

## **КИНЕМАТИКО-ГРАВИТАЦИОННАЯ ИОННАЯ МОДЕЛЬ ГЕОДИНАМО ПЛАНЕТ**

В.А. Кочнев

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск  
E-mail [kochnev@icm.krasn.ru](mailto:kochnev@icm.krasn.ru)

**Аннотация.** Предполагается, что током, создающим магнитное поле (МП) планет, является движение слабо положительно заряженной жидкости ядра. Источником движения являются приливные силы, создаваемые внешними объектами (Солнцем и спутниками планет) и зависящие от периода вращения планет, массы, удаленности объектов и периода их обращения. Приведены формулы и таблица данных, прогнозных и наблюдаемых на планетах значений МП. Коэффициент корреляции расчетных и наблюдаемых значений МП составил 0.99.

### **Введение**

Поиск адекватных моделей геодинамо является проблемой, которой посвящены сотни научных работ за последние десятилетия [1,2]. В последние годы интерес к этой проблеме не ослабевает, что говорит о ее актуальности. Особенность подхода в данной работе заключалась в следующем. Была поставлена и решена обратная задача магнитометрии для ядра Земли по главному магнитному полю Земли [3]. Основой математической модели было выбрано интегральное уравнение Пуассона. Изложенные в статье [3] результаты послужили поводом для создания кинематико-гравитационной ионной модели геодинамо, в которой током является слабо положительно заряженная жидкость ядра, движущаяся под действием приливных сил Луны и Солнца. Корректность модели проверена расчетом приливных сил и параметров МП и сравнения их с наблюдаемыми на других планетах Солнечной системы. [4–6].

### **Кинематико-гравитационная ионная модель геодинамо Земли**

Результаты работ [4–6] позволяют сформулировать основные пункты обоснования модели.

1. Если предполагать, что основные источники магнитного поля Земли (МПЗ) находятся в ядре, то распределены они в нем неравномерно и не в центральной, а в экваториальной и прилегающей к ним областях ядра.

2. Источниками МПЗ являются токи, движущиеся по часовой стрелке (если смотреть со стороны северного полюса). В экваториальной области ядра токи движутся в противоположном направлении от вращения планеты.

3. Током является турбулентное или полоидальное движение положительно слабозаряженной жидкости (плазмы) ядра, вызванное приливными (гравитационными) силами Луны и Солнца. Обоснованию приливного механизма и положительной заряженности и скорости движения плазмы ядра в докладе будет уделено особое внимание.

Максимальное значение горизонтальной составляющей гравитационного поля, создающего приливную силу  $\Delta F$ , вызываемую внешним источником массой  $m_s$ , на удалении  $R$ , действующая на единичную массу  $m_1$ , равна, в соответствии с [4],

$$\Delta F = \frac{3 \cdot k m_s m_1 r}{2R^3 T_{rpl}} \quad (1)$$

где  $k$  – гравитационная постоянная,  $r$  – расстояние точки с массой  $m_1$  от оси вращения планеты.  $T_{rpl}$  – период вращения какой-либо фиксированной точки планеты относительно внешнего объекта, создающего приливные силы. При известных периодах вращения планеты  $T_{pl}$  и обращения спутника  $T_{sp}$  он равен

$$T_{rpl} = T_{pl} \left( \frac{T_{sp}}{T_{sp} - T_{pl}} \right). \quad (2)$$

В соответствии с ионной моделью [5] индуцируемое магнитное поле на экваторе планеты  $B_{pl}$  прямо пропорционально приливной силе. Рассчитав оценку приливной силы на Земле  $\Delta F_E$  и на любой планете  $\Delta F_{pl}$ , можно получить оценку магнитного поля на экваторе планеты.

$$B_{pl} = B_E \Delta F_{pl} / \Delta F_E \quad (3)$$

### **Расчет приливных сил на поверхности Земли и других планет**

Земля имеет два внешних объекта, создающих приливные силы: Солнце и Луну. Их параметры (массы, орбиты) видим в таблице. Используя формулу 1, рассчитаем максимальную приливную силу от Солнца и Луны, действующую на единицу

массы, расположенную на экваторе:  $\Delta F_E^{Sol} = 3.756 * 10^{-7}$ ,  $\Delta F_E^{Lun} = 0.8 * 10^{-6}$ . Из результатов расчетов видим, что Луна создает приливную силу на единицу массы в 2.13 раза больше, чем Солнце. В то время как прямое гравитационное воздействие (притяжение) Солнца в 180 раз больше лунного. Итоговая величина  $\Delta F_E = 1.1756 * 10^{-6}$ . Таким же образом будут рассчитываться приливные силы для других планет. Итогом будет прогноз  $B_{pl} / B_E$ , который будет помещен в 6 колонку таблицы и будет сопоставляться с отношением МП планеты на экваторе  $B_{pl} / B_E$ , полученном при спутниковых наблюдениях [9], помещенном в колонке 7. Сопоставляя колонки 6 и 7, можем судить, насколько прогнозные связаны с наблюдаемыми значениями МП.

