

УДК 550.2+521.937

## О МЕХАНИЗМЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЛЮСА ЗЕМЛИ ПЛАНЕТАМИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

**О.В. Пономарева**

*Камчатский государственный университет им. В. Беринга, Петропавловск-Камчатский, 683032, e-mail: [ponomareva\\_ov@list.ru](mailto:ponomareva_ov@list.ru)*

### **Введение**

Известно, что вращающаяся Земля испытывает своего рода «покачивания» вокруг собственной оси вращения. При этом точка пересечения ее оси с поверхностью Земли перемещается по этой поверхности. В геофизической литературе это движение получило название «свободной нутации Эйлера» или «чандлеровских колебаний» полюса. Любое свободное движение (будь то нутация или прецессия) должно со временем прекратиться, если отсутствует возбуждающая ее сила. Вопрос о природе сил, поддерживающих квазипериодические 14-месячные «чандлеровские колебания», до сих пор остается дискуссионным. В данной работе вместо терминов «свободная нутация Эйлера» и «чандлеровские колебания полюса» используется термин «периодическое движение полюса Земли» (далее ПДП Земли), причем имеется в виду движение географического полюса Земли.

Практически все исследователи в ПДП Земли выделяют две основные периодические составляющие:

- 1) постоянная «годовая компонента» с периодом 365 суток;
- 2) переменная «чандлеровская компонента» со средним периодом 430 суток.

Более чем за столетнюю историю исследований движение полюса оценивалось многими авторами. В качестве источников возбуждения ПДП Земли рассматривались атмосферные процессы, землетрясения, возмущения в континентальных водных бассейнах, взаимодействие ядра и мантии, океанические процессы [1, 11, 13, 14].

Наличие «годовой компоненты» движения полюса связывают с сезонными гидрометеорологическими процессами [13, 14], а «чандлеровскую компоненту» связывают с физическими процессами, происходящими внутри Земли, с гипотезой о «перемещениях внутреннего ядра Земли» [7, 11], как следствие «жидкости океанов» и «эластичности Земли» [12], или с сейсмической активностью так называемого «Тихоокеанского кольца» и «Альпийско-Гималайского пояса» [3, 4, 5]. Следует отметить, что связь «чандлеровской компоненты» с сейсмической активностью планеты в работах [4, 5] была установлена в результате спектрального анализа движения полюса, который позволил «расщепить» «чандлеровскую ком-

поненту» на два максимума, и затем каждый из них связать с характерными «меридиональными» и «широтными» особенностями сейсмичности планеты.

Большинством исследователей считается, что среди перечисленных механизмов возбуждения сейсмические процессы оказывают малое влияние на «чандлеровское колебание», поскольку их мощность на пять порядков меньше величины, необходимой для возбуждения «чандлеровского колебания» [23]. Однако, в работах [4, 5] высказывается другая точка зрения, согласно которой протекающий на планете сеймотектонический процесс, деформируя поверхностные слои Земли, вызывает изменение ее формы, что и приводит к генерации «колебаний Чандлера».

Известна попытка объяснения происхождения «чандлеровской компоненты» исходя из сопоставления периодов лунно-солнечных циклов, как произведение синодической и апогей-перигейной волн, что порождает волну с «чандлеровским периодом» (разность частот апогей-перигейного и синодического циклов представляет собой как раз частоту «чандлеровских колебаний») [13].

### Характеристика исходного материала по ПДП Земли

Таблица 1. Характеристика исходного материала по ПДП Земли

Периоды	Дискретность, (часть года)	Кол-во обсева-торий	Точность, (угл. сек.)	Система представления данных	Автор	Примечание
1846-1891	0,1	12	0'',08-0'',09		Федоров и др., 1972	
1890-1969	0,05	79	0'',03-0'',04	Система среднего полюса эпохи	Федоров и др., 1972	
1897-1961	0,05	5	0'',03-0'',04	В разных интервалах наблюдения представлены в разных системах координат	Котляр, Ким, 1994	Для совмещения данных, начиная с 1903 г. необходимо использовать поправки, величины которых для разных лет различны
1962-1979	0,05	79+2	0'',010-0'',015			
1980-1983	0,05	>100	0'',001			
1984-1989	0,05	>100	0'',0002			
1846-1889	0,1			Резолюции XXIV IAU 2000	IERS	
1890-2000	0,05	>100	0'',0001	Резолюции XXIV IAU 2000	IERS	
1890-2006	0,05	>150	0'',0001	Резолюции XXIV IAU 2000	IERS	
1962-2007	1/365	>150	0'',0001	Резолюции XXIV IAU 2000	IERS	

Экспериментальные определения положения полюса планеты начались в 1846 г. Данные представлены (табл. 1) мгновенными значениями координат полюса в угловых секундах.

