

УДК 521.93; 551.590.21

**Связь чандлеровских осцилляций в движении
полюса Земли с геомагнитной возмущенностью**

М. А. Нуждина

Астрономическая обсерватория Киевского университета им. Тараса Шевченко
04053, Киев, ул. Обсерваторная, 3

Выявлена когерентная связь между чандлеровскими вариациями движения полюса Земли (x, y) и возмущенностью геомагнитного поля (индексы A_p, aa). Когерентность и фазы изменяются с течением времени на протяжении 120 лет (1870—1980). Обсуждается вопрос о возможности генерации чандлеровских осцилляций с участием геомагнитного поля и его вариаций.

ЗВ'ЯЗОК ЧАНДЛЕРІВСЬКИХ ОСЦИЛЯЦІЙ РУХУ ПОЛЮСА ЗЕМЛІ ІЗ ГЕОМАГНІТНОЮ ЗБУРЕНІСТЮ, Нуждіна М. А. — Виявлено когерентний зв'язок між чандлерівськими осциляціями руху полюса Землі (x, y) та збуреністю геомагнітного поля (індекси A_p, aa). Показано, що когерентність та фази змінюються протягом 120 років (1870—1980). Дискутується питання про можливість генерації чандлерівських осциляцій за участю варіацій геомагнітного поля.

CONNECTION BETWEEN THE CHANDLER OSCILLATION OF THE EARTH'S POLAR MOTION AND GEOMAGNETIC ACTIVITY, by Nuzhdina M. A. — High coherency between the Chandler oscillation of the polar motion (x, y) and geomagnetic disturbance indices (A_p, aa) is found. It is shown that coherency and phase changed during 120 years of observations (1870—1980). A possibility of excitation of the Chandler wobble with the participation of the geomagnetic field variations is discussed.

ВСТУПЛЕНИЕ

Временная динамика движения полюса Земли (координаты полюса x, y) может быть описана как суперпозиция трех составляющих: низкочастотной составляющей, стабильной годичной волны и чандлеровских осцилляций (ЧО).

Период ЧО оценивается в широком интервале от 433.0 до 441.21 сут [2, 10, 11, 17], что составляет 14.2—14.5 мес. Амплитуда ЧО изменяется с течением времени. Оценки средней амплитуды — 0.1610—0.1637" [11], ее значение в максимуме — примерно 0.2" [13]. Амплитуда стабильной годичной волны оценивается в 0.1" [13]. Механизм возбуждения ЧО, как и особенности временной динамики, до сих пор неясны. Предлагаются различ-

ные факторы, стимулирующие ЧО, как внутриземные (землетрясения, перемещение грунтовых вод, движения литосферы и т. д.), так и находящиеся вне твердого тела Земли (атмосферные процессы) [2, 10, 18].

В работе [18] обсуждается возможность генерирования ЧО при участии космических факторов в комплексе с квазидвухлетними (КД) и квазигодичными (КГ) вариациями магнитного поля Земли. КД- и КГ-вариации отмечены в земных и космических явлениях (температура атмосферы, общее содержание озона, интенсивность галактических космических лучей, вариации геомагнитного поля, солнечная активность и т. д.) [6]. Источник возбуждения этих колебаний находится вне Земли.

В предлагаемой работе ставится попытка выяснить, имеется ли связь между ЧО в движении полюса Земли и вариациями возмущенности геомагнитного поля (ГМП).

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

1) Координаты полюса Земли x , y : а) IERS 97C04 — суточные значения с 1962 по 1998 гг.; б) IERS 97C01 — данные с шагом 0.1 г. с 1846 по 1889 гг. и с шагом 0.05 г. с 1890 г. до нынешнего момента.

2) Ряды планетарных индексов геомагнитной возмущенности: а) Суточные значения планетарного A_p -индекса рассчитываются по таблице Бартельса на основе суточных значений K -индексов для 13 геомагнитных обсерваторий, расположенных в средних широтах обоих полушарий [7]. Значения A_p -индекса имеются с 1962 г.; б) aa -индекс геомагнитной возмущенности вычисляется с использованием значений K -индекса для двух антиподальных станций: Гринвич (Англия) и Мельбурн (Австралия). aa -индекс за 100 лет (1868—1967 гг.) рассчитан в работе [14] на основе косвенных данных и рекуррентных соотношений между солнечной активностью и геомагнитной возмущенностью. Это самый продолжительный ряд показателей возмущенности ГМП.

