

УДК 550.385:523.7+550.386+525.35

## К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ВОЗМУЩЕННОСТИ МАГНИТОСФЕРЫ НА РОТАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ЗЕМЛИ

*В.Ю. Белашов, И.А. Насыров, Р.С. Гордеев*

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия*

### Аннотация

На основе анализа гелиогеофизических данных за период с 1927 по 2017 г. подтверждена обоснованность ранее высказанной гипотезы о солнечном (через изменения глобальной магнитной возмущенности) управлении ротационным режимом Земли. Показано, что переменный по своим характеристикам поток солнечной плазмы (солнечный ветер), взаимодействуя с магнитосферой, передает ей часть своей энергии, которая в совокупности с энергией, запасенной в силу явления униполярной индукции в хвосте магнитосферы и время от времени освобождающейся, вызывает изменения угловой скорости вращения Земли посредством эффекта обращенного МГД-генератора переменного тока. Подтверждено, что предложенный ранее механизм взаимодействия внешнего магнитного поля и постоянного поля, жестко связанного с Землей, является энергетически значимым. Колебания продолжительности суток хорошо коррелируют с изменениями солнечной активности и глобальной возмущенности магнитосферы как в 11-летних, так и в годовом и полугодовом циклах; наблюдается в целом устойчивая отрицательная корреляция изменений продолжительности суток с месячными суммами полярностей секторов межпланетного магнитного поля. Указаны возможные пути экспериментального подтверждения полученных результатов.

**Ключевые слова:** солнечно-земная физика, магнитосфера, вращение Земли, униполярная индукция, анализ данных

### Введение

Рассматривая лишь циклические (то есть периодические с возмущениями) изменения угловой скорости вращения Земли  $\omega$  и опуская историческое затухание, вызванное главным образом приливными явлениями, отметим, что к настоящему времени сформировались две резко противоположные и взаимно конкурирующие точки зрения по вопросу объяснения причины колебаний  $\omega$ . Ряд исследователей еще с 50–60-х годов прошлого века [1–5] полагает, что для того чтобы вызвать наблюдающиеся реально колебания скорости вращения Земли, достаточно тех изменений, которые происходят в циркуляции океана и атмосферы. Вторая группа исследователей (см., например, [6, 7]) придерживается гипотезы о внутриземных причинах изменений  $\omega$ . Высказываются и другие точки зрения, в том числе причиной колебаний угловой скорости вращения Земли называют тектонические процессы и изменения приливообразующих сил Луны, Солнца и других планет, вызывающие приливные неравенства в океане, атмосфере и твердой оболочке Земли (см., например, [8–12] и приведённую там библиографию). Однако исходя из количественных оценок, выполненных еще в середине прошлого века [13], изменения  $\omega$  вряд ли могут быть объяснены смещениями коры относительно основного тела Земли; а наблюдения показывают, что мы имеем дело не с приливными явлениями.

Что касается гипотезы о главенствующей роли циркуляции атмосферы и океана в управлении ротационным режимом Земли, то еще в работе [9] было указано, что сравнительно небольшие изменения циркуляции атмосферы и океана вряд ли могут создавать реально такие глобальные «макрокоэффициенты трения», которые могли бы сказаться на стабильности вращения Земли; здесь скорее можно усмотреть обратную закономерность [10].

Высказывавшиеся в [6, 7, 13] гипотезы о внутриземных причинах изменений скорости вращения Земли, энергетически вполне реальные, не дают, однако, никакого объяснения наблюдаемой корреляции колебаний  $\omega$  с проявлениями солнечной активности в циклах большой продолжительности [1, 3, 5, 11], а также в циклах продолжительностью 1 и 0.5 года [14, 15], в связи с чем лежащие в основе этих гипотез факторы нельзя с достаточным основанием считать причиной изменений угловой скорости вращения Земли.

В работах [14, 15] нами была выдвинута гипотеза солнечного (через изменения глобальной магнитной возмущенности) управления ротационным режимом Земли<sup>1</sup>. В этих работах в магнитогидродинамическом приближении был выведен «закон сохранения» для системы магнитосфера – вращающаяся Земля и обсуждены возможные механизмы передачи энергии от магнитосферы к Земле, а также приведены некоторые оценки предполагаемого влияния. Теоретические результаты были подтверждены анализом имевшихся на тот момент гелиогеофизических данных (период с 1864 по 1968 г.). Этот анализ дал основание утверждать, что гипотеза о влиянии магнитной возмущенности на ротационный режим Земли верна.

Задачей настоящей работы является подтверждение результатов [14, 15] на основе более детального анализа возможных механизмов связи и количественных оценок значимости магнитосферного влияния, а также включения в анализ рядов данных, накопленных с момента выхода указанных работ вплоть до 2017 г.

### 1. Механизмы передачи энергии. Количественные оценки

Выдвинутая в работах [14, 15] гипотеза предполагает в качестве основного механизма взаимодействия внешнего переменного магнитного поля и поля, жестко связанного с вращающейся Землей, механизм натяжений силовых линий поля. Рассмотрим этот механизм более подробно.

Для объема  $V$ , ограниченного сферической поверхностью  $S$ , жестко связанной с Землей, внешние силы, приложенные к этой поверхности, в стационарном случае можно выразить через максвелловский тензор натяжений следующим образом:

$$F_i = \int_V f_i dV = \oint_S T_{in} dS, \quad (1)$$

где  $n$  – внешняя нормаль к  $dS$ , а объемная плотность магнитных сил есть [16]

$$f_i = \sum_{k=1}^3 \frac{\partial T_{ik}}{\partial X_k}.$$

Тангенциальная составляющая «тормозящей» силы  $\vec{F}$ , входящей в уравнение (1), для сферы радиуса  $LR_E$  при оценочном допущении  $T_{ik} = B^2/8\pi$  равна [17]

$$F_T = \frac{I \cdot d\omega/dt}{LR_E} = \frac{q}{\omega LR_E}, \quad (2)$$

<sup>1</sup> Следует отметить, что вопрос возможного воздействия солнечного излучения на вращение Земли обсуждался рядом авторов ранее (см., например, [11], а также ссылки в этой работе), однако не было предложено никакого механизма передачи энергии вращающейся Земле.

