

ДИНАМИКА ЛЕДОВОГО ПОКРОВА АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ, ЕЕ СВЯЗЬ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ ДВИЖЕНИЕМ ПОЛЮСА (ПДП) ЗЕМЛИ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Пономарева О. В.^{1,2}

¹Камчатский государственный университет имени В. Беринга, Петропавловск-Камчатский

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский
ponomareva_ov@list.ru

Введение

Вопрос о природе сил, поддерживающих квазипериодические «чандлеровские колебания», до сих пор остаётся дискуссионным [1, 3]. В качестве источников возбуждения периодического движения полюса Земли (далее – ПДП Земли) исследователями рассматривались: атмосферные и океанические процессы, возмущения в континентальных водных бассейнах, взаимодействие ядра и мантии, землетрясения и др. [2, 5].

В исследовании сделана попытка соотнести динамику ледового покрова Арктики и Антарктики с ПДП Земли и ее сейсмической активностью.

Антиподальность Арктики и Антарктики

Площадь Северного Ледовитого океана составляет 13,1 млн. км². Площадь же, занимаемая Антарктидой безо льда – 14 млн. км², со льдом – до 30 млн. км². 90 % всей массы льда приходится на льды Антарктиды; 9 % – льды Гренландии, 1 % – весь остальной лед Земли.

Объем льда Антарктиды превышает объем воды Северного Ледовитого океана.

Координаты центра тяжести ледового покрова Арктики находятся в Гренландии: 45⁰(W), 70⁰(N) – на расстоянии 2 200 км от северного полюса. Координаты же центра тяжести льдов Антарктиды: 85⁰(S), 80⁰(E) – находятся на расстоянии 550 км от южного полюса.

Результаты исследования

Таблица 1. Характеристика исходного материала

	База данных	Источник
Анализ ПДП Земли	IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service)	http://www.iers.org/MainDisp.csl?pid=36-9
Анализ сейсмической активности	ANSS (Composite Earthquake Catalog)	http://www.ncedc.org/anss/catalog-search.html ;
Анализ ледового покрова Арктики и Антарктиды	Ледовые карты (SSMR-SSM/I Bootstrap – Алгоритм), (AMSR-Гибридный алгоритм)	http://www.aari.aq/default_ru.html

Из анализа ледовых карт получены характеристики периодов таяния и оледенения, результаты сведены в табл. 2 и 3.

Методом быстрого преобразования Фурье (Don Cross) были исследованы динамика ледового покрова Арктики и Антарктики («таяние-оледенение») за период с 1972 по октябрь 2007 гг. (см. рис. 1); и экскурсия центров тяжести ледовых покровов Арктики и Антарктики за этот же период. Результаты (рис. 2а) были соотнесены с ПДП Земли по данным IERS, данным [3] и данным [6] (рис. 2б) [4].

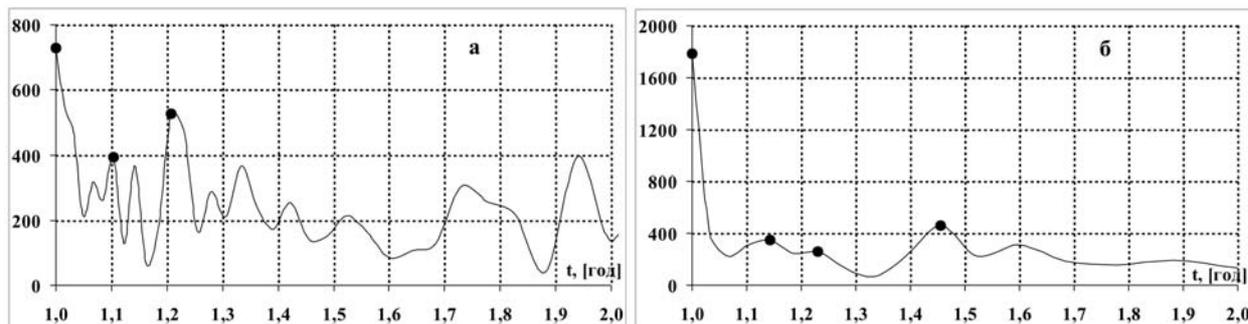


Рис. 1. Периодограммы динамики ледового покрова («таяние-оледенение») Арктики (1972-2007) гг. (а) и Антарктиды (1979-2007) гг. (б).

Таблица 2. Динамика ледового покрова Арктики (период 1972-2007 гг.)