Индексы A_p и aa высоко коррелированы: $r = 0.96$ ($N = 384$, 1962.0—1993.9 гг.).

Расчеты выполнены для месячных значений.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ

А) ЧО-ДВИЖЕНИЯ ПОЛЮСА ЗЕМЛИ (КОМПОНЕНТЫ x , y) И ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОЙ ВОЗМУЩЕННОСТИ (A_p -ИНДЕКС) ВО ВРЕМЕННОМ ИНТЕРВАЛЕ 1962.0—1993.9 гг.

Спектральный анализ реализации месячных значений A_p -индекса за период времени 1962.0—1993.9 гг., выполненный методом максимальной энтропии (ММЭ) (рис. 1), показывает наличие мощных колебаний, соответствующих 11-летнему солнечному циклу и его гармонике (100—140 и 50—70 мес), а также полугодовому (6 мес), природа которого дискуссионна [7, 12, 16]. Между этими колебаниями в интересующей нас области частот расположены более слабые КГ-, КД- и квазитрехлетние колебания.

Чтобы исследовать вариации, близкие к чандлеровским, необходимо отфильтровать мощные осцилляции с периодами, меньшими 10 и большими 30 мес. Для этого к реализации A_p -индекс применен низкочастотный фильтр Баттеруорта (BW) с периодами обрезания 300 и 900 сут и последующим вычитанием второго результата из первого, чтобы ослабить наиболее мощную низкочастотную область спектра. Отфильтрованные данные приведены затем к единому значению месячного стандарта, так как стандартные

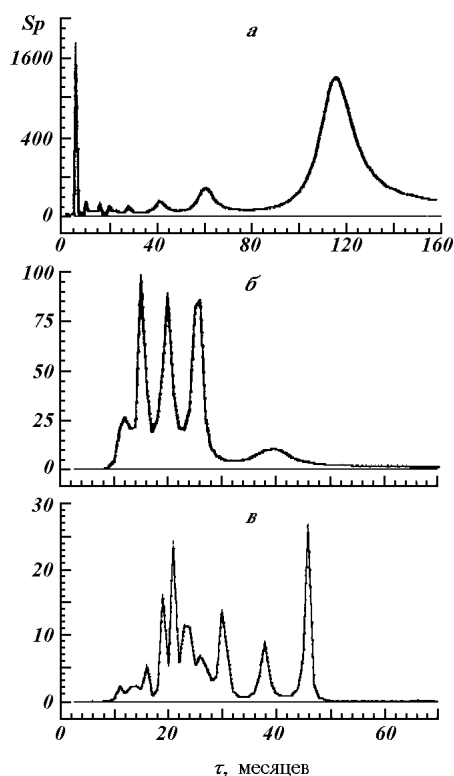


Рис. 1. Спектры индексов геомагнитной возмущенности (1962—1997 гг.): а — исходные данные A_p -индекса; б — отфильтрованные данные A_p -индекса (300—900 сут); в — отфильтрованные данные aa -индекса (300—1200 сут)

отклонения в минимумах (1964, 1976, 1986, 1996 гг.) и максимумах (1968, 1979—1980, 1989 гг.) солнечных циклов существенно различны (более чем в 2 раза). В результате получена реализация месячных стандартизованных значений A_p -индекса с 1962 по 1993 гг. Спектры ММЭ первоначальных и отфильтрованных данных A_p -индекса показаны на рис. 1, а, б. Недостатком ММЭ является то, что он не позволяет точно оценить мощность спектральных линий [12]. Но этот метод имеет и достоинства, в частности он позволяет получить тонкую структуру спектральных полос, разделить осцилляции с близкими периодами. Именно поэтому он был использован.

