

УДК 550.343

О СВЯЗИ 19-ЛЕТНЕГО ЛУННОГО И 22-ЛЕТНЕГО СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛОВ С СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ И ДОЛГОСРОЧНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ДЛЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХООКЕАНСКОГО ПОЯСА

© 2006 В. А. Широков¹, Ю. К. Серафимова²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, бульвар Пуйна, 9, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: shirokov@kscnet.ru

²Камчатский филиал Геофизической службы РАН, бульвар Пуйна, 9, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: yulka@emsd.iks.ru

Впервые изучено совместное влияние на возникновение сильных землетрясений 19-летнего лунного прилива и 22-летнего солнечного цикла Хэйла. По данным землетрясений 1737–2006 гг. для каждого из четырех регионов северо-западной части Тихоокеанского сейсмического пояса на основе разработанной методики выявлены статистически значимые «опасные» фазовые окна. В окрестности эпох минимумов циклов Хэйла выявлен узкий «опасный» фазовый интервал для землетрясений Тихоокеанского пояса с $M \geq 7.6$. В первой четверти текущего столетия этот «опасный» интервал приурочен к периоду октябрь 2006 – январь 2008 гг., в котором ожидается от двух до шести землетрясений с $M \geq 7.6$. Одно из них произошло в районе Курильских островов 15.11.2006 г., $M=8.3$. В периоды времени тревоги в совокупности произошло 66 из 74-х землетрясений с магнитудой $M \geq 7.6$. Доля тревожного времени в среднем составляет 29.6%. Новый методический подход позволил дать долгосрочный прогноз сильных землетрясений на ближайшие 20 лет для районов Алеутских островов, Камчатки, Курильских островов и Японии. Сделаны оценки эффективности долгосрочных прогнозов по ретроспективным данным.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования последних десятилетий показывают, что изучение геодинамических процессов и выяснение их причинной обусловленности невозможно без учета роли космических факторов, главными из которых для характерного времени менее нескольких десятилетий являются гравитационные поля в системе Солнце–Земля–Луна, а также солнечная активность. Предположение о том, что тектонические процессы вызваны, в конечном счете, космическими причинами, неоднократно высказывали геологи и геофизики. Например, в работе (Усов, 1940) указывается на космические факторы как вероятную причину пульсаций земной коры, а в статье (Пейве, 1961) сделан вывод, что тектонические перемещения в Земле являются следствием гравитационно-инерционных сил планеты и, в конечном счете, «порождаются гигантской, внешней по отношению к Земле, механической энергией». Наиболее хорошо изучено влияние на сейсмичность приливного воздействия гравитационных полей Луны и Солнца и 11-летней солнечной ритмики. В рамках этой тематики к числу пионерских можно

отнести работы (Альтгаузен, 1974; Афанасьева, 1963; Ламакин, 1966; Мельхиор, 1975; Нестеренко, Стюас, 1963; Сытинский, 1963, 1973; Тамразян, 1965; Широков, 1977, 1978; Perrey, 1853; Pines, Shaham, 1973; Simpson, 1968; Stoyko, 1952 и др.). Однако связь землетрясений с 22-летним солнечным циклом исследовалась лишь в одной работе (Барляева и др., 2000). В ней для землетрясений 1962–1995 гг. с магнитудой $M \geq 7.0$ проведен кросс-корреляционный анализ для двух регионов (Средняя Азия, Курильские острова и северная Япония) и для Земли в целом.

Идея о возможном влиянии гравитационных сил на тектоническую жизнь нашей планеты впервые высказана Ньютоном, который образно заметил, что если на Земле в каком-либо месте в виде горы поместить новую порцию вещества, это приведет к нерегулярности вращения планеты. В.И. Афанасьева (1963) и А.Д. Сытинский (1963) приводят данные относительно возможной обусловленности современных тектонических движений изменениями угловой скорости вращения Земли, которые, в свою очередь, вызываются вариациями солнечной активности. В случае наблюдающихся быстрых изменений угловой скорости вращения Земли должны происходить

и быстрые изменения ее фигуры, но верхние слои литосферы, обладая свойствами твердого тела, не смогут быстро принять соответствующую форму, и в них будут возникать напряжения, приводящие к землетрясениям. В работах Н. Стойко (Stoyko, 1952), П.Н. Кропоткина и Ю.А. Трапезникова (1963) была выявлена корреляция между угловой скоростью вращения Земли и темпом выделения сейсмической энергии. Дж. Симпсон (Simpson, 1968), выявивший связь между частотой возникновения умеренных по силе землетрясений с вариациями солнечных пятен, предположил, что спусковым механизмом землетрясений могут являться внезапные изменения угловой скорости вращения Земли, электрические токи в ней, магнитогидродинамическая связь солнечного и земного магнитного полей, крупномасштабные процессы циркуляции земной атмосферы. К настоящему времени количество работ о связи сейсмичности с приливами и солнечной активностью превышает несколько сотен. Их обзор является предметом отдельного исследования.

В обзорной работе (Кропоткин, 1970), посвященной выяснению роли космических факторов в геотектонике, делается вывод, что тектонические процессы представляют собой результат действия двух более или менее равноценных факторов – внутренней эволюции Земли и космических воздействий. В работе (Широков, 1977) на основе литературного обзора сделана попытка в схематическом виде (рис. 1) синтезировать представления многочисленных исследователей о механизме связи между различными космическими факторами, сейсмическим и вулканическим процессами с учетом промежуточных звеньев этой взаимосвязи. На представленной схеме основное внимание уделено наиболее существенным связям, которые обозначены в виде стрелок. На рис. 1 показано, что упругие напря-

жения Земли являются функцией нескольких переменных, каждая из которых сложным образом меняется во времени. В общем случае задача количественного изучения влияния космических факторов на сейсмические и вулканические процессы едва ли может быть решена. На практике, однако, целесообразно ограничиться изучением наиболее характерных участков спектра, которые содержат главные гармоники космических факторов. Известно, что спектры космических факторов представлены широким набором строго периодических и квазипериодических компонент. С точки зрения долгосрочного прогноза времени возникновения сильных землетрясений и извержений вулканов представляет интерес изучение участков спектра в интервале периодов от года до нескольких десятков лет. Этому интервалу соответствуют 11-летняя, 22-летняя и 80-90-летняя периодичности солнечной активности (Витинский, 1973). Не менее известен и лунный прилив с периодом $T=18.613$ г., связанный с долгопериодическим вращением узлов лунной орбиты. Амплитуда этого прилива в мировом океане сравнима с вариацией месячного лунного прилива с периодом 29.53 суток (Монин и др., 1974). Учитывая инерционные свойства упругих напряжений в Земле, есть основания ожидать, что многолетние компоненты приливообразующих сил Луны играют не менее важную роль, чем короткопериодные составляющие (Широков, 1977).