где  $q = I\omega \cdot d\omega/dt$  – мощность, расходуемая магнитосферой на изменение угловой скорости вращения Земли, которая, вообще говоря, может быть и положительной. Ясно, что в случае  $q > 0$  энергия вращения диполя передается магнитосфере.

Значение магнитной индукции  $B'$ , необходимое для передачи момента  $F_T/S$  к поверхности сферы радиуса  $LR_E$ , как следует из (2), есть

$$B' = \sqrt{\frac{2|q|}{\omega(LR_E)^3}}. \tag{3}$$

Собственное же магнитное поле Земли (диполя) в экваториальной плоскости  $B = 0.32L^{-3}$  [17]. Отсюда можно видеть, что для передачи посредством натяжений магнитного поля тормозящего момента к сфере  $S$  необходимо выполнение условия  $B \leq B'$ , то есть  $L$  должно быть меньше некоторого  $L'$  (критического).

Учитывая, что кинетическая энергия вращения Земли  $W = I\omega^2/2$ , нетрудно получить величину изменения продолжительности суток

$$\Delta\tau = \frac{q\tau^2}{2W} \tag{4}$$

или за время  $t$ , подставляя в (4)  $q$  из (3):

$$\Delta\tau_t = \int_0^t \Delta\tau dt = \frac{(LR_E)^3}{4\pi I} \int_0^t \tau^3 B'^2 dt. \tag{5}$$

Функции  $\tau$  и  $B'$  в (5) в общем случае могут быть представлены в виде  $f = f_{cp} + f(t)$ . Взяв интеграл по частям и положив функции  $\tau$  и  $B'$  центрированными относительно их средних значений, устремим  $t$  к  $\infty$ . Тогда  $\Delta\tau_t \rightarrow 0$ . Решая получаемое при этом кубическое уравнение относительно  $\tau$ , найдем формальную зависимость  $\tau = \tau(B')$ , подставив которую в проинтегрированную правую часть выражения (5) и отбросив члены малого порядка, получим

$$\Delta\tau_t = \frac{(LR_E)^3}{12\pi I} \tau_{cp}^3 [B'_{cp} + B'(t)]^3. \tag{6}$$

Полагая в (6) в качестве простейшей модели

$$B'(t) = B'_A \sin(\omega_B t + \varphi),$$

где  $\omega_B = \omega/N$ ,  $\omega = 1.72 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ ,  $N$  – количество лет в цикле,  $t$  – в сутках, а также, учитывая условие  $B' \leq B$ , для  $L = 1.05$  (нижняя граница плазмосферы) найдем величину  $B'$ , необходимую для изменения длины суток в реально наблюдаемых пределах ( $\Delta\tau_t \sim 10^{-4} \text{ с}$ ):  $B' \sim 2.5 \text{ Гс}$ . Таким образом, учитывая, что для  $L = 1.05 \text{ Гс}$   $B'_{max} = 0.276 \text{ Гс}$ , можно заключить, что под действием механизма натяжений поля при  $B'_A \sim B'_{max}$  изменения продолжительности суток могут достигать максимум 12.4% от реально наблюдаемых. При этом, однако, остается открытым вопрос о реальной амплитуде колебаний магнитной индукции в магнитосфере  $B'_A$  за периоды, соответствующие наблюдаемым циклам в колебаниях  $\omega$ . Следует отметить, что в вариации поля  $B'$ , обусловленные колебаниями параметров солнечного ветра, передающего энергию  $\sim 10^{20} \text{ эрг/с}$  [18] магнитосфере, может вносить существенный вклад энергия, индуцируемая вращением Земли и запасенная в хвосте магнитосферы [17], которая освобождается спусковым механизмом. К сожалению, измерений этой энергии не проводилось, однако можно оценить запас магнитной

энергии в хвосте магнитосферы как  $Q_x = (B^2/8\pi)\pi a^2 l \sim 10^{23}$  эрг. Вполне вероятно, что суммарный эффект освобождаемой спусковым механизмом энергии и энергии, получаемой магнитосферой непосредственно от солнечного ветра, достаточен для создания таких амплитуд колебаний поля  $B'$ , которые могут значимо влиять на скорость вращения Земли.

## 2. Анализ гелиогеофизических данных

Для решения поставленной задачи по подтверждению обоснованности предложенного в работах [14, 15] механизма магнитосферного управления изменениями угловой скорости вращения Земли нами были проанализированы данные по солнечной активности (числам Вольфа  $W$ ) [19], индексу магнитной возмущённости  $M = 10(\sum K_p - 10)$  (данные до 1968 г. выбирались из работы [20], начиная с 1969 г. индекс  $M$  вычислялся нами по данным индекса  $K_p$  [21]) и изменениям продолжительности суток  $\Delta\tau$  [22] за период с 1927 по 2017 г. в дополнение к исследовавшемуся в [14, 15] временному интервалу. Анализ данных, в целях репрезентативности сравнения с результатами за 1884–1968 гг., осуществлялся аналогично, а именно: исследовалась связь для циклов продолжительностью  $\sim 11$  лет, для чего исходные данные были подвергнуты предварительной обработке: ряды  $W$  и  $M$  для удаления короткопериодных составляющих последовательно трижды сглаживались по формуле

$$x_i = \frac{1}{4}(x_{i-1} + 2x_i + x_{i+1}), \quad (7)$$

а ряд  $\Delta\tau$  был получен следующим образом: разности  $\Delta\tau - \Delta\tau_{22}$ , где  $\Delta\tau_{22}$  – ряд, сглаженный 22-летним скользящим интервалом, дважды сглаживались по формуле (7) и для удаления составляющей с периодом  $\sim 7$  лет один раз по формуле

$$x_i = \frac{1}{8}(x_{i-3} + x_{i-2} + x_{i-1} + 2x_i + x_{i+1} + x_{i+2} + x_{i+3}).$$