Наиболее представительными данными, характеризующими движение полюса в единой системе координат, являются наблюдения за (1890-1969) гг. из [16]. В работе [5] достаточно полно представлены имеющиеся на начало XXI века данные о координатах полюса, а также данные за (1890-2006) гг., представленные в соответствии с Резолюциями XXIV Генеральной ассамблеи Международного астрономического союза о системах отсчета пространства-времени (Манчестер, август 2000 г.), IERS (Международная служба вращения Земли). Наблюдательный материал, используемый в настоящей статье, имеет метрологическую аттестацию.

В настоящем исследовании были использованы данные за (1890-2006) гг. с дискретностью 0.05 года, данные за (1846-1889) гг. с дискретностью 0.1 года и ежедневные данные за (1962-2007) гг. [10, 16, 19-22] Квазипериодический характер колебаний полюса с течением времени не вызывает сомнений (рис. 1, 2).

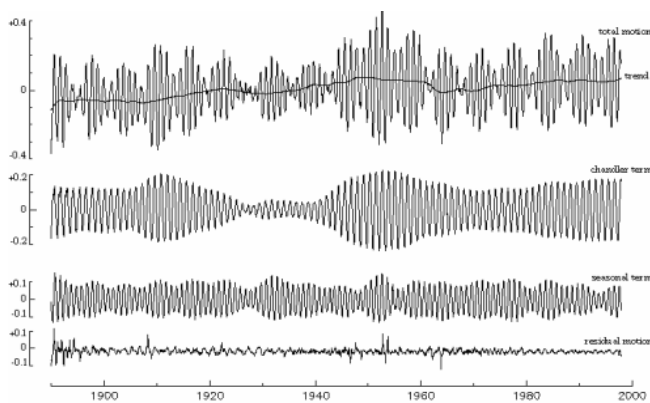


Рис 1. Временной ход координаты  $X_p$  (sec) ПДП Земли (1890-2000) IERS.

верхний график: «полное перемещение» и тренд движения полюса;

второй сверху график: «чандлеровская компонента» движения полюса;

третий сверху график: «годовая компонента» движения полюса;

нижний график: «остаточные перемещения» движения полюса.

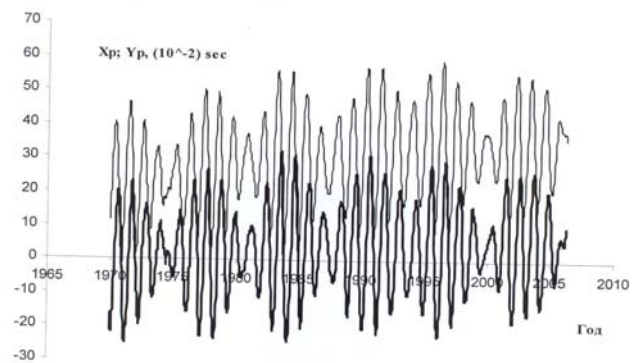


Рис. 2. Фрагмент временного хода координат  $X_p$  (утолщ. линия),  $Y_p$  ПДП Земли (1970-2006) IERS.

## Полученные результаты и их обсуждение

В настоящее время продолжают дискуссии о существовании взаимосвязи между сейсмичностью Земли и ее ПДП. В подтверждение тезиса о существовании этой взаимосвязи приводится рис. 3, на котором видно, что экстремумы кривых линейного ускорения полюса Земли и изменения интегральной сейсмической энергии Земли совпадают, хотя и не на всем временном отрезке (с использованием данных [10]).

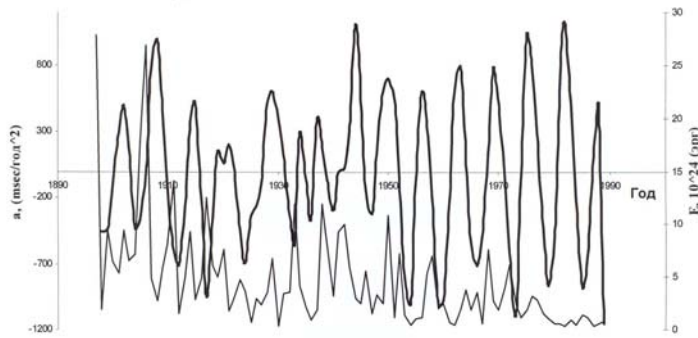


Рис. 3. Линейное ускорение полюса (утолщ. линия) и интегральная сейсмическая энергия (1897-1989) [10].

В [10] говорится о «не вполне корректной процедуре применения спектрального анализа» для исследования ПДП Земли, так как применение спектральных оценок основывается на предположении, что анализируемые ряды  $a$  priori должны быть периодическими, «чандлеровские» же колебания имеют период (270.9-628.7) суток (рис. 4). В настоящем исследовании определен средний период «чандлеровских» колебаний:  $T_{ch}=422.5$  суток (или 1.16 года) (по данным, полученным в [10]).

