УДК 550.34

# Омуралиев М., Омуралиева А.

Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

# ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗЕМНОГО ШАРА И ДИНАМИКА ПЛАНЕТАРНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

Аннотация. Изучена последовательность проявления землетрясений земного шара. иерархия планетарных сейсмических циклов. Отмечена Определены функции сейсмических процессов сейсмических циклов. Динамика планетарной сейсмичности Земли выражается совокупностью иерархии сейсмических циклов, предопределена динамикой взаимодействия литосферных плит, влиянием срединно-океанических хребтов, комплексом процессов литосферы, мантии, ядра, геофизических полей Земли и землетрясений факторов. Установлена миграция космических крупных по взаимодействующим активным литосферным плитам. Отмечены вероятные уровни ожидаемой сейсмичности Земли.

Ключевые слова: последовательность землетрясений земного шара, иерархия планетарных сейсмических циклов, функции сейсмических процессов, литосферные плиты, срединно-океанские хребты, мантия, ядро, геофизическое поле Земли, космические факторы, динамика планетарной сейсмичности, ожидаемая сейсмичность Земли.

# ЖЕР ШАРЫНЫН ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮН ЫРААТЫ ЖАНА ПЛАНЕТАРДЫК СЕЙСМИКАНЫН ДИНАМИКАСЫ

Кыскача мазмуну. Жер шарынын жер титирөөлөрдүн пайда болуу ырааты изилденген. Планетардык сейсмиканын циклдеринин иерархиясы белгилденген. Сейсмикалык циклдердеги процесстердин функциясы аныкталган. Жердин планетардык сеймиканын динамикасы сейсмикалык циклдеринин иерархиясынын жыйындары аркылуу кабарланат. Ал литосфералык плиталардын өз ара аракеттенүү динамикасы, орто деңиздик тоолордун таасири, литосферадагы, мантиядагы, ядродогу, геофизикалык талаалардагы жана космостук процесстердин комплекси менен алдын ала аныкталган. Чоң жер титирөөлөрдүн өз ара аракеттенген литосфералык плиталар боюнча миграциялар белгиленген. Жердин күтүлгөн сейсмикалдуулуктун мүмкүндүк деңгээлдери белгиленген.

**Негизги сөздөр:** жер шарынын жер титирөөлөрүнүн ырааты, планетардык сейсмиканын циклдеринин иерархиясы, сейсмикалык процесстердин функциялары, литосфералык плиталар, орто деңиздик тоолор, мантия, ядро, Жердин геофизикалык талаалары, космостук факторлор, планетардык сейсмиканын динамикасы, Жердин күтүлгөн сейсмикалдуугу.

## SEQUENCE OF EARTHQUAKES OF THE EARTH AND DYNAMICS OF PLANETARY SEISMICITY

**Abstract.** Sequence of earthquakes' manifestation in the Earth has been studied. Hierarchy of planetary seismic cycles is noted. Functions of seismic processes of seismic cycles are determined. Dynamics of planetary seismicity of the Earth is expressed by set of the hierarchy of seismic cycles, and predetermined by dynamics of the interaction of lithospheric plates, influence of mid-oceanic ridges, a complex of processes of the lithosphere, mantle, core, geophysical fields of the Earth and cosmic factors. Migration of large earthquakes along interacting active lithospheric plates has been established. The probable levels of the expected seismicity of the Earth are noted.

**Keywords:** sequence of earthquakes of the Earth, hierarchy of planetary seismic cycles, functions of seismic processes, lithospheric plates, mid-oceanic ridges, the mantle, the core, geophysical fields of the Earth, cosmic factors, dynamics of planetary seismicity, expected seismicity of the Earth.

#### Введение

Целью работы является слежение за последовательностью землетрясений земного шара в целом и изучение динамики сейсмических процессов глобальной геодинамики планеты Земля. К данной проблеме приковано внимание многих исследователей мира. При этом важным моментом является то, что Земля самоорганизуется, имеет магнитное и гравитационные поля, атмосферу, материки, океаносферу, биосферу, слои Земли и др., которые взаимодействуют под постоянным воздействием разнообразных космических процессов, в частности, процессов солнечной системы. В недрах Земли по данным сейсмологических волн выделяются земная кора, верхняя (на глубинах около 670 км) и нижняя мантии (670-2900 км), внешнее (2900-5150 км) и внутреннее ядра (5150-6371 км; рисунок 1)) [1]. Земная кора и мантия разделяются границей Мохоровичича, которая находится на глубинах от 75 до 80 км под континентами и на глубинах 3-4 км - под океанами. В верхней мантии на глубинах порядка 410 км выделяется частично расплавленный слой – астеносфера. Выше астеносферы подкоровая мантия и земная кора разделена на плиты литосферу. Литосфера составляют [2]: Тихоокеанская, Антарктическая, Плита Наска, Плита Кокос, Южно - Американская, Карибская, Северо -Американская, Индо - Австралийская, Филиппинская, Евразийская, Африканская, Аравийская (таблица 1, рисунок 2).



Рисунок 1. Внутреннее строение Земли [1].



Рисунок 2. Литосферные плиты: Тихоокеанская, Антарктическая, Наска, Кокос, Южно - Американская, Карибская, Северо - Американская, Индо - Австралийская, Филиппинская, Евразийская, Африканская, Аравийская [2].

№ п.п.	Плиты	Площадь, км <sup>2</sup>		
1.	Австралийская	47 000 000		
2.	Антарктическая	60 900 000		
3.	Аравийская	5 000 000		
4.	Африканская	61 300 000		
5.	Евразийская	67 800 000		
6.	Индостанская	11 900 000		
7.	Кокос	2 900 000		
8.	Наска	15 600 000		
9.	Тихоокеанская	103 300 000		
10.	Северо-Американская	75 900 000		
11.	Сомалийская	16 700 000		
12.	Южно-Американская	43 600 000		
13.	Филиппинская	5 500 000		

Таблица 1. Площади крупнейших литосферных плит [3].