Результаты сопоставления полученных таким образом рядов представлены на рис. 1, при этом следует отметить, что они полностью согласуются с выводами относительно корреляции рядов  $W$ ,  $M$  и  $\Delta\tau$ , сделанными в работах [14, 15] на основе анализа данных для 16–18 солнечных циклов по цюрихской нумерации (1923–1944 гг.). Здесь также отчетливо видна корреляция изменений продолжительности суток с возмущенностью магнитосферы и числами Вольфа в 11-летнем цикле, что противоречит результатам [11]. В изменениях наблюдается также сдвиг по фазе относительно кривой индекса  $M$  в среднем на 1.5 года.

Корреляция рядов  $W$ ,  $M$  и  $\Delta\tau$ , как можно заметить, имеет достаточно сложный характер. В целях выяснения тонких особенностей этой связи нами был выполнен более подробный анализ с учетом поведения  $\Delta\tau$  относительно реперных фаз, за которые, как и в работах [14, 15, 23] для циклов солнечной активности 13–20 (1894–1965 гг.), были взяты экстремумы чисел Вольфа и магнитной возмущенности. Полученные результаты схематично представлены в табл. 1. Видно, что для циклов 16–20 они в целом совпали с нашими прежними результатами, а для циклов 21–24 имеют в точности такой же характер (см. табл. 1). Так, в реперные фазы в колебаниях продолжительности суток наблюдаются также экстремумы.

Из табл. 1 отчетливо видно, что в изменениях продолжительности суток, а значит, и угловой скорости вращения Земли явно прослеживается 22-летний цикл, что является проявлением закона Хэла, согласно которому полярность ведущих солнечных пятен в группах имеет знак, одноименный со знаком полушария, а при переходе от четного цикла к нечетному наблюдается изменение знака полярности

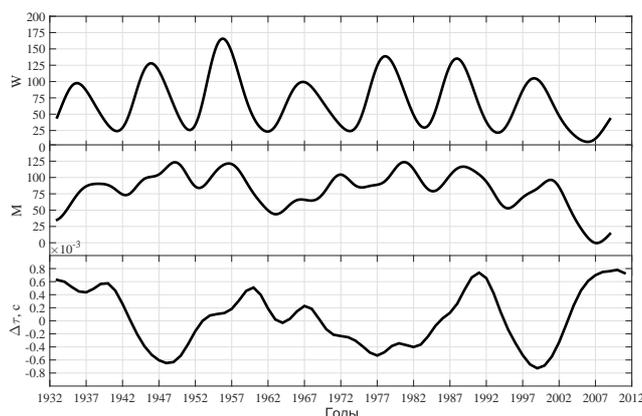


Рис. 1. Числа Вольфа ( $W$ ), индексы магнитной возмущенности ( $M$ ) и колебания продолжительности суток ( $\Delta\tau$ ) за 1933–2009 гг. (17–24 циклы по цюрихской нумерации)

Табл. 1

Максимумы ( $\Delta$ ), минимумы ( $\nabla$ ) величин продолжительности суток ( $\Delta\tau$ ), отвечающие им годы экстремумов чисел Вольфа ( $W$ ), магнитной возмущенности ( $M$ ) и величина запаздывания между ними ( $\Delta t$ )

№ цикла	Фазы циклов	Четный-нечетный циклы			№ цикла	Фазы циклов	Нечетный-четный циклы		
		max $M$	min $W, M$	max $W$			max $M$	min $W, M$	max $W$
16–17	$W$	знак связи (+)			17–18	$W$	знак связи (-)		
		-	1933	1938			-	1944	1947
	$M$	1930	1933	-		$M$	1939	1944	-
	$\Delta\tau$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$		$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$	$\nabla$
		1932	1934	1940		1940	1947	1948	
$\Delta t$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$		
	$\Delta t$	+2	+1	+2		+1	+3	+1	
18–19	$W$	-	1954	1957	19–20	$W$	-	1964	1968
		$M$	1950	1954			-	1957	1964
	$\Delta\tau$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$		$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$	$\nabla$
		1953	1956	1960		1957	1965	1970	
	$\Delta t$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$		$\nabla$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$
	$\Delta t$	+3	+2	+3		0	+1	+2	
20–21	$W$	-	1976	1980	21–22	$W$	-	1985	1989
		$M$	1972	1976			-	1981	1985
	$\Delta\tau$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$		$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$	$\nabla$
		1973	1977	1980		1982	1986	1989	
	$\Delta t$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$		$\nabla$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$
	$\Delta t$	+1	+1	0		+1	+1	0	
22–23	$W$	-	1996	2001	23–24	$W$	-	2008	2012
		$M$	1990	1996			-	2000	2008
	$\Delta\tau$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$		$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$	$\nabla$
		1991	1999	2005		2000	2009	2014	
	$\Delta t$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$		$\nabla$	$\Delta$	$\nabla$	$\Delta$
	$\Delta t$	+1	+3	+4		0	+1	+2	

