Известия НАН РА, Науки о Земле, 2007, LX, №2, 50-60

ГЕОМАГНИТНЫЙ ДЖЕРК КОНЦА 1980-Х ГОДОВ

© 2007 г. А. О. Симонян*, В. П. Головков**, М. В. Оганян*

*Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А.Назарова НАН РА
3115, г.Гюмри, ул. В.Саркисяна, 5, Республика Армения
E-mail: us-iges@shirak.am
**Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН
142190, г.Троицк Московской области, ИЗМИРАН, Россия
Поступила в редакцию 14.05.2007 г.

Использование длинных серий вековых вариаций, представляемых обсерваториями мировой сети вплоть до начала XXI столетия, позволяет определить, что джерк во второй половине 1980-х годов приходится на 1989 год. После него наступает очередной период стабильного развития геомагнитного поля с центральной эпохой на 1992г., которая чередуется с периодом новой активизации процесса резких изменений вековых вариаций с центральной эпохой глобального джерка, находящейся, по предварительным расчетам, во второй половине 1990-х годов. Таким образом, анализ современных данных магнитных обсерваторий подтверждает квазидесятилетнюю повторяемость джерков в глобальном масштабе. Построение сферической гармонической модели позволяет выявить крупно региональные особенности проявления глобального джерка 1989г., характерные для вариаций внутренних источников. Следствием этого джерка является появление и интенсивный рост фокусов векового хода в отдельных регионах мира.

Введение. Джерки внутриземного происхождения и резкого характера, которые время от времени появляются на земной поверхности, сильно влияют на наши представления о природе вековых вариаций главного геомагнитного поля и о процессах в жидком ядре Земли, ответственных за их генерацию. Сразу после пионерских работ по открытию широко известного джерка 1969г. (Courtillot et al., 1978; Achache et al., 1980; 1981; Ducruix et al., 1980; Le Mouel & Courtillot 1981; 1982; Le Mouel et al., 1982; Courtillot et al., 1984) появились работы, дискутирующие вопрос о возможности проявления джерков за другие эпохи. В частности, были обнаружены джерки, происшедшие около 1905г. (Courtillot et al., 1978; Cire et al., 1984), 1915г. (Ducruix et al., 1983; Gavoret et al., 1986), 1925г. (Courtillot & Le Mouel, 1984) и в 1977г. (Nevanlinna & Sucksdorff, 1981; Nevanlinna, 1983).

Разработка метода выделения резкого джерка (продолжительностью проявления на земной поверхности 1-3 года) из спектра высокочастотных вариаций внешних – относительно поверхности Земли, источников позволило выявить наиболее полную пространственно-временную картину джерков на земной поверхности в течение последних 150 лет, покрытых данными регулярных наблюдений в магнитных обсерваториях (Головков и Симонян, 1989; 1991; Golovkov et al., 1989; 2003; Головков и др., 1989; 1992; Alexandrescu et al., 1995; 1996; Macmillan, 1996; De Michelis et al., 1998; Le Huy et al., 1998; Ротанова и др., 2002; Bondar et al., 2003; Симонян и др., 2004).

Роль длинных временных серий современных высокоточных данных, представляемых мировой сетью магнитных обсерваторий, трудно переоценить в деле обнаружения очередных джерков при систематическом развитии исследований геомагнитных джерков, изучении их роли в формировании высокочастотных вековых вариаций, генерируемых в жидком ядре Земли. Компонентные данные магнитных спутников, отличающиеся равномерностью по покрытию земной поверхности, представляются недостаточно длинными во времени, чтобы можно было использовать их для достоверного выделения джерков как скачкообразных изменений в постоянных – по отдельным регионам за десятилетия, значениях геомагнитных ускорений до и после него, изучения пространственно-временных характеристик джерков, происходящих в современности.

Целью настоящих исследований является обнаружение возможного джерка в конце XXв. и уточнение пространственной сферической гармонической модели джерка конца 1980-х годов, определение точной эпохи его проявления на земной поверхности с учетом продленных за последние годы серий данных магнитных обсерваторий.

Данные и метод их обработки. Обсерваторские данные среднегодовых значений элементов земного магнитного поля представляются в виде каталога и его ежегодных дополнений (Головков и др., 1983; 1984; ..., 2007). Магнитных обсерваторий, покрывающих непрерывными сериями данных интервал времени длиной не менее 40-50-лет – вплоть до начала XXI века, на всей земной поверхности оказалось 129. Временные серии вековых вариаций, представляющих собой первые разницы среднегодовых значений по всем трем X-, Y- и Z- силовым элементам земного магнитного поля, были проанализированы по разработанному методу кусочно-линейной аппроксимации (Golovkov et al., 1989; 2003) для определения джерков конца XXв. На рис.1 представлены серии вековых вариаций по разным геомагнитным компонентам и из разных регионов мира, для иллюстрации геомагнитных джерков и особенностей их проявления в пространстве и во времени. Светлыми кружочками на рисунке представлены серии значений вековых вариаций, полученных по непосредственным данным наблюдений, темными кружочками – те же серии вековых вариаций после скользящего осреднения с одиннадцатилетним окном. По последним сериям проведены отрезки прямолинейных участков по

