

## ОГРАНИЧИВАЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ ДЖЕРКОВ НА ЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ НИЖНЕЙ МАНТИИ

© 2008г. А.О.Симонян

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА  
3115, г. Гюмри, ул. В. Саркисяна, 5, Республика Армения  
E-mail: as\_iges@shirak.am

Поступила в редакцию 03.07.2008г.

В работе изучены вариации интегральных гелиогеофизических характеристик с целью выявления в них импульсных изменений и сравнения их с временной характеристикой выявленных за период 20-го века джерков, формирующих пространственно-временную структуру вековых вариаций главного геомагнитного поля в спектре высоких частот. В результате проведенных исследований выявлено отсутствие значимой временной корреляции и/или отсроченного смещения между временами проявления импульсных явлений в вариациях скорости осевого вращения и глобальными геомагнитными джерками, которое свидетельствовало бы об ограниченности пропускающей способности и/или о задержке электромагнитного сигнала электропроводящей мантией Земли. Отсутствие также значимой корреляции между вариациями солнечной и геомагнитной активности с вариациями скорости осевого вращения Земли свидетельствует об отсутствии тесной электромагнитной связи в системе ядро-мантия за характерные времена порядка 100-лет, сделав более обоснованными значения электрической проводимости нижней мантии Земли, ограниченные порядком в  $10^2$  См/м.

### Введение

Спектр показателей электропроводности мантии достаточно широк и колеблется в пределах от величин порядка 100 См/м до величин порядка  $10^4 \div 10^5$  См/м (Allredge, 1977b; Runcorn, 1955; McDonald, 1957; Elsasser, 1950; Yukutake, 1959). Оценки электропроводности мантии проведены как на базе данных о геомагнитных вариациях, так и из физических соображений, основанных на составе и структуре мантии. При этом исходными являются оценки порядка  $0.1 \div 1.0$  См/м, характерные для электропроводности верхней оболочки Земли, и  $10^4 \div 10^6$  См/м, характерные для ядра металлического состава. Это означает, что электрическая проводимость в мантии увеличивается с глубиной в несколько порядков. Теория гидромагнитного динамо, изучающая процессы генерации геомагнитного поля и его вековых вариаций, основана на том, что жидкое ядро с высокой электрической проводимостью находится между двумя твердыми фазами (внутреннее ядро и мантия) и вращается вместе с ними. Помимо того, ядро должно быть окружено изолирующим веществом, предотвращающим быструю диссипацию геомагнитного поля из-за проникновения тороидального поля в среду, не участвующую в конвекции, благодаря которой генерируется магнитное поле. В роли изолирующей среды в условиях земного динамо выступает твердая мантия. Есть некоторые соображения, что такая модель возможна при скачке электрической проводимости между ядром и мантией всего на один порядок величины (Golovkov, 1983). Скачок такой величины соответствует, во-первых, общим представлениям о гладких переходах физических свойств в пограничном слое ядро-мантия, во-вторых, такими значениями электропроводности мантии можно

объяснить выявление на земной поверхности широкого спектра геомагнитных вариаций продолжительностью от нескольких тысяч до нескольких десятков лет (Головков, 1977). Однако высокая электропроводность мантии создает серьезные ограничения для проявления на земной поверхности вариаций с более короткими временными характеристиками. С другой стороны, низкая электропроводность нижней мантии, соответствующая кратковременным геомагнитным вариациям, означает слабое электромагнитное сцепление между жидким веществом ядра и мантией Земли.

Эффективная электрическая проводимость мантии определяется электропроводностью ее нижней части, граничащей с ядром Земли, по характеризующим физическим параметрам которое подходит к железо-никелевому сплаву. Поэтому, именно значениями электрической проводимости нижней мантии определяется экранирующее воздействие земной мантии на геомагнитные вариации определенных частот. Толщина скин-слоя ставит серьезные ограничения на временную характеристику геомагнитных вариаций внутриземной природы, проникающих сквозь электропроводящую мантию на пути проявления на земной поверхности. С этой точки зрения особую важность имеют вариации продолжительностью менее ста лет, часто называемые в литературных источниках полувековыми вариациями, или вековыми вариациями высоких частот.

По своей энергетической характеристике самыми мощными вариациями в спектре высокочастотных вариаций главного магнитного поля Земли являются 60-летние вариации. Оказалось, что этот период превалирует также в вариациях продолжительности земных суток (Vestine, 1953; Slačitajs and Winch, 1965; Головков, 1977; Брагинский и Фишман, 1978). Изучая вариации про-

должительности суток совместно с вариациями межпланетного магнитного поля, солнечной активности и атмосферной циркуляции. Калинин и Киселов (1978) обнаруживают 60-летнюю цикличность в солнечной активности, проявляющуюся с некоторыми особенностями, в зависимости от интервала исследуемых данных. Учитывая также особенности проявления квазишестидесятилетних вариаций в продолжительности земных суток, авторы высказывают предположение, что 60-летние вариации солнечной активности могут быть причиной возбуждения магнитогидродинамических крутильных колебаний на границе ядро-мантия, вызывающих вариации в геомагнитном поле с периодом в 60-лет. Есть и точка зрения, что, наоборот, 60-летние вариации геомагнитного поля при эффективной электромагнитной связи системы ядро-мантия вызывают вариации того же периода в скорости суточного вращения Земли (Брагинский, 1970).

Таким образом, к концу 70-х годов 20-го века была создана некоторая концепция, в рамках которой объяснялись механизм возникновения вековых вариаций главного геомагнитного поля и существующие представления об основных характеристиках планеты Земля и их вариациях, которые имеют отношение к ее магнитному полю. Однако некоторые вопросы о механизме их воздействия и о физических параметрах, характеризующих самые глубокие недра нашей планеты, оставались дискуссионными. Периоды вековых вариаций в 20- и 30-лет, обнаруженные по данным наблюдений в спектре высоких частот, рассматривались как высшие гармоники, описывающие колебательный процесс основного 60-летнего периода. Вариации остальных периодов (40-, 50- и даже 80-лет) были рассмотрены как вариации, отражающие региональные особенности проявления вариаций главного геомагнитного поля. Все вариации продолжительностью менее десяти лет, за редким исключением (Currie, 1973; Courtillot and Le Mouel, 1976), были отнесены к внешним источникам или к индукционным эффектам, вызванным переменным электромагнитным полем внешнего происхождения в электропроводящих слоях литосферы и верхней мантии Земли (Allredge, 1977a). В сложившихся представлениях существенное затруднение вызывали работы, доказывающие внутриземное происхождение обнаруженных резких изменений (продолжительностью в несколько лет) в вековых вариациях. Ранние работы, упоминающие о резких изменениях (Калинин, 1949; Weber & Roberts, 1951; Walker & O'Dea, 1952; Орлов, 1961), не получили своего развития. Обнаруженные изменения рассматривались лишь как особые явления, проявляющиеся в конкретном регионе мира. В этом немаловажную роль сыграли сложившиеся представления об электропроводности нижней мантии, оказывающей экранирующее воздействие на быстротечные вариации импульсной природы. Считалось, что быстротечные вариации главного поля могут проявляться на земной поверхности только благодаря их волновой природе.