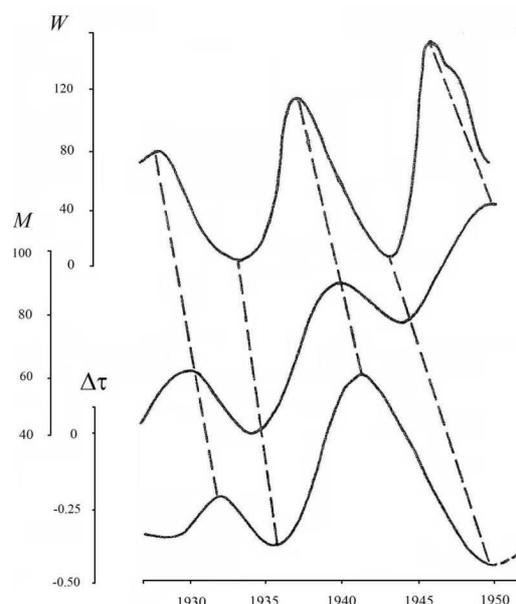


Рис. 2. Числа Вольфа ( $W$ ), индексы магнитной возмущенности ( $M$ ) и колебания продолжительности суток ( $\Delta\tau$ ), построенные по реперным фазам  $W$  и  $M$  за 1927–1950 гг.

солнечных пятен. Если теперь по экстремумам продолжительности суток, соответствующим реперным фазам циклов  $W$  и  $M$ , построить кривую (исключая тем самым искусственно 2–3-летние вариации  $\Delta\tau$ ), то мы получим явно выраженную 7-летнюю цикличность в изменениях  $\Delta t$  (см. рис. 2, построенный для 16–18 циклов). Из этого рисунка и табл. 1 видно, что при переходе от одного 11-летнего цикла к другому отмечается и смена знака связи между солнечной активностью, магнитной возмущенностью и продолжительностью суток, причем такая смена знака связи происходит всегда строго в год максимума магнитной возмущенности. При этом в эпоху от максимума магнитной возмущенности четного цикла до максимума чисел Вольфа нечетного цикла наблюдается прямая связь между экстремумами чисел Вольфа и индекса  $M$ , с одной стороны, и продолжительностью суток, с другой. В нечетно-четных циклах же связь обратная. Для угловой скорости вращения Земли все будет, разумеется, наоборот.

Полученный результат позволяет с достаточной уверенностью подтвердить заключение, сделанное ранее в работах [14, 15] на основе анализа рядов за 1884–1968 гг., о возможности магнитосферного управления ротационным режимом Земли в циклах продолжительностью  $\sim 11$  лет, а также с учетом результатов [9]  $\sim 21$ –22 года.

Заметим, что найденный в изменениях продолжительности суток (или угловой скорости вращения) (см. [14, 15]) и подтвержденный нами на современных рядах гелиогеофизических данных 7-летний цикл обнаружен и в таких явлениях, как колебания атмосферного давления в северном полушарии Земли, повторяемость форм и типов атмосферной циркуляции северного полушария и, как показано в работах [14, 24], нутационно-прецессионные колебания мгновенной оси вращения Земли. Это подтверждает высказанное в [14] предположение о генетической связи этих явлений и свидетельствует в пользу того, что именно ротационный режим Земли является причиной изменений глобальной атмосферной циркуляции и, следовательно, поля атмосферного давления.

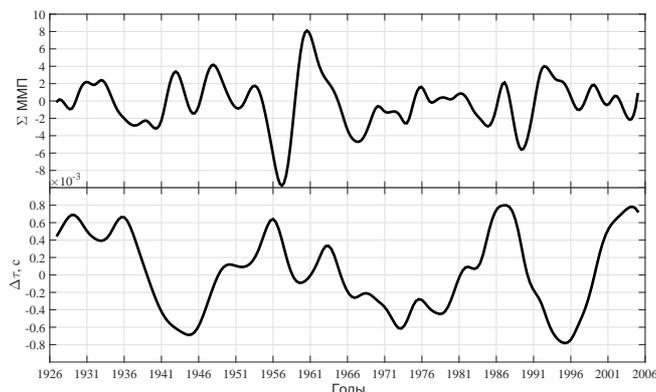


Рис. 3. Месячные суммы ежедневных полярностей секторов ММП ( $\Sigma$ ММП) и колебания продолжительности суток ( $\Delta\tau$ ) за 1926–2006 гг.

Для выяснения возможной роли энергии, освобождаемой спусковым механизмом (запасенной в хвосте магнитосферы [14, 15]), в управлении ротационным режимом Земли в предположении, что роль спускового механизма играет смена направления межпланетного магнитного поля (ММП), был проанализирован ход кривых (обработанных описанным выше способом, исключая сглаживание семилетней составляющей) и месячных сумм ежедневных полярностей секторов ММП по данным [25], сглаженных по формуле (7), за период 1915–2017 гг. (заметим, что в работах [14, 15] анализировавшиеся ряды ограничивались 1968 годом). Результаты сопоставления хода кривых  $\Delta\tau$  и  $\Sigma$ ММП представлены на рис. 3. В целом заметен противофазный ход кривых  $\Delta\tau$  и  $\Sigma$ ММП. Имеющиеся несоответствия в амплитудах колебаний (например, в 1987 г.), по-видимому, можно объяснить тем, что на изменения  $\Delta\tau$ , кроме освобождаемой спусковым механизмом энергии, влияют колебания возмущенности магнитосферы в 11-летних циклах, мощность которых относительно велика (так, в 11-летнем цикле индекса  $M$  в 1987 г. наблюдается значительный максимум, соответствующий максимуму в 11-летнем цикле  $W$ ).

Таким образом, если предположение о том, что роль спускового механизма играет смена направления ММП, верно, то полученный нами на новых данных результат, полностью подтверждающий выводы [14, 15], можно истолковать в пользу гипотезы об участии энергии, освобождаемой спусковым механизмом, в управлении ротационным режимом Земли, так как трудно найти другое объяснение наблюдаемой корреляции этих явлений.