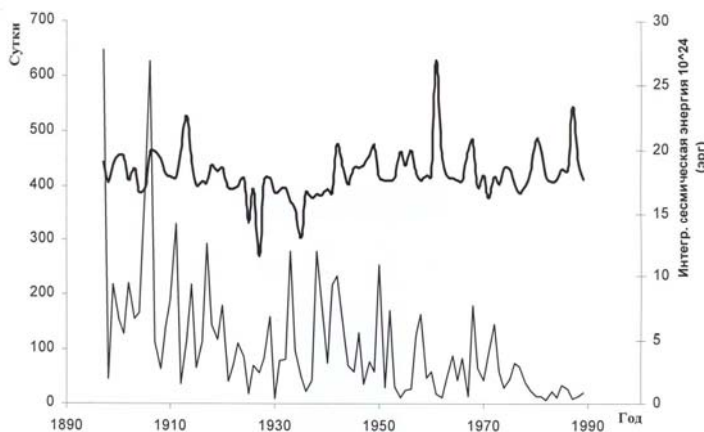


Рис. 4. Изменение периода ПДП Земли («чандлеровская составляющая» - утолщ. линия) и интегральная сейсмическая энергия (1897-1989) [10].

Настоящее исследование также в значительной своей части базируется на методе спектрального анализа, но исключительно потому, что в исследовании ведется речь об обнаружении в спектрах ПДП Земли влияния планет Солнечной Системы, действие которых на Землю является периодическим.

При анализе ПДП Земли обнаружены периодически возникающие так называемые «квазисингулярные» состояния (рис. 5) продолжительностью в среднем 9.7 мес. (табл. 2). Минимальная продолжительность «квазисингулярного» состояния (2.4 мес.) наблюдалась в 2006 г., максимальная (20.4 мес.) наблюдалась в 1967-1968 гг. Интервалы между «квазисингулярными» состояниями составляют: 6.2; 6.65; 6.9; 7.15; 7.9; 7.95; 8.1; 9.4; 12.55; 19.15; 24.2; 31.6 лет. Периоды 8.1; 9.4; лет относятся к 1849-1880 гг., когда, возможно, измерения проводились недостаточно точно. В остальных случаях наблюдается средний период 6.6 лет, или кратный ему в 2 – (12.55 лет), 3 – (19.15 лет), 4 – (24.2 лет) и 5 – (31.6 лет) раз.

