

УДК 521.937

Геодинамические аспекты геофизических процессов

Г.С. Курбасова¹, А.А. Корсунь², Л.В. Рыклова³, М.Н. Рыбалова¹, Г.Н. Шликарь¹

¹ Крымская Астрофизическая Обсерватория, 98409, Украина, Крым, Научный

² Главная астрономическая обсерватория, Киев, Украина

³ Институт Астрономии, Российская Академия Наук, Москва, ул. Пятницкая 48, 109017, Россия

Поступила в редакцию 15 октября 2004 г.

Аннотация. Энергетические процессы в Солнечной системе модулируют периодические колебания тела Земли и её атмосферы. Это вызывает изменение параметров модулируемых колебаний. Создаются условия для возбуждения и самовозбуждения. Гравитационные взаимодействия вносят вклад в сложный триггерный механизм. Для иллюстрации приведен факт взаимосвязи между изменениями угловой скорости вращения Земли и изменениями параметров Сибирского антициклона.

GEODYNAMICAL ASPECTS of GEOPHYSICAL PROCESSES, by G.S. Kurbasova et al. Power processes in Solar system modulate periodic fluctuations Bodies of the Earth and its atmosphere. It causes change of parameters of modulated fluctuations. Conditions for excitation and self-excitations are created. Gravitational interactions bring the contribution to the complex trigger mechanism.

As an illustration the interaction between the Earth's angular velocity variations and variations in the Siberian anticyclone parameters are considered.

Ключевые слова: Солнце, Земля, циклон, колебания, цикл, атмосфера

1 Введение

Изменения гравитационных сил, определяющих движение и взаимодействие трёх небесных тел – Земли, Луны и Солнца – оказывают влияние на протекающие геофизические процессы. При этом не вполне ясен механизм этого влияния в каждом отдельном случае: выполняют ли гравитационные силы роль “пускового механизма” (триггерный эффект) в экстремальных геофизических событиях или активно участвуют в длительном формировании неоднородностей и напряжений в атмосфере и различных оболочках Земли.

Решение этой задачи непосредственно связано с задачей геопрогноза.

Периодические изменения гравитационных взаимодействий в системе Солнце – Земля – Луна модулируют сложные геофизические процессы. При этом механизм перераспределения энергии включает все подвижные части этой системы. Перестройка спектральной структуры геофизических колебаний приводит к изменению частоты доминирующих волн на различных интервалах времени, что вносит элемент неопределенности в описание эволюции этих процессов. Поэтому в геопрогнозе задним числом ещё можно иногда сказать, что именно послужило главным толчком, сигналом к катастрофе, но экстраполировать раз подмеченную связь на все случаи жизни нельзя. Увеличить

детерминированность геопрогноза возможно, если учитывать связанность колебаний в несвободной системе Земля – Луна.

В связанных колебаниях возможен переход энергии от одной волны к другой на ограниченном интервале времени без изменения общего запаса энергии для суммарного колебания. Если колебания распространяются в среде, то возможен отвод энергии. Отвод энергии геодинамическими волнами мал, но роль гравитационных сил в длительном формировании неоднородностей, а так же в сложных триггерных эффектах необходимо учитывать в комплексе с другими факторами.

В настоящей работе обсуждаются некоторые аспекты взаимовлияния отдельных геофизических и геодинамических процессов.

2 Долгопериодические вариации

На существование долгопериодических изменений в движении полюсов Земли с малой амплитудой ($0''02 \div 0''03$) указывают данные широтных наблюдений. Реальность этого движения, как и его причины, остаются неизвестными. Долгопериодические флуктуации скорости вращения Земли обнаружены из астрономических наблюдений, проведенных с XVIII в. Причины этих изменений так же неизвестны.

Сходные с долгопериодическими вариациями в увеличении длительности суток были обнаружены вариации в перераспределении масс атмосферы и океана (Ламбек, Казенов, 1976).

Решение задачи о происхождении и взаимосвязи отдельных колебаний предполагает знание источника или источников их генерации, что нередко бывает более сложной задачей, чем определение параметров колебания из наблюдений. Однако увеличение точности наблюдений – только часть того, что облегчит задачу исследования связи геодинамических и геофизических процессов.

Необходим единый подход к интерпретации сходных по частоте вариаций параметров ориентации Земли и параметров геофизических процессов. При этом представляется возможным объединить сходные вариации не только исходя из статического сравнения длительных рядов, но и на основе следующих особенностей колебаний в системе Земля – Луна: 1) Земля – Луна – несвободная система, поэтому колебания на близких частотах преобразуются в зависимости от степени связанности; 2) периодические энергетические обменные процессы между Землей и Луной включают все оболочки Земли, её ядро и атмосферу; 3) периодические неоднородности в атмосфере и изменения в структурно-неоднородной Земле связывают волны, порождаемые энергетическими обменными процессами и создают возможность для обмена энергии и момента количества движения между волной и средой. При этом движущаяся неоднородность выполняет роль переменного параметра, создавая условия для усиления колебаний.