Для подтверждения результатов работ [14, 15] по связи магнитосферных возмущений с изменениями угловой скорости вращения Земли в так называемом «сезонном» (или годовом) цикле нами были вычислены на рядах вплоть до 2017 г. и построены средние циклические кривые индекса магнитной возмущенности  $M$ ,  $D_{st}$ -вариаций [26, 27] и угловых ускорений вращения Земли  $\varepsilon$  [28–35] (рис. 4). На рисунке четко прослеживается связь индексов  $M$  и  $D_{st}$ , характеризующих магнитную возмущенность, с ходом угловых ускорений в годовом и полугодовом циклах.

Данный результат четко подтверждает наличие связи солнечнообусловленных возмущений магнитосферы с изменениями угловой скорости вращения Земли в «сезонном» цикле.

Проведенный анализ гелиогеофизических данных на более длительных (вплоть до 2017 г.) интервалах позволяет еще раз подтвердить сделанное нами ранее заклю-

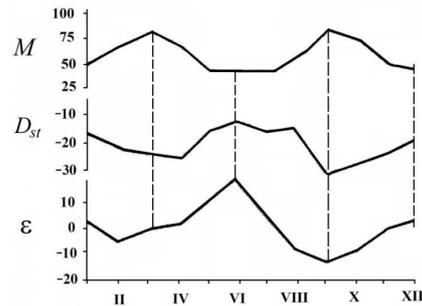


Рис. 4. Средние циклические кривые индекса магнитной возмущенности ( $M$ ),  $D_{st}$ -вариаций и угловых ускорений вращения Земли ( $\varepsilon$ )

чение о реальности и обоснованности выдвинутой в [14, 15] гипотезы магнитосферного управления ротационным режимом Земли.

### Заключение

Приведенные в работе оценки дают основание полагать, что по крайней мере значимую долю колебаний угловой скорости вращения Земли определяет суммарное воздействие энергии, получаемой магнитосферой от солнечного ветра, и освобождающейся в результате действия спускового механизма энергии, аккумулируемой в хвосте магнитосферы в результате явления униполярной индукции, возникающего вследствие вращения земного диполя во внешнем магнитном поле – магнитосфере.

Анализ имеющихся на данный момент данных за 1927–2017 гг. (в дополнение к ранее рассмотренным в работах [14, 15] рядам с 1864 по 1968 г.) по солнечной активности, возмущенности магнитосферы, полярности секторов ММП и скорости вращения Земли подтверждает правомерность и обоснованность ранее предложенной нами гипотезы.

Окончательно можно теперь сформулировать выдвинутые ранее и подтвержденные в настоящей работе следующие положения.

1. Переменный по своим характеристикам поток солнечной плазмы (солнечный ветер), взаимодействуя с магнитосферой, передает ей часть своей энергии, которая в совокупности с энергией, запасенной в силу явления униполярной индукции в хвосте магнитосферы и время от времени освобождающейся, вызывает посредством эффекта обращенного МГД-генератора переменного тока изменения угловой скорости вращения Земли.

2. Колебания продолжительности суток хорошо коррелируют с изменениями солнечной активности и глобальной возмущенности магнитосферы как в 11-летних, так и в годовом и полугодовом циклах; наблюдается в целом устойчивая отрицательная корреляция изменений продолжительности суток с месячными суммами полярностей секторов межпланетного магнитного поля. Данные факты следует рассматривать как аргумент в пользу выдвинутой в [14, 15] гипотезы.

3. Предложенный в работах [14, 15] механизм взаимодействия внешнего магнитного поля и постоянного поля, жестко связанного с Землей, является энергетически значимым.

4. Изменения барико-циркуляционного режима, а также процессы деформации земной коры (глобального характера) [24, 36] и перераспределение плотности в теле Земли [37] (выдвигаемые рядом исследователей, ввиду наблюдающейся корреляции

этих явлений, в качестве причин колебаний  $\omega$ ) являются следствием неравномерного вращения планеты.

В заключение перечислим вопросы, нуждающиеся в дополнительной экспериментальной проверке:

1) для выяснения действительного вклада изменений магнитосферной возмущенности в колебания продолжительности суток посредством натяжений магнитного поля необходимы измерения поля  $\vec{B}$  на высотах плазмосферы за достаточно продолжительный период, включающий (в идеале) 22-летний цикл солнечной активности;

2) для определения величины вклада освобождаемой спусковым механизмом энергии, аккумулированной в магнитосфере, необходимы экспериментальные измерения вектора  $\vec{B}$  в хвосте магнитосферы за период, включающий по крайней мере несколько «срабатываний» спускового механизма.

**Благодарности.** Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

#### Литература

1. Сидоренков Н.С. О влиянии неравномерности вращения Земли на процессы в ее атмосфере и гидросфере // Проблемы Арктики и Антарктики. – Л.: Гидрометеоиздат, 1961. – Вып. 9. – С. 45–49.
2. Стовас М.В., Эйгенсон М.С. Циркуляр Львовской обсерватории. – 1955, – № 31. – 16 с.
3. Эйгенсон М.С. Солнечная природа неравномерности вращения Земли. Циркуляр № 28. Львовский госуниверситет. Астроном. Обсерватория. – 1954. – 21 с.
4. Эйгенсон М.С. Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. – Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1957. – 230 с.
5. Эйгенсон М.С. О солнечном управлении вращательным движением Земли. – Информ. Бюл. Оргкомитета МГГ при Президиуме АН УССР, 1958. – № 1. – 16 с.
6. Брагинский С.И., Фишман В.М. Электромагнитное взаимодействие ядра и мантии при электропроводности, сосредоточенной вблизи границы с ядром // Геомагнетизм и аэрономия. – 1976. – Т. 16, № 5. – С. 907–913.
7. Runcorn S.K. The role of the core in irregular fluctuations of the Earth's rotation and the excitation of the Chandler wobble // Philos. Trans. R. Soc. London. – 1982. – V. A306, No 1492. – P. 261–270.
8. Киселев В.М. Вращение Земли от архея до наших дней. – Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2015. – 262 с.
9. Максимов И.В., Слепцов-Шевлевич Б.А. Изменение скорости вращения Земли и барическое поле северного полушария Земли // Докл. АН СССР. – 1973. – Т. 210, № 1. – С. 79–81.
10. Максимов И.В. Геофизические силы и воды океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 448 с.
11. Ривин Ю.Р. Анализ изменений скорости вращения Земли, чисел Вольфа и Криндкса в диапазоне 10-100 лет // Геомагнетизм и аэрономия. – 1976. – Т. 16, № 5. – С. 862–876.