Различают дивергентные, конвергентные и трансформные границы плит (рисунок 3) [4]. В пределах границы океанической плиты Наска и Южно - Американской континентальной плиты, океанической Тихоокеанской и Индо - Австралийской континентальной, океанической Тихоокеанской и Евразийской континентальной плиты океаническая плита субдуцирует (пододвигается) под континентальную плиту и



погружается в астеносферы. На окраинах континентальной плиты проявляется андезитовый вулканизм.

Рисунок 3. Границы литосферных плит: дивергентная, конвергентная, трансформная [4].

пределах конвергентных границ Африканской, Аравийской, B Индо Австралийской плит (с юга) и Евразийской плиты (с севера) погружаются (субдуцируются) континентальные плиты. Дивергентные границы с обшей протяжённостью около 80 000 км проявляются в срединно-океанических хребтах (шириной до двух тысяч километров) Тихоокеанской плиты: между Антарктической и Индо - Австралийской плитами, Африканской и Южно - Американской плитами, Евразийской и Севере – Американской плитами. В осевой части срединно-океанического хребта образована рифтовая долина (шириной порядка 10 - 20 км). Отмечены четыре активные зоны спрединга: в Атлантическом, Арктическом, Индийском и Тихом океанах [5], в которых определена скорость процесса раздвигания (таблица 2).

Тихий океан			Атлан	нтический	і океан	Индийский океан		
Широта,	Долгота,	Скорость	Широта,	Долгота,	Скорость	Широта,	Долгота,	Скорость
градус	градус		градус	градус		градус	градус	
48 с.ш.	127 з.д.	2.9	28 с.ш.	44 в.д.	1.25	19 с.ш.	40 в.д.	1.0
17 ю.ш.	113	6.0	22	45	1.4	13	50	1.0
40	112	5.1	25 ю.ш.	13	2.25	7	60	1.5
45	112	4.7	28	13	1.95	5	62	1.5
48	113	4.9	30	14	2.0	22 ю.ш.	69	2.2
51	117	3.9	38	17	2.0	30	76	2.4
58	149	3.9	41	18	1.65			
58	149	3.7	47	14	1.60			
60	150	4.0	50	8	1.53			
63	167	2.3						

Таблица 2. Скорость спрединга океанического дна, см/год

65	170	2.0				
65	174	2.8				
	средн	ee 3.85	средн	ee 1.74	среди	Hee 1.6

Трансформные границы расположены поперёк дивергентных границ и разделяют их на сегменты. В 50-х годах при геофизическом изучении Тихого, Атлантического и Индийского океанов обнаружены линейные (полосовые) магнитные аномалии. параллельные осям срединных океанических хребтов и расположенные симметрично по отношению к ним [5-7]. Принято считать, что причиной происхождения полосовых магнитных аномалий является процесс рождения океанической коры в зонах спрединга срединно-океанических хребтов, где излившиеся базальты (толеитовые) приобретают остаточную намагниченность. Установлено, что излившиеся базальты образуют полосы с различным направлением намагниченности (нормальная - прямая и обратная полярности): прямым (совпадают с современным направлением магнитного поля) и обратным (рисунок 4). На основе определения возраста океанической коры методом абсолютного датирования и по палеонтологическим останкам построена геомагнитная шкала для последних 79 млн. лет (от мелового периода по настоящее время). При этом ширина полос была различная, число смены инверсии магнитного поля составляло около 171 раза. Современные базальты проявились в пределах срединно-океанического хребта, а более древние базальты находятся на окраинных океанических частях в пределах зоны субдукции (рисунок 5).



Рисунок 4. Полосовые магнитные аномалии на дне океана (с нормальной и обратной полярностями), расположенные симметрично срединно-океаническому хребту, формированные поэтапно: а - раннем, b и с – последующих этапах [8].

Соответственно, океаническая плита, по мере излияния базальтов мантии дивергентной зоны, перемещалась по астеносфере к зоне субдукции (рисунок 6). Перемещение плиты на поверхности земного шара предполагает вращение плиты на сферической поверхности [10]. При этом Земля в целом вращается с запада на восток, а её внешнее ядро - с востока на запад. Следовательно, можно сказать что, образование плит, их перемещение обусловлены процессами в мантии, которые взаимосвязаны с процессами в ядре Земли.



Age of Oceanic Lithosphere [m.y.]

Рисунок 5. Возраст океанических плит [9].



Рисунок 6. Направления движения литосферных плит [11].

Магнитное поле Земли образуется как гидромагнитное динамо в ядре через движение электрически проводящих жидкостей от нижних его частей с температурой около 5730 °C вверх до мантии с температурой порядка 3530 °C (рисунок 7) [12]. Гидромагнитное динамо Земли представляется своего рода автоколебательной системой [13]. Для магнитного поля характерны циклические колебания с разными периодами.



Рисунок 7. Модель генерации магнитного поля Земли во внешнем ядре, основанной на теории гидромагнитного динамо [12].

Скорость современного горизонтального движения литосферных плит составляет от 1 см/год до 6 см/год. Скорость раздвигания плит от Срединно-Атлантического хребта составляет 2.3 см/год (северной части) и 4 см/год (южной части); от Восточно-Тихоокеанского хребта – до 18 см/год.

Взаимодействие литосферных плит, мантии, ядра Земли и её геофизических полей (гравитационных, магнитных, электрических, тепловых и др.) выражено в проявлении землетрясений. Землетрясения приурочены, главным образом, к зонам в пределах границ плит (рисунок 8).



Рисунок 8. Распределение землетрясений земного шара, основная часть которых приурочена к границам литосферных плит [14].

В зонах субдукции гипоцентры землетрясений образуют наклонную сейсмофокальную зону [15-19], протягивающуюся до глубины 700 км в верхнюю мантию. Параметры зон субдукции приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. Значения длины и скоростей зоны субдукции [20].