Отфильтрованный ряд содержит колебания с периодами 20 и 40 мес, а также КГ- (10—17 мес) и КД-циклы (26 мес). Выявленные осцилляции являются типичными для динамики геомагнитной возмущенности [4—6, 9, 12, 15].

В реализациях координат полюса Земли $\{x, y\}$ прежде всего был удален линейный тренд. Годичный цикл исключался двумя способами.

В первом случае к реализациям центрированных значений x, y применен высокочастотный ВВ-фильтр с периодами обрезания 400 и 500 сут и с последующим вычитанием первого результата из второго. Как оказалось, такая фильтрация не устраняет годичный цикл полностью. На рис. 2, а, б показаны спектры ММЭ отфильтрованных рядов x, y . Кроме остатков годичной волны, в спектрах видны очень слабые полосы КД-колебания а также 30- и 40-месячные циклы (для x -составляющей).

Наличие и теснота связи между временными рядами, представляющими собой суперпозицию различных колебательных процессов + шум, оценивается по величине коэффициента корреляции, тогда как между отдельными осцилляциями, формирующими временной ряд — по величине коэффициента когерентности.

Рассчитаны корреляционные функции $r(\tau)$ между отфильтрованными рядами A_p -индекса и компонентом x, y полярного движения. Статистическая значимость оценена с помощью z-преобразования Фишера: $z = 0.5 \ln[(1 + r)/(1 - r)]$; $\sigma_z = \sqrt{n - 3}$, $n = 434$. Максимальные значения коэффициентов корреляции для пар реализаций A_p, x и A_p, y — малы, но статистически значимы ($r \approx 0.3$, $p = 99.9\%$). Коэффициент корреляции реализаций (A_p, y) максимален без временного сдвига между коррелируемыми рядами; для данных (A_p, x) — со временным сдвигом на 3-4 мес.

Чтобы проверить реальность полученных малых значений коэффициентов корреляции, рассчитаны корреляционные функции между теми же

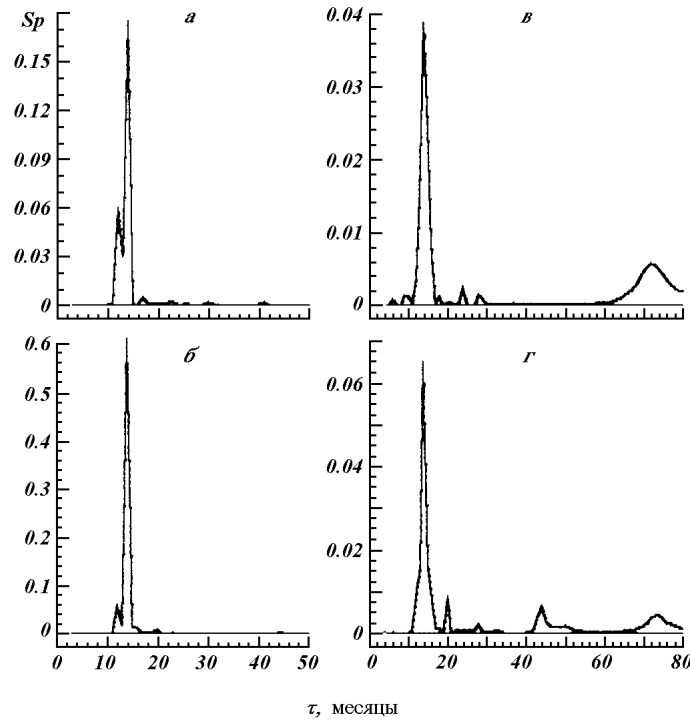


Рис. 2. Спектры ММЕ для отфильтрованных значений координат полюса Земли x (a , v), и y (b , z): a , b — фильтр Баттеруорта (400—500 сут); v , z — исключена годовичная волна

рядами координат полюса Земли $\{x\}$, $\{y\}$ и реализацией случайных чисел, генерированных с помощью специальной программы [8]. Максимальные значения коэффициентов корреляции в этом случае не превышают 0.07, $p < 90\%$.