Анализ работ по изучению связи землетрясений и извержений вулканов для Земли в целом или отдельных ее регионов с 19-летней лунной и 11-летней солнечной цикличностью приводит нас к выводу, что многие исследователи считают характерной особенностью исследуемой взаимосвязи статистически значимую приуроченность сильных событий к фиксированным интервалам фаз указанных циклов. Значимость

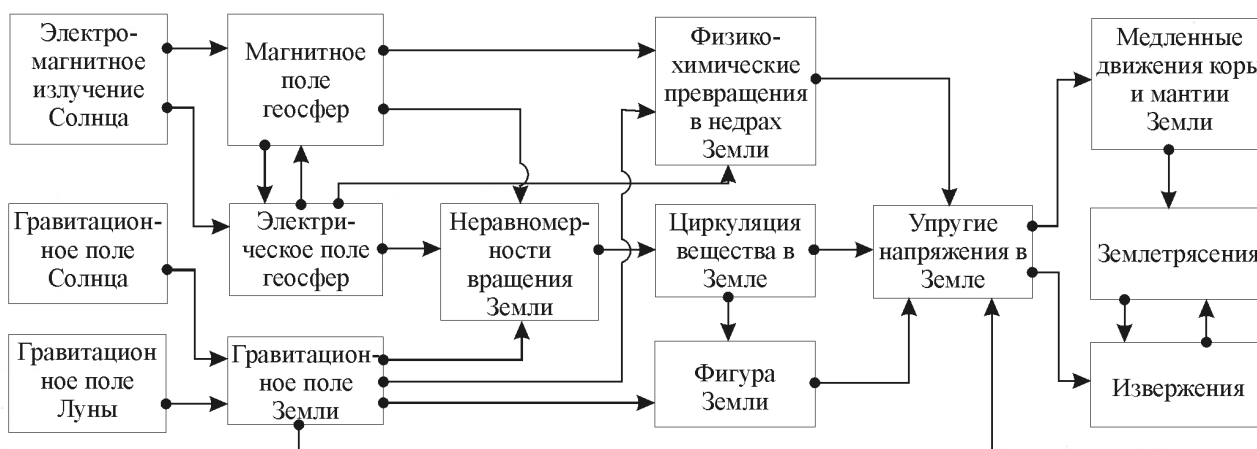


Рис. 1. Схема влияния космических факторов (электромагнитное излучение Солнца, гравитационные поля Солнца и Луны) на медленные движения коры и мантии Земли, землетрясения, извержения вулканов (Широков, 1977).

таких эффектов оценивается, как правило, на основе проверки гипотезы о равномерности распределения событий в пределах наложенных друг на друга циклов (Абдурахманов и др., 1976; Бузевич, 2004; Гусев, Петухин, 1997; Ламакин, 1966; Серафимова, 2006; Сытинский, 1982, 1989, 1991; Широков, 1977, 1978, 2001 и др.). Выявление статистически значимых фазовых интервалов для наиболее сильных событий при наличии достаточно длительных рядов наблюдений дает возможность осуществлять долгосрочный прогноз, что и сделано в большинстве приведенных выше работ. Новизна настоящей работы связана, во-первых, с тем, что впервые для временных рядов длительностью более ста лет исследуется связь сильных землетрясений с 22-летним солнечным циклом, во-вторых, на основе разработанной методики проведен совместный анализ связи землетрясений различных регионов Земли с 19-летним лунным и 22-летним Хэйловским циклом смены полярности ведущих групп солнечных пятен. Основная цель исследования состоит в составлении долгосрочного прогноза наиболее сильных землетрясений и оценке его эффективности для различных регионов Тихоокеанского сейсмического пояса.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

В работе исследуется зависимость распределения моментов возникновения наиболее сильных землетрясений в различных регионах Земли от фазы двух долгопериодических циклов: приливного лунного с периодом $T_1=18.613$ года и солнечного Хэйловского со средним за последние три века значением периода $T_2=21.8$ года. Длительность лунного цикла T_1 в современную эпоху практически не меняется. При расчете фазы лунного цикла условно принято, что ее нулевые значения соответствуют эпохам максимального склонения Луны (Широков, 1977). По данным астрономических наблюдений, например, одна из нулевых фаз соответствует дате 02 января 1932 г. (1932.00 г.), относительно которой можно рассчитать эпохи максимальных склонений Луны на сотни лет в прошлое и будущее. Принимая период 18.613 г. за единицу, фаза любого землетрясения рассчитывается как отношение разности во времени между возникновением землетрясения по григорианскому календарю и ближайшей предыдущей эпохой максимального склонения Луны к периоду цикла. Значения фаз округляются с точностью до 0.01. Например, для Кроноцкого землетрясения с $M=7.8$, произошедшего на Камчатке 5 декабря 1997 г., значение фазы $\Phi=(1997.93-1987.83)/18.613=0.54$.

В отличие от лунного цикла, длительность так называемого 22-летнего солнечного Хэйловского цикла нерегулярно меняется в довольно широких пределах при среднем значении за последние 300 лет 21.8 года. Первые предположения о существовании 22-летнего цикла солнечных пятен были сделаны в конце 19-го века Вольфом, но лишь после открытия в 1913 г. Хэйлом закона изменения полярности магнитных характеристик Солнца, реальность выделения этого цикла получила надежное физическое обоснование (Витинский, 1973). По данным измерений Хэйла, при переходе от одного 11-летнего цикла к следующему полярность ведущих пятен групп в обоих полушариях Солнца меняет знак. В связи с этим Хэйловский цикл чаще именуется магнитным.

Длительность Хэйловских циклов характеризуется большей устойчивостью, если за их начало брать фазы минимумов четных 11-летних циклов (Витинский, 1973), что нами и сделано при дальнейших расчетах. Наибольшей устойчивостью 22-летний цикл характеризуется с начала прошлого века, так как в этот период изменения его длительности относительно среднего значения 21.25 г. не превышали 3.1%. Значения фаз 22-летних циклов рассчитывались по аналогии с лунными циклами. Эпохи минимумов циклов Хэйла взяты по данным (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/) и за последние три столетия приводятся ниже: 1723.5 – 1745.0 – 1766.5 – 1784.7 – 1810.6 – 1833.9 – 1856.0 – 1978.9 – 1901.7 – 1923.6 – 1944.2 – 1964.9 – 1986.8. Для удобства дальнейшей работы Хэйловским циклам нами присвоены порядковые номера №№ 1, 2, 3, 4, ..., 14, начиная с цикла, начавшегося в эпоху 1723.5 г. Отметим, что в указанном источнике сглаженные значения чисел Вольфа рассчитывались с использованием среднемесячных величин чисел Вольфа в годовых по длительности окнах с шагом в один месяц. Очередная эпоха минимума 14-го цикла Хэйла должна предположительно наступить во втором полугодии 2007 г. (http://sidc.oma.be/html/sidc_graphics.html).

Приведем данные об использовавшихся каталогах землетрясений для четырех регионов северо-западной части Тихоокеанского сейсмического пояса: Камчатка, Алеутские острова, Курильские острова и Япония (табл. 1). Для всех регионов, кроме Камчатки, выборка землетрясений проводилась из каталога Significant Worldwide Earthquakes (NOAA), который содержит события с 2150 г. до н.э. по 1994 г. Выборки дополнялись событиями из каталога USGS/NEIC (PDE), включающего события с 1973 г. по настоящее время (http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic_rect.html). Предполагается, что за последние 130 лет каталог является достаточно представи-

Таблица 1. Каталог землетрясений с $M \geq 7.5$ исследуемых регионов северо-западной части Тихого океана