В ранее опубликованных работах (Курбасова, Рыхлова, 2001) нами показано, что удлинение периода собственных колебаний Земли (период Чандлера) является закономерным процессом преобразования собственных частот несвободной системы.

Для несвободной системы Земля – Луна с двумя степенями свободы можно оценить взаимодействие Земли и Луны по степени передачи энергии (Курбасова и др., 2002). В результате при заданных начальных условиях собственные колебания Земли в системе Земля – Луна можно описать в виде:

$$\varphi_1(t) = A(t) * \cos[\omega_1 t - \psi(t)], \quad (1)$$

где

$$A^2(t) = \frac{\varphi_0^2}{(|\kappa_2| + \kappa_1)^2} \{ \kappa_2^2 + \kappa_1^2 + 2\kappa_1|\kappa_2| \cos[(\omega_2 - \omega_1)t] \}, \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \psi(t) = - \frac{|\kappa_2| \sin[(\omega_2 - \omega_1)t]}{\kappa_1 + |\kappa_2| \cos[(\omega_2 - \omega_1)t]}. \quad (3)$$

В выражениях (1 – 3):

$A(t)$ – начальное значение амплитуды;

φ_0 – начальное значение амплитуды;

$\psi(t)$ – фаза колебаний;

κ_1, κ_2 – коэффициенты распределения амплитуды на частотах ω_1 и ω_2 ;

ω_1 – частота собственных колебаний Земли ($P_1 = 435.5$ сут.);

ω_2 – частота колебаний линии узлов орбиты Луны ($P_2 = 346.6$ сут).

Частоты ω_1 и ω_2 не слишком далеки друг от друга. Поэтому амплитуду колебаний $A(t)$ можно рассматривать как меняющуюся со временем. Причём, период изменения амплитуды равен $2\pi/(\omega_1 - \omega_2)$. Максимальное значение амплитуды равно φ_0 , минимальное – $\varphi_0(\kappa_1 - |\kappa_2|)/(|\kappa_2| + \kappa_1)$. С учетом определенных ранее (Курбасова, и др., 2002) значений κ_1 и κ_2 и при заданном значении максимальной амплитуды $\varphi_0 = 0''17$, минимальное значение амплитуды чандлеровского колебания равно $-\varphi_0 = -0''07$. Время передачи энергии от Луны к Земле равно

$$\tau = \pi/(\omega_2 - \omega_1). \quad (4)$$

Отсюда, полный цикл обмена энергией равен $T = 4.65$ года.

В реальной системе наблюдаются отклонения величин собственных частот от их средних значений. Поэтому длительность цикла передачи энергии P колеблется. Это приводит к тому, что на различных временных интервалах развития энергетического обменного процесса частота доминирующей волны не сохраняется: при изменении периода чандлеровского колебания в пределах $420 \div 448$ суток, период модулирующей волны изменяется в пределах $5.40 \div 4.19$ года. В результате возникают близкие по частоте связанные колебания. Анализ экстремальных данных подтверждает теоретические выводы.

3 Анализ экспериментальных данных

Для анализа использовались среднегодовые данные о координатах полюса Земли $\{Z\}$ $z = \sqrt{(x^2 + y^2)}$, изменении угловой скорости вращения Земли $\{\Delta\omega\}$, относительных числах солнечных пятен $\{W\}$, интегральной сейсмической энергии $\{E\}$, индекса южного колебания $\{I\}$. Сведения об этих данных и методе сравнительного анализа приводятся в более ранних публикациях (Курбасова и др., 1997). Данные о минимальных $\{\rho_{min}\}$ и максимальных $\{\rho_{max}\}$ истинных расстояниях между центрами масс Земли и Луны взяты из астрономических ежегодников. Параметры Сибирского антициклона: смещение центра по долготе $\{S_\lambda\}$, по широте $\{S_\varphi\}$ и аномалии интенсивности $\{S_a\}$ на интервале с 1891 г. по 1999 г. взяты из работы А.И. Соркиной (Соркина, 1972).

В таблице 1 приведены результаты, полученные при сравнении спектральной структуры среднегодовых данных методом двухканального авторегрессионного анализа. В первом канале (графа 1) размещаются среднегодовые данные об истинных минимальных ρ_{min} и максимальных ρ_{max} расстояниях между центрами масс Земли и Луны. Изменение параметра ρ является определяющим в гравитационном взаимодействии Земли и Луны.