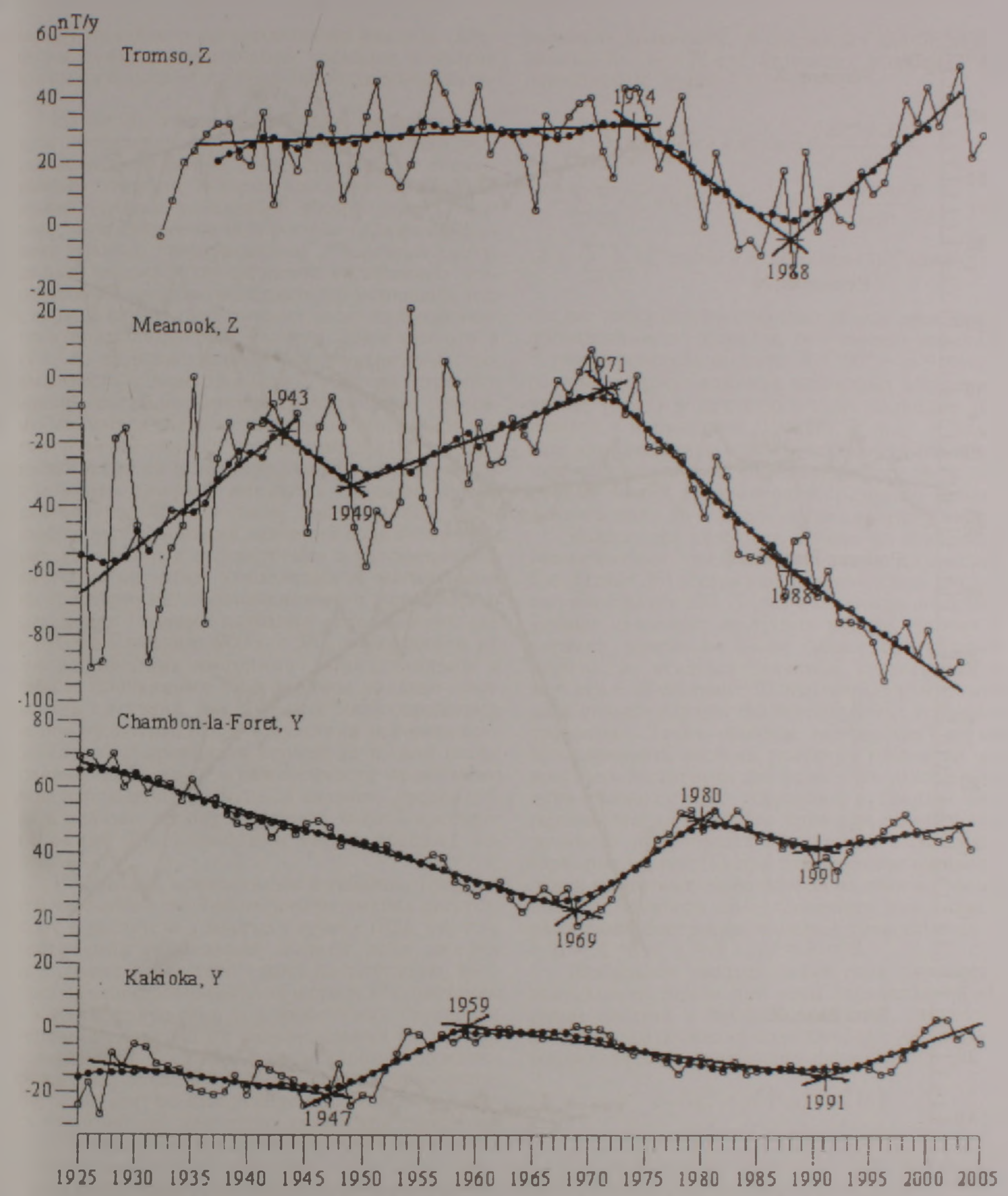


Рис 1 Временные серии вековых вариаций, представленные разными компонентами геомагнитного поля по данным обсерваторий, широко разнесенных на поверхности Земли Крестиками указаны годы джерков. координаты обсерваторий представлены в табл 1

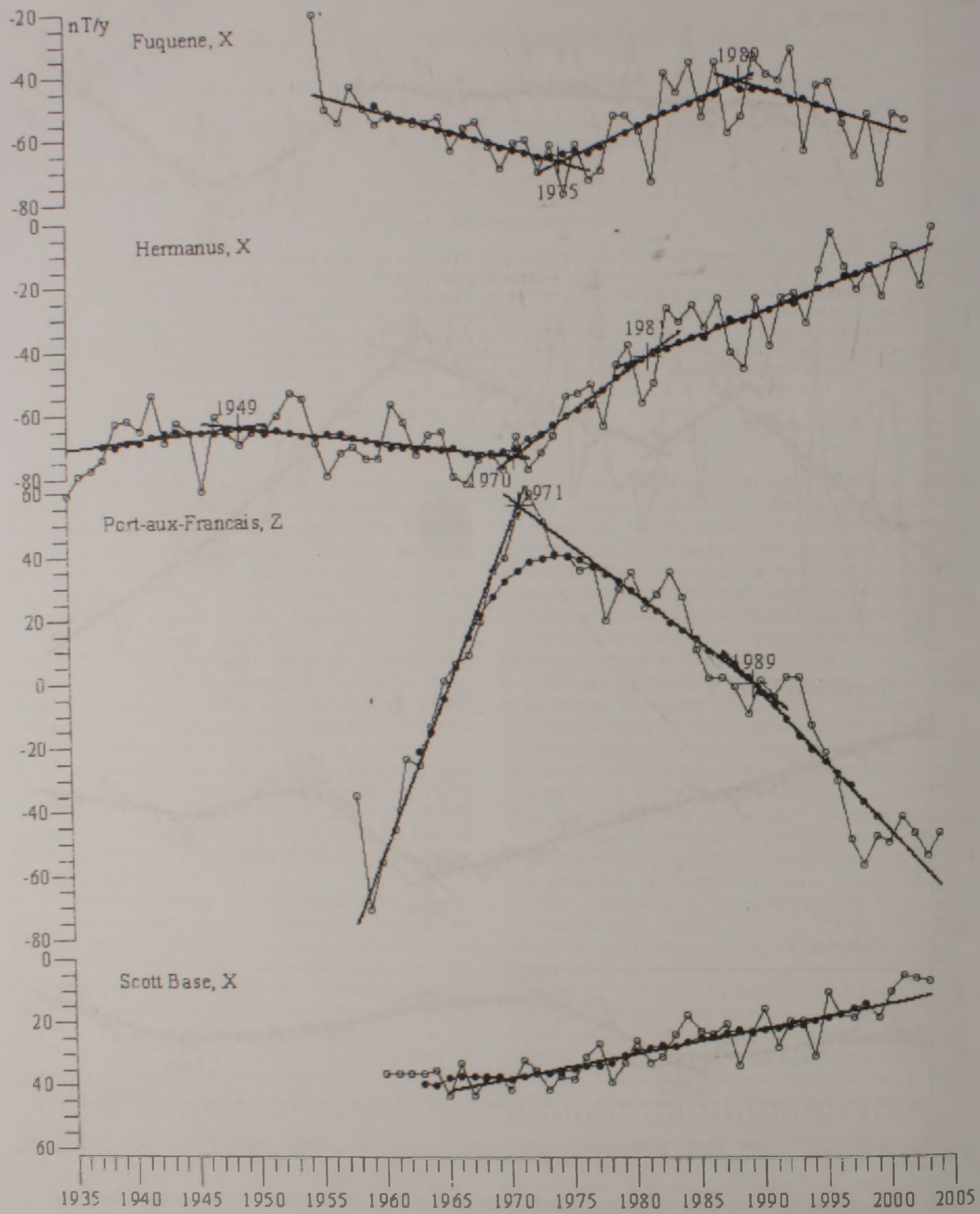


Рис.1. Продолжение.

методу линейного регрессионного анализа. Абсциссы пунктов пересечений соседних отрезков прямых указывают на годы происшествия джерков.

На рис.1 очевидным образом показано, что годы проявления джерков зависят от точки расположения магнитной обсерватории и от геомагнитного элемента, который рассматривается (последние указаны у названий обсерваторий). Поэтому, выделенные по конкретным сериям джерки нами названы "виртуальными". Величины виртуальных джерков определяются вычитанием предыдущего значения геомагнитного ускорения, что в данном случае представляет величину угла наклона прямолинейного отрезка, выраженного в *нТл/г²*, от последующего джерку значения геомагнитного ускорения. Таким образом, строится модель, согласно которой геомагнитные ускорения являются квазипостоянными (в пределах малых величин ошибки аппроксимации) в течение десятилетий до и после виртуальных джерков, а в моменты джерков меняются скачком. Значения виртуальных джерков, как величины скачкообразных изменений значений поля геомагнитных ускорений в соответствии с рассмотренными геомагнитными элементами и магнитными обсерваториями, обозначенными в международных кодах (полные названия обсерваторий см. в работе Симонян, 2005, с.36), с указанием их географических координат, представлены в табл.1. Значениями 99 в таблице условно обозначены ситуации, когда нельзя было определить величину джерка ввиду отсутствия значения постоянного ускорения на период до и/или после джерка, либо из-за ограниченности временного ряда наблюдений, либо из-за высокого уровня шума в данных, препятствующего точной кусочно-линейной аппроксимации серий вековых вариаций.

Из данных, приведенных в таблице, следует, что численные оценки величины джерка отсутствуют в достаточно многих случаях (62), что при построении глобальной модели поля джерка усугубляет и без того сложную ситуацию, вызванную недостаточным количеством обсерваторий в южном полушарии и в акваториях океанов и неравномерностью их распределения на земной поверхности. Тогда как поле ускорений до и после джерка, очевидно, обеспечено бо́льшим количеством виртуальных ускорений. Поэтому, исходя из линейного характера уравнений сферического гармонического анализа, были построены глобальные пространственные модели поля постоянных ускорений до и после джерка, а набор сферических гармонических коэффициентов, определяющих глобальное поле джерка, было получено вычитанием соответствующих коэффициентов поля постоянных ускорений до момента джерка от коэффициентов, моделирующих глобальное поле ускорений после происшествия джерка.