Ν	Область	Поддвигание	Длина зоны,	Скорость субдукции,
п.п.		литосферных плит	L (км)	V (мм/год)
1.	Курилы, Камчатка,	Тихоокеанская под	2800	75
	Хонсю	Евразийскую		
2.	О-ва Тонга и	Тихоокеанская под	3000	82
	Кермадек, Новая	Индийскую		
	Зеландия			
3.	Центральная	Кокос под Северо-	2800	95
	Америка и Мексика	Американскую		
4.	Алеутские о-ва	Тихоокеанская под	3800	35
		Север-Американскую		
5.	Ява, Суматра,	Индийская под	5700	67
	Бирма	Евразийскую		
6.	Южные Сандвичевы	Южно-Американская	650	19
	о-ва	под Скоша		
7.	Карибское море	Южно-Американская	1350	5
		под Карибскую		
8.	Эгейское море	Африканская под	1550	27
		Европейскую		
9.	Соломоновы о-ва,	Индийская под	2750	87
	Новые Гибриды	Тихоокеанскую		
10.	О-ва Бонин и	Тихоокеанская под	4450	12
	Марианские	Филиппинскую		
11.	Иран	Аравийская под	2250	45
		Евразийскую		
12.	Индия	Индийская под	2700 [22]	55
		Евразийскую		

Таблица 4. Значения длины и скоростей зоны субдукции [21], [22].

N⁰	Зона	Длина островной	Скорость	Возраст коры	$T_1-T_2=\tau$
п.п.	субдукции	дуги над зоной	субдукции	погружающейся	млн. лет
		субдукции, L, км	V, см/год	плиты/номер	тому
				линейных	назад
				магнитных	
				аномалий в ней	
1.	Восточно-	1625	5.8-6.4	палеоцен-эоцен	54 - 43=
	Алеутская			/ 18-24	11
2.	Западно-	1000	7.7	палеоцен-эоцен	59 - 45=
	Алеутская			/ 20-26	14
3.	Северо-	1125	8.3	ранний - поздний	119 - 67=
	Курильско-			мел	52
	Камчатская			/ <b>30-M</b> 0	
4.	Южно-	950	9.5	ранний мел	128 - 123=
	Курильская			/ M1-M5	5

5.	Японская (северная часть)	1700	9.5-10.3	ранний мел / M5-M16	145 - 128 =13
6.	Японская (южная часть)	875	6.2	палеоцен- средний миоцен / 6-22	51 - 20 = 31
7.	Рюкю	1100	5.2-6.5	палеоцен - эоцен / 18-21	49 - 43 = 6
8.	Филиппинская (южная часть)	1000	7.0-9.3	палеоцен - эоцен / 18-22	51 - 43 = 8
9.	Идзу- Бонинская	1380	4.7-7.7	поздняя юра - ранний мел / M5- M21	154 - 128 = 26
10.	Марианская	3000	3.1-3.8	поздняя юра / M21- M32	169 - 154= 15
11.	Западно- Зондская	3000	6.0-6.7	ранний мел - эоцен / 20-М4	128-45= 83
12.	Восточно- Зондская	2250	7.6-8.0	поздняя юра / М16- М26	163-145 = 18
13.	Новая Британия и Соломоновы о -ва	2400	10.3	палеоцен - плиоцен / 2 - 26	59 – 2 = 57
14.	Новые Гебриды	2000	8.5	эоцен – средний миоцен / 9-23	53 - 30 = 23
15.	Тонга - Кермадек	3250	5.5-9.3	поздняя юра – ранний мел / M0-M16	145 - 119 = 26
16.	Анды	9000	7.4-15.4	эоцен – средний миоцен / 5-22	51 - 10 = 41
17.	Центральная Америка и Мексика	3125	6	Средний миоцен – четвертичный /1-6	20-1=19

Каталог исторических землетрясений земного шара неоднородный. Данные о землетрясениях в ранний период наблюдения были описательными, и произведены в разных странах мира (Китай, Япония, Португалия и др.). В дальнейшем, по мере появления (XVIII век) сейсмографов в отдельных странах Европы, США, Японии и др., получены редкие инструментальные данные. В последние десятилетия XX века построены глобальная и региональные сети в отдельных странах: США, Россия, Европа, Япония, Китай, Турция и др. В 1964 г. сформирован Международный сейсмологический центр (ISC) [23], где обрабатываются данные всех сетей сейсмических станций мира. Кроме того, едиными сетями России, Японии и других стран, входящих в ISC, составлены каталоги землетрясений земного шара за 1900-1959 гг., 1960-1969 гг., 2010-2020 гг.

Распределение землетрясений на земном шаре впервые рассмотрели Гутенберг Б., Рихтер Ч. [24]. Они выделили зоны сейсмичности Земли, которые в определённом приближении, совпадают с границами литосферных плит, описанными в 60-годы. Рихтер Ч. [25] так же отметил миграцию сильных землетрясений в отдельных зонах сейсмичности, например, в Анатолийском разломе Турции. По данным землетрясений на всём земном шаре за 1904-1952 гг. была изучена [26] связь магнитуды (М ≥ 6.0) и среднегодового числа землетрясений и выведена эмпирическая формула повторяемости событий:

$$lgN = 0.48 + 0.9(8 - M), \tag{1}$$

где N-средняя годовая частота землетрясений определённого района за рассматриваемый период времени, М – класс магнитуды (по Рихтеру) в интервале  $\pm \Delta M$ . Здесь величина 1/N представляет собой осреднённый промежуток времени (обозначим время Гутенберга-Рихтера - проявления отдельно взятого класса магнитуды М  $\pm \Delta M$ , как TGR). Соответственно, при этом предполагалось, что величина TGR в каждом классе М  $\pm \Delta M$  постоянная. В дальнейшем многие исследователи обратили внимание на величину периодичности землетрясений, промежуток времени между землетрясениями оказался переменным. Аки [27] приводил периодичность: 42 мин, 1 сут., 14.8 сут., 29.6 сут., 6 мес., 1 год, 11 лет, 100 лет, 200 лет, 240 лет, 284 года и т.д. Федотов С.А. [28] по данным проявления сильных сейсмособытий на Камчатке, Курильских островах и северовосточной Японии, отметил сейсмический цикл е продолжительностью 140  $\pm$  60 лет. Кавасуми [29], проводя Фурье-анализ для районов Токио и Южного Канто, выделил 69 ( $\pm$  13)-летний цикл.