Двухканальный спектральный анализ обнаруживает и сравнивает колебания одинаковой частоты в сериях исходных данных, расположенных в двух каналах (графа 1, 2). Степень сходства колебаний с одинаковыми периодами (графа 3) определяется величиной квадрата модуля когерентности (графа 4). Относительные смещения (фазы когерентности) сравниваемых колебаний приведены в графе 5. В графе 6 приводится временной интервал, на котором проводилось сравнение.

Анализ результатов сравнения (таблица 1) показывает, что в данных присутствует вариация с периодом ~ 4.4 года. Это колебание обнаруживается как в геодинамических так и в геофизических данных, что может указывать на общий источник его генерации. Таким источником может быть гравитационное взаимодействие в системе Солнце – Земля – Луна.

На рис. 1 приведены графики стационарных колебаний по долготе центра Сибирского антициклона с $t_1 = 4.65$ год и $t_2 = 4.17$ год, смоделированные на основе среднемесячных данных за январь. В результате наложения этих колебаний получается колебание с периодом ≈ 4.41 год, амплитуда которого изменяется с периодом $P_M = 40.4$ года. В реальных условиях наблюдается отклонение от стационарности. Тем не менее, сопоставление суммарного графика колебания с графиком исходных данных показывает большую информативность полученной модели на всем интервале определения

Таблица 1. Двухканальный спектральный анализ истинных геоцентрических расстояний до Луны и некоторых геодинамических и геофизических параметров (среднегодовые данные)

	I – канал	II – канал	P (год)	КМК	%	Относительное смещение в канале (год)	Интервал сравнения данных (год)
ρ_{min}	Z		5.04	87		0.58	1922–1993
			4.43	71		–0.1	
			3.01	90		0.003	
	$\Delta\omega$		4.47	69		–1.52	1922–1991
	I		5.69	82		–2.27	1922–1960
			4.47	97		–0.55	
	W		4.45	94		0.45	1922–1990
	E		6.17	72		–0.97	1922–1990
			4.45	98		–0.68	
	S_λ		4.45	84		–0.02	1922–1999
			3.07	72		–1.13	
	S_φ		4.43	82		–0.42	1922–1999
	S_a		4.43	89		0.19	1922–1999
			3.95	59		–0.47	
ρ_{max}	Z		5.04	91		–1.71	1922–1993
			4.41	84		1.79	
			4.23	77		–0.87	
	$\Delta\omega$		4.41	73		0.66	1922–1991
			3.00	90		–1.03	
	I		5.45	95		1.49	1922–1960
			4.39	98		1.7	
			3.45	63		1.55	
	W		4.41	91		–1.84	1922–1990
	E		5.89	75		–2.91	1922–1990
			4.43	98		1.58	
			3.01	84		–0.55	
	S_λ		4.41	78		–0.213	1922–1999
			2.99	91		0.9	
S_φ		4.39	91		1.85	1922–1999	
		2.99	76		0.17		
S_a		4.39	78		–1.95	1922–1999	
		2.99	60		–0.21		

данных. Возрастающей амплитуде суммарного колебания соответствуют интервалы роста отклонений по долготе центра Сибирского антициклона.

Взаимосвязь геодинамических и геофизических колебаний обнаруживается не только на основных, но и на комбинационных частотах.

На рис. 2 приведена взаимосвязь вариаций угловой скорости вращения Земли $\Delta\omega$ ($\Delta\omega = \omega - 72921 * 10^{-9}$ рад/сек) и изменений параметров Сибирского антициклона S_λ , S_φ (среднегодовые параметры). Среднегодовым вариациям изменения угловой скорости Земли на этом рисунке соответствуют графики, выделенные жирной кривой.

Высокая степень сходства (КМК более 80%) указывает на возможность существования тесной взаимосвязи вариаций с периодом ~ 40 лет в данных об изменении угловой скорости вращения Земли и смещения центра Сибирского антициклона.

Скорость вращения Земли вокруг своей оси существенно больше, чем скорость обменных процессов в системе Земля – Луна. Поэтому отвод энергии гравитационными периодическими процессами пренебрежимо мал.