Начало таяния	Экспедиция даты начала таяния *)	Конец таяния и начало оледенения	Экспедиция даты начала оледенения **)	Период таяния	Конец оледенения	Период оледенения
28.02.1972	-16	12.09.1972	-2	197		
06.03.1973	-9	18.09.1973	4	196	06.03.1973	175
12.03.1974	-3	10.09.1974	-4	182	12.03.1974	175
25.03.1975	10	09.09.1975	-4	168	25.03.1975	196
27.04.1976	43	21.09.1976	7	147	27.04.1976	231
12.04.1977	28	20.09.1977	6	161	12.04.1977	203
21.02.1978	-22	19.09.1978	5	210	21.02.1978	154
06.03.1979	-9	11.09.1979	-3	189	06.03.1979	178
01.04.1980	17	02.09.1980	-12	155	01.04.1980	203
17.03.1981	2	15.09.1981	1	182	17.03.1981	196
23.02.1982	-18	21.09.1982	7	210	23.02.1982	161
01.03.1983	-14	13.09.1983	-1	197	01.03.1983	161
28.02.1984	-17	25.09.1984	11	210	28.02.1984	168
02.04.1985	18	17.09.1985	3	168	02.04.1985	189
11.03.1986	-4	16.09.1986	2	189	11.03.1986	175
18.03.1987	5	16.09.1987	2	182	18.03.1987	183
06.04.1988	22	14.09.1988	0	161	06.04.1988	202
22.02.1989	-21	13.09.1989	-1	203	22.02.1989	161
14.03.1990	-1	12.09.1990	-2	182	14.03.1990	182
27.02.1991	-17	18.09.1991	4	203	27.02.1991	168
08.04.1992	24	09.09.1992	-5	154	08.04.1992	203
10.03.1993	-5	01.09.1993	-13	175	10.03.1993	182
23.02.1994	-18	14.09.1994	0	203	23.02.1994	175
24.02.1995	-17	24.09.1995	10	232	24.02.1995	151
22.02.1996	-19	13.09.1996	-1	204	22.02.1996	162
22.02.1997	-19	03.09.1997	-11	193	22.02.1997	159
09.02.1998	-32	01.09.1998	-13	204	09.02.1998	162
10.02.1999	-31	08.09.1999	-6	210	10.02.1999	171
26.02.2000	-15	20.09.2000	6	207	26.02.2000	154
21.02.2001	-20	08.09.2001	-6	199	21.02.2001	165
20.02.2002	-21	22.09.2002	8	214	20.02.2002	154
23.02.2003	-18	26.09.2003	12	215	23.02.2003	178
22.03.2004	-19	12.09.2004	-2	174	22.03.2004	141
31.01.2005	-43	22.09.2005	8	234	31.01.2005	143
12.02.2006	-29	13.09.2006	-1	213	12.02.2006	153
13.02.2007	-28	15.09.2007	1	214	13.02.2007	151

*) отсчитывается от медианы начала таяния (6 марта); средний период таяния равен 193 (192,7) дням;

***) отсчитывается от медианы начала оледенения (15 сентября); средний период оледенения равен 172 (172,45) дням.

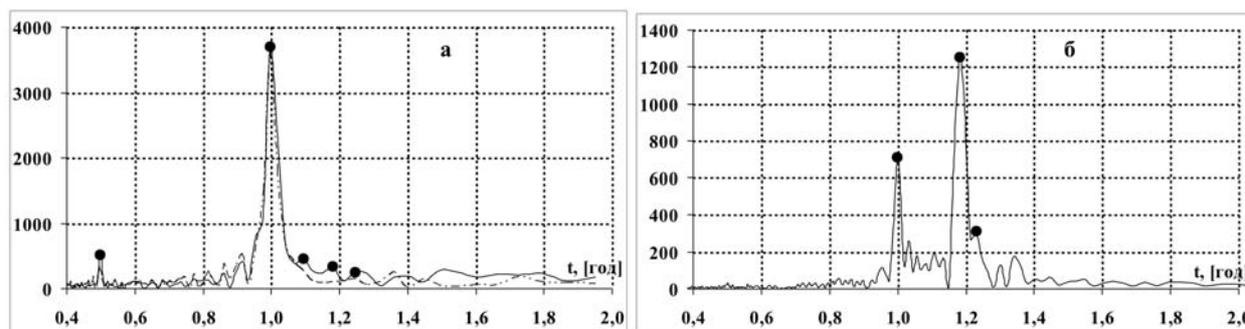


Рис. 2. Периодограммы экскурсий координат центров тяжести ледового покрытия Арктики (пунктирная линия) и Антарктики (сплошная линия) (1979-2007) гг. (а) и ПДП Земли (1962-2007) гг. (по данным IERS) (б).