«Важным этапом исследования планет Солнечной системы были спутниковые наблюдения магнитного поля планет, проведенные американскими и советскими космическими аппаратами с 1962 по 1979 гг. Съёмки показали, что «магнетизм планет земной группы резко отличается от земного» [9]. Поэтому возможность современной динамо-генерации исключалась на том основании, что малые размеры Меркурия и Марса, препятствовали сохранности жидких, проводящих ядер, а эволюция Венеры существенно отличалась от эволюции Земли» [9]. Анализируя результаты, приведенные в таблице, увидим, что не прошлым, а настоящим объясняется сильное поле Земли и слабое поле других планет земной группы.

Меркурий имеет реальное поле, составляющее 0.005-0.011 от земного, а прогнозное 0.012. Близость оценок наиболее вероятно свидетельствует о существовании жидкого ядра у Меркурия и генерации в нем индуктивного МП.

Венера имеет на 5% меньший радиус, чем у Земли, а МП практически отсутствует. В данной модели это находит четкое объяснение, только в варианте ее нормального (а не ретроградного) вращения, при котором она постоянно одной стороной обращена к Солнцу, а при сближении с Землей обращена к ней обратной стороной. При этом периоды вращения и обращения совпадают и  $T_{rpl} \rightarrow \infty$ , и МП должно быть близко к 0.

При ретроградном вращении магнитное поле должно быть около  $-210$  нТл, чего в реальности нет.

Таблица 1. Параметры планет и спутников, относительных магнитных полей на экваторе  $B_{PL}/B_E$  прогнозных и наблюдаемых

Планета Относит. радиус $r_{pl}/r_E$	Источник грав. поля	Масса источни ка кг	Радиус орбиты источни ка м	Периоды вращения планеты и обращения, спутника и отн. период, сут.			Прогноз $\frac{B_{pl}}{B_E}$	Набл. $\frac{B_{pl}}{B_E}$
				Trp	Tsp	Trpl		
1	2	3	4				6	7
Меркурий 0.38	Солнце	1.99E+30	5.80E+10	58	87.9	<b>170.5</b>	<b>0.012</b>	<b>0.005-0.01</b>
Венера 0.95	Солнце	1.99E+30	1.08E+11	-244 225	224.7 224.7	<b>-117</b> <b>352000</b>	<b>-0.007</b> <b>0.000005</b>	$<9*10^{-5}$
Земля 1	Солнце	1.99E+30	1.50E+11	1	365	<b>1</b>	1	1
	Луна	7.40E+22	3.84E+08	1	28	<b>1.04</b>		
Марс 0.53	Солнце	1.99E+30	2.28E+11	1	687	<b>1</b>	0.047	<b>0.0013-</b>
	Фобос	1.07E+16	9.40E+06	<b>1</b>	0.32	<b>-0.47</b>	<b>-0.008</b> <b>0.039</b>	<b>0.0019</b>
Юпитер 11.22	Солнце	1.99E+30	7.80E+11	0.4	4332	0.4	<b>0.06</b>	
	Ио	8.93E+22	4.22E+08	0.4	1.8	<b>0.52</b>	13.8	
	Европа	4.8E+22	6.71E+08	0.4	3.6	<b>0.45</b>	2.11	
	Ганимед	14.8E+22	10.7E+08	0.4	7.2	<b>0.42</b>	1.71	
	Каллисто	10.8E+22	18.8E+08	0.4	16.7	<b>0.41</b>	0.24	
	Итого						<b>17.88</b>	<b>14</b>
Сатурн 9.47	Титан	13.5 E+22	1.222E+09	0.4	15.9	<b>0.41</b>	1.08	
	Мимас	0.4 E+20	1.85 E+09	0.4	0.9	<b>0.72</b>	0.053	
	Энцелад	1.1 E+20	2.38 E+09	0.4	1.4	<b>0.56</b>	0.088	
	Тетис	6.2 E+20	2.95 E+09	0.4	1.9	<b>0.51</b>	0.29	
	Диона	11 E+20	3.77 E+09	0.4	2.7	<b>0.47</b>	0.26	
	Рея	23 E+20	5.27 E+09	0.4	4.5	<b>0.44</b>	0.215	
	Итого						<b>1.98</b>	<b>0.7</b>
Уран 4.01	Миранда	0.066E+21	1.29E+08	0.7	1.41	<b>1.39</b>	0.047	
	Ариэль	1.35E+21	1.91E+08	0.7	2.52	<b>0.97</b>	0.43	
	Умбриэль	1.17E+21	2.66E+08	0.7	4.14	<b>0.84</b>	0.158	
	Титания	3.50E+21	4.22E+08	0.7	8.7	<b>0.76</b>	0.13	
	Оберон	3.01E+21	5.83E+08	0.7	13.5	<b>0.73</b>	0.044	
	Итого						<b>0.81</b>	<b>0.7</b>
Нептун 3.89	Тритон	2.14E+22	3.54E+08	0.8	-5.8	<b>0.7</b>	<b>1.44</b>	<b>0.45</b>

Земля имеет большое МП только потому, что имеет жидкое ядро, большую скорость вращения и два внешних объекта: Луну и Солнце, создающих приливные силы, создающие крупные полоидальные или турбулентные течения слабо заряженной жидкости. Для генерации нужной величины поля достаточно предполагаемой скорости порядка 20 км/год.