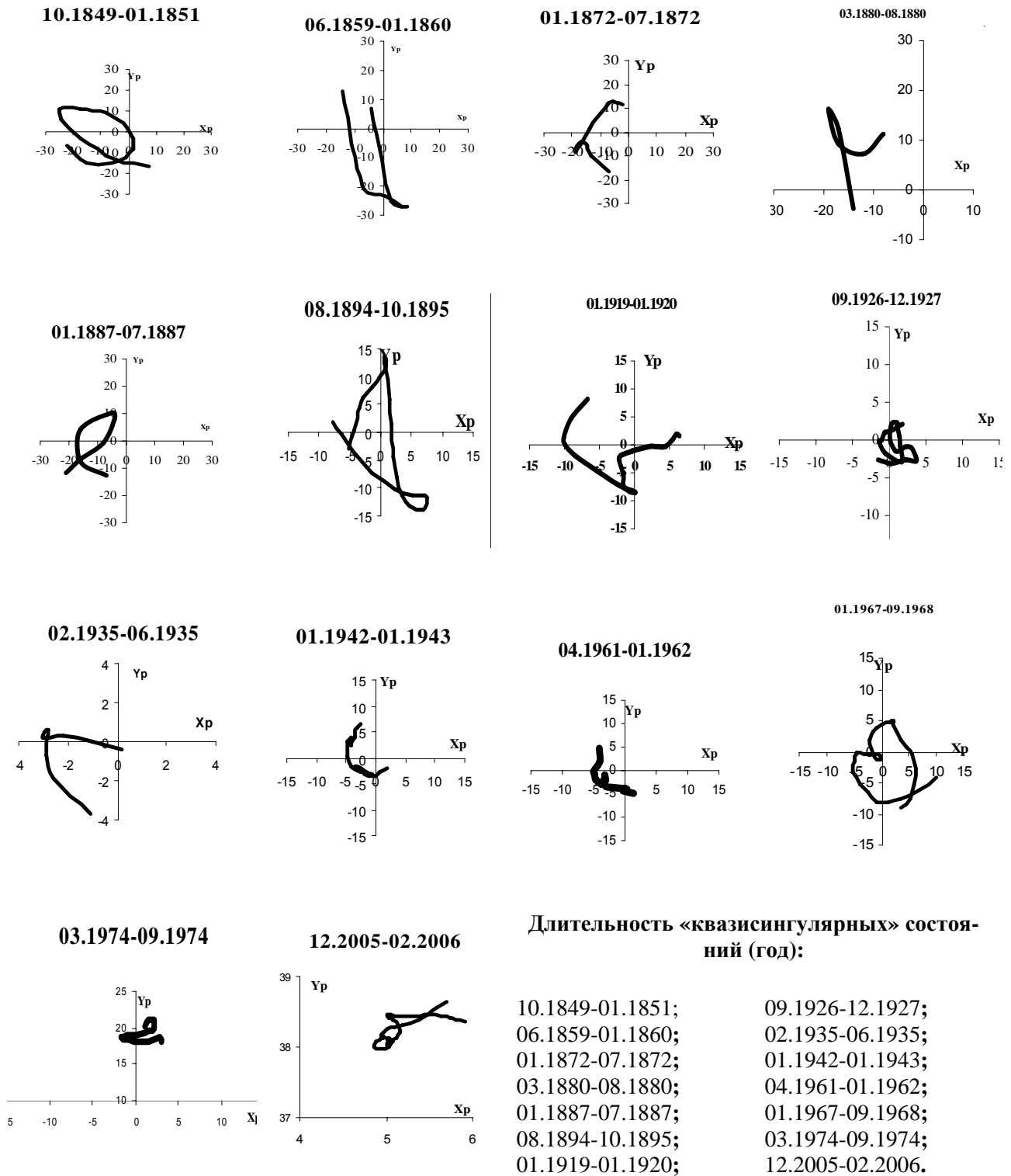


Рис. 5. Портреты «квазисингулярных» состояний ПДП Земли (1846-2007)  $X_p, Y_p$  ( $10^{-2}$  sec) [16], IERS.

Необходимо заметить, что приведенные выше периоды свойственны не только Земле, но и Солнечной Системе в целом, так например:

а) в Солнечной Системе многие планеты, Луна и астероиды имеют периоды движения, соизмеримые с шестилетним и «чандлеровским» периодами;

Таблица 2. Параметры «квазисингулярных» состояний ПДП Земли

Дата	Продолжительность периода «квазисингулярных» состояний, год	Период «чандлеровских» календарей, сутки	Остаточная амплитуда «квазисингулярных» состояний, $10^{\wedge}2, \text{ sec}$	Период между «квазисингулярными» состояниями, год
10.1849-01.1851	1.2		25.0	
06.1859-01.1860	0.6		5.0	9.4
01.1872-07.1872	0.7		5.0	12.55
03.1880-08.1880	0.5		10.0	8.1
01.1887-07.1887	0.7		15.0	6.9
08.1894-10.1895	1.2		3.0	7.95
01.1919-01.1920	1.0	426.7	2.0	24.2
09.1926-12.1927	1.05	270.9	3.0	7.9
02.1935-06.1935	0.35	303.5	1.5	7.95
01.1942-01.1943	1.0	477	4.0	7.15
04.1961-01.1962	0.7	628.7	2.5	19.15
01.1967-09.1968	1.7	466	2.0	6.2
03.1974-09.1974	0.4	435.1	5.0	6.65
12.2005-02.2006	0.2		0.5	31.6

б) сидерические периоды Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна и Плутона с точностью до 5% соответственно в 10, 25, 70, 140 и 205 раз больше периода Чандлера ( $T_{ch} = 1.16$  года) (табл. 3).

Таблица 3. Высоты статических планетных приливов

Планета	Параметры планеты			Влияние планеты на Солнце		Влияние планеты на Землю	
	Синодический период планеты, (сутки)	Сидерический период планеты, (земных лет)	Частота влияния планеты на ПДП Земли, (1/год)	Абсолют. амплитуда солнечного прилива $\Delta R$ , (см)	Степень влияния планеты на Солнце, (место)	Абсолют. амплитуда планетного прилива $\Delta R$ , (см)	Степень влияния планеты на Землю, (место)
Меркурий	115.88	0.2407	3.1527	0.04	3/4	$2 \cdot 10^{-5}$	4/5
Венера	583.92	0.6653	0.6255	0.09	2	$4 \cdot 10^{-3}$	1
Земля	365.26	1.000	1.0000	0.04	3/4	-	-
Марс	779.94	1.8809	0.4883	0.001	6	$4 \cdot 10^{-5}$	3
Юпитер	398.88	11.867	0.9157	0.095	1	$4 \cdot 10^{-4}$	2
Сатурн	378.09	29.666	0.9660	0.005	5	$2 \cdot 10^{-5}$	4/5
Уран	369.657	84.048	0.9881	$1 \cdot 10^{-4}$	7	$2 \cdot 10^{-7}$	6
Нептун	367.489	164.49	0.9939	$2 \cdot 10^{-4}$	8	$7 \cdot 10^{-8}$	7
Плутон		245.73		$5 \cdot 10^{-9}$	9	$8 \cdot 10^{-12}$	8

Суммарная высота прилива под воздействием всех планет на Солнце составляет около 3 мм.