На основе Фурье-анализа значительных землетрясений Тянь-Шаня и приграничных районов Памира и Тарима [30] отмечено, что сходимость эмпирических и расчётных временных рядов землетрясений можно достичь большим числом (около 100) гармонических составляющих. При этом не вызывается «белый шум», предупреждённый Рикитаке [31]. Выбор нескольких (ограниченных) доминирующих периодов на спектральной функции, тем более единичного периода, недостаточен для описания распределения землетрясений. В результате фрактального анализа сейсмичности Тянь-Шаня [32] установлено, что сейсмические процессы могут быть отнесены к процессу, обладающему «положительной» памятью, где фрактальные параметры 2 < d  $\leq$  3 ( $0 \leq \mu < 0.5$ ,  $0.5 < H \leq 1$ ), и к процессу, обладающему «отрицательной» памятью, где  $1 \leq d < 2$  ( $0.5 < \mu \leq 1$ ,  $0 \leq H < 0.5$ ). Соотношение параметров землетрясений и сейсмичности имеет дробно–фрактальную размерность. Следует напомнить, что к процессам с памятью свойственны сейсмические циклы.

Важно отметить, что Shimazaki [33] и Касахара [34] динамику проявления землетрясений и их повторяемость связывали со «ступенчатыми» изменениями деформаций и напряжений (статическим, динамо-кинематическим) в окрестностях разлома. На основании данных смещения поверхности отмечены сейсмические циклы и в каждом из них выделены косейсмическая, предсейсмическая, постсейсмическая и межсейсмическая подвижки [34]. Эти выводы стали фундаментальным результатом для изучения сейсмических процессов.

Величина подвижки (U) по разлому землетрясения связана с другими фундаментальными физическими параметрами по формуле [35]:

$$Mo = \mu U A, \qquad (2)$$

где Мо – сейсмический момент (дин· см), μ - жёсткость среды (дин/см<sup>2</sup>), А - площадь разлома. Брюн [36] предложил метод определения скорости сдвига вдоль разлома на основе данных каждого отдельного землетрясения за определённый период времени. Так, по сейсмичности в Империал-Фэлли (в разломе Сан-Андреас) за 1934-1963 гг. (29 лет) суммарный сейсмический момент составил 7.4·10<sup>26</sup> дин·см.

Значение суммарного сдвига *U*=93 см определяется по формуле:

$$\sum U = \sum Mo/\mu Ao,$$
 (3)

где Мо – сейсмический момент (дин· см),  $\mu$  - жёсткость среды (принято 3.3·10<sup>11</sup>дин/см<sup>2</sup>), Ао - площадь разлома в пределах Империал-Фэлли (около 2.4х10<sup>13</sup> см<sup>2</sup>). Скорость сдвига составляет 93/29 =2.3 см/год.

Аналогичные расчёты проведены для ряда зон разломов Земли: Малый разлом Сан-Андреас - 6.6 см/год, Новая Зеландия - 7.2 см/год, Анатолийский разлом -11 см/год, Япония -15.7 см/год, Алеутские острова -3.8 см/год и т.д.

Взаимосвязь сейсмического момента, магнитуды землетрясения, сейсмической энергии, напряжения (Δσ) и жёсткости (μ) охвачена формулой Канамори [37]:

$$Mw = (lgMo/1.5)-10.7, (4)$$

где Мо – сейсмический момент (дин· см), Мw- моментная магнитуда при значении отношения напряжения, жёсткость  $\Delta \sigma/\mu = 1/(2*10^4)$ , величина сейсмической энергии Е около Мо/(2\*10<sup>4</sup>).

В распределении землетрясений земного шара отмечена миграция сейсмичности вдоль зоны субдукции Тихого океана [38], [39]. Так, с 1940 г. по 1960 г. (до Чилийского самого крупного землетрясения) наблюдалась миграция сейсмичности по часовой стрелке- от Новой Зеландии до Южной Америки, а с 1965 г. по 1995 г. – миграция сейсмичности проходила против часовой стрелки - от Южной Америки до Новой Зеландии.

В изменении сейсмической энергии землетрясений на земном шаре за период 1690-2002 гг. и солнечной активности отмечается почти 100-летней цикл [40]. В сейсмическом режиме Земли за промежуток 1965-2010 гг. отмечены [41] период сейсмического затишья- 1982-1993 гг., и период наступления сейсмической активизации - с 1993 г. А.В. Викулин [42], обобщив имеющиеся данные по сейсмологии и геодинамике литосферных плит, основал «физику волнового сейсмического процесса» и построил волновую ротационную модель сейсмического процесса Земли. На основе слежения за динамикой сейсмичности Земли и её частей с 2013 года были проведены опыты определения уровней сейсмичности [43-46].

Методика и результаты исследований. Исходными данными является каталог землетрясений земного шара, составленный Международным сейсмологическим центром (ISC) [23] и системы литосферных плит, зон субдукции и срединно-океанических хребтов, связанные с мантией и ядром планеты Земля (см. рисунки 1-8, таблицы 1-4).

Тихоокеанская литосферная плита взаимодействует с семью плитами (рисунок 2): на юге - с Антарктической, на востоке – Наска и Кокос (через зоны срединноокеанического хребта, ассоциированные трансформными разломами); северо-востоке – Северо - Американской, северо-западе - Евразийской, востоке - Филиппинской, юговостоке – Индо - Австралийской (через зону субдукции). Отношение длин сегментов, ограничивающих плиты срединно-океанического хребта (Д-дивергенция) и зоны субдукции (К- конвергенция) составляет около Д/К=0.57.

Плита Наска взаимодействует с четырьмя литосферными плитами: на западе – с Тихоокеанской, севере - Кокос, юге - Антарктической (через зоны срединноокеанического хребта, ассоциированные трансформными разломами), востоке - Южно-Американской (через зону субдукции, где она погружается в восточном направлении). Отношение длин ограничивающих плит сегментов срединно-океанического хребта (Д) и зоны субдукции (К) составляет около Д/К=1.22.