Ситуация резко изменилась с появлением и последовательным развитием понятия о геомагнитных джерках, глобальный характер, внутриземное происхождение и импульсная природа которых были доказаны многими учеными мира. В этой работе представлены результаты исследований проблем, касающихся электрической проводимости нижней мантии при учете джерков как основных явлений в формировании вариаций главного геомагнитного поля в высокочастотной части спектра его вековых вариаций.

### Анализ данных

В развитии работ о вековых вариациях геомагнитного поля в той или иной степени была показана взаимосвязь геомагнитных вариаций с вариациями суточного вращения Земли. Важность изучения такой взаимосвязи обоснована необходимостью объяснения причины вариаций скорости осевого вращения Земли. По оценкам Манка и Макдональда (1964) из межпланетных воздействий энергетически наиболее эффективным оказывается приливное влияние Луны на Землю, что приводит к замедлению вращения Земли. Причиной же выявленного в разные периоды времени ускорения суточного вращения Земли считается электромагнитная сила, действующая со стороны ядра на мантию (Головков, 1977). Однако, это возможно только при эффективном электромагнитном сцеплении ядра Земли с ее мантией, а это означает, что мантия должна обладать достаточно высокой электрической проводимостью для обеспечения электромагнитного сцепления в системе ядро-мантия. В литературе часто дискутируется также вопрос о влиянии солнечной активности на геомагнитные вариации, вызванные процессами, протекающими в жидком ядре Земли. Считается, что вариации геомагнитной активности, источником которых являются процессы, протекающие на Солнце, могут вызвать вариации в скорости суточного вращения Земли, которые при тесной связи мантии с жидким ядром Земли влияют на процессы, протекающие в ядре и находящие свое отражение в вариациях земного магнитного поля. Поэтому совместный анализ вариаций солнечной активности и вариаций геомагнитного поля позволяет проверять эффективность взаимосвязи системы ядро-мантия и обсуждать вопрос об эффективности электромагнитной связи при передаче вариаций момента вращения мантии жидкому ядру Земли.

Последовательное изучение пространственно-временных особенностей вековых геомагнитных вариаций на базе данных обсерваторских наблюдений за весь период действия магнитных обсерваторий мира с учетом явлений джерков в геомагнитном поле позволило выявить все эпохи джерков, имеющих глобальное проявление. Рассмотрение джерков в качестве динамических квантов, формирующих вековую изменчивость геомагнитного поля за 100-летний период времени, позволило построить глобальные пространственные модели магнитного поля Земли за период

20-го века. Полученные сферические гармонические модели главного геомагнитного поля основаны на результатах о тонкой структуре динамики геомагнитного поля, представленных его вторыми временными производными (Симонян и др., 2004). Точность полученных временно-непрерывных (интервал 1 год) аналитических моделей JBM-F – Jerk Based Models of the Geomagnetic Field была доказана, в частности, сравнением их с международными моделями IGRF – International Geomagnetic Reference Field (построенными с интервалом в 5-лет), основанным на данных прямых наблюдений. Поэтому, для проведения сравнительного анализа активности геомагнитных вариаций с вариациями солнечной активности была использована серия эпох глобальных геомагнитных джерков (Golovkov et al., 2003). Для обнаружения возможной корреляции между вариациями геомагнитного поля и вариациями скорости суточного вращения Земли с учетом новых представлений о структуре полувековых геомагнитных вариаций были выявлены все возможные эпохи импульсных изменений в величине скорости вращения Земли. А вариации местоположения географического полюса были сравнены с вариациями пространственной ориентации геомагнитной оси, координаты которой на земной поверхности определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda_0 &= h_1 / g_1', \quad \operatorname{tg} \varphi_0 = g_1^0 / \sqrt{(g_1')^2 + (h_1')^2} \Rightarrow \\ \lambda_0 &= \operatorname{arc} \operatorname{tg}(h_1' / g_1') \equiv \lambda, \\ \varphi_0 &= \operatorname{arctg} \left( g_1^0 / \sqrt{(g_1')^2 + (h_1')^2} \right) \equiv \varphi \quad [\text{рад}], \quad (1) \\ \lambda_0 &= \lambda \cdot 180 / \pi, \quad \varphi_0 = \varphi \cdot 180 / \pi \quad [\text{град}]. \end{aligned}$$

Из уравнений (1) видно, что расположение геомагнитного полюса определяется только сферическими гармоническими коэффициентами, определяющими первую пространственную гармонику, т.е. коэффициентами, определяющими геомагнитное поле в дипольном приближении в его разложении по формулам

$$\begin{aligned} X &= \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) \frac{dP_n^m(\cos\theta)}{d\theta}, \quad (2) \\ Y &= \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n (g_n^m \sin m\lambda - h_n^m \cos m\lambda) \frac{mP_n^m(\cos\theta)}{\sin\theta}, \\ Z &= -\sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) (n+1) P_n^m(\cos\theta), \end{aligned}$$

где  $\theta$  и  $\lambda$  – географическая коширота и долгота, соответственно;  $P_n^m(\cos\theta)$  – присоединенные полиномы Лежандра в нормировке Шмидта;  $n$  – степень,  $m$  – порядок модели,  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  – компоненты напряженности геомагнитного поля в декартовой системе координат.