№ п/п	Дата ггггммдд	Время чч:мм:сс	Координаты		Глубина, км	Магнитуда, M_w	Фаза лунного цикла (18.6 года)	Фаза Хэйлового цикла (22 года)
			λ , °N	ϕ , °E				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Камчатка								
1	17371017	15:30:00	50.50	158.00	40	9.2	0.56	0.66
2	17371104	08:00:00	55.50	163.00	20	7.8	0.56	0.66
3	17371217	00:00:00	50.00	157.00	50	8.0	0.57	0.67
4	17421118	00:00:00	50.50	157.00	40	7.5	0.83	0.90
5	17901202	01:00:00	54.00	162.00	20	7.5	0.41	0.27
6	17910415	07:00:00	56.00	163.00	20	7.5	0.43	0.28
7	17920822	18:00:00	54.00	162.00	20	8.8	0.51	0.32
8	18410517	21:00:00	52.50	159.50	30	9.0	0.13	0.39
9	18480601	00:00:00	52.50	159.50	0	7.5	0.50	0.71
10	18491028	09:00:00	55.00	166.00	20	7.5	0.58	0.77
11	18540627	00:00:00	51.00	158.00	40	7.5	0.83	0.94
12	19040625	21:00:00	52.00	159.00	30	7.5	0.52	0.10
13	19050915	06:02:46	53.00	164.00	30	7.5	0.58	0.14
14	19150731	01:31:23	53.50	163.30	20	7.8	0.12	0.59
15	19170130	02:45:30	55.20	164.50	20	8.0	0.20	0.67
16	19230203	16:01:46	53.00	161.00	20	8.5	0.52	0.97
17	19230224	07:34:30	55.00	162.40	20	7.6	0.52	0.98
18	19271228	18:20:15	53.80	161.40	20	7.5	0.78	0.17
19	19360630	15:06:40	55.00	165.00	20	7.6	0.24	0.65
20	19521104	16:58:22	52.30	161.00	20	9.0	0.12	0.43
21	19590504	07:15:40	53.10	160.30	20	8.0	0.47	0.76
22	19711124	19:35:30	52.67	159.50	125(100)*	7.5	0.14	0.31
23	19711215	08:29:55	55.91	163.37	30	7.8	0.15	0.31
24	19930608	13:03:37	51.25	157.77	54	7.5	0.30	0.36
25	19971205	11:26:51	54.88	161.95	33	7.9	0.54	0.57
Курильские острова								
1	17800629		46.00	151.00	40	7.5	0.86	0.77
2	18430425		44.70	149.70	40	8.2	0.24	0.43
3	18470621		46.00	152.00	40	7.5	0.46	0.61
4	18961118	02:06	43.50	146.00	40	7.6	0.11	0.79
5	19010405	22:30	45.00	148.00	30	7.5	0.35	0.98
6	19081106	07:12	45.00	150.00	60	7.6	0.76	0.33
7	19130801	17:10	47.50	155.50	60	7.7	0.01	0.54
8	19150501	05:00	48.40	155.50	30	8.3	0.10	0.62
9	19161031	15:31	45.50	154.00	30	7.7	0.19	0.69
10	19180907	17:16	45.50	151.50	25	8.3	0.28	0.78
11	19181108	04:38	44.50	151.50	25	7.9	0.29	0.78
12	19221024	21:21	47.00	151.80	90	7.5	0.51	0.96
13	19350911	14:04	43.00	146.50	55	7.6	0.20	0.59
14	19370221	07:02	44.50	149.40	45	7.6	0.28	0.66

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	19581106	22:58	44.30	148.50	32	8.7	0.44	0.71
16	19630316	08:44	46.60	154.70	10	7.5	0.68	0.92
17	19631013	05:17	44.80	149.50	47	8.3	0.71	0.95
18	19640623	01:26	43.30	146.10	77	7.6	0.75	0.98
19	19690811	21:27	43.50	147.40	28	8.2	0.02	0.22
20	19730624	02:43	43.40	146.50	65	7.5	0.23	0.39
21	19780323	03:15:20	44.93	148.44	33	7.5	0.48	0.61
22	19780324	19:47:50	44.24	148.86	33	7.6	0.48	0.61
23	19781206	14:02:01	44.59	146.58	91	7.5	0.52	0.64
24	19911222	08:43:13	45.53	151.02	24	7.6	0.22	0.25
25	19941004	13:23	43.80	147.30	14	8.3	0.37	0.39
26	19951203	18:01	44.66	149.30	33	7.9	0.43	0.44
27	20061115	11:14:16	46.62	153.22	29	8.3	0.02	0.97
Япония								
1	18940322		42.50	146.00	40	8.0	0.97	0.67
2	18970207	07:36	40.00	140.00	60	8.3	0.13	0.80
3	18970816	07:54	39.00	143.00	60	7.9	0.15	0.82
4	18980422	23:36	39.00	142.00	60	8.3	0.19	0.85
5	18980605	00:12	38.00	143.00	60	8.7	0.20	0.86
6	19001225	05:09	43.00	146.00	40	7.9	0.33	0.97
7	19010809	18:33	40.00	144.00	60	8.2	0.37	1.00
8	19040824	20:59	30.00	130.00	25	7.9	0.53	0.13
9	19050602	05:39	34.00	132.00	100	7.9	0.57	0.17
10	19050706	16:21	39.50	142.50	25	7.9	0.58	0.17
11	19230901	02:59	35.30	139.50	25	8.3	0.55	0.00
12	19270307	09:28	35.70	135.00	10	7.9	0.74	0.17
13	19330302	17:30	39.20	144.50	25	8.9	0.06	0.46
14	19411118	16:46	32.00	132.00	25	7.9	0.53	0.89
15	19441207	04:36	33.70	136.00	25	8.3	0.69	0.04
16	19461220	19:19	33.00	135.60	30	8.4	0.80	0.13
17	19520304	06:03	42.50	143.00	25	8.6	0.08	0.39
18	19680516	00:48	40.90	143.40	9	8.1	0.95	0.16
19	19680516	10:39	41.50	142.70	33	8.0	0.95	0.16
20	20030925	19:50:06	41.81	143.91	27	8.3	0.85	0.82
Алеутские острова								
1	18491028	09	55.00	166.00	20	7.5	0.59	0.72
2	18580122		55.00	166.00	20	7.5	0.03	0.09
3	19011231	09:02	52.00	-177.00	60	7.8	0.39	0.01
4	19020101	05:20	52.40	-167.50	60	7.8	0.39	0.01
5	19030602	13:17	57.00	-156.00	100	8.3	0.46	0.08
6	19040827	21:56	64.00	-151.00	25	8.3	0.53	0.13
7	19050214	08:46	53.00	-178.00	60	7.9	0.56	0.16
8	19060817	00:10	51.00	179.00	25	8.3	0.64	0.22
9	19061223	17:22	59.00	-171.00	60	7.6	0.66	0.24
10	19070902	16:01	52.00	173.00	25	7.7	0.69	0.27
11	19121107	07:40	57.50	-155.00	90	7.5	0.97	0.51

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	19170531	08:47	54.50	-160.00	60	7.9	0.22	0.72
13	19290307	01:34	51.00	-170.00	50	8.6	0.85	0.27
14	19291217	10:58	52.50	171.50	25	7.8	0.9	0.31
15	19381110	20:18	55.50	-158.00	25	8.7	0.37	0.74
16	19400714	05:52	51.70	177.50	80	7.7	0.46	0.82
17	19480514	22:31	54.50	-161.00	25	7.5	0.88	0.20
18	19570309	14:22	51.30	-175.80	33	8.6	0.35	0.63
19	19640328	03:36	61.10	-147.60	23	8.5	0.3	0.97
20	19650204	05:01	51.30	178.60	36	8.2	0.78	0.01
21	19650330	02:27	50.60	177.90	51	7.5	0.79	0.02
22	19750202	08:43:39	53.11	173.50	10	7.6	0.32	0.47
23	19860507	22:47:11	51.52	-174.78	33	8.0	0.92	0.98
24	19960610	04:03:35	51.56	-177.63	33	7.9	0.46	0.47
25	20021103	22:12:41	63.52	-147.44	4	8.5	0.81	0.78
26	20031117	06:43:07	51.15	178.65	33	7.8	0.86	0.83

Примечание. Жирным шрифтом выделены землетрясения с $M > 7.5$. * - землетрясение 24.11.1971 включено в каталог, так как по данным КОМСП ГС РАН глубина определена 100 км.

тельным для всех регионов для событий с магнитудой $M \geq 7.5$, что позволяет проводить более корректный анализ. Для каждого региона выборка землетрясений соответствовала максимально возможному временному интервалу для событий с глубиной до 100 км и $M \geq 7.5$.

Камчатка. За основу взят каталог сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд с 1737 года по данным (Гусев, 2004; Гусев, Шумилина, 2004), ограниченный событиями зоны субдукции с широтами менее 57.0° с.ш., с $M_w \geq 7.5$ на глубинах до 100 км. В выборку не включено землетрясение 23.11.1899 ($M_w = 7.6$), положение очага которого было определено неверно. По уточненным оценкам очаг землетрясения находился в Тихом океане, примерно в 30-ти градусах к юго-востоку от Японии (Прибылова и др., 2006). Также исключено землетрясение 13.04.1923 ($M_w = 7.4-8.2$), так как его магнитуда по сейсмическим волнам определяется как $M_s^{(GR)} = 7.2$, что ниже используемого нами порога магнитуд. Для разделения камчатских и алеутских землетрясений граничной является долгота 165.5° в.д., поэтому исключено землетрясение 22.01.1858 г. с $M = 7.5$, имеющее долготу 166.0° в.д. Каталог включает 25 событий.