Плита Кокос взаимодействует с пятью литосферными плитами: с запада -Тихоокеанской), юга - Наска (через зоны срединно-океанического хребта, ассоциированные трансформными разломами), востока – Южно - Американской, севера - Карибской, Северо - Американской (через зону субдукции, где она погружается в восточном и северо-восточном направлении). Отношение длин ограничивающих плит сегментов срединно-океанского хребта (Д) и зоны субдукции (К) составляет около Д/К=1.12.

Американская литосферная плита взаимодействует с Северо пятью литосферными плитами: на западе – с Тихоокеанской, юга-западе - Кокос (через висячие крылья субдукции), юге - Карибской, юго-востоке - Африканской, востоке - Евразийской срединно-океанического хребта, ассоциированные (через зоны трансформными Данная плита имеет моновергентное строение. Отношение длин разломами). ограничивающих плит сегментов срединно-океанического хребта (Д) и зоны субдукции (К) составляет около Д/К=2.25.

Южно - Американская литосферная плита взаимодействует с пятью плитами: с запада - Наска, запада - Кокос, севера – Карибской, юга - Антарктической (через висячие крылья зоны субдукции), востока - Африканской (через зоны срединно-океанического хребта, ассоциированные трансформными разломами). Данная литосферная плита имеет моновергентное строение. Отношение длин ограничивающих плит сегментов срединно-океанического хребта (Д) и зоны субдукции (К) составляет около Д/К=0.38.

Карибская литосферная плита взаимодействует с тремя плитами: с юга - Южно-Американской (через зону субдукции), юга-запада - Кокос (через висячее крыло субдукции), севера - Северо-Американской (через зоны срединно-океанического хребта). Отношение длин ограничивающих плит сегментов срединно-океанического хребта (Д) и зоны субдукции (К) составляет около Д/К= 0.57.

Филиппинская литосферная плита взаимодействует с двумя плитами: с востока – Тихокеанской (через висячее крыло субдукции, находящаяся под влиянием Тихоокеанского срединно-океанического хребта), запада - Евразийской (через зону субдукции, где она погружается в западном направлении).

Антарктическая литосферная плита взаимодействует с пятью плитами: с севера – Тихоокеанской и Наска (через зоны срединно-океанического хребта), Южно-Американской (через зону субдукции), Африканской, Индо-Австралийской (через зоны срединно-океанического хребта). Отношение длин ограничивающих плит сегментов срединно-океанического хребта (Д) и зоны субдукции (К) составляет около Д/К=1.75.

Индо-Австралийская литосферная плита взаимодействует с пятью плитами: с востока и северо-востока – Тихоокеанской и Евразийской (через висячее крыло субдукции, где она погружается в северном и северо-восточном направлении); северозапада - Аравийской (через зону субдукции, где она погружается в северо-западном направлении); запада – Африканской и юга - Антарктической (через зоны срединноокеанического хребта. Отношение длин ограничивающих плит сегментов срединноокеанического хребта (Д) и зоны субдукции (К) составляет около Д/К=0.44.

Африканская литосферная плита взаимодействует с шестью плитами: с северовостока - Аравийской, востока - Индо-Австралийской, юга - Антарктической, запада -Южно-Американской и северо-запада - Северо-Американской (через зоны срединноокеанического хребта); севера - Евразийской (через зону субдукции). Отношение длин ограничивающих плит сегментов срединно-океанического хребта (Д) и зоны субдукции (К) составляет около Д/К=3.80.

Аравийская литосферная плита взаимодействует с тремя плитами: юго-запада -Африканской (зоной спрединга), - Евразийской, юго-востока - Индо-Австралийской (через зону субдукции). Отношение длин ограничивающих плит сегментов срединноокеанического хребта (Д) и зоны субдукции (К) составляет около Д/К=1.0.

Евразийская литосферная плита взаимодействует с шестью плитами: с востока -Тихоокеанской, востока - Филиппинской, юга - Индо-Австралийской, юга – Аравийской и Африканской (через висячие крылья субдукции) и Северо-Американской (через зоны срединно-океанического хребта). Данная плита на юго-восточной части сужена, сжата между встречными зонами субдукции, где Индо-Австралийская плита погружается в восточном направлении, а Филиппинская плита - в западном. Отношение длин ограничивающих плит сегментов срединно-океанического хребта (Д) и зон субдукции (К) составляет около Д/К=0.87.

Важно отметить, что в историческое время самые сильные землетрясения, как Чили (Mw =9.5) и Суматра (Mw=9.1), произошли в 1960 г. и 2004 г. в зонах субдукции, где взаимодействуют литосферные плиты: Наска, Южная Америка и Индо-Австралийская, Евразийская, соответственно. При землетрясении Чили зона разрыва имела длину около 800 км и состояла из 27 разломов. Средняя подвижка по разломам составляло порядка 11 м. Сейсмический момент имел значение Mo=2.5 ·10<sup>30</sup> дин·см. Гипоцентр находился на глубине около 33 км. При землетрясении Суматра зона разрыва имела длину приблизительно 1600 км и состояла из двух сегментов: юго-восточный и северо-западный. Сначала образовался юго-восточный сегмент, после - северо-западный сегмент. Величина подвижки по разломам составляла около 15 м. Сейсмический момент имел значение Mo=8.8 ·10<sup>27</sup> дин·см. Гипоцентр находился на глубине около 30 км.

Рассмотрим последовательность проявления землетрясений земного шара за период 1950-2019 гг. Следует отметить, что в последние годы, после 2000 г., в каталог событий начали включаться землетрясения с Мw < 7.0 большинства районов, с малым исключением. Последовательность событий прослеживалась в суточном, месячном и годовом масштабах времени, где выделялась иерархия планетарных сейсмических циклов. Циклы имели нелинейный характер. В каждом из них проявляются фазы - период активизации, пик активизации, период спада активизации, период затишья. Цикл, например, четвёртого порядка выделяется по пикам циклов пятого порядка, цикл третьего порядка, цикл первого порядка – по пикам циклов второго порядка. На рисунке 9 приведён график распределения во времени землетрясений с Мw ≥ 5.0.