Однако анализ набора сферических гармонических коэффициентов любой пространственной модели геомагнитного поля показывает, что недипольные гармоники поля имеют существенный вклад в энергетической характеристике поля и вносят значимые коррективы в описании глобальной пространственной структуры поля (Loves, 1966; Golovkov et al., 2003). Игнорирование их влияния при определении магнитного полюса Земли может привести к искажению результатов. Поэтому, при определении параметров интегральной характеристики поля по уравнениям (1) фигурирующие в них сферические гармонические коэффициенты были определены путем разложения (по уравнениям 2) при  $N = 1$

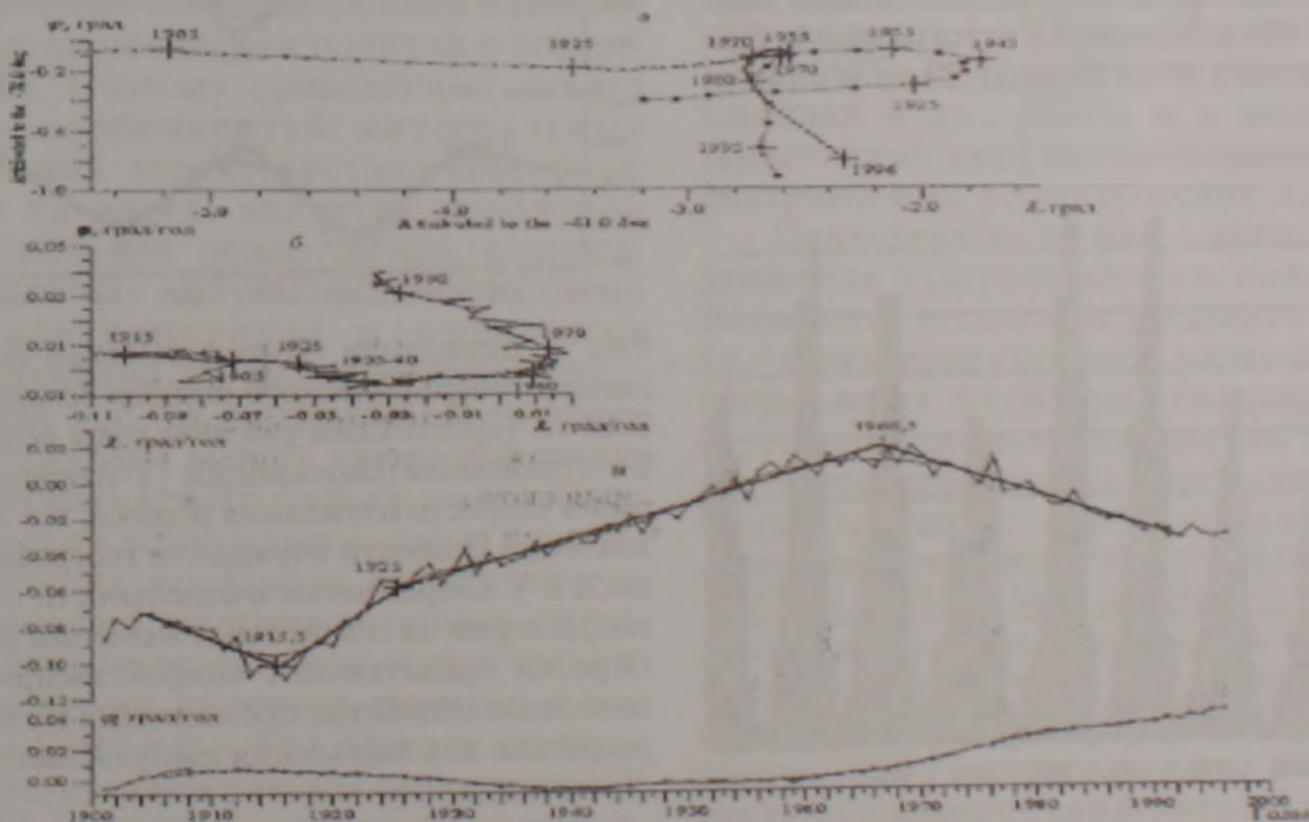


Рис. 1. Блуждание геомагнитного полюса и вариации скорости блуждания в течение 20-го века. Крестиками указаны эпохи резких изменений: а – расположение геомагнитного полюса. Темная кривая соответствует ежегодным значениям координат полюса, определенным согласно пространственным моделям JBM-F, светлая – значениям координат полюса, определенным согласно моделям IGRF; б – среднегодовая скорость блуждания геомагнитного полюса; в – временные вариации компонент скорости блуждания геомагнитного полюса.

полного синтезированного поля, представленного сферическими гармоническими моделями JBM-F с  $N = 4$ .

Расчет коэффициентов разложения, представляющих пространственное распределение геомагнитного поля в дипольном приближении на каждый год за период 1900-1996 гг. согласно моделям JBM-F, позволил определить координаты геомагнитного полюса (1) за этот период времени. Для сравнения координаты геомагнитного полюса были определены также с использованием пространственных моделей IGRF, представленных (в исходном виде) с точностью сферических гармоник до 10-ой степени и порядка. Координаты геомагнитного полюса, определенные для периода 20-го века по пространственным моделям JBM-F и IGRF, представлены в полярной системе координат на рис. 1а.

Для изучения вариаций величины скорости блуждания полюса проанализированы серии первых разниц среднегодовых значений координат полюса. На рис. 1б представлена кривая скорости блуждания полюса в полярной системе координат. Для фильтрации высокочастотного шума, проявляющегося на рис. 1б, серии значений компонент скорости были сглажены методом одиннадцатилетнего скользящего осреднения, примененного при изучении вековых вариаций геомагнитного поля по прямым данным обсерваторских наблюдений (Golovkov et al., 1989). В результате нам удалось более четко определить все джеркообразные/импульсные явления в скорости блуждания геомагнитного полюса внутри рассматриваемого периода 1900-1996 гг.

Изменения солнечной активности были исследованы анализом чисел Вольфа. По ежедневным данным наблюдений чисел Вольфа, определенных по количеству солнечных пятен (<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/index.html>), были рассчитаны их среднемесячные и среднегодовые значения. На рис. 2 представлена гистограмма количества солнечных пятен за период 20-го и начала