Курильские острова. Регион определяется координатами $43.0^\circ-51.0^\circ$ с.ш., $146.0^\circ-156.0^\circ$ в.д. Каталог содержит 27 событий с 1780 по 2006 гг. с магнитудами $M \geq 7.5$.

Япония. Регион определяется координатами $30.0^\circ-45.5^\circ$ с.ш., $128.0^\circ-146.0^\circ$ в.д. Выборка про-

водилась для событий с магнитудой $M \geq 7.9$. Каталог содержит события с 1894 г. Из полученной выборки удалены события, относящиеся к локальной тектонической зоне $30.0^\circ-34.0^\circ$ с.ш., $138.0^\circ-146.0^\circ$ в.д. Окончательный каталог содержит 20 землетрясений.

Алеутские острова. Регион определяется координатами $50.0^\circ-60.0^\circ$ с.ш., 166.0° в.д.- 145.0° з.д. В регион «Алеутские острова» частично включены землетрясения п-ва Аляска и Командорских островов как продолжение единой структуры. Выборка проводилась для периода 1849-2006 гг. и магнитуд $M \geq 7.5$. Каталог содержит 26 событий.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Для выявления связи землетрясений с космическими факторами предлагается методика, основанная на следующем. Во-первых, для каждого землетрясения рассчитываются значения фазы Φ_1 лунного прилива T_1 и фазы Φ_2 Хэйловского цикла T_2 . Во-вторых, на двумерной фазовой плоскости (Φ_1, Φ_2) строятся фазовые траектории, с целью привязки к ним сейсмических событий, обозначенных нами в виде кружков (рис. 2, 3). В-третьих, на временных рядах длительностью более 100 лет исследуются особенности двумерного распределения моментов возникновения землетрясений на фазовой плоскости (Φ_1, Φ_2).

Охарактеризуем более подробно методический подход на примере Камчатки. Для трех

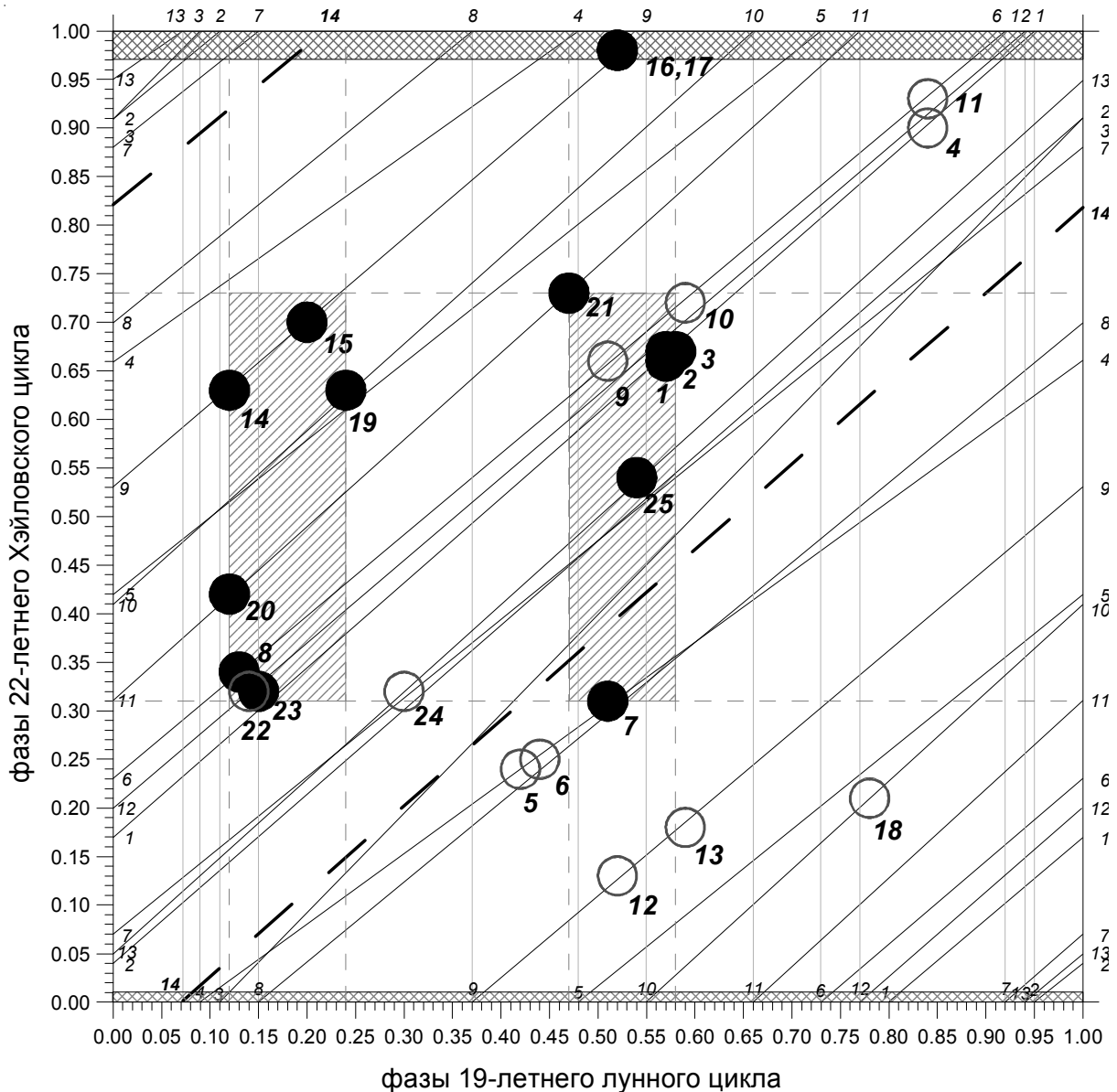


Рис. 2. Распределение камчатских землетрясений в зависимости от фаз лунного и Хэйловского циклов за период 1737 - 2006 гг. Светлые кружки соответствуют землетрясениям с $M = 7.5$, черные кружки — событиям с $M \geq 7.6$. Номера землетрясений даны согласно табл. 1. Наклонными линиями показаны фазовые траектории, номера которых идентичны номерам Хэйловских циклов. Жирной пунктирной линией показан гипотетический Хэйловский цикл № 14. Для событий с $M \geq 7.6$ одинарной штриховкой выделены «опасные фазовые окна», соответствующие региональному сейсмическому отклику, двойной штриховкой выделен «опасный» фазовый интервал, соответствующий планетарному сейсмическому отклику. Пояснения в тексте.

других регионов все делалось аналогичным способом.

Распределение 25 землетрясений Камчатки на фазовой плоскости (Φ_1, Φ_2) с указанием номеров землетрясений согласно каталога приведено на рис. 2. Здесь же в виде прямых линий проведены фазовые траектории, номера которых соответствуют номерам 22-летних циклов. Каждая траектория начинается с нулевой фазы цикла Хэйла и заканчивается нулевой фазой следующего по времени цикла. Согласно рис. 2, напри-

мер, четыре первых землетрясения каталога лежат на траектории № 1, на траекториях № 2 и № 3 землетрясения в каталоге отсутствуют и т.д. За 280 предыдущих лет фазовая плоскость заполнена траекториями почти равномерно. В этом случае можно предположить, что при случайном возникновении землетрясений они распределятся на фазовой плоскости достаточно равномерно. Далее анализ распределения на фазовой плоскости (Φ_1, Φ_2) проводится по «методу фазовых траекторий» (МФТ).