С учетом инвариантности уравнений сферического гармонического анализа во времени сферические гармонические модели поля глобальных геомагнитных ускорений были построены решением методом наименьших квадратов системы условных уравнений, расписанных для исследованных X-, Y- и Z-составляющих ускорений на поверхности Земли:

$$\ddot{X} = \sum_{n=1}^{N}\sum_{m=0}^{n}(\ddot{g}_n^m \cos m\lambda + \ddot{h}_n^m \sin m\lambda)\frac{dP_n^m(\cos\theta)}{d\theta},$$
$$\ddot{Y} = \sum_{n=1}^{N}\sum_{m=0}^{n}(\ddot{g}_n^m \sin m\lambda - \ddot{h}_n^m \cos m\lambda)\frac{mP_n^m(\cos\theta)}{\sin\theta}, \qquad (1)$$
$$\ddot{Z} = -\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=0}^{n}(\ddot{g}_n^m \cos m\lambda + \ddot{h}_n^m \sin m\lambda)(n+1)P_n^m(\cos\theta),$$

где две точки сверху означают вторые временные производные, n – порядок, m – степень модели, l – географическая долгота, θ = 90° – φ – коширота места расположения магнитных обсерваторий, $P_n^m(\cos\theta)$ – присоединенные полиномы Лежандра в нормировке Шмидта, $\ddot{g}_n^m$ и $\ddot{h}_n^m$ – искомые коэффициенты пространственного разложения поля ускорений, определяющиеся на исследуемые эпохи стационарного развития геомагнитного поля до и после происшествия джерка.

Количество исходных данных по значениям геомагнитных ускорений на эпоху до джерка составляет 361, тогда как на эпоху после джерка оно составляет 331. Такое количество исходных данных позволяет построить модели степени и порядка, равные не более восьми, при котором количество искомых значимых неизвестных – $N = n(n+2)$ составит 80, что примерно в четыре раза меньше количества используемых условных уравнений. Таким образом, необходимая переопределенность системы условных уравнений может быть достигнута для успешного разложения поля геомагнитных ускорений в сферический гармонический ряд. Для проверки зависимости точности полученных моделей от количества гармоник в ряде (1) при современном распределении магнитных обсерваторий на земной поверхности и точности представляемых ими данных нами были построены модели с точностью до $m = n = 4$, $m = n = 6$ и $m = n = 8$.

Глобальное распределение поля джерка на поверхности Земли при этом определялось методом синтеза с помощью ряда (1), где коэффициенты разложения поля джерка – $\Delta\ddot{g}_n^m$ и $\Delta\ddot{h}_n^m$ вычислялись по следующим формулам:

$$\Delta\ddot{g}_n^m = \ddot{g}_n^m(t_{i+1}) - \ddot{g}_n^m(t_i),$$
$$\Delta\ddot{h}_n^m = \ddot{h}_n^m(t_{i+1}) - \ddot{h}_n^m(t_i), \qquad (2)$$

где i – порядковый номер эпохи стационарного развития поля, характеризующегося постоянством поля ускорений (Golovkov et. al., 2003; Simonyan & Shahparonyan, 2004). Наборы сферических гармонических коэффициентов, моделирующих глобальное поле джерка конца 1980-х с точностью до 4-х; 6-и и 8-и гармоник, представлены в табл.2.

Обсуждение результатов. На рис.1. видно, что в конце 1980-х годов надежно выделяется джерк, равно как хорошо изученные более ранние джерки. Очевидно также, что время проявления джерка в годах достаточно сильно размазано и зависит от серии наблюдений и региона расположения магнитной обсерватории (табл.1).

Таблица 1

Список 129 магнитных обсерваторий, по данным которых определены величины виртуальных джерков в конце 1980-х годов, представленный в порядке убывания географической широты места их расположения

Коды обсерваторий	Широта (φ^0)	Долгота (λ^0)	$\Delta\ddot{X}$, нТл/г^2	$\Delta\ddot{Y}$, нТл/г^2	$\Delta\ddot{Z}$, нТл/г^2
1	2	3	4	5	6
ALE	82.50	297.50	4.39	-0.84	7.39
HIS	80.62	58.05	3.29	-1.26	5.56
NAL	78.92	11.93	4.24	2.91	9.11
CCS	77.72	104.28	3.75	0.00	12.34
THL	77.47	290.77	4.57	-0.69	8.98
MBC	76.32	240.63	4.56	0.00	99.
RES	74.68	265.10	3.88	-1.27	8.55
BJN	74.50	19.00	3.75	2.34	8.19
DIK	73.55	80.57	4.82	0.00	6.50
TIK	71.58	129.00	99.	99.	99.
BRW	71.30	203.25	5.94	0.00	6.69
TRO	69.67	18.93	5.83	2.44	5.60
GDH	69.25	306.47	3.56	-0.68	99.
ABK	68.37	18.82	4.02	1.91	5.59
SOD	67.37	26.63	4.12	2.05	6.13
CWE	66.17	190.17	3.37	2.29	-0.11
CMO	64.87	212.17	4.28	0.53	4.56
BLC	64.33	263.97	3.91	-0.88	99.
LRV	64.18	338.30	3.24	1.93	99.
DOB	62.07	9.12	3.29	1.72	3.39
YAK	62.02	129.72	4.87	-0.79	-0.63
NAQ	61.17	314.57	3.61	0.00	99.
NUR	60.52	24.65	3.80	1.70	3.50
LER	60.13	358.82	3.50	2.05	3.69
MGD	60.12	151.02	6.81	0.00	0.00
LNN	59.95	30.70	3.62	1.63	4.24
LOV	59.35	17.83	3.71	1.95	2.66
FCC	58.77	265.92	4.63	-1.49	0.00
SIT	57.07	224.68	3.06	-1.01	3.04
ARS	56.43	58.57	3.40	0.00	4.04
BFE	55.63	11.67	3.43	1.62	99.
MOS	55.47	37.32	2.54	99.	4.72
ESK	55.32	356.80	2.67	1.84	0.00
PBQ	55.28	282.25	4.39	0.00	0.00
NVS	55.03	82.90	99.	-4.22	1.21
HLP	54.62	18.82	3.40	2.13	1.45
MEA	54.62	246.67	4.94	-1.88	0.97
MNK	54.50	27.88	3.43	1.74	2.42
WNG	53.75	9.07	3.34	1.90	0.62
1	2	3	4	5	6
PET	53.10	158.63	5.08	0.00	0.00
WIT	52.82	6.67	99.	99.	99.
IRT	52.17	104.45	4.95	99.	99.
NGK	52.07	12.68	3.25	1.98	0.00
VAL	51.93	349.75	2.43	1.74	0.00
BEL	51.83	20.80	3.11	99.	99.
HAD	51.00	355.52	3.15	1.62	0.00
KIV	50.72	30.30	3.77	1.57	1.39
MAB	50.30	5.68	99.	99	99.
DOU	50.10	4.60	3.30	1.43	0.00
LVV	49.90	23.75	2.57	1.11	0.00
BDV	49.07	14.02	2.85	1.58	0.00
VIC	48.52	236.58	2.52	-3.08	1.01
NEW	48.27	242.88	3.07	-3.18	0.00
WIK	48.27	16.32	3.00	1.99	0.00
FUR	48.17	11.28	2.45	1.62	0.00
CLF	48.02	2.27	2.49	1.39	0.00
HRB	47.87	18.18	2.67	2.13	0.00
NCK	47.63	16.72	3.11	2.05	0.00
STJ	47.60	307.32	4.08	0.00	99.
YSS	46.95	142.72	99.	99.	99.
THY	46.90	17.90	2.47	2.37	-1.00
ODE	46.78	30.88	3.09	2.73	0.00
CTS	46.05	11.65	99.	99.	99.
OTT	45.40	284.45	6.01	0.00	-3.65
SUA	44.68	26.25	2.77	2.54	0.00
GCK	44.63	20.77	2.33	2.19	-0.41
MMB	43.92	144.20	0.00	0.00	0.00
VLA	43.68	132.17	1.36	0.00	99.
AAA	43.25	76.92	-3.06	99.	3.45
PAG	42.52	24.18	2.47	2.38	-0.74
AQU	42.38	13.32	2.35	1.52	-0.44
TFS	42.08	44.70	-2.03	3.05	3.29
TKT	41.33	69.62	-2.69	-1.97	2.68
ISK	41.07	29.07	4.55	99.	0.00
COI	40.22	351.58	2.65	3.13	0.00
BOU	40.13	254.77	3.38	-4.01	-3.99
BMT	40.03	116.18	0.47	99.	99.
MIZ	39.10	141.20	0.00	99.	0.00
FRD	38.20	282.63	6.35	0.00	-7.12
ASH	37.95	58.10	1.98	-0.57	6.14