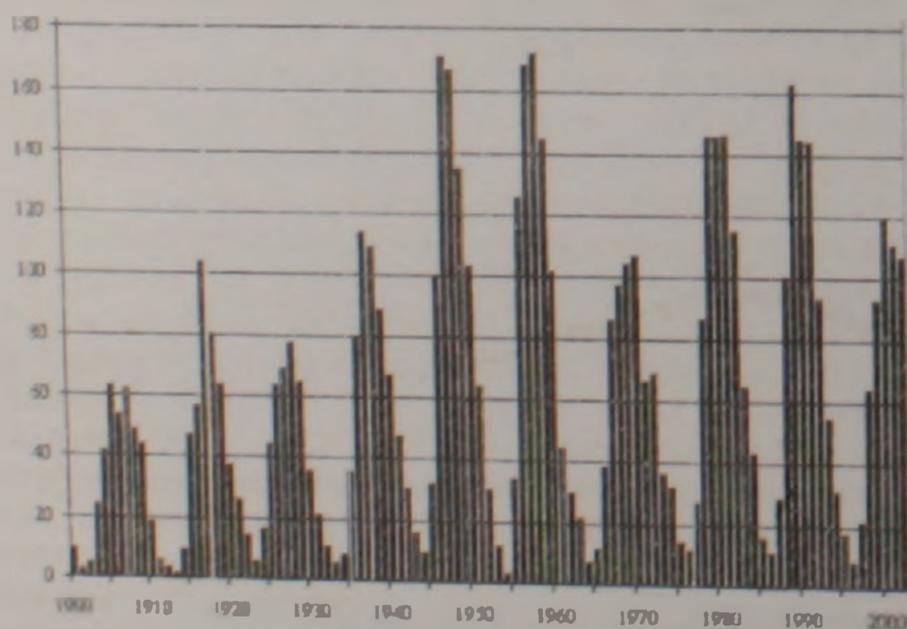


Рис. 2. Гистограмма, построенная по среднегодовым значениям чисел Вольфа за период 1900-2002 гг.

21-го веков. Выявленные годы максимумов и/или минимумов солнечной активности были сравнены с годами проявления глобальных джерков, достоверно определенных за тот же период времени.

Вариации скорости суточного вращения Земли были изучены временными сериями среднегодовых значений координат географического полюса (<http://hpiers.obspm.fr/file/EOP97C01>), отображающих изменение ориентации оси вращения Земли в пространстве, и сериями вариаций продолжительности земных суток (LOD – Length Of the Day variations, <http://hpiers.obspm.fr/>), отображающих изменения модуля скорости вращения Земли вокруг своей оси. Годовые значения координат полюса по направлению северной широты – X и западной долготы – Y в единицах миллисекунд дуги (mas) на рис. 3 представлены в полярной системе координат после фильтрации сезонных вариаций и Чандлеровских колебаний. Серия среднегодовых значений вариаций продолжительности земных суток относительно постоянного уровня 86400 с, соответствующего продолжительности стандартной 24-часовой сутки, на рис. 4 представлена в миллисекундах (ms).

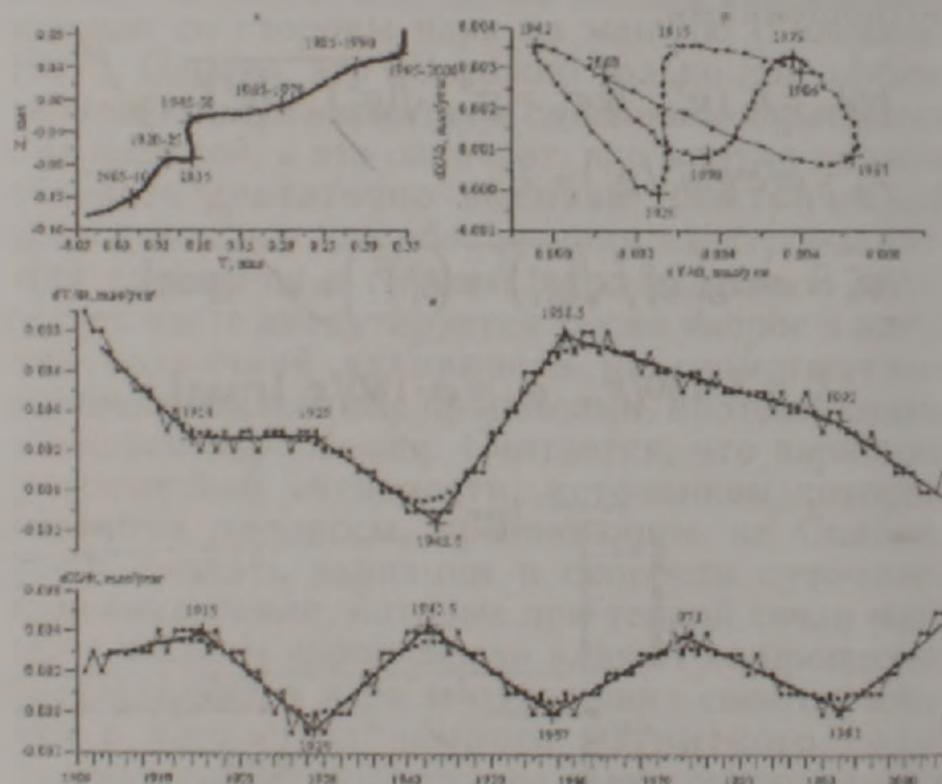


Рис. 3. Блуждание географического полюса: а - координаты географического полюса Земли за период 1900-2005 гг. (крестиками указаны годы резких изменений); б - сглаженная (скользящим 11-точечным осреднением) серия скорости блуждания полюса; в - временные серии значений скорости блуждания географического полюса по X и Y координатам в отдельности (изрезанные кривые) и серии их сглаженных значений (гладкие кривые). Отрезки представляют аппроксимирующие кусочно-линейные сегменты, проведенные по методу линейной регрессии для выявления импульсных изменений.