Как было показано ранее (Гусев, Петухин, 1997; Широков, 1978; Широков, Широкова, 2005), наиболее сильные камчатские землетрясения с $M \geq 7.6$, эпицентры которых расположены южнее 57.0° с.ш., приурочены к двум узким интервалам фаз лунного прилива 18.613 г. с длительностью фазовых интервалов около двух лет. Это отчетливо видно на рис. 2, где все 14 событий с $M \geq 7.6$, обозначенные черными кружками, произошли в двух фазовых окнах ($\Phi_1 = 0.12-0.24$ и $\Phi_2 = 0.47-0.58$) длительностью 2.23 и 2.05 года. Гипотеза о равномерности распределения землетрясений в пределах лунного цикла по биномиальному критерию отвергается с уровнем доверия более 0.99 (Большев, Смирнов, 1965). Вероятность случайного распределения событий не превышает 10^{-7} (Гусев, Петухин, 1997; Широков, 1978). Землетрясения с $M = 7.5$, обозначенные светлыми кружками, этой статистически значимой закономерности не подчиняются. С уровнем доверия более 0.95 отвергается также гипотеза о равномерном распределении событий с $M \geq 7.6$ по фазам Хэйловского цикла. 12 землетрясений из 14 приурочены к интервалу фаз $\Phi_2 = 0.31-0.73$.

Распределение событий с $M \geq 7.6$ на фазовой плоскости является неравномерным (рис. 2). Выделяются две области пересечения одной активной фазы Хэйловского цикла с двумя активными фазами лунного цикла. Эти два «опасных» окна заштрихованы. Гипотеза о равномерном распределении событий с $M \geq 7.6$ на фазовой плоскости отвергается с уровнем доверия более 0.99. Таким образом, для камчатских землетрясений с $M \geq 7.6$ за почти 300 лет наблюдений сейсмический отклик на изменения фаз двух космических ритмов оказался в определенном смысле детерминированным.

Можно считать, что камчатские землетрясения с $M \geq 7.6$ регистрируются без пропусков практически с начала прошлого века. За это время два заштрихованных «опасных» фазовых окна (рис. 2) пересекались фазовыми траекториями семь раз. В шести случаях в «опасном» окне происходило одно или более землетрясений, т.е. вероятность возникновения хотя бы одного землетрясения при прохождении «опасного» окна составляет $6/7 = 0.86$. Суммарное время при прохождении с 1900 г. «опасных» окон составило 12.7 лет, в течение которых произошло семь землетрясений с $M \geq 7.6$. Средняя частота появления событий такой силы в год составляет $7/12.7 = 0.55$. Для пуассоновского потока вероятность возникновения хотя бы одного события (Большев, Смирнов, 1975) в интервале 1 год при трассировании «опасного» окна составит $P_1 = 1 - 1/\exp(1 \times 0.55) = 0.42$.

Для сравнения оценим теперь вероятность возникновения на годовом интервале хотя бы одного землетрясения за пределами «опасных»

фазовых окон. За период 1737-2006 гг. длительностью 270 лет за пределами двух «опасных» окон лишь в одном случае, 02 и 24 февраля 1923 г., произошла пара близких по времени, связанных между собой событий (один кластер). Верхняя оценка частоты появления землетрясений равна одному кластеру за 270 лет за вычетом 28 лет, когда фазовые траектории пересекали «опасные» зоны. В этом случае частота Ω появления событий вне «опасных» зон с точностью до сотых долей определится неравенством

$$\Omega \leq 1/(270-28) = 0.004.$$

Для пуассоновского потока событий искомая вероятность оценивается неравенством

$$P_2 \leq 1 - 1/\exp(1 \times 0.004) = 0.004.$$

Таким образом, вероятности возникновения одного или более землетрясений в годовых по длительности интервалах «опасного» и неопасного периодов отличаются более чем на 2 порядка

$$P_1/P_2 \leq 0.42/0.004 = 105.$$

Оценим теперь эффективность прогноза I (Гусев, 1974) по ретроспективным данным, определяемую как отношение интенсивности потока событий с $M \geq 7.6$ в «опасных» интервалах к средней интенсивности потока событий за весь период наблюдений. В предельном случае необходимо рассчитывать соответствующие вероятности. Эти оценки более надежны для 1900-2006 гг. В нашем случае $I = (7/12.7)/(8/107) = 7.4$. Для случайного потока событий $I = 1$.

Выявленные закономерности более частого попадания событий в «опасные окна», естественно, могут использоваться для долгосрочного прогноза землетрясений в реальном времени. Рассчитаем время наступления «опасных» интервалов для камчатских землетрясений с моментной магнитудой $M \geq 7.6$ на ближайшие 25 лет. Поскольку эпоха минимума очередного цикла Хэйла наступит после 2006 г., в этом случае, как видно на рис. 2, две ближайшие активные фазы $\Phi_1 = 0.12 - 0.24$ лунного цикла не пересекутся фазовыми траекториями циклов Хэйла № 14 и № 15. Траектория № 14 построена для значения длительности цикла Хэйла, равной 21.25 г. (среднее значение для 5 последних циклов) в предположении (http://sidc.oma.be/html/sidc_graphics.html), что эпоха минимума очередного цикла Хэйла будет приурочена к середине второго полугодия 2007 г. На 25-летнем интервале 2007-2031 гг. фазовая траектория (см. рис. 2) пересечет «опасное окно» лишь один раз, в интервале значений фазы лунного цикла $\Phi_1 = 0.47 - 0.58$. Этот

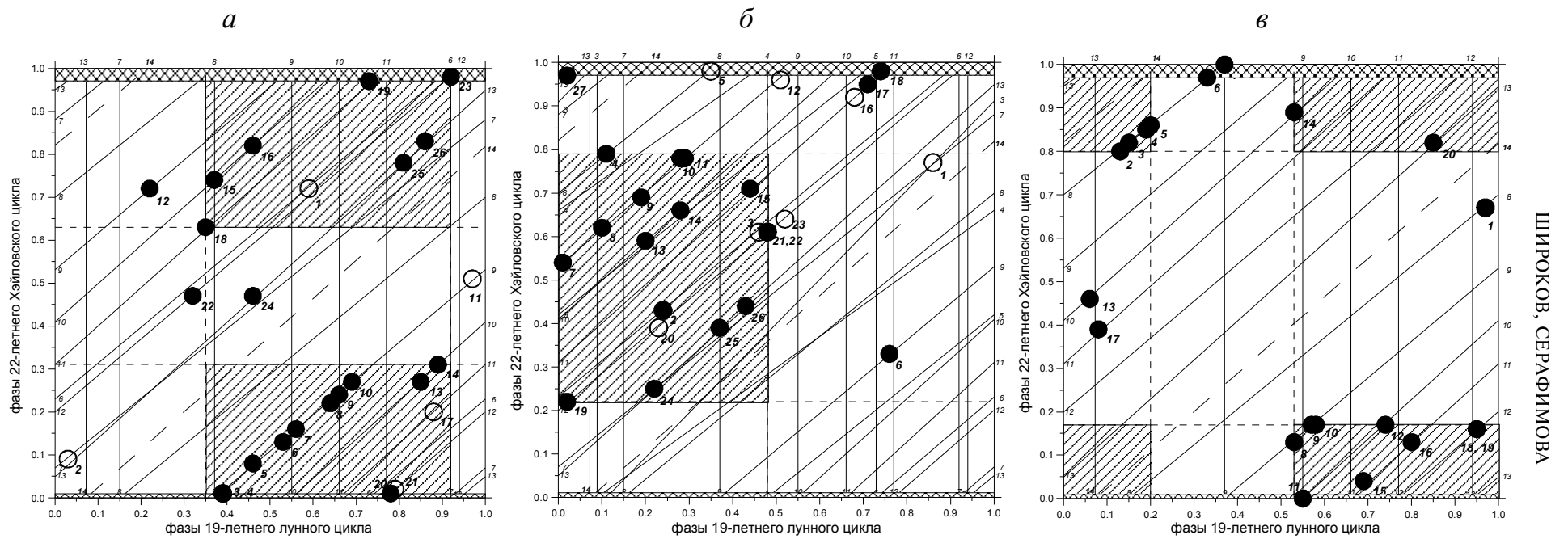


Рис. 3. Распределение сейсмических событий в зависимости от фаз лунного и Хэйловского циклов: *а* - для Алеутских островов за период 1849 - 2006 гг.; *б* - для Курильских островов за период 1780 - 2006 гг.; *в* - для Японии за период 1894 - 2006 гг. Светлые кружки - события с $M = 7.5$, темные кружки - события с $M \geq 7.6$ (для Японии $M \geq 7.9$). Номера землетрясений даны согласно табл. 1. Наклонными линиями показаны фазовые траектории, номера которых идентичны номерам Хэйловских циклов. Жирной пунктирной линией показан гипотетический Хэйловский цикл № 14. Для событий с $M \geq 7.6$ одинарной штриховкой выделены «опасные фазовые окна», соответствующие региональному сейсмическому отклику, двойной штриховкой выделен «опасный» фазовый интервал, соответствующий планетарному сейсмическому отклику. Пояснения в тексте.