Чтобы получить на некоторой частоте оценку связи между колебательными процессами, формирующими различные временные ряды, необходимо преобразовать временные ряды в частотные. Эта процедура выполнена с помощью быстрого преобразования Фурье (FFT) для числа членов реализации: $N = 2^8 = 256$ мес (1975.11 — 1997.03 гг.).

Проведен кросс-спектральный анализ с вычислением функции когерентности и фазы [8] для отфильтрованных реализаций A_p -индекса и компонентов x , y полярного движения.

В табл. 1 представлены результаты расчета функции когерентности q и фазы φ в зависимости от частоты f или периода P . Коэффициенты когерентности на частоте ЧО ($P = 14.2$ мес) высоки: 0.73 для пары A_p , x и 0.77 для пары A_p , y и статистически значимы (см. рис. 3, a , b).

На рис. 3 представлены спектры когерентности для A_p и координат x , y полярного движения.

Фазовый интервал для пары A_p , y практически отсутствует, в то время как для данных A_p , x он близок к $\pi/2$ (см. табл. 1). Фаза 90° , в случае ЧО, соответствует примерно 3.5 мес. Оценка согласуется с полученным сдвигом корреляционных функций для реализаций A_p , y и A_p , x .

Следует отметить также высокую когерентность рядов A_p , x на частоте, соответствующей периоду 42.7 мес (3.5 г.): $q = 0.93$, $p = 99.9\%$. Реализации A_p , y имеют высоко согласованные колебания на частоте КД-цикла ($P = 28.4$ мес, $q = 0.76$, достоверность оценки 99%). 3.5-летний и КД-циклы отмечены в данных геомагнитной возмущенности, а также в реализациях

Таблица 1. Оценки когерентности q и фазы φ для реализаций A_p -индекса и компонентов x , y полярного движения (1975.11 — 1997.03 гг.). Данные предварительно отфильтрованы BW-фильтром

f , 1/мес	P , мес	(A_p, x)		(A_p, y)	
		q	φ , град	q	φ , град
0.000	>85.3	0.93	-88	0.74	58
0.012	85.3	0.63	-18	0.51	2
0.023	42.7	0.90	-44	0.16	-48
0.035	28.4	0.23	-80	0.76	54
0.047	21.3	0.42	61	0.33	82
0.059	17.1	0.23	-27	0.18	-45
0.070	14.2	0.73	88	0.77	-4
0.082	12.2	0.51	-50	0.43	44
0.094	10.7	0.59	0	0.64	64

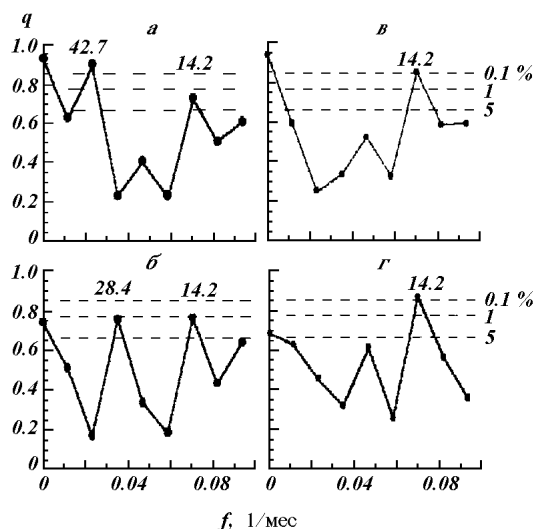


Fig. 3. Спектры когерентности для индексов геомагнитной возмущенности A_p , aa и чандлеровских компонентов x (a , $в$) и y ($б$, $г$); a , $б$ — ряды x , y отфильтрованы BW-фильтром (400—500 сут); A_p — BW-фильтром (300—900 сут); $в$, $г$ — исключена годовичная волна; ряды aa -индекса отфильтрованы BW-фильтром (300—1200 сут). Указаны уровни статистической значимости оценок: 5 %, 1 %, 0.1 %

x , y (см. рис. 1, 2). По всей видимости, это колебания, осуществляющие амплитудную модуляцию ЧО.