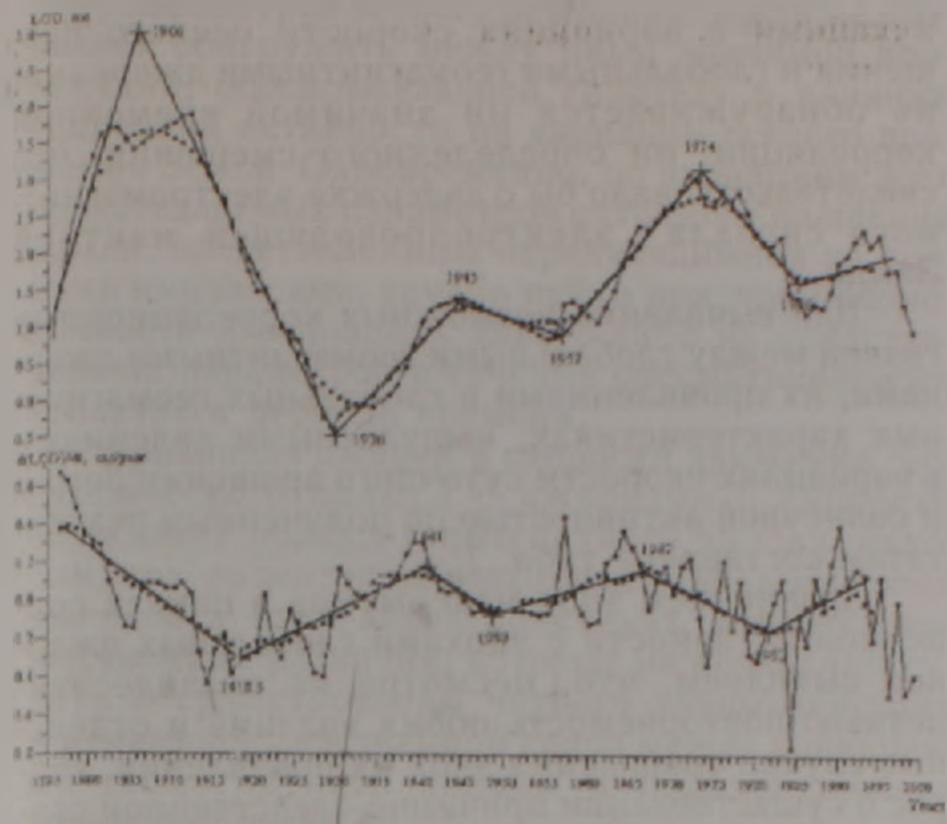


Рис. 4. Вариации продолжительности земных суток (LOD - сверху) и значений скорости их изменений (внизу). Изрезанные кривые соответствуют исходным данным наблюдений, гладкие — их сглаженным значениям.

### Обсуждение результатов

Проявление джерка в 1969 г. сильно повлияло на складывающиеся представления о внутреннем строении Земли и процессах, протекающих в ее глубоких недрах. Анализ данных регулярных наблюдений позволяет предположить, что джерки имеют ключевую роль в формировании вековых вариаций главного геомагнитного поля в спектре высоких частот. Кроме того, импульсный характер некоторых изменений как в геомагнитных, так и в других характеристиках, описывающих динамическое состояние нашей планеты, был доказан еще до появления понятия о геомагнитных джерках. Поэтому проведенный анализ динамических особенностей интегральных гелиогеофизических характеристик, способных повлиять друг на друга, является проблемой весьма актуальной для обнаружения корреляционных связей между импульсными вариациями в разных характеристиках и выявления возможного механизма их взаимовоздействия.

Рассматривая рис. 1а, нетрудно обнаружить некоторое расхождение между двумя описаниями поведения геомагнитного полюса во времени. Наблюдаемое расхождение в значениях и динамических особенностях координат геомагнитного полюса могли вызвать мелкомасштабные структуры геомагнитного поля, описанные пространственными гармониками высокого порядка в исходных моделях IGRF ( $N = 10$ ). Однако по двум кривым, соответствующим разным типам моделей (JBM-F и IGRF), выявляются переломные эпохи, характеризующиеся резкими/импульсными изменениями в направлении скорости блуждания геомагнитного полюса. Вариации значений скорости блуждания полюса на рис. 1а выявляются разностью расстояний между соседними поло-

жениями полюса за определенные интервалы времени (1 год и 5 лет для JBM-F и IGRF моделей, соответственно). При представлении серий скорости движения полюса на рис. 1б и изучении временных вариаций компонент скорости на рис. 1в эти эпохи резких изменений (обозначенные крестиками) выделяются более наглядно.

Отдельное рассмотрение компонент скорости изменений координат полюса (рис. 1в) показывает, что наиболее интенсивными являются вариации в составляющей по долготе. По самому характеру определения составляющих вариации по  $\varphi$ -составляющей являются менее интенсивными. Слабые смещения полюса могут вызвать значительные изменения в  $\lambda$ -составляющей из-за сгущенности меридианов в высоких широтах, тогда как на  $\varphi$ -составляющей скорости трудно выделить джерки на фоне небольших значений самой составляющей. Возможные джерки попадают в область ошибки определения импульсных изменений в данной составляющей, хотя явно они там существуют. Одновременно, на всех графиках рис. 1 четко прослеживается аномально интенсивное перемещение геомагнитного полюса по  $\varphi$ -составляющей, начиная уже с 70-х годов прошлого века. Скорость перемещения по этой составляющей имеет монотонно возрастающий характер со значениями, превосходящими значения скорости за предыдущие эпохи в течение всего период с 1900 по 1970-1975 гг.

По гистограмме, приведенной на рис. 2, обнаруживаются циклы солнечной активности за исследуемый период времени. Внутри так называемых 11-летних циклов активности выделяются эпохи максимумов — 1905-07, 1917, 1928, 1937, 1947, 1958, 1970, 1979-1981, 1989, 2000 гг., и минимумов — 1901, 1913, 1923, 1933, 1944, 1954, 1964, 1976, 1986, 1996 гг. солнечной активности, что позволяет сравнивать их с эпохами проявления хорошо изученных глобальных геомагнитных джерков — 1906, 1915, 1925, 1938, 1948, 1958, 1969, 1979 и 1989 гг. (Golovkov et al., 2003; Симонян и др., 2007), и с временными характеристиками импульсных изменений других рассматриваемых геофизических характеристик.

Приведенные на рис. 3 кривые, отражающие движение географического полюса за период 20-го века, позволяют выделить некоторые эпохи, характеризующиеся резкими изменениями направления блуждания географического полюса, т.е. импульсными явлениями в вариациях скорости его перемещения на поверхности Земли. Сравнивая эпохи наиболее явных «джерков» в скорости блуждания географического полюса — 1920-25, 1935, 1950 и 1995-2000 гг. с эпохами джерков в скорости блуждания полюса геомагнитного диполя (рис. 1), выявляем, что они в некоторой степени отличаются. В частности, джерк 1970 г., который четко выделяется в скорости блуждания геомагнитного полюса, определен обоими моделями (JBM-F и IGRF), трудно выделить в скорости блуждания полюса суточного вращения Земли.

Именно исследованием вариаций длины суток была предложена и развита концепция о

существовании взаимосвязи между высокочастотными вариациями главного геомагнитного поля и вариациями суточного или осевого вращения Земли, базирующейся на представлении о высокой интегральной электропроводимости нижней мантии, благодаря чему осуществляется тесное электромагнитное взаимодействие в системе мантия-ядро. Таким образом, была разработана концепция об электромагнитной природе сил, осуществляющих сцепление жидкого ядра Земли с ее мантией (Vestine & Kahle, 1968; Braginsky, 1984).