12. *Varga P., Denis C.* Tidal friction, Earth rotation and related phenomena // Proc. 11th Int. Symp. on Earth Tides E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. – 1989. – P. 267–272.
13. *Парийский Н.Н.* Непостоянство вращения Земли и ее деформация // Труды Совещания по методам изучения движения и деформации земной коры. – М.: Геодиздат, 1948. – С. 157–174.
14. *Белашов В.Ю.* Геофизические причины и следствия неравномерного вращения Земли. – Л.: ЛВИМУ, 1978. – 90 с.
15. *Белашов В.Ю.* О влиянии магнитосферной возмущенности на ротационный режим Земли: Препринт. – Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1984. – 17 с.
16. *Тамм И.Е.* Основы теории электричества. – М.: Физматлит, 2003. – 616 с.
17. *Ершкович А.И., Скурилин Г.А., Шалимов В.П.* Некоторые проблемы физики магнитосферы // Межпланетная среда и физика магнитосферы. – М.: Наука, 1972. – С. 3–25.
18. *Walbridge E.* The limiting of magnetospheric convection by dissipation in the ionosphere // J. Geophys. Res. – 1967. – V. 72, No 21. – P. 5213–5230.
19. Sunspot Number. – URL: <http://sidc.oma.be/silso/datafiles/>.
20. *Оль А.И.* Индексы возмущенности магнитного поля Земли и их гелиогеофизическое значение // Труды Аркт. и Антаркт. науч.-исслед. ин-та. – 1969. – Т. 289. – С. 5–21.
21. Space Weather Prediction Center. – URL: <https://www.swpc.noaa.gov/products/planetary-k-index/>.
22. Paris Observatory IERS Centers. – URL: <http://hpiers.obspm.fr/eoppc/series/longterm/eopc02.1830-now/>.
23. *Слепцов-Шевлевич Б.А.* Гидрометеорологические проявления многолетних изменений солнечной активности: Дис. ... д-ра геогр. наук. – Л., 1982. – 393 с.
24. *Стовас М.В.* Неравномерность вращения Земли, как планетарно-геоморфологический и геотектонический фактор // Геол. журн. АН УССР. – 1957. – Т. 17, Вып. 3. – С. 58–69.
25. Leif Svalgaard's Research Page. – URL: <http://leif.org/research/spolar.txt/>.
26. *Sugiura M., Poros D.J.* Hourly values of equatorial Dst for the years 1957 to 1970. Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland. Report X-645-71-278. – 1971. – 16 p.
27. *Sugiura M., Poros D.J.* Provisional hourly values of equatorial Dst for 1971. – Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland. Report X-645-72-200. – 1972. – 17 p.
28. *Сидоренков Н.С.* Неравномерность вращения Земли по данным астрономических наблюдений за период 1955.5–1965.0 гг. // Астроном. журн. – 1967. – Т. 44, № 3. – С. 650–662.
29. *Сидоренков Н.С.* К вопросу о методах оценки влияния атмосферной циркуляции на скорость вращения Земли // Астроном. журн. – 1968. – Т. 45, № 2. – С. 382–388.
30. *Сидоренков Н.С.* Влияние атмосферной циркуляции на скорость вращения Земли на примере 1956.8–1964.8 гг. // Астроном. журн. – 1968. – Т. 45, № 4. – С. 892–903.
31. *Сидоренков Н.С.* Неравномерность вращения Земли по данным астрономических наблюдений за 1965.0–1968.0 годы. // Астроном. журн. – 1969. – Т. 46, № 1. – С. 215–218.
32. *Сидоренков Н.С.* Неравномерность вращения Земли по данным астрономических наблюдений за период 1968.0–1971.0 // Астроном. журн. – 1971. – Т. 48. – С. 1305–1307.
33. *Сидоренков Н.С.* Неравномерность вращения Земли по данным астрономических наблюдений // Астроном. журн. – 1975. – Т. 52. – С. 1108–1112.

34. *Stephenson F.R., Morrison L.V., Hohenkerk C.Y.* Measurement of the Earth's rotation: 720 BC to AD 2015 // Proc. Royal Soc. A. – 2016. – V. 472. – P. 2196–2208. – doi: 10.1098/rspa.2016.0404.
35. HM Nautical Almanac Office. – URL: <http://astro.ukho.gov.uk/nao/lvm/>.
36. *Белашов В.Ю.* Деформация фигуры Земли в связи с изменениями скорости ее вращения // Тр. СВКНИИ ДВНЦ АН СССР. – Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1987. – 12 с.
37. *Белашов В.Ю.* Длиннопериодные нутационно-прецессионные движения мгновенного полюса вращения Земли: Препринт. – Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1985. – 19 с.