диапазон фаз соответствует временному интервалу март 2015 – апрель 2017 гг. С целью уменьшения ошибки прогноза из-за возможной неточности определения временных границ «опасного окна», связанной с малочисленностью имеющихся данных о событиях с $M \geq 7.6$, расширим априори окно прогноза на семь месяцев и будем считать, что для Камчатки опасный период соответствует интервалу ноябрь 2014 – июль 2017 гг. Этот временной интервал более чем на два порядка опаснее по сравнению с остальными годами 25-летнего интервала.

Для трех других регионов распределения землетрясений в фазовом квадрате (Φ_1, Φ_2) (рис. 3) также являются значимо неравномерными с уровнями доверия более 0.95.

ОБ «ОПАСНОЙ» ФАЗЕ ЦИКЛА ХЭЙЛА ДЛЯ ТИХООКЕАНСКОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЯСА

При анализе всей совокупности данных для четырех регионов северо-западной части Тихоокеанского пояса было обнаружено, что в окрестности минимумов 22-летних циклов в фазовом окне $\Phi_2 = 0.90-1.0-0.10$, симметричном относительно эпох минимумов (рис. 4), с уровнем доверия более 0.99 выделяется статистически значимый фазовый интервал $\Phi_2 = 0.97-0.01$, длительностью в среднем 13 месяцев. В этом узком «опасном» интервале, занимающем менее 25% общей площади рассматриваемого фазового окна, отмечено 12 «главных» землетрясений из 15

(рис. 4). К «главным» событиям будем относить землетрясения соответствующих магнитуд, по которым выделяются «опасные» окна. Гипотеза о равномерности распределения землетрясений отвергается с уровнем доверия более 0.99.

«Опасный» фазовый интервал на рис. 2 и 3 выделен двойной штриховкой. В первой четверти текущего столетия он соответствует интервалу октябрь 2006 – январь 2008 гг. Доля событий, попавших в «опасный» интервал, составляет 16.2% от общего числа ($N = 74$) главных землетрясений, а площадь коридора внутри цикла Хэйла составляет 5%. В результате, средняя эффективность I прогноза, основанного на выявленном эффекте, равна $16.2/5.0 = 3.2$. Менее всего этот эффект выражен для Камчатки (один кластер из двух землетрясений в феврале 1923 г. за 270 лет). Одно из землетрясений с $M = 8.3$ из этого «опасного» интервала произошло в текущем цикле Хэйла на Курильских островах 15 ноября 2006 г.

Так как «главные» землетрясения четырех регионов в последние 107 лет происходили в окрестности пяти из шести эпох минимумов циклов Хэйла, было сделано предположение, что выявленный эффект характерен для Земли в целом. Дополнив нашу статистику «главными» землетрясениями из других регионов Тихоокеанского сейсмического пояса (острова Тонга, Филиппины, юг Японии, Северная, Центральная и Южная Америка) за период 1877-2006 гг., был выявлен статистически значимый «опасный» фазовый интервал ($\Phi = 0.95-0.01$) для Тихоокеанских землетрясений. Его длительность составляет

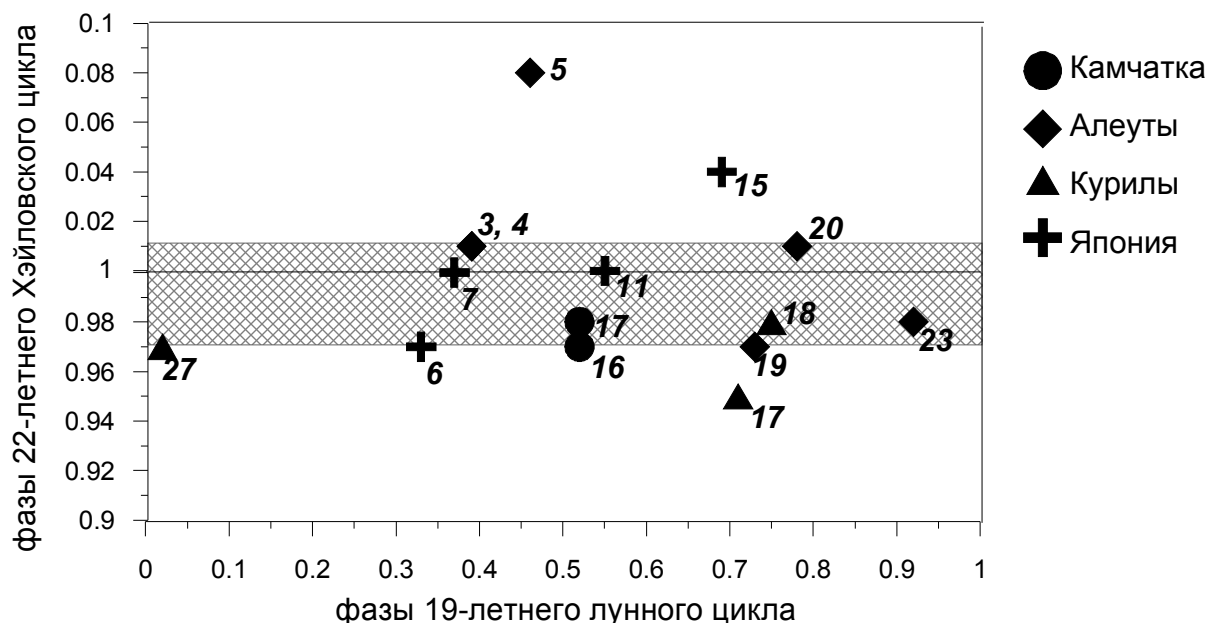


Рис. 4. Распределение землетрясений с $M \geq 7.6$ (для Японии с $M \geq 7.9$) в зависимости от фаз лунного и Хэйловского циклов в окрестности эпох минимумов циклов Хэйла для четырех регионов. Номера землетрясений соответствуют табл. 1. Двойной штриховкой выделен «опасный» фазовый интервал $\Phi_2 = 0.97-0.01$, примерная длительность которого составляет 13 месяцев.

примерно 12 месяцев до и 4 месяца после эпох минимумов цикла Хэйла. В выделенном «опасном» интервале произошло 23 из 29 «главных» землетрясений, приуроченных к интервалу фаз $\Phi_2 = 0.93-0.07$, симметричному относительно эпох минимумов циклов Хэйла. Гипотеза о равномерности распределения землетрясений отвергается с уровнем доверия более 0.99.

Если эпоха минимума следующего цикла начнется ориентировочно в середине второго полугодия 2007 г. (http://sidc.oma.be/html/sidc_graphics.html), то в интервале октябрь 2006–январь 2008 гг. в Тихоокеанском поясе будет существенно повышена вероятность возникновения сильных землетрясений с $M \geq 7.6$ по сравнению с их средней многолетней повторяемостью и цунами.

Аналогичный эффект был выявлен по каталогам событий с $M \geq 6.6$ для землетрясений Кавказа и Средней Азии, т.е. в Альпийско-Гималайском поясе сейсмичности. Это служит дополнительным подтверждением общепланетарной природы выявленного эффекта. Таким образом, можно с большим основанием предположить, что до января 2008 г. вероятность возникновения наиболее сильных сейсмических событий в различных регионах Земли будет повышенной.

