. **Дж.Джекобс.** Земное ядро. М., Мир, 1979.
9. **Л.Л.Ваньян.** Основы электромагнитных зондирований. М., Недра, 1965.

RELATIONS BETWEEN BOUNDARY VALUES OF PHYSICAL QUANTITIES BETWEEN LAYERS IN THE COMPLETE MODEL OF THE CIRCUMTERRESTRIAL SPACE AND EARTH STRUCTURE

Yu.S. VARDANYAN

It is shown that the analytical solution of the “atmospheric dynamo” problem in the entire scope of complex model for the near-Earth space and Earth structure, as well as the boundary conditions for the physical quantities between its layers unambiguously determine the electrodynamic state of the whole system.