1	2	3	4	5	6
KAK	36.23	140.18	0.00	1.68	0.00
KNZ	35.25	139.97	0.00	0.00	0.00
TUC	32.25	249.27	1.08	-5.11	-4.45
KNY	31.42	130.88	0.00	0.00	0.00
SSH	31.10	121.18	0.00	99.	99.
SAB	30.37	77.80	2.66	-3.62	99.
QUE	30.20	66.95	6.72	0.00	99.
GUI	28.32	343.57	0.00	0.95	-1.91
LNP	25.00	121.17	0.00	0.00	0.00
HON	21.32	202.00	0.00	3.54	0.00
ABG	18.63	72.87	4.67	-1.56	99.
SJG	18.12	293.85	-3.21	0.00	-2.36
HYB	17.42	78.55	3.43	-4.84	99.
MBO	14.40	343.05	0.00	0.00	-2.09
MUT	14.38	121.02	99.	99.	99.
GUA	13.58	144.87	0.00	99.	0.00
ANN	11.37	79.68	4.53	99.	99.
KOD	10.23	77.47	4.69	0.00	99.
AAE	9.03	38.77	0.00	99.	-1.80
TRD	8.48	76.95	0.00	-1.02	99.
FUQ	5.47	286.27	-3.03	2.78	2.71
BNG	4.60	18.57	0.49	1.60	99.
TTB	-1.20	311.48	0.00	-1.78	2.48
TNG	-6.17	106.63	-3.24	99.	-4.17
LAU	-8.92	13.17	99.	0.00	0.00
PMG	-9.40	147.15	99.	0.00	0.00

1	2	3	4	5	6
HUA	-12.05	284.67	0.00	99.	0.00
API	-13.80	188.23	-0.90	0.00	-1.15
PPT	-17.57	210.42	0.00	1.91	0.00
LQA	-22.12	294.42	99.	0.00	99.
VSS	-22.40	316.35	0.00	0.00	99.
LMM	-25.92	32.58	99.	4.86	-0.01
PIL	-31.67	296.12	0.00	0.00	0.00
GNA	-31.78	115.95	0.00	0.00	0.00
HER	-34.42	19.23	0.00	1.80	0.00
LAS	-35.00	302.32	0.00	0.00	3.81
CNB	-35.32	149.37	0.00	0.00	0.00
TRW	-43.27	294.62	0.00	0.89	1.60
CZT	-46.43	51.87	1.98	-0.70	1.22
MCQ	-54.50	158.95	0.00	0.00	0.00
PAF	-49.35	70.25	1.79	0.00	-1.18
AIA	-65.25	295.75	0.00	99.	0.00
MIR	-66.55	93.02	0.00	0.00	-2.31
DRV	-66.67	140.02	0.00	0.00	0.00
MAW	-67.60	62.88	-0.41	99.	0.00
MOL	-67.67	45.85	99.	2.17	-2.91
SYO	-69.00	39.58	1.40	0.00	0.00
SBA	-77.85	166.78	0.00	1.05	0.00
VOS	-78.45	106.87	0.00	99.	0.00

Таблица 2

Наборы сферических гармонических коэффициентов, моделирующих глобальное поле джерка конца 1980-х годов на поверхности Земли, с применением гармоник до степени и порядка $m = n = 4$, $m = n = 6$ и $m = n = 8$

n	m	$m = n = 4$		$m = n = 6$		$m = n = 8$	
		g_n^m	h_n^m	g_n^m	h_n^m	g_n^m	h_n^m
1	0	-0.56	0.00	-0.24	0.00	-0.36	0.00
	1	0.03	-0.07	0.13	0.01	0.14	-0.28
2	0	-0.53	0.00	-0.87	0.00	-0.64	0.00
	1	-0.04	-0.67	-0.11	-0.58	-0.16	-0.27
	2	0.00	-0.21	0.03	-0.30	0.11	-0.51
3	0	-0.84	0.00	-0.84	0.00	-0.99	0.00
	1	0.09	-0.14	-0.07	-0.15	0.13	-0.19
	2	-0.14	-0.24	-0.18	-0.30	-0.32	-0.18
	3	0.12	-0.02	0.05	0.11	0.18	0.18
4	0	-0.52	0.00	-0.29	0.00	-0.37	0.00
	1	-0.02	0.29	-0.05	0.19	-0.23	0.03
	2	0.12	-0.22	0.17	-0.29	0.18	-0.37
	3	0.06	0.29	-0.02	0.24	-0.12	0.20
	4	0.57	0.17	0.61	-0.02	0.48	0.13
5	0			-0.24	0.00	-0.11	0.00
	1			0.06	0.20	0.10	0.35
	2			0.01	-0.08	0.04	-0.09
	3			0.03	0.05	0.06	0.01
	4			0.09	-0.01	0.14	-0.04
	5			-0.22	-0.09	-0.31	-0.12
6	0			-0.25	0.00	-0.36	0.00
	1			0.07	-0.12	0.04	0.01
	2			-0.06	0.10	-0.04	0.12
	3			0.02	-0.13	0.00	0.04
	4			0.11	0.25	0.11	0.18
	5			-0.36	0.01	-0.18	-0.01
	6			-0.14	0.14	-0.13	0.11
7	0					-0.05	0.00
	1					0.11	-0.22
	2					-0.08	0.13
	3					0.07	-0.23
	4					-0.04	0.20
	5					-0.05	-0.05
	6					0.06	0.08
	7					0.04	-0.02
8	0					0.03	0.00
	1					0.06	-0.17
	2					0.09	-0.10
	3					0.00	0.03
	4					0.08	-0.18
	5					-0.09	0.07
	6					-0.04	-0.01
	7					0.03	-0.04
	8					-0.05	0.01

Для получения эпохи проявления джерка в глобальном масштабе была построена гистограмма количества встречаемости виртуальных джерков (рис.2а). По гистограмме видно, что, по настоящим, наиболее полным и длинным временным рядам данных обсерваторских наблюдений, максимальное количество виртуальных джерков наблюдается в 1989 году. Таким образом, уточняется время происшествия этого джерка, который ранее датировался 1987–89гг. (Golovkov et. al., 2003), или же началом 1990-х годов (Macmillan, 1996; De Michelis et al., 1998; Le Huy et al., 1998; Ротанова и др., 2002; Bondar et al., 2003). Также очевидно, что после этого года наступает период стабильного, или стационарного развития поля с низкой интенсивностью появления виртуальных джерков, с минимумом в 1992 году. Этот год и был выбран в качестве центральной эпохи при моделировании поля постоянных ускорений после джерка 1989 года. Важно отметить, что в 1990-х годах по обсерваторским сериям из ряда регионов мира обнаруживается новый джерк, однако, для достоверного выделения его пространственно-временных характеристик длина временных рядов в настоящее время является недостаточной. По предварительным результатам можно только утверждать, что время происхождения последнего джерка XX столетия не ранее 1996г.

Таким образом, более современные джерки во времени разделены между собой и от предыдущего джерка 1979г. (Головков и Симонян, 1991; Le Huy et al., 1998) примерно десятью годами, равно как и ранние джерки, появившиеся вплоть до начала XX века. Такая повторяемость глобальных геомагнитных джерков близка к периоду, характерному циклам проявления солнечной активности. Построение по числам Вольфа, характеризующим солнечную активность по количеству темных пятен на Солнце (рис.2б), показало, что время проявлений 1989 года джерка и максимума XVI цикла солнечной активности с точностью совпадают.