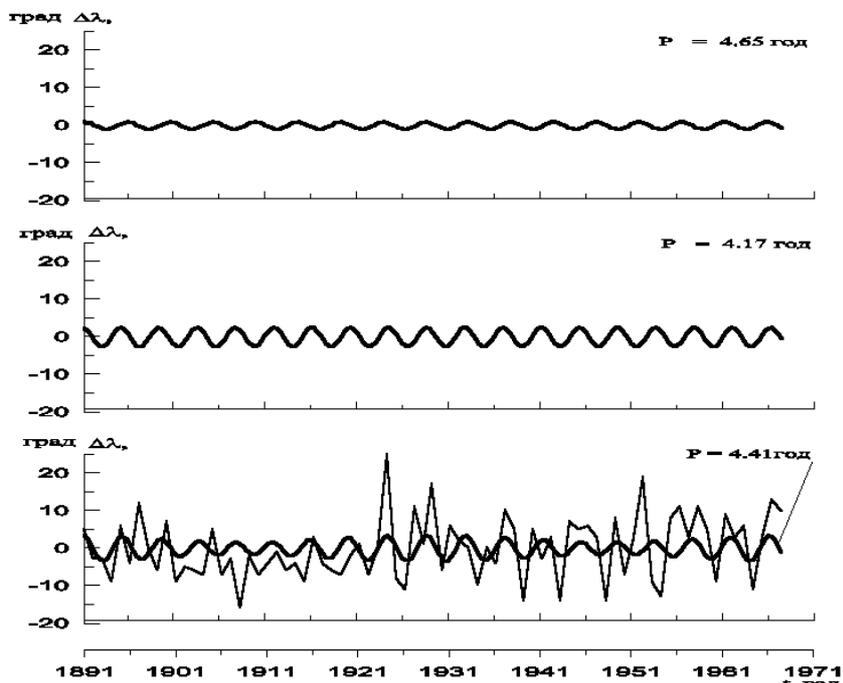


Рис. 1. Перераспределение энергии на отдельных временных участках при наложении близких по частоте стационарных колебаний

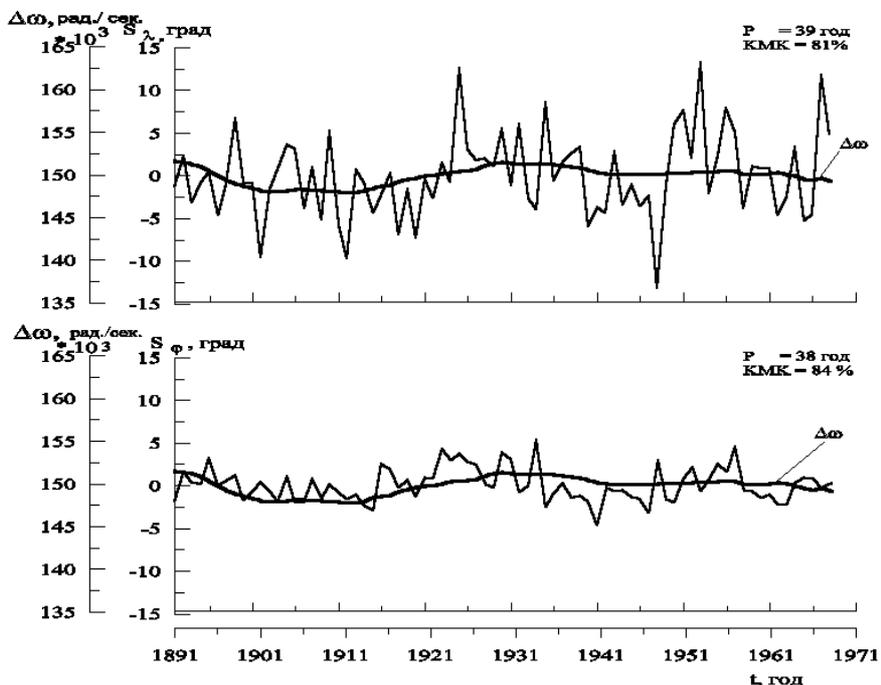


Рис. 2. Взаимосвязь вариаций угловой скорости вращения Земли $\Delta\omega$ и изменений параметров Сибирского антициклона S_λ, S_ϕ