в) узлы лунной орбиты непрерывно перемещаются по эклиптике к западу, совершая полный оборот за 18.613 г.; перигей лунной орбиты движется к востоку, совершая оборот за 8.85 г., в результате такого встречного движения соединения узла лунной орбиты с перигеем Луны происходят ровно через 6 лет.

Эта же цикличность проявляется и в колебаниях полюса (см. рис. 1, 2). Все это говорит о том, что за время эволюции Солнечной Системы скорость суточного вращения Земли и процессы, происходящие на ней, синхронизировались с циклами Солнечной Системы.

К настоящему времени классифицированы следующие циклы планетно-солнечной активности, оказывающие доминирующее влияние на Землю:

1) (11-12)-летний цикл (солнечно-юпитерианский);

2) 60-летний цикл (один раз в 60 лет Юпитер, Сатурн и Земля полностью повторяют свое расположение в околосолнечном пространстве);

3) 82-летний цикл солнечной активности (цикл Глайсберга: с точностью в 2 % совпадает с сидерическим периодом Урана и с точностью в 1 % - с 7-кратным периодом Юпитера) [8];

4) (210-220)-летний цикл солнечной активности (цикл Suess-de Vries) [8].

Необходимо обратить внимание на то, что эти периоды активности совпадают с сидерическими периодами планет: Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна (табл. 3).

В Пулковской обсерватории была проделана работа, в результате которой сделан вывод о влиянии на активность Солнца планет и их взаимного расположения. При этом ведущая роль отводится планетам, обладающим магнитным полем [2]. Магнитосферы планет играют существенную роль как во внутренних процессах, так и выполняют роль своеобразного «моментного» механизма, ответственного за «обратную связь» в структуре Солнечно-планетной системы.

Науке пока не известен механизм, объясняющий периодический 11-летний (в среднем) цикл активности Солнца какими-либо процессами, происходящими внутри него. Есть основания полагать, что значительное влияние на активность Солнца оказывает самая массивная планета Солнечной Системы – Юпитер [15], сидерический период которого равен  $T = 11.867$  лет и который обладает наибольшими орбитальным (61%) и собственным (63%) механическими моментами среди всех тел Солнечной Системы [6]. Поэтому вместе с авторами [6] полагаем, что на изменение периодической активности Солнца оказывают влияние крупные планеты, в первую очередь Юпитер.

В настоящей работе рассчитаны величины статических планетных приливов, результаты сведены в табл. 3. В основу расчета был положен третий закон Ньютона.

Спектральный анализ ПДП Земли в настоящем исследовании был проведен для различных массивов данных, применялись различные методики спектрального анализа, при этом менялся вид участка спектра, ответственного за «чандлеровские колебания», но, тем не менее, всякий раз с завидным постоянством определялись, хотя и с различной интенсивностью, планетные составляющие (рис. 6, любезно предоставленный авторами [5]; рис. 7, полученный с помощью методики [5] по данным [16]; рис. 8, полученный с использованием программы STATISTIKA 6.0 по данным IERS).

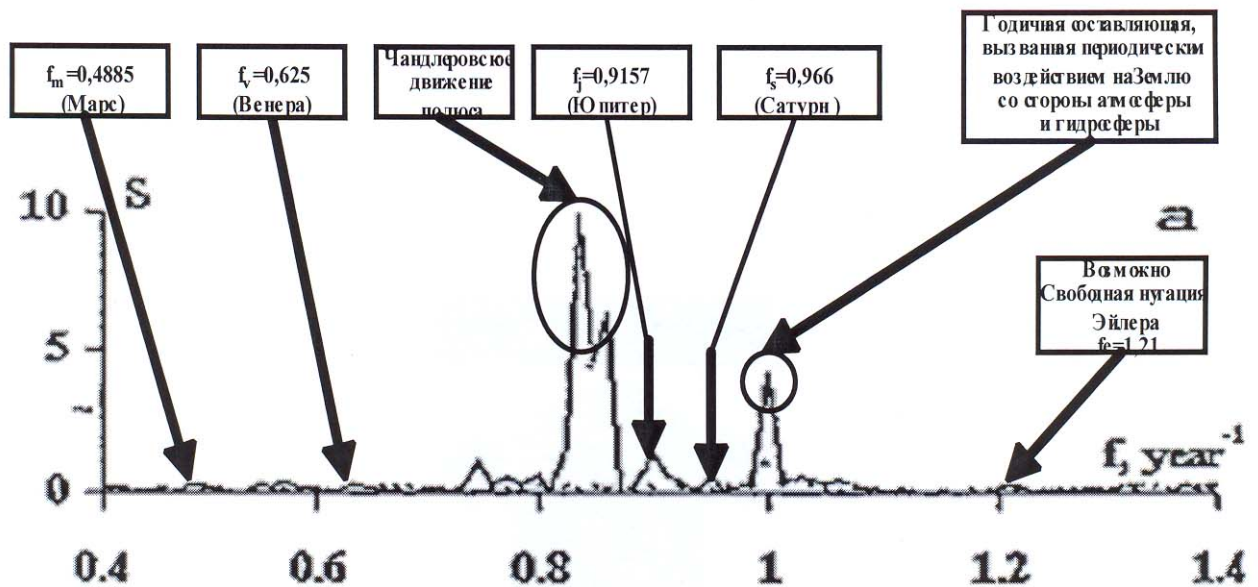


Рис. 6. Влияние Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна на ПДП Земли [5].