Отношение периодов таяния к оледенению равно $T = 192,7 / 172,45 = 1,117$. Этот период определяется в периодограммах ПДП Земли [4] и в периодограммах динамики льдов Арктики (см. рис. 1а и 2б).

Таблица 3. Динамика ледового покрова Антарктики (период 1979-2007 гг.)

Начало оледенения	Экспедиция даты начала оледенения *)	Конец оледенения и начало таяния	Экспедиция даты начала таяния **)	Период оледенения	Конец таяния и начало оледенения	Период таяния
27.02.1979	5	03.10.1979	8	218		
26.02.1980	4	23.09.1980	-2	210	26.02.1980	146
04.03.1981	10	04.09.1981	-21	184	04.03.1981	162
03.03.1982	9	21.09.1982	-4	202	03.03.1982	180
18.02.1983	-4	30.09.1983	5	224	18.02.1983	150
27.02.1984	5	27.08.1984	2	182	27.02.1984	150
23.02.1985	1	13.09.1985	-12	202	23.02.1985	180
16.02.1986	-5	30.09.1986	5	226	16.02.1986	156
25.02.1987	3	01.10.1987	6	218	25.02.1987	148
24.02.1988	2	22.09.1988	-3	211	24.02.1988	147
19.02.1989	-3	24.10.1989	-1	247	19.02.1989	150
22.02.1990	0	04.09.1990	-21	194	22.02.1990	121
28.02.1991	6	15.10.1991	20	229	28.02.1991	177
26.02.1992	4	25.09.1992	0	212	26.02.1992	134
19.02.1993	-3	22.09.1993	-3	215	19.02.1993	147
19.02.1994	-3	01.10.1994	6	224	19.02.1994	150
15.02.1995	-7	20.09.1995	-5	217	15.02.1995	138
22.02.1996	0	18.09.1996	-7	209	22.02.1996	155
22.02.1997	0	27.09.1997	2	217	22.02.1997	157
16.02.1998	-6	08.10.1998	13	234	16.02.1998	142
27.02.1999	5	30.09.1999	5	215	27.02.1999	142
21.02.2000	-1	22.09.2000	-3	214	21.02.2000	144
17.02.2001	-5	19.09.2001	-6	214	17.02.2001	148
15.02.2002	-7	15.10.2002	-10	242	15.02.2002	149
26.02.2003	4	20.09.2003	-5	206	26.02.2003	134
17.02.2004	-5	25.09.2004	0	221	17.02.2004	150
17.02.2005	-5	06.10.2005	11	231	17.02.2005	145
19.02.2006	-3	22.09.2006	-3	215	19.02.2006	136
23.02.2007	1	20.09.2007	-5	153	23.02.2007	209

*) отсчитывается от медианы начала оледенения (22 февраля); средний период оледенения равен 215 (215,46) дням;

**) отсчитывается от медианы начала таяния (25 сентября); средний период таяния равен 150 (149,56) дням.

Отношение периодов оледенения к таянию равно $T = 215,46 / 149,56 = 1,44$; отношение $\frac{1}{2}$ года к периоду таяния равно $T = 182,625 / 149,56 = 1,22$. Все эти периоды также наблюдаются в периодограммах динамики льдов Антарктики и ПДП Земли [4] (см. рис. 16 и 26).

Процесс таяния ледового покрова Антарктиды более динамичен, нежели процесс оледенения (в 1,44 раза), и динамика «таяния-оледенения» характеризуется периодической составляющей $T = 182,625 / 149,56 = 1,22$ г., которая точно соответствует «слабой чандлеровской составляющей» с $T_{ch2} = 1,22$ г. [4].

Таяние льдов Антарктики является определяющим на ПДП Земли, так как вес льда Антарктиды превышает вес всей воды в Северном Ледовитом океане в 1,5 раза.

Из анализа периодограмм динамики ледового покрова Арктики следует, что при увеличении периода наблюдений сильнее выделяется компонента, соответствующая периоду $T = 1,22$ г., что может свидетельствовать о том, что Арктика влияет на ПДП Земли с «чандлеровской» составляющей $T_{ch2} = 1,22$ г.