С учетом импульсной природы геомагнитных вариаций с периодом в 60-лет эффективная электропроводность нижней мантии оценивалась значениями порядка  $10^5$  См/м (Брагинский и Фишман, 1977 г; б; Golovkov, 1977), что соответствует времени задержки электромагнитных сигналов мантией примерно в 20 лет и пропускающей способности около 40-лет. Однако, приведенные оценки, характеризующие экранирующее влияние мантии в целом, не очень согласуются с настоящими представлениями о временных характеристиках джерков - резком характере их проявления в сериях вековых вариаций и частоте повторения в глобальном масштабе. Приведенные на рис. 4 кривые позволяют выявить импульсные изменения в LOD, т.е. в значениях скорости осевого вращения Земли за весь период 20-го века. В результате получилось, что между резкими джеркообразными явлениями, существ-

вующими в вариациях скорости осевого вращения и глобальными геомагнитными джерками, не обнаруживается ни значимой временной корреляции, ни определенного смещения, что свидетельствовало бы о задержке электромагнитного сигнала электропроводящей мантией Земли.

Для выявления возможных корреляционных связей между глобальными геомагнитными джерками, их проявлениями в глобальных геомагнитных характеристиках, импульсными явлениями в вариациях скорости суточного вращения Земли и солнечной активностью по полученным результатам составлена табл. 1.

Сравнением эпох максимумов в циклах солнечной активности с эпохами глобальных джерков выявляем, что, несмотря на квазидесятилетнюю повторяемость обоих явлений и отдельные случаи совпадения эпох их проявления, вопрос о существовании причинно-следственной связи между ними является весьма спорным. При рассмотрении эпох, характеризующихся минимальными значениями чисел Вольфа, находим, что иногда в пределах одного цикла солнечной активности различие между эпохами глобальных джерков и эпохами максимумов такое же, как различие между эпохами джерков и эпохами минимумов солнечной активности.

Исследование данных, представленных в табл. 1, сравнение эпох экстремумов солнечной активности с джеркообразными явлениями в вари-

Таблица 1

Временные характеристики вариаций главного геомагнитного поля и глобальных гелиогеофизических характеристик

Глобальные геомагнитные джерки		Осредненные за год координаты полюса осевого вращения Земли				Длина/продолжительность земных суток, LOD		Полюс геомагнитного диполя (DP)				Числа Вольфа	
Эпохи (год)	Интенсивность $(nTл/г^2)^2$	(X, Y) (milli-cond of arc, mas)	Всковые вариации (mas/year)			LOD (ms)	$\frac{d(LOD)}{dt}$ (ms/y)	$\varphi - \lambda$ (deg)	$\frac{\partial \varphi}{\partial t} - \frac{\partial \lambda}{\partial t}$ (deg/y)	$\frac{\partial \lambda}{\partial t}$ (deg/y)	$\frac{\partial \varphi}{\partial t}$ (deg/y)	Эпохи минимумов (год)	Эпохи максимумов (год)
			$dX/dt$	$dY/dt$	$\frac{dX/dt}{dY/dt}$								
1906	94.7	1905-10	-	-	-	1906	-	1905	1905-?	Короткий ряд	Короткий ряд	1901	1905
1915	25.5	-	1915	1914	1915	-	1918.5	-	1915	1915.5	-	1913	1917
1925	11.1	1920-25	1929	1929	1928	1930	-	1925	1926	1925	-	1923	1928
1938	24.0	1935	1942.5	1943.5	1942	-	1941	-	1938	-	1938.?	1933	1937
1948	25.0	1945-50	-	-	-	1945	1949	1955	1960	-	1959.?	1944	1947
1958	7.1	-	1957	1958.5	1959	1957	-	-	-	-	-	1954	1958
1969	27.0	1965-70	1973	-	-	-	1967	1970	1970	1966.5	-	1964	1970
1979	16.9	-	-	-	1973-76	1974	1982	1980	-	-	-	1976	1979-1981
1989	6.8	1985-90	1992	1992	1990	1986	Короткий ряд	-	1990	-	-	1986	1989
1996-?	-	1995-2000	-	-	-	Короткий ряд	Короткий ряд	Короткий ряд	-	-	-	1996	2000 (17ый цикл)

циях параметров осевого вращения Земли не позволяет обнаружить между ними значимой корреляции, обосновывающей гипотезу о влиянии солнечной активности на вариации осевого вращения Земли. Одновременно, по вариациям всех представленных параметров суточного вращения Земли, представленным чередующимися во времени импульсами, трудно найти признаки периодичности в вариациях какого-либо из представленных параметров в течение рассматриваемого столетнего периода времени.

Сравнивая джерки в скорости движения географического полюса с джерками в скорости блуждания полюса геомагнитного диполя, находим, что, несмотря на некоторое совпадение эпох джерков в этих характеристиках, имеются существенные различия, которые не позволяют судить о существовании четкого взаимодействия и причинно-следственной связи между вариациями геомагнитного полюса и полюса осевого вращения Земли.

Сравнением выявленных эпох импульсных изменений  $\Delta LOD$  и эпох джерков в вариациях параметров блуждания географического полюса с эпохами глобальных геомагнитных джерков и эпохами максимумов солнечной активности мы обнаруживаем, что между ними существует сложная взаимосвязь. Например, слабый геомагнитный джерк 1958 г. отражен в вариациях практически всех параметров, характеризующих скорость осевого вращения Земли, тогда как такое не обнаруживается для наиболее интенсивного и очевидного джерка 1969-70 годов. При этом оба эти джерка приурочены к годам максимумов солнечной активности (13-го и 14-го циклов, соответственно).

Таким образом, анализ серий данных скорости осевого вращения Земли и их временных вариаций позволил выявить эпохи джеркообразных явлений в них, сравнивать высокочастотные вариации главного геомагнитного поля с вариациями суточного вращения Земли. Значимой корреляции между этими вариациями за период времени около 100-лет не обнаружено. Не обнаружена также корреляция вариаций солнечной активности с вариациями скорости осевого вращения Земли, которая позволила бы предположить, что солнечная активность влияет на скорость суточного вращения Земли. Обнаруженные отдельные совпадения эпох геомагнитных джерков и их проявлений в интегральных характеристиках с годами максимумов солнечной активности и эпохами импульсных изменений в вариациях скорости осевого вращения Земли не могут быть рассмотрены как проявление эффективной взаимосвязи системы ядро-мантия в течение изучаемого периода времени.