Рассчитаем эффективность I предложенной методики прогноза для четырех регионов по ретроспективным данным. Величина I равна отношению доли ($D_{\text{прог}}$) соответствующих прогнозу «главных» землетрясений ($N_{\text{прог}}$) от их общего количества N к доле ($S_{\text{опас}}$) площади «опасных» окон и фазовых интервалов относительно принятой за единицу общей площади фазового квадрата (Φ_1, Φ_2). Исходные данные для оценок I , которые можно получить на основе рис. 2 и рис. 3, приведены в табл. 2. Согласно расчетам, величина $D_{\text{прог}}$ меняется от 85% (Япония) до 100% (Камчатка). Величина $I = D_{\text{прог}}/S_{\text{опас}}$ меняется от 2.0 (Алеутские о-ва) до 6.2 (Камчатка).

Для всей совокупности данных из 74 «главных» землетрясений 66 соответствуют ретроспективному прогнозу, т.е. $D_{\text{прог}} = 89.3\%$ при среднем значении $S_{\text{опас}} = 29.6\%$. В результате среднее значение эффективности прогноза оказалось равным $I = 89.3/29.6 = 3.0$.

На основе рис. 2 и 3 достаточно просто диагностируются интервалы времени, соответствующие трассам прохождения фазовых траекторий через «опасные» окна и фазовые интервалы. Как отмечалось выше, при расчете фазовой траектории № 14 принято, что эпоха минимума цикла Хэйла № 14 прогнозируется на середину второго полугодия 2007 г. при расчетном значении длительности цикла Хэйла 21.25 года. Возможные ошибки определения границ «опасных» интервалов времени в 80% случаев не превысят шесть месяцев. По фазовой траектории № 14 рассчитан долгосрочный прогноз времени возникновения «главных» землетрясений в каждом из четырех регионов на ближайшие 20 лет, т.е. до конца 2026 г. (табл. 3). После того, как станет известно реальное время эпохи минимума Хэйловского цикла № 14, прогностические оценки должны быть скорректированы. На основании данных табл. 3 следует, что в ближайшие 20 лет в рассматриваемых регионах длительность «опасных» интервалов в различных регионах меняется от 4-х лет для Камчатки до 6-ти лет для Японии.

О ПРИРОДЕ ВЫЯВЛЕННЫХ ЭФФЕКТОВ

Приведем предварительные соображения по обсуждаемому вопросу. Нами обнаружены два типа эффектов взаимосвязи землетрясений с рассматриваемыми космическими факторами. Первый (тип I) связан с влиянием на сейсмотектонические процессы 22-летнего солнечного ритма. В Тихоокеанском поясе сейсмический отклик проявляется примерно в течение 1 года до и 4-х месяцев после эпох минимума 22-летних циклов. Отметим, что на ветви спада Хэйловского

Таблица 2. Оценка эффективности I прогноза землетрясений по "методу фазовых траекторий" для четырех регионов Тихоокеанского сейсмического пояса

Регион	Характеристика выборки землетрясений		Число землетрясений, N	Число спрогнозированных землетрясений, N_1	Площадь "опасных" окон и фазовых интервалов, $S_{\text{опас}}$	Эффективность прогноза, $I = (N_1/N)/S_{\text{опас}}$
	Магнитуда	Период наблюдений, годы				
Камчатка	$M_W \geq 7.6$	1737-2006	14	14	0.16	6.2
Алеутские острова	$M \geq 7.6$	1849-2006	21	18	0.42	2.0
Курильские острова	$M \geq 7.6$	1780-2006	19	17	0.33	2.7
Япония	$M \geq 7.9$	1894-2006	20	17	0.27	3.2

Таблица 3. Долгосрочный прогноз времени, места и магнитуды землетрясений для четырех регионов северо-западной части Тихоокеанского сейсмического пояса на ближайшие 20 лет (12.2006 – 12.2026 гг.)

Регион	Параметры прогноза		
	Магнитуда	Глубина, км	Временной интервал
Алеутские и Курильские острова, Камчатка, Япония	$M \geq 7.6$ (для Японии $M \geq 7.9$)	0-100	XII.2006 – I.2008
Камчатка	$M_w \geq 7.6$	0-100	XI.2014 – VII.2017
Алеутские острова	$M \geq 7.6$	0-100	XI.2012 – VII.2014; XI.2020 – IX. 2023
Курильские острова	$M \geq 7.6$	0-100	VI.2012 – VII.2015
Япония	$M \geq 7.9$	0-100	II.2008 – IV.2010; VI.2024 – XII.2026

Примечание. В период XII.2006 – I.2008 гг. ожидается от одного до пяти землетрясений. На Камчатке вероятность возникновения землетрясений минимальная. Прогноз составлен в предположении, что эпоха минимума очередного цикла Хэйла № 14 соответствует середине второй половины 2007 г. Если эта оценка окажется неверной, прогноз будет скорректирован.

цикла на Солнце одновременно происходят как процессы, связанные с уменьшением солнечной активности в текущем 22-летнем цикле, так и процессы зарождения нового Хэйловского цикла. В этой фазе в наибольшей степени проявляется нестационарность флуктуаций относительных изменений солнечной активности (Витинский, 1973). В это время активные образования на Солнце расположены ближе всего к экватору, поэтому Земля, вращающаяся вокруг Солнца в приэкваториальной зоне, становится «мишенью» для вспышек, которые чаще, чем обычно, являются геоэффективными. По времени этот период совпадает с выделенной по «главным» землетрясениям значимой фазой в цикле Хэйла. Можно предположить, что имеющий планетарную природу сейсмический отклик, длительностью около полутора лет, связан с переломом хода перестройки структуры межпланетного магнитного поля и изменением динамических параметров солнечного ветра.

Второй тип (тип II) сейсмического отклика имеет региональную специфику, так как в каждом регионе выделенные «опасные» окна (рис. 2, 3) приурочены к разным частям фазового квадрата (Φ_1 , Φ_2). При трассировании «опасного» окна существенно повышается расчетное значение скорости V сейсмотектонического движения (Ризниченко, 1985), так как более 90% «главных» землетрясений происходят в периоды «времени тревоги». В это время оба космических ритма действуют таким образом, что по результирующему эффекту это равносильно приложению воздействия в виде суммы и/или произведения двух факторов одного знака, направленных одновременно на увеличение V и, как следствие, магнитуд M землетрясений. И, наоборот, вне «времени тревоги» результирующее воздействие

приводит к уменьшению V и M , так как «главные» землетрясения происходят на 1-2 порядка реже. В определенном смысле хорошей аналогией является ситуация, описанная в известной басне И.А.Крылова о лебеде, раке и щуке, которые не могут сдвинуть повозку, так как тянут ее в разных направлениях.

ВЫВОДЫ

Впервые проведено исследование совместного влияния на возникновение сильных землетрясений 19-летнего лунного прилива и 22-летнего солнечного цикла Хэйла.

По данным землетрясений 1737-2006 гг. для четырех регионов северо-западной части Тихоокеанского сейсмического пояса (Алеутские острова, Камчатка, Курильские острова, Япония) на основе разработанной «методики фазовых траекторий» выявлены статистически значимые «опасные» фазовые окна. В окрестности эпох минимумов циклов Хэйла также выявлен узкий «опасный» фазовый интервал для землетрясений Тихоокеанского пояса с $M \geq 7.6$, который в первой четверти текущего столетия приурочен к периоду октябрь 2006 – январь 2008 гг. В нем ожидается от двух до шести землетрясений с $M \geq 7.6$. Одно из них произошло в районе Курильских островов 15.11.2006 г., $M=8.3$. В указанных «опасных» периодах в совокупности произошло 66 из 74 землетрясений с магнитудой $M \geq 7.6$. В целом, доля «тревожного времени», приходящегося на «опасные» периоды, составляет 29.6%.