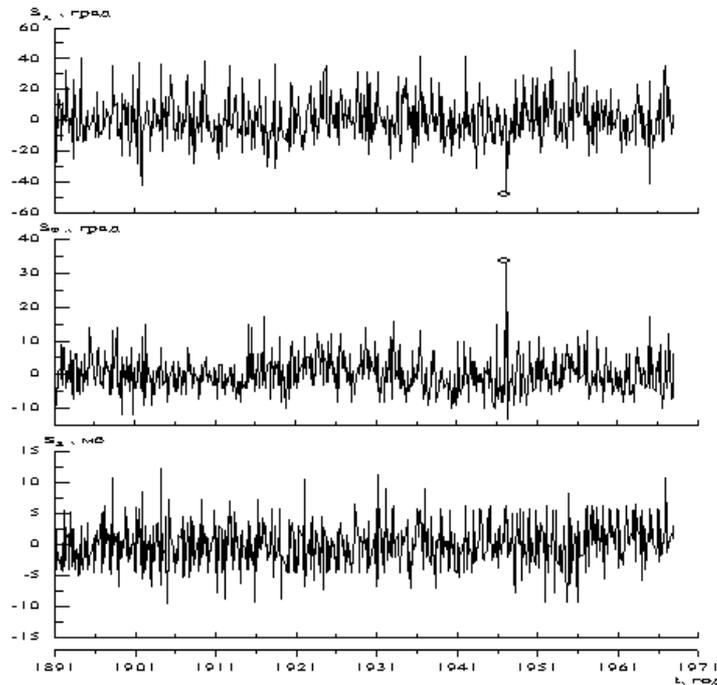


Рис. 3. Графики изменения среднемесячных данных S_λ , S_φ , S_a

Однако, если скорость накопления энергии в очаге сильного антициклона существенно меньше, чем скорость перераспределения энергии в близких по частоте волнах, реакция атмосферы проявляется в виде экстремального смещения неоднородностей в атмосфере. В этом случае вращающуюся атмосферу можно сопоставить с одной из форм параметрического усилителя. Движущуюся неоднородность можно рассматривать как параметр, изменяющийся во времени.

Очевидно, что превышение выходной мощности над входной обеспечивается за счет Земли, которая поддерживает вращение атмосферы с угловой скоростью ω .

Анализ единичных, наиболее выделяющихся по величине, смещений центра Сибирского антициклона указывает на не случайный характер их происхождения. Максимальное смещение по долготе и широте одновременно произошло в феврале 1947 года (см. рис. 3). Этой эпохе соответствует самый длинный синодический месяц и самый короткий сидерический в 35-летнем цикле, начавшимся в 1912 году, если за исходную точку отсчета взять совпадение новолуния с апогеем (зимние месяцы).

Амплитуда колебаний длительности синодических месяцев в начале и в конце 35-летнего периода наибольшая. Так, в 1912 году разница в длительности самого длинного и самого короткого синодического месяца доходила до $12^h 46^m$ (Долгоруков, 1912).

Через 3 – 4 года после начала периода разница между самым продолжительным и самым коротким синодическим периодом достигает 4^m .

Колебания лунных периодов приводит к изменению скорости энергетических обменных процессов между Землей и Луной, что является определяющим в возникновении параметрического возбуждения в атмосфере при “готовности” очага антициклона. Особенности накопления энергии в очаге антициклона определяют величину экстремального смещения. Так, 1912 году (начало 35-летнего цикла) максимальное смещение центра Сибирского антициклона отмечается только по долготе при полном отсутствии смещения по широте.

4 Выводы

В сложном процессе изменения геодинамических и геофизических параметров присутствуют детерминированные колебания, генерируемые энергетическими обменными процессами между Луной и Землей.

Связанность близких по частоте геодинамических колебаний при соответствующих условиях обеспечивает переход энергии между близкими по частоте колебаниями. Эффекту усиления колебаний способствуют вращающаяся атмосфера и неоднородности в среде распространения волн (параметрический усилитель). Перераспределением энергии в колебаниях близкой частоты создаются условия для возникновения триггерного эффекта. В роли спускового механизма могут служить детерминированные геодинамические процессы.

Увеличить детерминированность прогноза, особенно длительное время готовящихся очагов экстремальных явлений возможно, если учесть связанность геодинамических колебаний в системе Земля – Луна – Солнце.

Литература

- Кн.Н. Долгоруков // Неравенства лунных месяцев (Приложение к Известиям Русского Астрономического общества за 1912 г.) 1912. С.-Петербург. С. 87.
- Курбасова Г.С., Рыхлова Л.В. // Астрон. журн. 2001. Т. 78. N. 10. С. 1049.
- Курбасова Г.С., Рыхлова Л.В., Рыбалова М.Н. // Астрон.журн. 2002. Т. 79. N. 6. С. 20.
- Курбасова Г.С., Корсунь А.А., Рыхлова Л.В., Рыбалова М.Н., Шликарь Г.Н.// Астрон.журн. 1997. Т. 74. N. 1. С. 39.
- Ламбек , Казенов (Lambeck K., Cazenave A.) // Geophys, J.R., Astr. Soc. 1976. V. 64. P. 67.
- Соркина А.И. // Труды ГОИН. 1972. С. 114.