Б) ОСОБЕННОСТИ СВЯЗИ ЧО В ДВИЖЕНИИ ПОЛЮСА ЗЕМЛИ С ГЕОМАГНИТНОЙ ВОЗМУЩЕННОСТЬЮ (aa -ИНДЕКС) ЗА 100 ЛЕТ: 1868—1997 гг.

Использованы следующие массивы данных координат x , y полюса с 1846 по 1998 гг. (EOP C097) и значения aa -индекса геомагнитной возмущенности с 1868 по 1993 гг.

Тренд в реализациях $\{x, y\}$ был аппроксимирован как квазилинейный с разными коэффициентами во временные интервалы 1846—1909, 1910—1939, 1940—1998 гг. и исключен.

Стабильная во времени годовичная волна была рассчитана методом статистического периодограмм-анализа [3] и вычтена из отклонений от тренда значений x , y . Годичная волна максимальна в августе — сентябре для x -координаты, в мае — июне — для y -координаты. минимальна — в феврале и ноябре — декабре для x - и y -координат соответственно. Амплитуды годовичной волны близки к 0.08 и 0.07" для x и y -компонентов.

В результате получены реализации месячных значений чандлеровских компонентов x , y движения полюса Земли с 1846.01 по 1998.07 гг. (рис. 4). Наиболее характерной деталью ЧО на протяжении 150 лет является

Рис. 4. Временная динамика ЧО (1846.01—1998.07)

наличие глубокого минимума в 1930-х — начале 1940-х гг., когда амплитуда ЧО уменьшается до $0.001''$. По обе стороны этой ложбины наблюдаются максимумы вблизи 1910 г. и в начале 1950-х гг. Амплитуда осцилляций в максимуме достигает $0.37''$ для компонента x и $0.29''$ — для компонента y . Максимумы с меньшими амплитудами отмечены в конце 1980-х — начале 1990-х гг. (до $0.25''$).

На рис. 4 представлен также временной ряд месячных отклонений от трендовой составляющей для aa -индекса геомагнитной возмущенности. Тренд (за 130 лет наблюдений: 1868—1997 гг.) был аппроксимирован как линейный и исключен. Затем данные были стандартизированы, так как средние квадратичные отклонения вблизи эпох максимумов 11-летних солнечных циклов более чем в 2.5 раза превышают стандартные отклонения для эпох минимумов.

К полученной реализации центрированных стандартизованных значений aa -индекса применен низкочастотный BW-фильтр с точками отсечения 300 и 1200 сут (10 и 40 мес), чтобы отфильтровать мощные солнечно-обусловленные осцилляции и полугодовой период.

Важным свойством геомагнитной возмущенности является пространственная и временная нестационарность. Пространственная изменчивость выявляется, когда мы рассматриваем локальную геомагнитную возмущенность: амплитуды возмущений увеличиваются с увеличением геомагнитной широты и максимальны вблизи расположения глобальных аномалий постоянного магнитного поля Земли [6, 7, 9].

Временная изменчивость проявляется в случае длинных рядов и заключается в том, что периоды и амплитуды осцилляций, составляющих ряд геомагнитных индексов, а также их спектры мощности изменяются со временем.

Трехмерная диаграмма спектральной плотности $\lg(Sp_{aa})$ для геомагнитного aa -индекса представлена на рис. 5 в зависимости от времени T и периода осцилляций P . Плотности спектров мощности рассчитаны с использованием