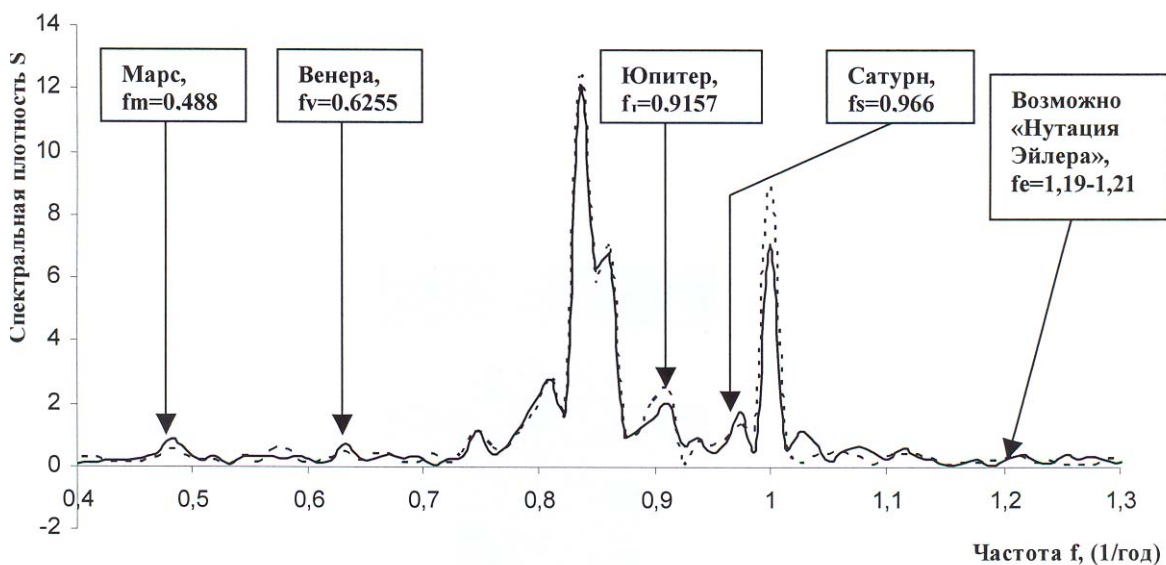


Рис. 7. Огибающие спектров  $X_p$  (сплош. линия),  $Y_p$  ПДП Земли (1890-1969) [5, 16].



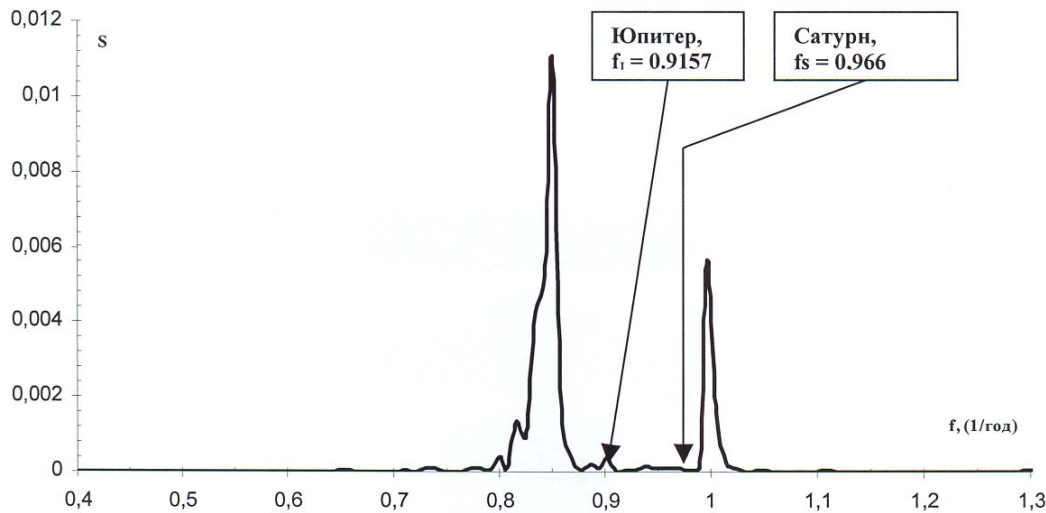


Рис. 8. Огибающая спектра Хр ПДП Земли (1890-2006) IERS (с использованием программы STATISTIKA 6.0 (Stat. soft, Inc.)).