Марс имеет на 40% больший радиус по сравнению с Меркурием, большую скорость вращения 1 оборот в сутки, но не имеет вблизи больших спутников. Ближайший Фобос вращается вокруг Марса в 3 раза быстрее, чем вращается Марс вокруг своей оси. В итоге приливные силы создаваемые им – обратные и ослабляют воздействие приливных сил Солнца, которые являются основными. При этом прогнозная оценка поля оказывается в 20-30 раз больше реально наблюдаемой. И это может быть объяснено тем, что ядро планеты раз в 5 более холодное, чем ядро Земли. При этом уменьшается ионизация жидкости ядра и ее подвижность.

Юпитер имеет МП в 14 раз больше земного. И это вызвано большим радиусом (11 земных), малым периодом вращения (0.4 сут.), большой по сравнению с Луной массой ближайшего спутника Ио. Но Ио удален несколько дальше от планеты и движется по орбите быстрее Луны. В итоге расчетное относительное поле практически совпадает с наблюдаемым (наблюдаемое 14, прогнозное 13.8). Добавки остальных спутников следующие: Европа 2.11, Ганимед 1.71, Каллисто 0.24, Солнце 0. Итоговая оценка прогноза 17.88, т.е. оценка относительно наблюдаемой, если ее считать точной, завышена на 28%.

Сатурн – радиус Сатурна относительно Юпитера 0.844, период вращения тот же, но магнитное поле 0.7 от земного, т.е. в 20 раз меньше, чем у Юпитера. И объясняется это только тем, что большой по массе спутник Титан (в 2 раза больший Луны) удален от планеты в 6.7 раза дальше, чем Луна. Он создает МП 1.08 от земного. За счет мелких, но с малыми радиусами орбит, получается общее прогнозное поле 1.98. Уран имеет МП 0.81 по прогнозу и 0.7 по наблюдениям. Нептун имеет МП по прогнозу 1.44, по наблюдениям 0.45.

### **Выводы**

По результатам решения обратной задачи по главному магнитному полю Земли сделан вывод о неравномерном распределении источников МП в ядре. Более интенсивные источники располагаются вблизи экваториальной плоскости вблизи границы с мантией. В процессе интерпретации этих результатов сделано предположение, что источником тока является движущаяся слабо положительно заряженная жидкость. Движение жидкости противоположно вращению Земли и вызвано приливными силами Луны и Солнца, создающими в ядре вихревые медленные большого радиуса течения. Для проверки гипотезы

были получены формулы и посчитаны максимальные значения приливных сил для всех планет Солнечной системы. Коэффициент корреляции прогнозных и наблюдаемых значений МП составил 0.99. Приведена таблица исходных данных и результатов и дано их описание.

#### Литература

1. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л., 1978. 592 с.
2. Моффат Г. Возбуждение магнитного поля в проводящей среде. М.: Мир, 1980. 335 с.
3. Кочнев В.А., Гоз И.В. Модель источников магнитного поля ядра Земли, полученная в результате решения обратной задачи магнитометрии. // Мат. 38-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей». Пермь, 2011. С. 146–149.
4. Кочнев В.А. Кинематико-гравитационная модель геодинамо // Геофизический журнал. 2013. Т. 35, № 4. С. 3–15.
5. Kochnev V.A. Kinematic-gravitational ionic model of geodynamo - the result of solving the inverse problem of global geomagnetic field IGRF-2005 // Тез.докл. конференции «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2014» (АПВМ-2014). Новосибирск, 2014. С. 58.
6. Kochnev V. Empirical kinematic-gravitational model of generation of magnetic fields of planets // VI-th International Conference - Solitons, collapses and turbulence: Achievements, Developments and Perspectives. Новосибирск, 2012. С. 90.
7. Кочнев В.А. Кинематико-гравитационная модель генерации магнитного поля планет. // Международная конференция «Обратные и некорректные задачи математической физики», посвященная 80-летию со дня рождения академика М.М.Лаврентьева. Новосибирск, 2012.
8. Кочнев В.А. Косвенные факты и явления, подтверждающие модель генерации магнитного поля при движении заряженного расплава ядра // Мат. 39-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей». Воронеж, 2012. С. 149–152.
9. Гордин В.М. Очерки по истории геомагнитных измерений. М.: ИФЗ СО РАН, 2004. 161 с.