Рисунок 9. Последовательность землетрясений (Мw ≥ 5.0) земного шара за 1950-2019 гг. и проявление иерархии планетарных сейсмических циклов. Цикл четвёртого порядка обозначен сплошной кривой линией, цикл третьего порядка- пунктирной линией с точкой,

цикл второго порядка - точечной линией, цикл первого порядка (фрагмент) – пунктирной линией.

Пики сейсмических циклов четвёртого порядка в последовательности землетрясений земного шара за 1950-2019 гг., проявленные при взаимодействии литосферных плит и влиянии срединно-океанических хребтов, приведены в таблице 5. Продолжительность (период) циклов четвёртого порядка составляет 0.95 – 8.16 лет.

Таблица 5. Пики сейсмических циклов четвёртого порядка в последовательности землетрясений земного шара за 1950-2019 гг., проявленные при взаимодействии литосферных плит и влиянии срединно-океанических хребтов, обусловленных комплексом процессов литосферы, мантии, ядра, геофизических полей Земли, а также космическими факторами.

						Взаимодей	Срединно-
н		-			<b>F</b> 1	-ствие	океанический
Дата	Широта	Долгота	Mw	Год	География	литосферн	xpeber (COX)
1052 11 04	52.76	160.06	0.0	1052.86	Kanuatra	ых плит	Тихоокериский
1952.11.04	32.70	2.51	9.0	1952.80	Пори	HC IOA	Тихооксанский
1934.03.29	57.05	-5.51	1.9	1904.33			Тихоокеанский
1957.03.09	51.50	-1/5.39	8.0	1957.25	Аляска	ТО-СА	Тихоокеанский
1959.05.04	53.37	159.66	8.0	1969.39	Камчатка	IO-EA	Тихоокеанскии
1960.05.22	-38.24	-73.05	9.5	1960.44	Чили	НС-ЮА	Тихоокеанскии
1963.02.13	24.35	122.06	7.3	1963.19	Тайвань	ТО-ЕА	Тихоокеанский
1964.03.28	61.02	-147.65	9.2	1964.30	Аляска	TO-CA	Тихоокеанский
1965.01.24	-2.456	125.965	8.2	1965.14	Индонезия	TO-EA	Тихоокеанский
1965.02.04	51.21	-178.5	8.7	1965.16	Аляска	TO-CA	Тихоокеанский
1966.03.12	24.24	122.67	8.0	1966.26	Тайвань	TO-EA	Тихоокеанский
1966.10.17	-10.7	-78.7	8.1	1966.81	Перу	НС-ЮА	Тихоокеанский
1966.12.28	-26.51	-70.74	8.1	1966.99	Чили	НС-ЮА	Тихоокеанский
1967.07.22	40.67	30.69	7.2	1967.59	Турция	EA-AP	Средиземном.
1968.03.16	40.90	143.35	8.3	1968.42	Япония	TO-EA	Тихоокеанский
1969.02.28	36.017	-10.950	7.8	1969.23	Португалия	ΕΑ-ΑΦ	Средиземном.
1970.05.31	-9.25	-78.84	7.9	1970.31	Перу	НС-ЮА	Тихоокеанский
1970.07.31	-1.49	-72.56	8.0	1970.31	Колумбия	КС-ЮА	Тихоокеанский
1971.07.08	-32.511	-71.207	7.5	1971.56	Чили	НС-ЮА	Тихоокеанский
1974.10.03	-12.25	-77.52	8.1	1974.78	Перу	НС-ЮА	Тихоокеанский
1976.08.17	6.3	124.0	8.0	1976.66	Филиппины	TO-EA	Тихоокеанский
1979.12.12	1.599	-79.358	8.2	1979.95	Колумбия	КС-ЮА	Тихоокеанский
1980.10.10	36.195	1.354	7.7	1980.79	Алжир	ΕΑ-ΑΦ	Средиземном.
1983.11.30	-6.58	72.11	7.7	1983.92	США	TO-CA	Тихоокеанский
1986.05.07	51.56	-174.81	8.0	1986.40	Аляска	TO-CA	Тихоокеанский
1987.11.30	58.84	-142.6	7.9	1987.92	Аляска	TO-CA	Тихоокеанский
1989.10.17	37.14	-121.76	6.9	1989.91	США	TO-CA	Тихоокеанский
1990.07.16	15.6	121.2	7.9	1990.58	Филиппины	TO-EA	Тихоокеанский
1992.09.02	11.27	-87.35	7.7	1992.69	Никарагуа	КС-СА	Тихоокеанский
1994.02.15	-4.967	-104.302	8.2	1994.56	Суматра	ИА-ЕА	Индо-Австра-
							лийский,
							Тихоокеанский
1994.07.09	-11.86	-67.49	8.2	1994.56	Боливия	НС-ЮА	Тихоокеанский
1994.09.01	43.706	147.328	8.2	1994.78	Курилы	TO-EA	Тихоокеанский