В спектре выделены частоты, соответствующие планетам: Сатурн  $f_s = 0.9660$  цикл/год ( $T_s = 1.035$  г.); Юпитер  $f_j = 0.9157$  цикл/год ( $T_j = 1.092$  г.); Венера  $f_v = 0.6250$  цикл/год ( $T_v = 1.6$  г.); Марс  $f_m = 0.4885$  цикл/год ( $T_m = 2.047$  г.) (рис. 6-8).

Определен частотный диапазон, примерно соответствующий так называемой «Эйлеровой нутации»:  $f_e = (1.19-1.21)$  цикл/год ( $T_e = (302-306)$  суток).

Если данный частотный диапазон действительно определяется «Эйлеровой нутацией», то вполне определенно могут существовать такие состояния Земли, при которых (за счет внутренних геофизических интерференционных процессов) Земля может в определенные периоды времени «демонстрировать» себя как «Эйлерово тело» (т.е. абсолютно жесткое), но с изменяющимися во времени коэффициентами динамического сжатия, и «нутировать» с упомянутой выше частотой [9], тем более, что «чандлеровские колебания» наблюдаются в диапазоне (270.9 – 628.7) суток [10].

Влияние Меркурия на движение полюса Земли ( $f_{me} = 3.1527$  цикл/год) в спектрах ПДП Земли не обнаружилось.

Пока не определены факторы, ответственные за спектральные пики в полосе частот  $f = (0.75-0.8)$  цикл/год. Возможно, их существование объясняется воздействием на Землю магнитных полей Солнечной Системы.

Анализ ПДП Земли показывает, что Земля периодически «впадает» в «квазисингулярные» состояния, характеризующиеся уменьшением амплитуды и резким изменением периода колебаний полюса от 270.9 суток в 1927 г. до 628.7 суток в 1961 г.

В процессе исследования было выявлено, что в «квазисингулярных» состояниях, период которых равен или кратен среднему периоду 6.6 лет, полюс переставал перемещаться по овальным, гладким траекториям, резко менял направление своего движения, его траектория становилась «петлеобразной», ломаной.

В «квазисингулярных» состояниях любая система (Земля – это система) возвращается к состоянию, в котором не проявляется влияние геофизических и / или космических процессов, вызывающих ПДП Земли. В этом смысле любой физический процесс состоит из двух частей: сингулярная часть плюс регулярная. Сингулярная часть сохраняет тенденцию развития системы в нужном направлении, а регулярная – минимально необходимое количество информации (в нашем случае это остаточная амплитуда и период) для воспроизведения всех своих свойств и качеств в следующем процессе. В состояниях «квазисингулярности» поведение Земли нестабильно, нерегулярно.

На рис. 9 представлено вековое движение среднего полюса Земли за период 1900-2007 гг. по данным IERS и его тренд.

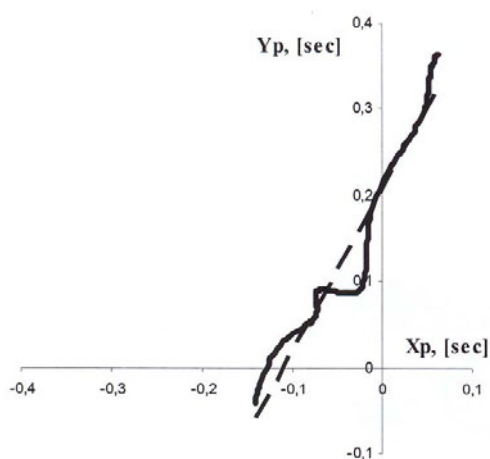


Рис. 9. Вековое движение среднего полюса (утолщ. линия) и его тренд (1900-2007) IERS.

### Заключение

В настоящем исследовании спектральный анализ ПДП Земли показал наличие гармоник, соответствующих синодическим периодам некоторых планет: Юпитер, Сатурн, Венера, Марс.

Интегральная интенсивность полос частот Юпитера и Сатурна в спектрах ПДП Земли соотносится с интенсивностью «чандлеровской» полосы частот как 1:10.

При анализе ПДП Земли выявлены периодические «квазисингулярные» состояния продолжительностью около года со средней периодичностью 6.6 лет (или кратные этому периоду), характеризующиеся «петлеобразной» траекторией полюса, резким изменением направления его движения, минимальной амплитудой колебаний полюса.

Анализ планетных статических приливов говорит о преимущественном влиянии на Землю Венеры (не имеющей магнитного поля). Это наводит на мысль о том, что Земля, Юпитер и Сатурн как гравитирующие массы, периодически находятся в состоянии динамического резонанса, вызываемого взаимодействием переменных во времени собственных гравитационных полей осциллирующих планет. Это послужит предметом дальнейшего исследования.