Поступила в редакцию  
27.07.18

---

**Белашов Василий Юрьевич**, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник НИЛ исследований ближнего космоса

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: [vybelashov@yahoo.com](mailto:vybelashov@yahoo.com)

**Насыров Игорь Альбертович**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиоэлектроники

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: [inasyrov@kpfu.ru](mailto:inasyrov@kpfu.ru)

**Гордеев Роман Сергеевич**, студент Института физики

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: [rsgordeev@bk.ru](mailto:rsgordeev@bk.ru)

---

ISSN 2541-7746 (Print)

ISSN 2500-2198 (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA.  
SERIYA FIZIKO-MATEMATICHESKIE NAUKI  
(Proceedings of Kazan University. Physics and Mathematics Series)

2018, vol. 160, no. 4, pp. 617–630

---

### On the Problem of the Influence of the Magnetosphere Disturbance onto the Rotational Regime of the Earth

*V.Yu. Belashov\**, *I.A. Nasyrov\*\**, *R.S. Gordeev\*\*\**

*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*

E-mail: *\*vybelashov@yahoo.com*, *\*\*inasyrov@kpfu.ru*, *\*\*\*rsgordeev@bk.ru*

Received June 27, 2018

#### Abstract

The earlier hypothesis on solar control (through changes of global magnetic disturbance in the magnetosphere) of the Earth rotational regime has been confirmed on the basis of the ana-

lysis of heliogeophysical data for the period of 1927 to 2017. It has been shown that the stream of solar plasma (solar wind), which is variable on its characteristics, transfers a part of its energy to the magnetosphere while interacting with it. This energy, along with the energy, which is accumulated due to the unipolar induction phenomenon in the magnetosphere tail and released from time to time, causes changes in the angular velocity of rotation of the Earth based on the effect of the inverted MHD-generator of alternating current. It has been confirmed that the earlier offered mechanism of interaction between the external magnetic field and the constant field connected rigidly with the Earth is energetically significant. The fluctuations of day duration correlate well with changes in the solar activity and global magnetosphere disturbance both in 11-year and in annual and semiannual cycles; the steady negative correlation has been observed between changes in the day duration and the monthly sums of polarities of the sectors of the interplanetary magnetic field. Possible ways of experimental confirmation of the obtained results have been discussed.

**Keywords:** solar-terrestrial physics, magnetosphere, rotation of the Earth, unipolar induction, data analysis

**Acknowledgments.** The work is performed according to the Russian Government Program of Competitive Growth of Kazan Federal University.

### Figure Captions

Fig. 1. Wolf numbers ( $W$ ), magnetic disturbance indices ( $M$ ), and fluctuations of day duration ( $\Delta\tau$ ) for 1933–2009. (cycles 17–24, according to the Zürich indexing).

Fig. 2. Wolf numbers ( $W$ ), magnetic disturbance indices ( $M$ ), and fluctuations of day duration ( $\Delta\tau$ ) constructed based on the reference phases of  $W$  and  $M$  for 1927–1950.

Fig. 3. Monthly sums of daily polarities of the IMF sectors ( $\Sigma\text{IMF}$ ) and fluctuations of day duration ( $\Delta\tau$ ) for 1926–2006.

Fig. 4. Average cyclic curves of the magnetic disturbance index ( $M$ ),  $D_{\text{st}}$ -variations and angular accelerations of the Earth rotation ( $\varepsilon$ ).

### References

1. Sidorenkov N.S. On the influence of the non-uniformity of rotation of the Earth on the processes in its atmosphere and hydrosphere. *Probl. Arkt. Antarkt.* Leningrad, Gidrometeoizdat, 1961, no. 9, pp. 45–49. (In Russian)
2. Stovas M.V., Eigenson M.S. *Tsirkulyar L'vov. Obs.*, 1955, no. 31. 16 p.
3. Eigenson M.S. The solar nature of non-uniformity of rotation of the Earth. *Tsirkulyar*, no. 28. L'vov. Gosuniv., Astron. Obs., 1954. 21 p. (In Russian)
4. Eigenson M.S. *Ocherki fiziko-geograficheskikh proyavlenii solnechnoi aktivnosti* [Sketches of Physical and Geographical Displays of Solar Activity]. Lvov, Izd. L'vov. Univ., 1957. 230 p. (In Russian)
5. Eigenson M.S. On solar control of the rotational motion of the Earth. *Inf. Byull. Kom. MGG Prezidiume Akad. Nauk Ukr. SSR*, 1958, no. 1. 16 p. (In Russian)
6. Braginsky S.I., Fishman V.M. Electromagnetic interaction of the core and mantle at an electrical conductivity concentrated near the border with the core. *Geomagn. Aeron.*, 1976, vol. 16, no. 5, pp. 907–913. (In Russian)
7. Runcorn S.K. The role of the core in irregular fluctuations of the Earth's rotation and the excitation of the Chandler wobble. *Philos. Trans. R. Soc. London*, 1982, vol. A306, no. 1492, pp. 261–270.
8. Kiselev V.M. *Vrashchenie Zemli ot arkheya do nashikh dnei* [Rotation of the Earth from the Archean up to Now]. Krasnoyarsk, Sib. Fed. Univ., 2015. 262 p. (In Russian)