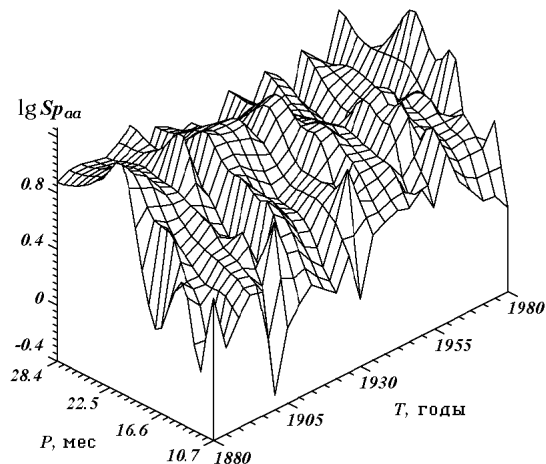
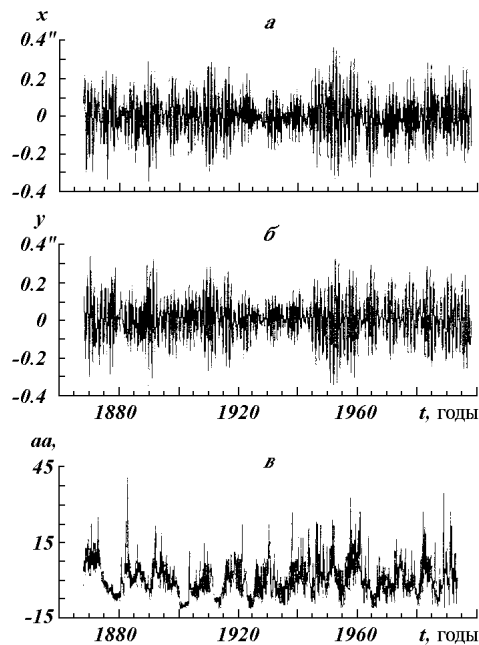


Рис. 5. Динамика спектра мощности для aa -индекса

Таблица 2. Оценки когерентности q и фазы φ для индекса геомагнитной возмущенности aa и чандлеровских компонентов x, y полярного движения (1963—1993 гг.)

$f, 1/\text{мес}$	$P, \text{ мес}$	(aa, x)		(aa, y)	
		q	$\varphi, \text{ град}$	q	$\varphi, \text{ град}$
0.000	>85.3	0.94	70	0.68	82
0.012	85.3	0.59	9	0.63	89
0.023	42.7	0.25	33	0.45	-11
0.035	28.4	0.33	22	0.31	-69
0.047	21.3	0.52	-59	0.61	49
0.059	17.1	0.32	-27	0.25	68
0.070	14.2	0.86	-49	0.87	40
0.082	12.2	0.59	19	0.56	-66
0.094	10.7	0.60	-43	0.35	-33

FFT [8]; уровни статистической значимости — по χ^2 -распределению. Значения $\lg(Sp_{aa}) \geq 0.96$ достоверны на уровне 99 %; значения $\lg(Sp_{aa}) \geq 0.68$ — на уровне 95 %.

КД-цикл статистически значим ($P \geq 99$ %) на протяжении 100 лет наблюдений, за исключением интервала времени 1935—1955 гг.; КГ-колебание значимо в периоды 1910—1915, 1934—1955, 1965—1970 гг.

Спектры ММЭ для чандлеровских компонентов x, y за период времени 1962—1997 гг. представлены на рис. 2, в, г. Сравнение рис. 2, а и в, а также 2, б и д показывает, что вычисление годовых волн и последующее вычитание их из исходных реализаций $\{x\}, \{y\}$ более эффективно для устранения годового колебания, чем ВВ-фильтр; при этом существенно уменьшается изменчивость оставшегося ряда (масштаб по оси y), более заметными становятся низкочастотные вариации ($P = 20, 30, 40-50$ и $60-80$ мес).

Спектры ММЭ реализации aa -индекса для временного интервала 1962—1997.6 гг. показаны на рис. 1, в. Видны полосы КГ, КД-циклов, а также колебания с периодами 30, 38 и 45 мес.

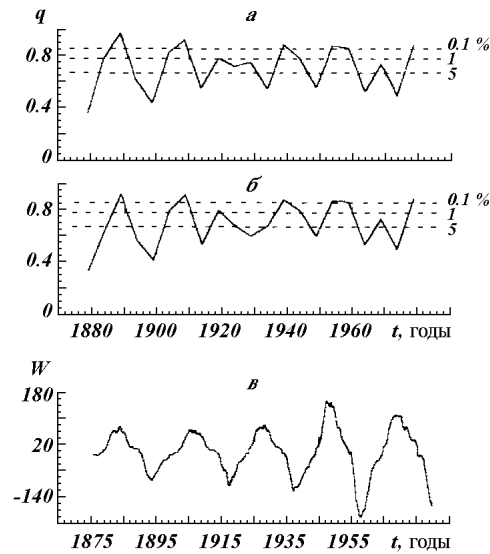
Рассчитаны функции когерентности q и фазы φ для отфильтрованных реализаций aa -индексов и чандлеровских x -, y -компонентов движения полюса в 1963—1993 гг. (табл. 2). Фазы для реализаций aa, y и aa, x таковы, что их разность близка к 90° . Это совпадает с результатом, полученным для рядов x, y и A_p -индекса (см. табл. 1).