В заключение автор выражает глубокую признательность д.ф.-м.н. Викулину А.В. (ИВиС ДВО РАН), поддержавшему настоящее исследование; к.ф.-м.н. Кролевицу А.Н. (КамГУ им. В. Беринга), любезно предложившему свои электронную базу данных и программный продукт, при помощи которых производился спектральный анализ рядов значений координат движения полюса; к.ф.-м.н. Водинчару Г.М. (КамГУ им. В. Беринга), любезно предоставившему программный продукт STATISTICA 6.0 для анализа временных рядов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 188 с.
2. Васильева Г.Я. О пространственно-временной структуре солнечной магнитосферы, обусловленной пятнообразовательной активностью // Материалы Международной конференции «Солнце в максимуме активности и солнечно-звездные аналогии». Санкт-Петербург, 2000. С. 28-34.
3. Викулин А.В. Сейсмичность и вращение Земли // Вычислительные технологии. 1992. Т. 1. № 3. С. 124-130.
4. Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2003. 150 с.
5. Викулин А.В., Кролевец А.Н. Чандлеровское колебание полюса и сеймотектонический процесс // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 6. С. 996-1009.
6. Викулин А.В., Мелекесцев И.В. Вихри и жизнь // Ротационные процессы в геологии и физике. М.: Дом Книги, 2007. С. 39-101.
7. Горшков В.Л., Воротков М.В. Динамика движения полюса и долгопериодические вариации скорости вращения Земли // Изв. ГАО РАН. 2002. № 216. С. 415-425. (<http://gao.spb.ru/>).
8. Дергачев В.А., Распопов О.М. 2000 ([solarwind.cosmos.ru/spb.doc](http://solarwind.cosmos.ru/spb.doc));
9. Джеффрис Г. Земля, ее происхождение, история и строение. М.: Иностран. лит, 1960. 485 с.
10. Котляр П.Е., Ким В.В. Положение полюса и сейсмическая активность Земли. Новосибирск, 1994. 124 с.
11. Манк У., Макдональд Г. Вращение Земли. М.: Мир, 1964. 384 с.

12. Ньюкомб С. Астрономия в общепонятном изложении. СПб.: Изд. К.Л. Риккера, 1896. 748 с.
13. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. М.: Наука, 2002. 384 с.
14. Сидоренков Н.С. Межгодовые колебания системы атмосфера–океан–Земля // Физика. 1998. С. 39-51
15. Тимашев С.В. О базовых принципах «нового диалога с природой» // Проблемы геофизики XXI века: в 2 кн. М.: Наука, 2003. Кн. 1. С. 104-141.
16. Федоров Е.П., Корсунь А.А., Майор С.П. и др. Движение полюса Земли с 1890.0 по 1969.0. Киев: Наукова думка, 1972. 264 с.
17. Широков В.А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западного участка тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.: Наука, 1977. С.103-115.
18. Широков В.А., Кузьмин Ю.Д. О влиянии космических факторов на сейсмичность и вулканизм Камчатки // Вопр. геогр. Камчатки. 1990. № 10. С. 90-98.
19. IERS (IERS) C01 (<http://hpiers.obspm.fr/>).
20. IERS Annual Report. Paris. 2000. (1890 - 2000) гг. (<http://hpiers.obspm.fr/>)
21. IERS Annual Report. Paris. 2006. (1890 - 2006), (1846-1889) гг. (<http://hpiers.obspm.fr/>)
22. IERS Internet-monitoring. Paris. 2007. (1962 - 2007) гг. (<http://hpiers.obspm.fr/>)
23. Sourian A., Cazenave A. Reevaluation of the Chandler wobble seismic excitation from recent data // Earth Planet. Sci. Lett. 1985. V. 75. № 4. P. 410-416.

УДК 551.23/552.5/553.2

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ОСАДКОВ В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ  
КИСЛЫХ И СУБЩЕЛОЧНЫХ ВОДОТОКОВ В ИСТОКАХ РЕКИ МУТНОЙ

**О.Ф. Карданова<sup>1</sup>, Л.А. Казьмин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: kof@kscnet.ru*

<sup>2</sup> *Институт геохимии СО РАН, Иркутск*

В районе Кихпиньчского долгоживущего вулканического центра (КДВЦ) на четырех полях были встречены глиноземистые осадки (ГО), имеющие химический состав бокситов (рис. 1). Основной способ образования ГО в рассматриваемом районе – осаждение в зоне смешения субщелочных и кислых вод. Особенности условий образования глиноземистых осадков, их химический состав подробно рассмотрен в статье одного из авторов [1]. На Южном поле (см. рис. 1, поле 1) осаждение глиноземистых осадков происходило в зоне смешения субщелочных вод термальных источников и кислых вод из-под многолетнего снежника.