9. Maksimov I.V., Sleptsov-Shevlevich B.A. Changes in the velocity of rotation of the Earth and the pressure field of northern hemisphere of the Earth. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1973, vol. 210, no. 1, pp. 79–81. (In Russian)
10. Maksimov I.V. *Geofizicheskie sily i vody okeana* [Geophysical Forces and Ocean Waters]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1970. 448 p. (In Russian)
11. Rivin Yu.R. The analysis of changes in the velocity of rotation of the Earth, Volf's numbers and Kp-index in a range of 10-100 years. *Geomagn. Aeron.* 1976, vol. 16, no. 5, pp. 862–876. (In Russian)
12. Varga P., Denis C. Tidal friction, Earth rotation and related phenomena. *Proc. 11th Int. Symp. on Earth Tides E.* Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1989, pp. 267–272.
13. Pariisky N.N. Inconstancy of the rotation of the Earth and its strain. *Tr. Soveshch. Metodam Izuch. Dvizheniya Deform. Zemnoi Kory.* Moscow, Geodezizdat, 1948, pp. 157–174. (In Russian)
14. Belashov V.Yu. *Geofizicheskie prichiny i sledstviya neravnomernogo vrashcheniya* [Geophysical Causes and Effects of Non-Uniform Rotation of the Earth]. Leningrad, LVIMU, 1978. 90 p. (In Russian)
15. Belashov V.Yu. *O vliyanií magnitosfernoi vozmushchennosti na rotatsionnyi rezhim Zemli: Preprint* [On the Influence of Magnetosphere Disturbance on the Rotational Regime of the Earth: Preprint]. Magadan, SVKNII DVNTs Akad. Nauk SSSR, 1984. 17 p. (In Russian)
16. Tamm I.E. *Osnovy teorii elektrchestva* [Fundamentals of the Theory of Electricity]. Moscow, Fizmatlit, 2003. 616 p. (In Russian)
17. Ershkovich A.I., Skurilin G.A., Shalimov V.P. Some problems of physics of the magnetosphere. In: *Mezhplanetnaya sreda i fizika magnitosfery* [Interplanetary Environment and Magnetosphere Physics]. Moscow, Nauka, 1972, pp. 3–25. (In Russian)
18. Walbridge E. The limiting of magnetospheric convection by dissipation in the ionosphere. *J. Geophys. Res.*, 1967, vol. 72, no. 21, pp. 5213–5230.
19. Sunspot Number. Available at: <http://sidc.oma.be/silso/datafiles>.
20. Ol' A.I. The indices of a Earth magnetic field disturbance and their helio-geophysical importance. *Tr. Arkt. Antarkt. Nauch.-Issled. Inst.*, 1969, vol. 289, pp. 5–21. (In Russian)
21. Space Weather Prediction Center. Available at: <https://www.swpc.noaa.gov/products/planetary-k-index>.
22. Paris Observatory IERS Centers. Available at: <http://hpiers.obspm.fr/eoppc/series/longterm/eopc02.1830-now>.
23. Sleptsov-Shevlevich B.A. Hydrometeorological displays of long-term changes of solar activity. *Doct. Geogr. Sci. Diss.* Leningrad, 1982. 393 p. (In Russian)
24. Stovas M.V. Non-uniformity of rotation of the Earth, as the planetary-geomorphological and geotectonic factor. *Geol. Zh. Akad. Nauk Ukr. SSR*, 1957, vol. 17, no. 3, pp. 58–69. (In Russian)
25. Leif Svalgaard's Research Page. Available at: <http://leif.org/research/spolar.txt>.
26. Sugiura M., Poros D.J. Hourly values of equatorial Dst for the years 1957 to 1970. *Report X-645-71-278*. Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland. July, 1971. 16 p.
27. Sugiura M., Poros D.J. Provisional hourly values of equatorial Dst for 1971. *ReportX-645-72-200*. Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland. June, 1972. 17 p.
28. Sidorenkov N.S. Non-uniformity of rotation of the Earth according to astronomical observations over the period of 1955.5–1965.0 years. *Astron. Zh.*, 1967, vol. 44, no. 3, pp. 650–662. (In Russian)

29. Sidorenkov N.S. To the problem on methods of an estimation of influence of atmospheric circulation on velocity of rotation of the Earth. *Astron. Zh.*, 1968, vol. 45, no. 2, pp. 382–388. (In Russian)
30. Sidorenkov N.S. Influence of atmospheric circulation on velocity of rotation of the Earth on the example of 1956.8-1964.8 years. *Astron. Zh.*, 1968, vol. 45, no. 4, pp. 892–903. (In Russian)
31. Sidorenkov V.N. Non-uniformity of rotation of the Earth according to astronomical observations for 1965.0–1968.0 years. *Astron. Zh.*, 1969, vol. 46, no. 1, pp. 215–218. (In Russian)
32. Sidorenkov N.S. Non-uniformity of rotation of the Earth according to astronomical observations over the period of 1968.0–1971.0 years. *Astron. Zh.*, 1971, vol. 48, pp. 1305–1307. (In Russian)
33. Sidorenkov N.S. Non-uniformity of rotation of the Earth according to astronomical observations. *Astron. Zh.*, 1975, vol. 52, pp. 1108–1112. (In Russian)
34. Stephenson F.R., Morrison L.V., Hohenkerk C.Y. Measurement of the Earth's rotation: 720 BC to AD 2015. *Proc. R. Soc. London, Ser. A*, 2016, vol. 472, pp. 2196–2208. doi: 10.1098/rspa.2016.0404.
35. *HM Nautical Almanac Office*. Available at: <http://astro.ukho.gov.uk/nao/lvm/>.
36. Belashov V.Yu. Strain of the Earth figure owing to with changes of velocity of its rotation. *Tr. SVKNII DVNTS AN SSSR*. Magadan, SVKNII DVNTS AN SSSR, 1987. 12 p. (In Russian)
37. Belashov V.Yu. *Dlinnoperiodnye nutatsionno-pretcessionnye dvizheniya mgnovennogo polyusa vrashcheniya Zemli: Preprint* [Long-Periodical Nutation-Precession Movements of the Instant Pole of Rotation of the Earth: Preprint]. Magadan, SVKNII DVNTS AN SSSR, 1985. 19 p. (In Russian)

---

⟨ **Для цитирования:** *Белашов В.Ю., Насыров И.А., Гордеев Р.С.* К вопросу о влиянии возмущенности магнитосферы на ротационный режим Земли // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. – 2018. – Т. 160, кн. 4. – С. 617–630. ⟩

⟨ **For citation:** *Belashov V.Yu., Nasyrov I.A., Gordeev R.S.* On the problem of the influence of the magnetosphere disturbance onto the rotational regime of the Earth. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Fiziko-Matematicheskie Nauki*, 2018, vol. 160, no. 4, pp. 617–630. (In Russian) ⟩