Спектры когерентности $q(\varphi)$ для данных aa и компонентов x, y полярного движения представлены на рис. 3, в, г. Когерентность рядов на чандлеровской частоте (14.2 мес) высока (около 0.9) и имеет очень высокую статистическую значимость ($p > 99$ %).

Исследована временная динамика когерентности и фазы между ЧО в движении полюса Земли и геомагнитной возмущенностью на протяжении 125 лет (1868—1993 гг.). Расчеты проводились от начала рядов (aa, x, y) и до конца внутри малых интервалов времени (256 мес) — со сдвигом на 60 мес (5 лет) для получения следующего временного интервала и следующих оценок q и φ . В результате получено 21 значение функции когерентности и фазы для пар реализаций (aa, x), (aa, y) — рис. 6, а, б.

На протяжении 100 лет когерентность не является стабильной. Ее максимумы ($q = 0.80...0.97$) отмечены во временных интервалах с центрами вблизи лет: 1890, 1910, 1940, 1955—1960, 1980 гг. В чередовании высокой и низкой когерентности наблюдается цикл, близкий к 20—22 гг.; исключение составляет период времени с центром в 1930-е гг., когда произошел фазовый сдвиг в цикличности когерентности.

Рис. 6. Временная динамика когерентности геомагнитных aa -индексов и чандлеровских компонентов движения полюса Земли в сопоставлении с 22-летними (магнитными циклами солнечной активности: a — когерентность между aa и x ; b — когерентность между aa и y ; $в$ — числа Вольфа в 22-летнем цикле. Ряд W сдвинут во времени на 5 лет назад



Многолетняя динамика когерентности между геомагнитной возмущенностью (индекс aa) и чандлеровскими компонентами x , y движения полюса Земли соответствует динамике 22-летних, или магнитных циклов солнечной активности (рис. 6, $в$). Вблизи 1930-х гг., когда амплитуда ЧО минимальна (рис. 4), наблюдается фазовый сбой и нарушение соответствия динамики когерентности и 22-летних солнечных циклов.

22-летний солнечный цикл начинается четным, по Цюрихской классификации, 11-летним циклом [1]. Из трех солнечно-обусловленных колебаний (11, 5—6 лет, 22 г.) в реализациях геомагнитной возмущенности наибольшую амплитуду и значимость имеет именно 22-летний, в то время как в ряду чисел Вольфа — 11-летний [4, 5]. 22-летний цикл соответствует перемене знака общего магнитного поля Солнца, которое определяет состояние межпланетной среды. В свою очередь, состояние межпланетного магнитного поля играет важную роль в передаче возмущения из космоса земному магнитному полю и его ядру. Пока не ясно, почему в 1930-е гг. в эпоху минимума ЧО произошел фазовый сбой в циклической связи между геомагнитной возмущенностью и чандлеровскими компонентами движения полюса Земли. Вероятно, проблема генерации ЧО должна рассматриваться в комплексе с особенностями межпланетного магнитного поля и состоянием ГМП.

Фазовые интервалы для aa -индекса и ЧО полярного движения Земли изменяются со временем, сохраняя при этом постоянство разности фаз для данных aa , x и aa , y . Эта разность близка к $\pi/2$, что составляет примерно 3.5 г.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Между ЧО в движении полюса Земли x , y и индексами геомагнитной возмущенности A_p , aa имеется слабая ($r \approx 0.3$), но статистически значимая корреляционная связь.

2. ЧО движения полюса Земли x , y когерентны с вариациями индексов геомагнитной возмущенности A_p , aa — ($q \approx 0.8...0.9$).