Рис.2а. Гистограмма появления виртуальных джерков во времени. Цифры над относительными максимумами показывают годы глобальных геомагнитных джерков. Годы минимумов выбраны в качестве центральных эпох для обозначения стадий стационарного развития поля, характеризующихся постоянством значений поля геомагнитных ускорений между соседними глобальными джерками

Используя наборы коэффициентов, моделирующих поле джерка 1989г. (табл.2) методом синтеза, с помощью сферического гармонического ряда (1) были построены карты глобального распределения джерка на поверхности Земли. На рис.3 представлены карты X-, Y- и Z-составляющих поля джерка, соответствующего

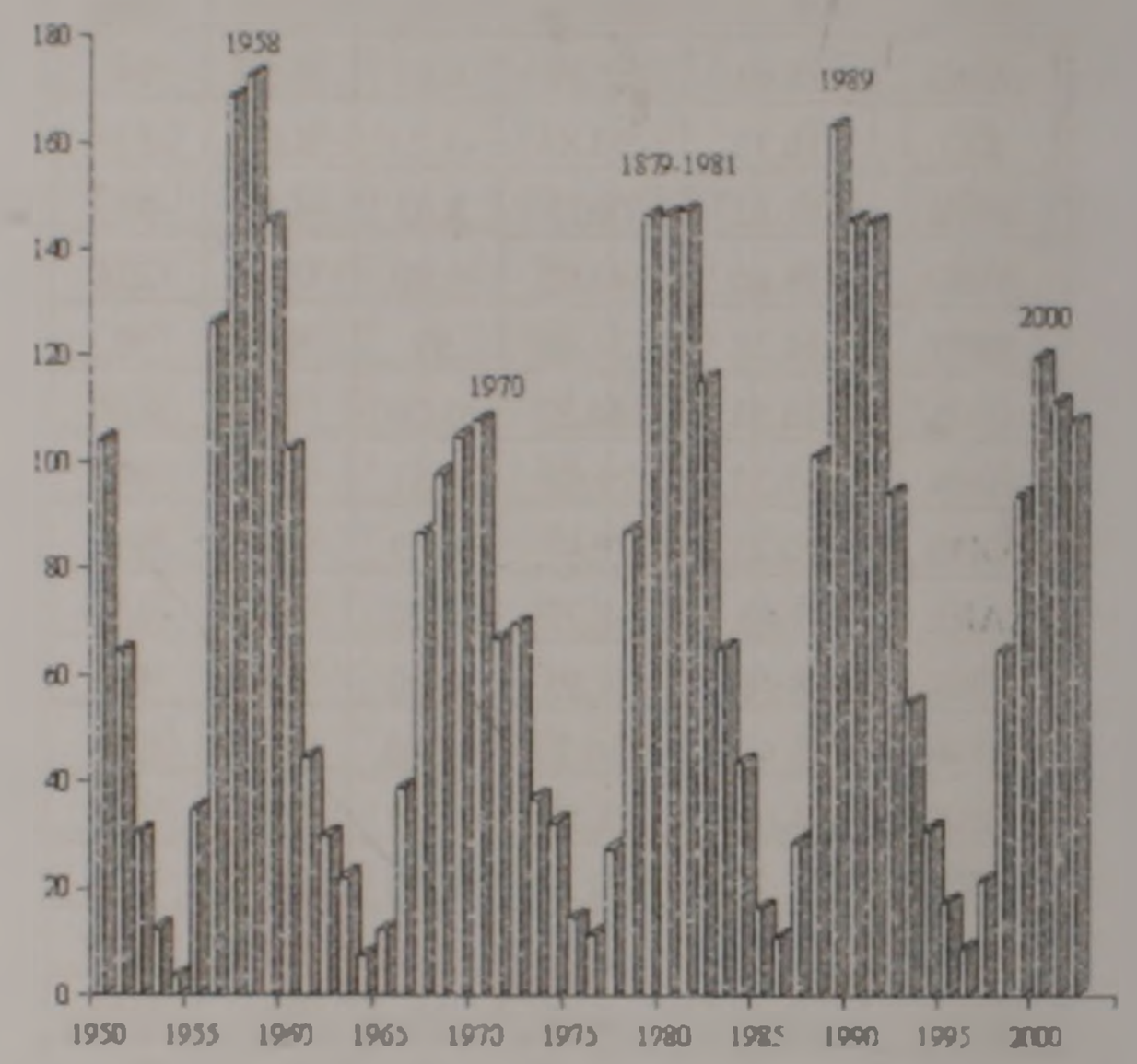


Рис.2б. Гистограмма чисел Вольфа. Цифры над столбиками показывают годы максимумов солнечной активности внутри XIII-XVII циклов.

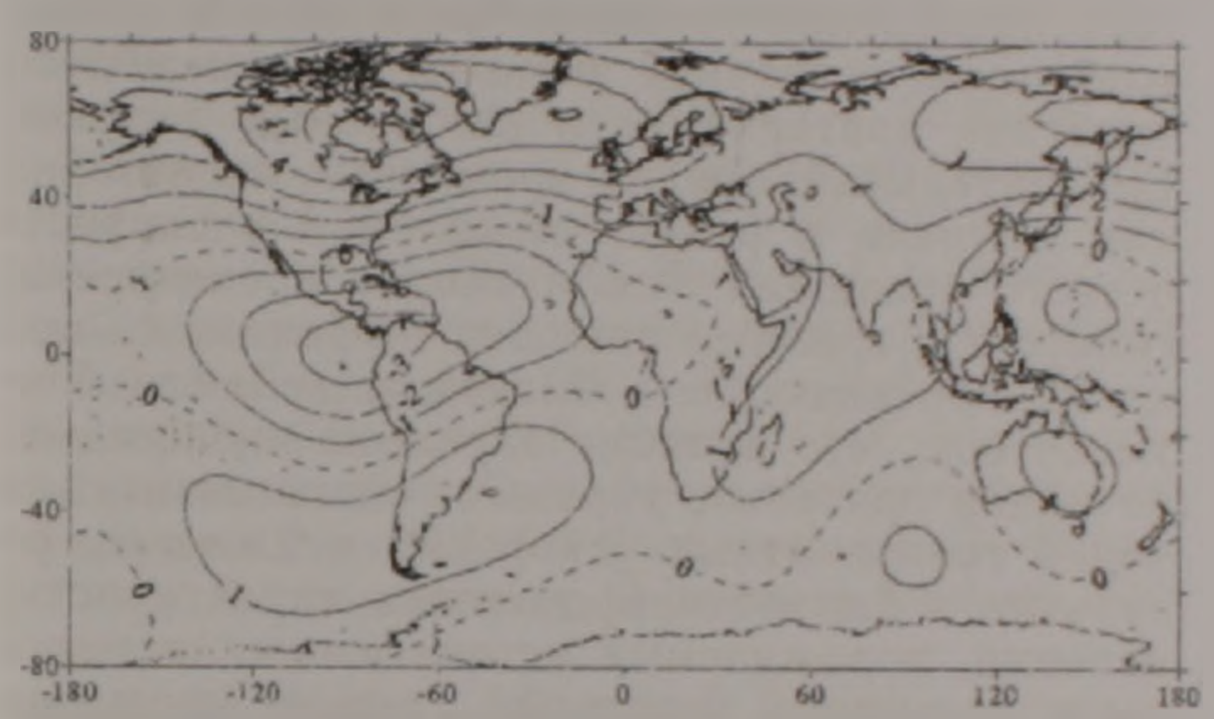
модели четвертой степени и порядка. Сравнивая полученные на картах значения со значениями джерка, представленными в табл.1, легко убедиться, что в целом они хорошо согласуются. В отдельных случаях несоответствия между исходными и смоделированными значениями, обнаруженные на территории южного полушария разницы между ними по величине не превосходят наблюдаемую разницу между исходными данными из одного и того же региона. Видимо, в этом сказывается факт недостаточной точности исходных данных. На территориях Европы и североамериканских штатов, где обсерваторские данные высокоточные, наблюдается наилучшее соответствие между сравниваемыми величинами по всем геомагнитным компонентам. Но точность исходных данных зависит также от длины временных рядов. Продление рядов за счет накапливаемых данных обсерваторских наблюдений позволяет повысить точность кусочно-линейной аппроксимации серий вековых вариаций на временной интервал после джерка 1989 года. Этим объясняется факт, что структура смоделированного поля, характерного для современности, некоторым образом меняется при каждом обновле-