Рассматривая проблему проникновения джерка сквозь электропроводящую мантию, Бакус находит, что электрическая проводимость мантии не является строгим ограничением для проявления джерка на поверхности Земли, т.е. джерк может проявиться даже при электропроводности мантии порядка  $1000 \text{ См/м}$ , благодаря эффекту сложного наложения мод (Backus, 1983)

и ограниченности зон высокой проводимости в мантии. По результатам же настоящего комплексного анализа вариаций гелиогеофизических характеристик более обоснованными являются низкие значения электрической проводимости нижней мантии, или же ограничение зоны высокой проводимости очень узким слоем нижней мантии, полагая, что значение в  $100 \text{ См/м}$  характеризует интегральную или эффективную проводимость мантии (Voorhies & Nishihama, 1994; Voorhies, 1995). Оценка порядка  $100 \text{ См/м}$  поддерживается также результатами экспериментов, проделанных с учетом химического состава и физико-механических условий на границе ядро-мантия (Shankland et al., 1993), подразумевая, что резкий характер джерков на поверхности Земли является прямым отображением временной характеристики процессов, протекающих на поверхности жидкого ядра Земли. Важно отметить, что низкие оценки значения электропроводности нижней мантии не противоречат оценкам, проведенным ранее, до появления понятия джерка в геомагнитном поле (Runcorn, 1955; McDonald, 1957; Yukutake, 1959).

## Заключение

Таким образом, сопоставление эпох происхождения импульсных явлений в изучаемых гелиогеофизических параметрах с годами проявления глобальных геомагнитных джерков показывает, что, несмотря на отдельные случаи их совпадения, трудно выявить причинно-следственную связь между каким-либо параметром и джерками в магнитном поле Земли в целом. Некоторые джерки совпадают с аналогичными явлениями в сериях вариаций самих глобальных параметров, а некоторые - в сериях скорости изменчивости представленных параметров. При этом не обнаруживается также совпадений в зависимости от интенсивности джерков, которые указывали бы на зависимость проявления геомагнитных джерков в других гелиогеофизических явлениях от энергетической мощности джерков. Более того, не обнаружена корреляция вариаций для любой пары из представленных параметров, или скоростями их вековой изменчивости между собой, которая указывала бы на эффективность электромагнитного сцепления системы ядро-мантия.

По анализу комплекса результатов изучения геомагнитных и гелиогеофизических характеристик можно сделать лишь вывод о том, что джерки, формирующие вековые геомагнитные вариации в области спектра высоких частот являются чувствительными индикаторами, отражающими всякое изменение в балансе сил в планетарном масштабе, проявляющееся в вариациях глобальных геофизических характеристик и в солнечной и геомагнитной активности.

В целом, сравнение эпох импульсных изменений в интегральных гелиогеофизических характеристиках показало, что, несмотря на отдельные случаи их совпадения, сделать вывод о

существовании причинно-следственной связи явлений между ними и/или одним из них с геомагнитными джерками не представляется возможным. Отсутствие строгой корреляционной связи между вариациями геомагнитного поля и вариациями скорости осевого вращения Земли, отсутствие глобального западного дрейфа, который свидетельствовал бы о вращении ядра, как целого относительно твердой мантии (Симонян, Головков, в печати), свидетельствуют о слабой электромагнитной взаимосвязи между жидким ядром Земли и ее твердой мантией. Это указывает на низкие значения эффективной электрической проводимости нижней мантии, уступающей по величине электропроводности ядра на три порядка. С другой стороны, проявление на земной поверхности джерков внутриземного происхождения с продолжительностью в первые единицы лет само по себе свидетельствует об ограниченных значениях электропроводности нижней мантии, сделав обоснованными оценки порядка  $10^2$  См/м.

Таким образом, результатами проведенных комплексных исследований доказываемся значимость оценок электропроводности нижней мантии, верхний предел которых ограничивается порядком  $10^2$  См/м, и слабого характера сил электромагнитной природы в сцеплении системы ядро-мантия для периодов времени продолжительностью порядка 100-лет.