1995.01.17	34.57	135.03	6.9	1995.12	Япония	TO-EA	Тихоокеанский
1995.10.09	15.055	-104.205	8.0	1995.79	Мексика	КС-СА	Тихоокеанский
1999.09.20	23.82	120.86	7.7	1999.74	Тайвань	TO-EA	Тихоокеанский
2000.06.04	4.72	102.08	7.9	2000.47	Индонезия	TO-EA	Тихоокеанский
2001.06.23	-16.265	-73.641	8.4	2001.52	Перу	НС-ЮА	Тихоокеанский
2002.08.19	-21.626	-179.513	7.7	2002.66	Чили	НС-ЮА	Тихоокеанский
2003.09.25	41.815	143.910	8.3	2003.76	Япония	TO-EA	Тихоокеанский
2004.09.05	33.216	137.061	7.4	2004.70	Япония	TO-EA	Тихоокеанский
2004.12.26	3.316	95.854	9.1	2004.99	Суматра	ИА-ЕА	Индо-Австра-
							лийский,
							Тихоокеанский
2006.11.15	46.607	153.130	8.3	2006.88	Курилы	TO-EA	Тихоокеанский
2007.09.12	-4.520	101.374	8.5	2007.72	Суматра	ИА-ЕА	Индо-Австра-
							лийский,
							Тихоокеанский
2009.01.03	-0.408	132.856	7.7	2009.08	Индонезия	TO-EA	Тихоокеанский
2009.09.29	-15.509	172.034	8.1	2009.76	Тонга		
2010.02.27	-35.909	-72.733	8.8	2010.22	Чили	НС-ЮА	Тихоокеанский
2010.10.25	-3.484	100.114	7.7	2010.83	Индонезия	TO-EA	Тихоокеанский
2011.03.11	38.297	142.372	9.0	2011.26	Япония	TO-EA	Тихоокеанский
2011.10.21	-28.998	-176.183	7.4	2011.82	Новая	TO-EA	Тихоокеанский
					Зеландия		
2012.04.11	2.311	93.063	8.7	2012.33	Суматра	ИА-ЕА	Индо-Австра-
							лийский,
							Тихоокеанский
2013.05.24	54.874	153.28	8.3	2013.45	Охотское	TO-EA	Тихоокеанский
					море		
2014.01.04	-19.642	-70.817	8.2	2014.31	Чили	НС-ЮА	Тихоокеанский
2015.09.16	-31.57	-71.65	8.3	2015.73	Чили	НС-ЮА	Тихоокеанский
2016.12.08	-10.68	161.33	7.8	2016.94	Соломоно	ТО-ИА	Индо-Австра-
					вы острова		лийский,
							Тихоокеанский
2017.01.22	-6.21	155.12	7.9	2017.13	Новая	ТО-ИА	Индо-Австра-
					Гвинея		лийский,
							Тихоокеанский
2017.09.08	15.02	-93.90	8.2	2017.71	Мексика	КС-СА	Тихоокеанский
2018.01.23	56.05	-149.07	7.9	2018.14	Аляска	TO-CA	Тихоокеанский
2018.08.19	-18.18	-178.11	8.2	2018.66	Фиджи	ТО-ИА	Индо-Австра-
							лийский,
							Тихоокеанский

Примечание: литосферные плиты: ТО - Тихоокеанская, ЕА-Евразийская, СА-Северо-Американская, ЮА-Южно-Американская, НС-Наска, КС-Кокос, ИА-Индо-Австралийская, АФ – Африканская, АР - Аравийская.

Пики сейсмических циклов третьего порядка в последовательности землетрясений земного шара, проявленные при взаимодействии литосферных плит и влиянии срединноокеанических хребтов, приведены в таблице 6. Продолжительность (период) циклов третьего порядка составляет 3.46 - 14.61 год. Таблица 6. Пики сейсмических циклов третьего порядка в последовательности землетрясений земного шара, где выделяется цикл второго порядка при взаимодействии литосферных плит и влиянии срединно-океанических хребтов, обусловленных комплексом процессов литосферы, мантии, ядра, геофизических полей Земли, а также космическими факторами.

						Взаимо-	Влияние
						действие	срединно-
Дата	Широта	Долгота	Mw	Год	Геогра	литос	океанического
					фия	ферных	хребта
						ПЛИТ	
1960.05.22	-38.24	-73.05	9.5	1960.44	Чили	НС-ЮА	Тихоокеанский
1964.03.28	61.02	-147.65	9.2	1964.30	Аляска	TO-CA	Тихоокеанский
1968.05.16	40.92	143.36	8.3	1968.42	Япония	TO-EA	Тихоокеанский
1979.12.12	1.599	-79.358	8.2	1979.95	Колумбия	КС-ЮА	Тихоокеанский
1994.02.15	-4.967	-104.302	8.2	1994.56	Суматра	ИА-ЕА	Индо-Австра-
							лийский,
							Тихоокеанский
1994.09.01	43.706	147.328	8.2	1994.78	Курилы	TO-EA	Тихоокеанский
2001.06.23	-16.265	-73.641	8.4	2001.52	Перу	НС-ЮА	Тихоокеанский
2004.12.26	3.316	95.854	9.1	2004.99	Суматра	ИА-ЕА	Индо-Австра-
							лийский,
							Тихоокеанский

Примечание: литосферные плиты: ТО - Тихоокеанская, ЕА-Евразийская, СА-Северо-Американская, ЮА-Южно-Американская, НС-Наска, КС-Кокос, ИА-Индо-Австралийская.

Как видно из таблицы 6, 22.05.1960 г. проявился пик планетарного сейсмического цикла второго порядка - произошло землетрясение Чили с Мw=9.5 при взаимодействии литосферных плит Наска, Южно - Американской и влиянии трёх сегментов Тихоокеанского срединно-океанического хребта. В дальнейшем отмечался период спада сейсмической активизации и 28.03.1964 г. произошло землетрясение Аляска с Мw=9.2 при взаимодействии литосферных плит Тихоокеанской, Северо - Американской и влиянии Тихоокеанского срединно-океанического хребта. 06.05.1968 г. произошло землетрясение Японии с Мw=8.3 при взаимодействии литосферных плит Тихоокеанской, Евразийской и влиянии Тихоокеанского срединно-океанического хребта. С этого времени на земном шаре в сейсмическом цикле второго порядка наступил период сейсмического затишья.

В 12.12.1979 г. произошло землетрясение Колумбия с Мw=8.2 при взаимодействии литосферных плит Кокос, Южно - Американской; 15.02.1994 г. - землетрясение Суматра с Мw = 8.2 при взаимодействии литосферных плит Индо-Австралийской, Евразийской и срединно-океанических хребтов Индо-Австралийского, Тихоокеанского; 01.09.1994 г. - землетрясение Курилы при взаимодействии литосферных плит Тихоокеанской, Евразийской. С 23.06.2001 г. наступил период сейсмической активизации, проявилось землетрясение Перу с Мw=8.4 при взаимодействии литосферных плит Наска, Южно-Американской, влиянии Тихоокеанского срединно-океанического хребта. 26.12.2004 г. на пике сейсмической активизации произошло землетрясение Суматра с Мw=9.1 при взаимодействии литосферных плитосферных с 1960.44 г. по 2004. 99 г. составляла 44.55 год, а длительность периода затишья с 1965.339 г. по 2001.836 г. – 36.497 лет. Пиками сейсмического цикла второго порядка являются землетрясения Чили с Mw=9.5 и Суматра

с Mw=9.1, по которым отмечается фрагмент планетарного сейсмического цикла первого порядка. Сейсмичность цикла первого порядка с 2004 г. находится в периоде затишья. График изменения моментной магнитуды цикла второго порядка показан на рисунке 10.