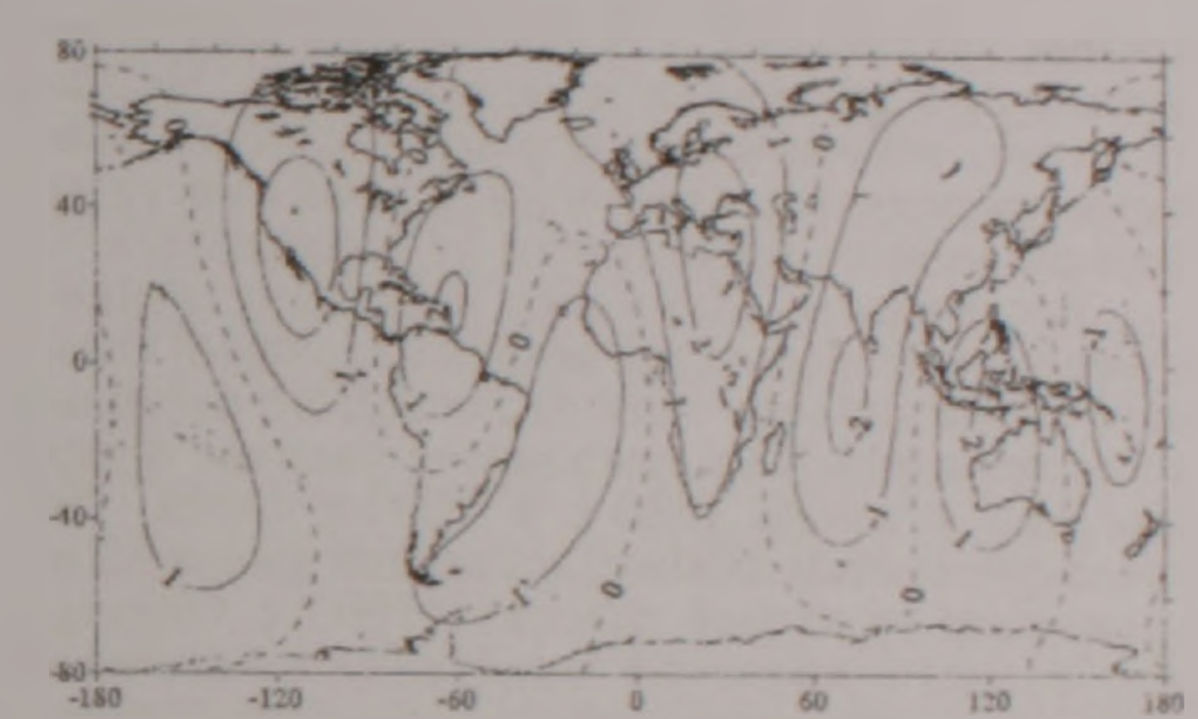
нии данных обсерваторских наблюдений, принимая свою окончательную форму лишь после появления очередного джерка, ограничивающего временной интервал, за который серии вековых вариаций представляются отрезком прямой линии. Именно благодаря наличию чередующихся во времени джерков удается построить точную модель кусочно-линейной аппроксимации, повышая точность исходных данных, вводимых в анализ поля геомагнитных ускорений.

Существенную роль в ухудшении точности пространственных моделей играет также неравномерность распределения действующих обсерваторий на поверхности Земли и их острая нехватка на территории южного полушария и в акваториях океанов. Именно этим можно объяснить появление, хотя небольших по величине, но больших по пространственным размерам ложных фокусов, ограниченных территориями Индийского и Атлантического океанов на карте по Z-составляющей, но расширяющихся на территории Бразилии и Австралии на картах по X- и Y-составляющим. Следует, однако, отметить, что фокусы на картах поля ускорений лучше согласуются с исходными данными. Указанные фокусы на картах поля ускорений имеют бо́льшие пространственные размеры, частично покрывая территории смежных материков, где и подкрепляются данными прямых наблюдений. В поле джерка, в результате вычитания, эти фокусы значительно уменьшаются в размерах, продолжая проявляться исключительно из-за больших значений в самых центрах, наблюдающихся на карте поля постоянных ускорений на центральную эпоху 1992 года. Но, несмотря на указанные недостатки полученной модели, основные структурные особенности поля джерка 1989г. хорошо подкрепляются данными прямых наблюдений, выявляя глобальный характер его проявления и пятнистую структуру пространственного проявления в виде крупно-региональных фокусов знакопеременного характера. Проявленные фокусы с обнаруженной быстротечностью относят джерк к категории вариаций, вызванных локальными источниками, действующими на поверхности жидкого ядра – у его границы с твердой мантией.

Для выявления устойчивости модели в проявлении пространственных структур поля джерка построены сферические гармонические модели с ограничением ряда разложения на более высоких гармониках – степени и порядка равных шести и восьми, соответственно (1). На рис.4 результаты представлены в виде карт Z-составляющей.

Видно, что с увеличением количества моделирующих гармоник основная структура поля с фокусами наиболее значимых величин на высоких широтах северного полушария – на территориях Европы и Северной Америки сохраняется. Более или менее значимые изменения наблюдаются на территориях Тихого океана, восточной Азии, примыкающей к Тихому океану, и на южном полушарии, которые лишены данных