## ЛИТЕРАТУРА

- Брагинский С.И. Магнитогидродинамические крутильные колебания в земном ядре и вариации длины суток. *Геомагн. Аэрон.*, 1970, т. 10, с. 3-12.
- Брагинский С.И., Фишман В. М. Экранирование магнитного поля в мантии при электропроводности, сосредоточенной вблизи границы с ядром. *Геомагн. Аэрон.*, 1977 а, т. 17, с. 907-915.
- Брагинский С.И., Фишман В. М. 60-летние вариации геомагнитного поля и электропроводность мантии. *Геомагн. Аэрон.*, 1977 б, т. 17, с. 916-926.
- Брагинский С.И., Фишман В. М. Электромеханические эффекты короткопериодных вариаций геомагнитного поля. *Геомагн. Аэрон.*, 1978, т. 18, с. 135-143.
- Головков В.П. Об электропроводности ядра Земли. *Геомагн. Аэрон.*, 1977, т. 17, с. 962-963.
- Калинин Ю.Д. Вековые геомагнитные вариации и изменения длины суток. *Метеорология и гидрология*, 1949, № 3, с. 15-19.
- Калинин Ю.Д., Киселов В.М. Спектральный анализ вариаций длительности земных суток, характеристик солнечной активности и атмосферной циркуляции. *Геомагн. Аэрон.*, 1978, т. 18, с. 818-826.
- Манк У., Макдональд Г. Вращение Земли. М.: "Мир", 1964, 384с.
- Орлов В.П. Вековой ход геомагнитного поля и его необычно резкие изменения. *Тр. ИЗМИРАН СССР*, 1961, вып. 18(28), с. 77-87.
- Симонян А.О., Шахпаронян С.Р., Оганесян А.С. Моделирование земного магнитного поля с учетом существования геомагнитных джерков. *Геомагн. Аэрон.*, 2004, т. 44, с. 849-856.
- Симонян А.О., Головков В.П., Оганян М.В. Геомагнитный джерк конца 1980-х годов. *Изв. НАН РА, Науки о Земле*, 2007, т. LX, с. 50-60.
- Симонян А.О., Головков В.П. Пространственные особенности проявления западного дрейфа геомагнитного поля. *Геомагн. Аэрон.*, 2009, т. 49. (в печати).
- Allredge L. R. (a) Geomagnetic variations with periods from 13 to 30 years. *J. Geomagn. Geoelectr.* 1977, v.29, pp. 123-135.
- Allredge L. R. (b) Deep mantle conductivity. *J. Geophys. Res.*, 1977, v.82, pp. 5427-5431.
- Backus G.E. Application of mantle filter theory to the geomagnetic jerk of 1969. *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 1983, v. 74, pp. 713-746.
- Braglinsky S. I. Short-period geomagnetic secular variations. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.*, 1984, v. 30, pp. 1-78.
- Courtilot V., Le Mouel J.L. On the long-period variations of the Earth's magnetic field: from 2 months to 20 years. *J. Geophys. Res.*, 1976, v.81, pp. 2941-2950.
- Currie R.G. Geomagnetic line spectra – 2 to 70 years. *Astrophys. Space Sci.*, 1973, v. 21, pp.180-182.
- Elsasser W. M. The Earth's interior and Magnetism. *Rev. Mod. Phys.*, 1950, v. 22, pp. 1-35.
- Golovkov V.P. Dynamics of the geomagnetic field and the internal structure of the Earth. "Magnetic Field and Processes in the Earth's Interior", Ed. V. Bucha, Prague, 1983, pp. 395-501.
- Golovkov V.P., Simonyan A.O., Zvereva T.I. Common Features and Differences Between the "Jerks" of 1947, 1957 and 1969. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.*, 1989, v. 49, pp. 81-96.
- Golovkov V. P., Simonyan A. O. Shahparonyan S.R. The jerks in the main geomagnetic field. Proc. "OIST-4 Conference, DK, 23-27 Sep., 2002", Ed. Peter Stauning, Copenhagen, Denmark, 2003, pp. 69-74.
- Loves F. J. Mean-square values on sphere of spherical harmonic vector fields. *J. Geophys. Res.*, 1966, v. 71, pp. 2179-2179.
- McDonald K. L. Penetration of the geomagnetic field through a mantle with variable conductivity. *J. Geophys. Res.*, 1957, v. 62, pp. 117-141.
- Runcorn S.K. The electrical conductivity of the Earth's mantle. *Eos. Trans. AGU*, 1955, v. 36, pp. 191-198.
- Shankland T.I., Peyronneau J., Poirier J.-P. Electrical conductivity of the Earth's lower mantle. *Nature*, 1993, v. 366, pp. 453-455.
- Slaucitajs L., Winch D.E. Some morphological aspects of geomagnetic secular variation. *Planet. Space Sci.*, 1965, v. 13, pp. 1097-1110.
- Vestine E. H. On variations of the geomagnetic field, fluid motions and the rate of the Earth's rotation. *J. Geophys. Res.*, 1953, v. 58, pp. 127-145.
- Vestine E. H., Kahle A.B. The westward drift and geomagnetic secular change. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 1968, v. 15, pp. 29-37.
- Voorhies C.V., Nishihama M. Simultaneous solution for core magnetic field and fluid flow beneath an electrically conductive mantle. *J. Geophys. Res.*, 1994, v. 99, pp. 6685-6593.
- Voorhies C.V. Time-varying fluid flow at the top of earth's core derived from definitive geomagnetic reference field models. *J. Geophys. Res.*, 1995, v. 100, pp. 10,029-10,039.
- Walker G.B., O'Dea P.L. Geomagnetic secular-change impulses. *Eos Trans. AGU*, 1952, 33(6), pp. 797-800.
- Weber A.M., Roberts E.B. The 1950 world isogonic chart. *J. Geophys. Res.*, 1951, v. 56, pp. 81-84.
- Yukutake T. Attenuation of geomagnetic secular variation through the conducting mantle of the Earth. *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, 1959, v. 37, pp. 13-32.

**ՋԵՐՔԵՐԻ ՍԱՀՄԱՆԱՓԱԿԻՉ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍՏՈՐԻՆ ԹԻԿՆՈՑԻ  
ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԱՐԺԵՔՆԵՐԻ ՎՐԱ**

**Ա.Հ. Սիմոնյան**

**Ամփոփում**

Աշխատանքում ուսումնասիրված են հելիոտերկրաֆիզիկական ինտեգրալ բնութագրերի վարիացիաները դրանցում իմպուլսային բնույթի փոփոխությունների հայտնաբերման և 20-րդ դարում տեղի ունեցած ու Երկրի գլխավոր մագնիսական դաշտի դարային վարիացիաների դիտված տարածաժամանակային պատկերը ձևավորող ջերքերի ժամանակային բնութագրի հետ համեմատման նպատակով: Կատարված հետազոտությունների արդյունքում հայտնաբերվել է Երկրի օրեկան պտույտի արագության փոփոխություններում իմպուլսային երևույթների և երկրամագնիսական դաշտի ջերքերի հանդես գալու ժամանակների միջև էական կորելիացիոն կապի և/կամ հաստատուն շեղման բացակայությունը, որը ապացույց կհանդիսանար էլեկտրամագնիսական բնույթի ազդանշանի վրա Երկրի էլեկտրահաղորդիչ քիկնոցի թափանցելիության սահմանափակության և/կամ ուշացնող ազդեցության: Արեգակնային և երկրամագնիսական ակտիվության ու Երկրի օրեկան պտույտի արագության վարիացիաների միջև էական կորելիացիոն կապի բացակայությունը նույնպես վկայում է միջուկ-քիկնոց համակարգում ուժեղ էլեկտրամագնիսական կապի բացակայության մասին 100-տարի բնութագրական ժամանակաշրջանների ընթացքում, ավելի հիմնավորված դարձնելով ստորին քիկնոցի էլեկտրահաղորդականության արժեքները, որոնք սահմանափակված են  $10^2$  Սմ/մ (*Միմենս/մետր*) կարգով:

**A LIMITING IMPACT OF JERKS UPON THE VALUES OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF LOWER MANTLE**

**A.O. Simonian**

**Abstract**

The article covers a study of variations of integral helio-geophysical characteristics aimed to indication of impulse changes and collation with a temporal characteristic of jerks indicated in XX century that form a spatial-and-temporal structure of secular variations of major geomagnetic field in a high frequency spectrum. The research results proved the absence of significant temporal relations and/or definite shift between periods of manifestation of impulse phenomena in axis rotation velocity variations and global geomagnetic jerks, which could evidence a limited character of transmission capacity and/or the electromagnetic signal delay by the Earth's electroconductive mantle. The absence of any significant relations between variations of solar and geomagnetic activity and those of the Earth's axis rotation velocity evidences the absence of a close electromagnetic bond in system core – mantle for characteristic times of order 100 years, thus improving justification of the Earth's lower mantle electroconductivity values limited by order  $10^2$  cm/m.