Используемый методический подход позволил дать долгосрочный прогноз сильных землетрясений на ближайшие 20 лет для каждого из четырех регионов северо-западной части Тихоокеанского сейсмического пояса. Сделаны оцен-

ки эффективности долгосрочных прогнозов по ретроспективным данным.

Работа выполнена в рамках гранта ДВО РАН 06 III А-08-336.

Список литературы

- Абдурахманов А.А., Фирстов П.П., Широков В.А.* Возможная связь вулканических извержений с 11-летней цикличностью солнечной активности // Бюл. вулканол. станций. 1976. № 52. С. 3-10.
- Альтгаузен Н.М.* О корреляции геомагнитных возмущений и сейсмической активности Земли // Геомагнетизм и аэрономия. 1974. Т. XIV. № 4. С. 698-701.
- Афанасьева В.И.* Геоактивность и ее возможные причины // Геомагнетизм и аэрономия. 1963. Т. III. № 2. С. 385-386.
- Барляева Т.В., Морозова А.Л., Пудовкин М.И.* Влияние космических факторов на развитие землетрясений // Геофизические методы исследований Земли и недр. Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Геофизика-99», Санкт-Петербург, 9-12 ноября 1999 г. М., 2000. С. 8-19.
- Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1965. 464 с.
- Бузевич А.В.* Солнечная активность и сейсмичность на Камчатке // Сборник докладов III международной конференции «Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений», с. Паратунка, 16-21 августа 2004 г. (<http://www.kcs.iks.ru/ikir>).
- Витинский Ю.И.* Цикличность и прогнозы солнечной активности. Л.: Наука, 1973. 257 с.
- Гусев А.А.* Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 109-119.
- Гусев А.А.* Схема очаговых зон сильных землетрясений Камчатки за инструментальный период // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 75-80.
- Гусев А.А., Петухин А.Г.* О возможной синхронизации сильных землетрясений лунным 18.6-летним циклом, его долями и кратными // Вулканология и сейсмология. 1997. № 3. С. 64-79.
- Гусев А.А., Шумилина Л.С.* Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // Физика Земли. 2004. № 3. С. 34-42.
- Кропоткин П.Н.* Возможная роль космических факторов в геотектонике // Геотектоника. 1970. № 2. С. 30-76.
- Кропоткин П.Н., Трапезников Ю.А.* Вариации угловой скорости вращения Земли, колебаний полюса и скорости дрейфа геомагнитного поля и их возможная связь с геотектоническими процессами // Изв. АН СССР. Серия геол. 1963. № 11. С. 32-50.
- Ламакин В.В.* О периодичности байкальских землетрясений // ДАН СССР. 1966. Т. 170. № 2. С. 210-213.
- Мельхиор П.* Земные приливы. М.: Мир, 1975. 484 с.
- Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г.* Изменчивость мирового океана. Л.: Гидрометеопиздат, 1974. 156 с.
- Нестеренко П.П., Стовас М.В.* Изменение гравитационного поля как одна из причин сейсмичности Земли // Геофизика и астрономия. Киев: «Наукова думка», 1963. С. 85-92.
- Пейве А.В.* Тектоника и магматизм // Изв. АН СССР. Серия геол. 1961. № 3. С. 36-54.
- Прибылова Н.Е., Бесстрашнов В.М., Годзиковская А.А.* Принадлежит ли очаг землетрясения 23.11.1899 г. камчатской сейсмоактивной зоне // Вулканология и сейсмология. 2006. № 2. С. 46-54.
- Ризниченко Ю.В.* Избранные труды. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.
- Серафимова Ю.К.* О связи сильных ($M_w \geq 7.5$) землетрясений Камчатки с солнечной активностью // Геофизический мониторинг Камчатки. Материалы научно-технической конференции 17-18 января 2006 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: «Оттиск», 2006. С. 171-177.
- Сытинский А.Д.* Современные тектонические движения как одно из проявлений солнечной активности // Геомагнетизм и аэрономия. 1963. Т. III. № 1. С. 26-43.
- Сытинский А.Д.* О влиянии солнечной активности на сейсмичность Земли // Докл. АН СССР. 1973. Т. 208. № 5. С. 1078-1081.
- Сытинский А.Д.* О зависимости глобальной и региональной сейсмичности Земли от фазы 11-летнего цикла солнечной активности // Докл. АН СССР. 1982. Т. 265. № 6. С. 1350-1353.
- Сытинский А.Д.* О связи землетрясений с солнечной активностью // Физика Земли. 1989. № 2. С. 13-30.
- Сытинский А.Д.* О связи землетрясений с солнечной активностью // Физика Земли. 1991. № 3. С. 110-112.
- Тамразян Г.П.* Некоторые особенности высвобождения сейсмической энергии недр Земли в связи с изменениями приливообразующих и других сил // Пятое совещание по проблемам планетологии. Л., 1965. С. 43-48.
- Усов М.И.* Структурная геология. М.: Геолгеопиздат, 1940. 212 с.

- Широков В.А.* Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западной части Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.: Наука, 1977. С. 103-115.
- Широков В.А.* Влияние 19-летнего лунного прилива на возникновение больших камчатских извержений и землетрясений и их долгосрочный прогноз // Геологические и геофизические данные о Большом Трещинном Толбачинском извержении 1975-1976 гг. М.: Наука, 1978. С. 164-170.
- Широков В.А.* Опыт краткосрочного прогноза времени, места и силы камчатских землетрясений 1996-2000 гг. с магнитудой $M = 6-7.8$ по комплексу сейсмологических данных // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский, 2001. С. 95-116.
- Широков В.А., Широкова Н.В.* О проблемах сейсмического риска и краткосрочного прогноза сильных землетрясений Камчатки // Вопросы географии Камчатки. 2005. № 11. С. 44-55.
- Perrey A.* Comptes Rendus // Des seances de la Academie des sciences. 1853. Vol. XXXVI. № 12. P. 55-61.
- Pines D., Shaham I.* Seismic activity, polar tides and the Chandler wobble // Nature. 1973. Vol. 245. № 5420. P. 77-81.
- Simpson J.F.* Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes // Earth and Planetary Sci. Letters. 1968. Vol. 3. № 5. P. 85-98.
- Stoyko N.* Sur les relation entre la variation de la rotation la oscillation libre et les tremblements de Terre // Compt. Rend. Acad. Sci. 1952. Vol. 234. № 26. P. 60-70.

ON THE RELATIONSHIP OF 19-YEAR LUNAR TIDES AND 22-YEAR SOLAR CYCLES TO STRONG EARTHQUAKES AND A LONG-TERM SEISMIC FORECAST FOR REGIONS OF THE NORTHWEST PART OF THE PACIFIC BELT

V. A. Shirokov¹, Yu. K. Serafimova²

¹ Institute of Volcanology and Seismology of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
9, Piip Blvd., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia

² Kamchatkan Branch, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences
9, Piip Blvd., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia

For the first time a distribution of strong earthquakes was studied on the two-dimensional phase plane. The coordinates of this plane were both the phase of 19-year's lunar tide and the phase of 22-year's magnetic solar cycle. The statistically valid «dangerous» phase windows were discovered on the basis of a devising method by the data of earthquakes 1737-2006 for each of four regions of a north-west part of. The narrow «dangerous» phase range for Pacific belt earthquakes with $M \geq 7.6$ were discovered in the neighborhood of minimum epochs of 22-years's solar cycles. In the first quarter of a current century the «dangerous» period dated to an interval October 2006 - January 2008, in which 2-6 earthquakes with $M \geq 7.6$ are expected. One of them has taken place in Kuril Islands region (15.11.2006, $M=8.3$). In whole, 66 from 74 earthquakes with a magnitude $M \geq 7.6$ were occurred in the «dangerous» intervals. The average alarm time for earthquakes is equal to 29.6 % of all time. According to the new approach a long-term forecast of the strong earthquakes for the 20 years immediately ahead for seismic regions (Aleutian Islands, Kamchatka, Kuril Islands and Japan) was made. The retrospective estimation of long-term forecast efficiency was made.