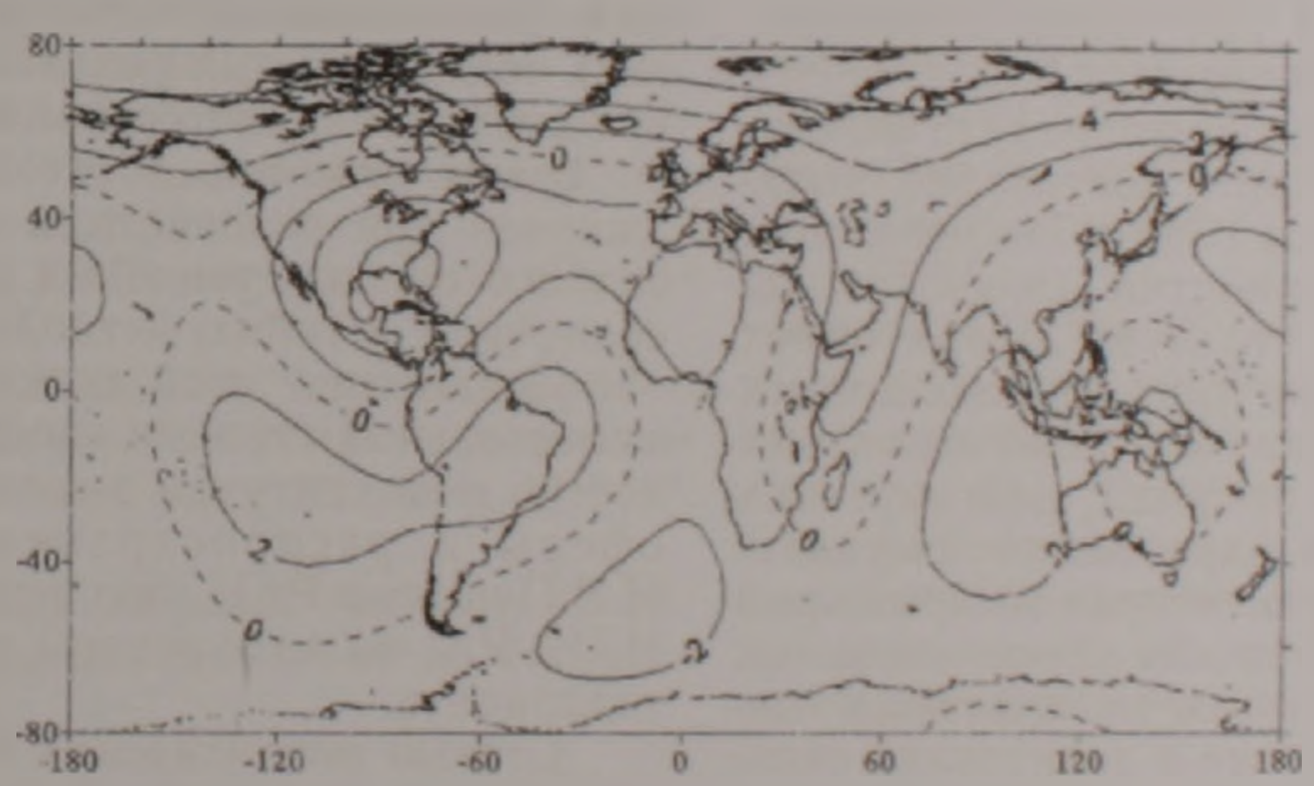


Рис. 3. Глобальное поле джерка 1989г. на поверхности Земли, построенное сферической гармонической моделью с $m = n = 4$: а – карта X-составляющей (ΔX); б - карта Y-составляющей (ΔY); с - карта Z-составляющей (ΔZ).

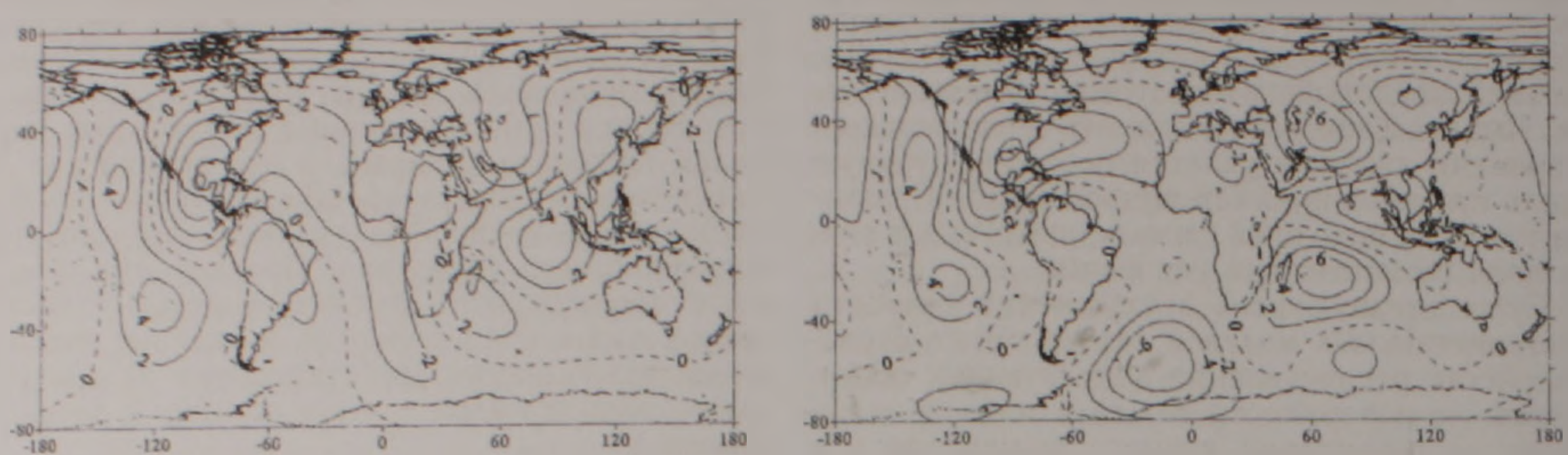


Рис 4. Карты поля джерка 1989г. по Z–составляющей, соответствующие глобальным сферическим гармоническим моделям степени и порядка, равных: а – шести; б – восьми. Значения изолиний в *нТл/год²* представлены на контурах.

прямых наблюдений, или обеспечены ими в недостаточном количестве и неравномерно. На Антарктике, относительно хорошо покрытой данными наблюдений, изменений, в зависимости от порядка модели, практически не наблюдается.

Заключение. Изучение пространственно-временных особенностей вековых вариаций главного геомагнитного поля за последние несколько десятилетий XXв. показывает наличие в них джерков в конце 1980-х и 1990-х годов. По предварительным данным, последний джерк XXв. произошел во второй половине 1990-х. Однако, для полного изучения пространственно-временных характеристик этого джерка серии обсерваторских наблюдений в настоящее время являются недостаточно длинными.

Современная, наиболее развитая сеть магнитных обсерваторий позволяет достоверно выделить и изучить джерк конца 1980-х. Исследование пространственных особенностей джерка конца 1980-х годов показало, что этот джерк имеет глобальную природу с крупно региональными фокусами, характерными для вариаций локальных источников импульсной природы, действующих на поверхности жидкого ядра Земли. Неравномерность распределения магнитных обсерваторий на поверхности Земли, точность обеспечиваемых ими данных, их недостаточное количество в южном полушарии и отсутствие в акваториях океанов делают более надежными глобальные пространственные модели, представленные рядами сферического гармонического разложения степени и порядка не выше четырех.

Точное время проявления глобального джерка 1980-х годов определяется гистограммой повторяемости виртуальных джерков, обнаруженных в отдельных регионах в сложной зависимости векторного поля от геомагнитных элементов. Эпоха глобального джерка определяется как 1989 ± 1 г. Предел неопределенности оценивается размазанностью максимума на гистограмме, причиной которой может быть также геометрическая зависимость точки наблюдения от расположения локального источника импульсной природы, действующего от поверхности Земли на расстоянии толщины мантии.

Остается открытым вопрос о приуроченности года проявления геомагнитного джерка к году максимума солнечной активности и квази-десятилетней повторяемости глобальных джерков. Сравнительный анализ временных характеристик джерков и резких изменений в скорости осевого вращения Земли скорее противоречит гипотезе о влиянии внешних эффектов на процессы, протекающие в жидком ядре Земли. Учитывая еще, что влияние вариаций внешних источников тщательно убрано от оцениваемых значений геомагнитных ускорений и джерков, результат о близости временных характеристик явлений, порождаемых независимыми источниками, кажется в некоторой степени неожиданным. Единственной гипотезой, способной объяснить обнаруженный результат, может быть явление стохастического резонанса, имеющего место во время появления стохастической природы джерков при воздействии квазипериодического слабого сигнала внешних вариаций, вызванных солнечной и геомагнитной активностью.

Появлению этой работы в данном виде в значительной степени способствовало сотрудничество с Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, поддержанное Президиумом НАН РА, за что авторы выражают свою благодарность.

Статью рецензировал и рекомендовал опубликовать д.геол. наук Л.Ахвердян.

ЛИТЕРАТУРА

Головков В.П., Коломийцева Г.И., Конященко Л.П., Семенова Г.М. Каталог среднегодовых значений элементов геомагнитного поля мировой сети магнитных обсерваторий. М.: ИЗМИРАН, 1983.

Головков В.П., Симонян А.О. Джерки в вековых геомагнитных вариациях в интервале 1930-1980гг. Геомагн. Аерон., 1989, т.29, с.164-167.

Головков В.П., Зверева Т.И., Симонян А.О. Глобальная структура ускорения вековых вариаций геомагнитного поля. Геомагн. Аэрон., 1989, т.29, с.481-486.

Головков В.П., Симонян А.О. О резких изменениях вековых вариаций геомагнитного поля в конце 1970-х годов. Геомагн. Аэрон., 1991, т.31, с.165-169.

Головков В.П., Кожоева Г.М., Симонян А.О. (а) О при-

роде резких изменений векового хода в конце 70-х годов. Геомагн. Аэрон., 1992, т.32, с.147-151.