3. Функции корреляционной связи и когерентности на частоте ЧО между индексами геомагнитной возмущенности A_p , aa и компонентами x , y полярного движения Земли (1962—1993 гг.) имеют фазовый сдвиг. Его величина составляет $\pi/2$, или примерно 3.5 мес.

4. Когерентность между возмущенностью магнитного поля Земли и

чандлеровскими компонентами x , y в движении полюса Земли, изменяется со временем на протяжении 100 лет (1880—1980 гг.).

5. Изменения когерентности между индексами геомагнитной возмущенности aa и чандлеровскими компонентами x , y полярного движения за 100 лет (1870—1990 гг.) подобны динамике 22-летних (магнитных) циклов солнечной активности. Вариации идут в фазе с 1880 по 1915 гг. и в противофазе — с 1930 г. до конца рядов.

6. Проблему возбуждения ЧО в движении полюса Земли, по нашему мнению, нужно рассматривать в комплексе с особенностями геомагнитного поля и его вариациями, состоянием межпланетного магнитного поля, а также общего магнитного поля Солнца.

1. *Витинский Ю. И.* Цикличность и прогнозы солнечной активности. — Л.: Наука, 1973.—257 с.
2. *Движение полюсов и неравномерность вращения Земли.* — М., 1976.—102 с.—(Итоги науки и техники. Сер. Астрономия; Т. 12).
3. *Дорман Л. И.* Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей. — М.: Наука, 1975.—464 с.
4. *Нуждина М. А.* Квазидвухлетние вариации в индексах геомагнитной и солнечной активности // Геомагнетизм и аэрономия.—1986.—26, № 5.—С. 789—791.
5. *Нуждина М. А.* Квазидвухлетние и квазигодичные осцилляции в солнечной и геомагнитной активности // Солнеч. данные.—1992.—№ 10.—С. 80—85.
6. *Нуждина М.* Квазидвухлетние вариации в природных процессах: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Киев, 1995.—305 с.—Машинопись.
7. *Оль А. И.* Проявления солнечной активности в магнитосфере и ионосфере Земли // Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. —М.: Наука, 1970.—С. 104—118.
8. *Отнес Р., Энноксон Л.* Прикладной анализ временных рядов. — М.: Мир, 1980.—428 с.
9. *Ривин Ю. Р.* Циклы Земли и Солнца — М.: Мир, 1989.—165 с.
10. *Яцкив Я. С.* Изучение вращения Земли — комплексная проблема геодинамики // Геодинамика и астрометрия: Сб. статей, посвященный 100-летию со дня рождения А. Я. Орлова. — Киев: Наук. думка, 1980.—С. 63—73.
11. *Brzezinski A., Petrow S.* An analyses of the new long polar motion series: Estimations of the Chandler wobble parameters // Int. Symp. An Interdisciplinary Approach to Earth System Science. XXI IUGG General Assembly, Boulder, Colorado, USA, Jul 2—14, 1995.
12. *Kane R.* Quasi-biennial and quasi-triennial oscillations in geomagnetic activity indices // Ann. Geophys.—1997.—15.—P. 1580—1594.
13. *Kosek W., Kolaczek B.* Semi-Chandler and semi-annual oscillations of polar motion // Geophys. Res. Let.—1997.—24, N 17.—P. 2235—2238.
14. *Mayaud P.* The aa -index: a 100-years series characterizing the magnetic activity // Geophys. Res. Let.—1972.—77, N 4.—P. 6870—6874.
15. *Rangarajan G., Temory T.* Time variations of geomagnetic activity indices K_p and A_p an update // Ann. Geophysicae.—1997.—15.—P. 1271—1290.
16. *Schreiber H.* On the periodic variations of geomagnetic activity indices A_p and ap // Ann. Geophysicae.—1998.—16.—P. 510—517.
17. *Vicente R., Willson C.* On the variability of the Chandler frequency // J. Geophys. Res.—1997.—102, N 89.—P. 20439—20445.
18. *Yatskiv Ya.* On the excitation of the Chandler wobble // Kinematics and Physics of Celestial Bodies.—1997.—13, N 5.—P. 37—42.

Поступила в редакцию 27.11.98