Скорость вращения Земли бывает наименьшей в апреле и ноябре, а наибольшей – в январе и июле. Асимметрия – апрель-ноябрь - объясняется особенностью ледовитости Антарктики: период оледенения – 7 месяцев (215 суток), период таяния – 5 месяцев (150 суток). Симметрия – январь-июль - объясняется почти равномерной ледовитостью Арктики: оледенение – 172 суток, таяние – 193 суток. Тот факт, что январский максимум изменения скорости вращения Земли значительно меньше июльского, в свою очередь, объясняется тем, что 90 % льдов сосредоточено в Антарктике.

NB. В случае, если более динамичным окажется оледенение Антарктики, нежели таяние, то тогда оледенение Антарктики, но уже с периодом $T = 215,46 / 182,625 = 1,18$ г., «даст» значительный вклад в «сильную чандлеровскую» составляющую с $T_{chl} = 1,18$ г. В любом случае влияние динамики льдов на ПДП Земли считается доказанным.

Проведен сравнительный анализ динамики ледового покрова Антарктиды с т. н. «скалярной» сейсмической активностью Земли (т.е. без учета районирования сейсмичности), результат см. в табл. 4.

Таблица 4. Сравнительный анализ динамики ледового покрова Антарктиды и сейсмической активности Земли

Магнитуда	Коэффициент корреляции сейсмической активности (период (1979-2007) гг. каталог ANSS)	
	с экскурсией периода оледенения	с экскурсией периода таяния
4-5	-0,481	0,057
5-6	-0,091	0,034
6-7	-0,479	-0,032
>7	-0,365	-0,051

Из анализа следует, что сейсмическая активность зависит от динамики ледового покрова Антарктиды, а именно от периода оледенения, т.е. с 22 февраля по 25 сентября. Объяснение может быть одно: отрицательный коэффициент корреляции свидетельствует о том, что Земля из-за своей конечной добротности, демонстрирует динамический отклик - в виде изменения сейсмичности - на изменяющийся в связи с «таянием-оледенением» момент вращения с задержкой на полпериода и более.

Снижение «коррелируемости» временного ряда сейсмической активности с $M > 7$ может быть объяснено тем, что «высокая» сейсмичность более хаотична по своей сути, нежели чем сейсмичность «малая».

Динамика льдов не «коррелируется» лишь с сейсмической активностью с $M = (5-6)$ – что может говорить о разной природе сейсмичности.

Был также проведен сравнительный анализ динамики ледового покрова Арктики и Антарктики с сейсмической активностью Земли по каталогам NEIC и IASPEI Engdhal & Villaseñor. Получены схожие коэффициенты корреляции сейсмической активности с процессами таяния льдов Арктики ($K = 0,436$) и оледенения Антарктики ($K = -0,483$).

Выводы

1. Установлена взаимосвязь динамики ледового покрова Арктики и Антарктики с ПДП Земли и ее сейсмической активностью.

2. Сравнительный анализ динамики ледового покрова полярных областей с сейсмической активностью Земли объясняет, по крайней мере в первом приближении, сезонность в сейсмической активности Земли.

3. Анализ сейсмической активности выявляет «долгопериодные» составляющие с периодом около 30 лет. Можно предположить, что сейсмичность, в свою очередь, «ответственна» за возбуждение в ПДП Земли т.н. «волн Марковица» (Markowitz wobble), имеющих примерно тот же период.

Список литературы

1. Викулин А.В. Сейсмичность и вращение Земли // Вычислительные технологии. 1992. Т.1. № 3. С. 124-130.
2. Викулин А.В., Кролевец А.Н. Чандлеровское колебание полюса и сейсмотектонический процесс // Геология и геофизика. 2001. Т.42. № 6. С. 996-1009.
3. Котляр П.Е., Ким В.В. Положение полюса и сейсмическая активность Земли. Новосибирск. 1994. 124 с.
4. Пономарева О.В. Изучение связи периодического движения географических полюсов с периодами обращения планет. «Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений». IV международная конференция, с. Паратунка Камчатской обл., 14-17 авг. 2007 г.: сб. докл. – Петропавловск-Камч.: ИКИР ДВО РАН. 2007. С. 190-194.
5. Сидоренков Н.С. Межгодовые колебания системы атмосфера–океан–Земля // Физика. 1998. № 25. С. 39-51.
6. 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.