Ротанова Н.М., Бондарь Т.Н., Иванов В.В. Временные изменения в вековых геомагнитных вариациях. Геомагн. Аерон., 2002, т. 42, с.708-720.

Симонян А.О. Стохастическая природа высокочастотных вековых вариаций главного магнитного поля Земли. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. геол.-мин. наук, Гюмри, 2005, 293 с., Фонды ИГИС НАН РА.

Симонян А.О., Шахларонян С.Р., Оганесян А.С. Моделирование земного магнитного поля с учетом существования геомагнитных джерков. Геомагн. Аерон., 2004, т.44, с.849-856.

Achache J., Courtillot V., Ducruix J., Le Mouel J.L. The late 1960's impulse: further constraints on deep mantle conductivity. Phys. Earth Planet. Inter., 1980, v.23, p.72-75.

Achache J., Le Mouel J.L., Courtillot V. Long-period geomagnetic variations and mantle conductivity: an inversion using Bailey's method. Geophys. J. R. Astr. Soc. 1981, v.65, p.579-601.

Alexandrescu, M., D. Gibert, G. Hulot, J.-L. Le Mouel, and G. Saracco. Detection of geomagnetic jerks using wavelet analysis. J. Geophys. Res., 1995, v.100, p.12,557-12,572.

Alexandrescu, M., D. Gibert, G. Hulot, J.-L. Le Mouel, and G. Saracco. Worldwide wavelet analysis of geomagnetic jerks. J. Geophys. Res., 1996, v.101, p.21,975-21,994.

Bondar T. N., Golovkov, V. P., Yakovleva S.V. Secular variations around 2000 obtained from satellite and observatory data. Proc. "OIST-4 Conference, DK, 23-27 Sep., 2002", Ed. Peter Stauning, Copenhagen, Denmark, 2003, p.63-68.

Cire C., Le Mouel J.L., Ducruix J. Evolution of the geomagnetic secular variation field from the beginning of the century. Nature, 1984, v.307, p.349-352.

Courtillot V., Le Mouel J.L., Ducruix J. On Backus' mantle filter theory and the 1969 geomagnetic impulse. Geophys. J. R. Astr. Soc. 1984, v.78, p.619-625.

Courtillot V., Le Mouel J.L. Geomagnetic secular variation impulses. Nature, 1984, v.311, p.709-715.

Courtillot V., Ducruix J., Le Mouel J.L. Sur une acceleleration recente de la variation seculaire du champ magnetique terrestre. C. r. hebd. Seanc. Acad. Sci., Paris, 1978, D, v.287, p.1095-1098.

De Michelis P., Cafarella L., Meloni A. Worldwide character of the 1991 geomagnetic jerk. Geophys. Res. Lett., 1998, v.25, p.377-380.

Ducruix J., Courtillot V., Le Mouel J.L. The late 1960's secular variation impulse, the eleven year magnetic variation and the electrical conductivity of the deep mantle. Geophys. J. R. Astr. Soc. 1980, v.61, p.73-94.

Ducruix J., Cire C., Le Mouel J.L. Existence et caractere planetaire d'une secousse 1912-1913. C. R. Hebd., Seans. Acad. Sci., Paris, 1983, B296, p.1419-1424.

Gavoret J., Gibert D., Menville M., Le Mouel J.-L. Long-term variation of the external and internal components of the Earth's magnetic field. J. Geophys. Res., 1986, v.91, p.4787-4796.

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, p.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, p.69-74.

Le Huy M., Alexandrescu M., Hulot G., Le Mouel J.L. On the characteristics of successive geomagnetic jerks. Earth Planets Space, 1998, v.50, p.723-732.

Le Mouel J.L., Courtillot V. Core motions, electromagnetic core-mantle coupling and variations in the Earth's rotation: New constranint from geomagnetic secular variation impulses. Phys. Earth Planet. Inter., 1981, v.24, p.236-241.

Le Mouel J.L., Courtillot V. On the outer layers of the core and geomagnetic secular variations. J. Geophys. Res., 1982, v. 87, pp. 4103-4108.

Le Mouel J.L., Ducruix J., Duyen C.H. The worldwide character of the 1969-1970 impulse of the secular acceleration rate. Phys. Earth Planet. Inter., 1982, v. 28, pp. 337-350.

Macmillan S. A Geomagnetic Jerk for the Early 1990's. Earth Planet Sci. Lett., 1996, v.137, p.189-192.

Nevanlinna H., Sucksdorff C. Impulse in global geomagnetic "secular variation", 1977-1979. J. Geophys., 1981, v.50, p.68-69.

Nevanlinna H. The 1977-1979 geomagnetic impulse: Its induction effect and dependence on magnetic activity. J. Geophys., 1983, v.53, p.149-154.

Simonyan A.O., Shahparonyan S.R. Earth's liquid core motions under the constraint of geomagnetic secular variations of short periods. Proc. 5th Int. Conf. "Problems of Geocosmos", Ed. A.A.Kovtun et.al., St. Petersburg, Russia, 2004, p.319-324.

ԵՐԿՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ՋԵՐՔԸ 1980-ԱԿԱՆՆԵՐԻ ՎԵՐՋԵՐՈՒՄ

Ա. Հ. Սիմոնյան, Վ. Պ. Գոլովկով, Մ. Վ. Օհանյան

Ամփոփում

Մագնիսական դիտակայանների համաշխարհային ցանցի կողմից տրամադրվող դարային վարիացիաների շարքերի ուսումնասիրությունը ընդհուպ մինչև XXI դարի սկիզբը ընդգրկող ժամանակահատվածի համար ցույց է տալիս, որ 1980-ականների վերջերում տեղի ունեցած ջերքի ճշգրիտ տարեթիվ է հանդիսանում 1989-ը: Դրանից հետո հաստատվում է դաշտի ստացիոնար զարգացման հերթական ժամանակահատվածը, որի համար կենտրոնական տարեթիվ է հանդիսանում 1992
դարային վարիացիաների շարքերում կտրուկ փոփոխությունների ակտիվացման մի նոր ժամանակահատված, պատճառված նոր գլոբալ ջերքով, որի տարեթիվը ըստ նախնական տվյալների ընկած է 1990-ականների երկրորդ կեսում: Այսպիսով, մագնիսական դիտակայանների ժամանակակից տվյալների ուսումնասիրությունը հաստատում է գլոբալ ջերքերի կրկնելիության քվազիտասնամյակային բնութագիրը: Սֆերիկ հարմոնիկ մոդելի կառուցումը թույլ է տալիս բացահայտել 1989 թ. ջերքի գլոբալ արտահայտման մեջ առկա ռեգիոնալ առանձնահատկությունները, որոնք հատկանշական են ներքին բնույթ ունեցող վարացիաների դաշտին: Որպես այս ջերքի հետևանք աշխարհի առանձին ռեգիոններում առաջանում ու ինտենսիվ զարգացում են ապրում դարային քայլի նոր ֆոկուսներ:

GEOMAGNETIC JERK IN THE LATE 1980'S

A. H. Simonyan, V. P. Golovkov, M. V. Ohanyan

Abstract

Usage of the series of secular variations from worldwide net of high-quality magnetic observatories operating recently for longer time interval approaching up to the beginning of XXI century allowed more accurately estimate the epoch of jerk in around of 1990. In fact in the global scale this jerk appears in 1989. After it the next period of the geomagnetic field steady development begins, central epoch of which falls on 1991. It divides the jerk of late 1980's from the new period of activation of sharp changes in secular variations with central epoch, i.e. epoch of last global jerk of XX century, lying by prior results available recently, in the second half of 1990's. Thus, the analysis of contemporary data of magnetic observatories confirms a quasi-decade repeatability of jerks on the globe. Spherical harmonic model constructed by constant accelerations values before and after the jerk shows characteristic for variations of internal origins large regional feature of jerk of 1989. In result of this jerk appear intensive foci of secular variations in particular regions of the world.