Рисунок 10. График изменения моментной магнитуды Мw планетарного сейсмического цикла второго порядка за 1960.44 – 2004.99 гг.

Тренд графика изменения Мw сейсмического цикла второго порядка выражается полиномом пятой степени:

$$Mw = 5E - 07x^5 - 5E - 05x^4 + 0.0015x^3 - 0.0134x^2 - 0.1037x + 9.55, R^2 = 0.96, (5)$$

где х- время (год), R<sup>2</sup>- достоверность аппроксимации.

Составляющие (5) представляют собой функции сейсмических процессов: f1=5E- $07x^5$ , f2=-5E- $05x^4$ , f3= $0.0015x^3$ , f4= $-0.0134x^2$ , f5=-0.1037x, f6=9.55. Графики этих функций приведены на рисунке 11. Функции f1=5E- $07x^5$ , f3= $0.0015x^3$  нелинейно растут, функции: f2= $-5E-05x^4$ , f4= $-0.0134x^2$  нелинейно спускаются, функция f5=-0.1037x линейно спускается.



Рисунок 11. Графики функций сейсмических процессов: f1-f5 планетарного сейсмического цикла второго порядка.

На рисунке 12 приведён график изменения Мw сейсмического цикла третьего порядка перед наиболее крупным Mw = 9.5 землетрясением Чили 22.05.1960 г. Длительность (период) цикла составляла 7.58 лет. В начале данного цикла 21.06.1952 г. произошло землетрясение Камчатка с Mw =9.0 при взаимодействии Тихоокеанской, Евразийской плит. 09.03.1957 г. отмечалось землетрясение Аляска с Mw = 8.6 при взаимодействии Тихоокеанской, Северо – Американской плит и через 3.19 лет произошло землетрясение Чили с Mw = 9.5 в зоне субдукции между литосферными плитами Наска и Южно-Американской.



Рисунок 12. График изменения моментной магнитуды Мw планетарного сейсмического цикла третьего порядка за 1952.86 – 1960.44 гг. перед землетрясением Чили (22.05.1960, Mw = 9.5).

Тренд графика изменения Mw сейсмического цикла третьего порядка выражается полиномом второй степени:

$$Mw=0.0492x^2-0.3075x+9.0, R^2=1,$$
(6)

где х- время (год), R<sup>2</sup>- достоверность аппроксимации.

Составляющие (6) представляют собой функции сейсмических процессов: f1=0.0492x<sup>2</sup>, f2=-0.3075x, f3=9.0. Графики этих функций приведены на рисунке 13. Функция f1=0.0492x<sup>2</sup> нелинейно растёт, функция f2=-0.3075x линейно спускается.

На рисунке 14 приведён график изменения Мw планетарного сейсмического цикла третьего порядка перед крупным Mw=9.1 землетрясением Суматра 26.12.2004 г. Длительность (период) цикла составляла 3.46 лет. В начале данного цикла 23.06.2001 г. произошло землетрясение Перу с Mw=8.4 при взаимодействии литосферных плит Наска, Южно-Американской. 09.03.1957 г. отмечалось землетрясение Филиппины с Mw=7.8 при взаимодействии Филиппинской, Евразийской плит и через 1.1 год произошло землетрясение Суматра в зоне субдукции между литосферными плитами Индо-Австралийской и Евразийской.



Рисунок 13. Графики функций сейсмических процессов: f1, f2, f3 планетарного сейсмического цикла третьего порядка за 1952.86 – 1960.44 гг. перед землетрясением Чили (Mw = 9.5).



Рисунок 14. График изменения моментной магнитуды Мw планетарного сейсмического цикла третьего порядка за 2001.520 – 2004.987 гг. перед крупным землетрясением Суматра (26.12.2004, Mw = 9.1).

Тренд графика изменения Мw планетарного сейсмического цикла третьего порядка выражается полиномом второй степени:

$$Mw=0.2223x^2-0.5689x+8.4, R^2=1,$$
(7)

где х- время (год), R<sup>2</sup>- достоверность аппроксимации.

Составляющие (7) представляют собой функции сейсмических процессов: f1=0.2223x<sup>2</sup>, f2=-0.5689x, f3=8.4. Графики этих функций приведены на рисунке 15. Функция f1=0.2223x<sup>2</sup> нелинейно растёт, функция f2=-0.5689x линейно спускается.



Рисунок 15. Графики функций сейсмических процессов: f1, f2, f3 планетарного сейсмического цикла третьего порядка за 2001.520 – 2004.987 гг. перед землетрясением Суматра (Mw = 9.1).

Сейсмический цикл четвёртого порядка в последовательности землетрясений земного шара, которые проявлены при взаимодействии литосферных плит и влиянии срединно-океанских хребтов, перед землетрясением Чили Мw = 9.5 приведены в таблице 7 и на рисунках 16 и 17.

Таблица 7. Пики сейсмических циклов пятого порядка в последовательности землетрясений земного шара, где выделяется цикл четвёртого порядка перед землетрясением Чили с Mw=9.5, при взаимодействии литосферных плит и влиянии срединно-океанских хребтов, обусловленных комплексом процессов литосферы, мантии, ядра, геофизических полей Земли, а также космическими факторами.

						Взаимо-	Влияние
					География	действие	срединно-
Дата	Широта	Долгота	Mw	Год		литос	океанического
						ферных	хребта
						ПЛИТ	
1957.03.09	51.56	175.39	8.6	1957.37	Аляска	TO-CA	Тихоокеанский
1957.12.04	45.15	99.21	8.1	1957.93	Алтай	TO-EA	Тихоокеанский
1959.05.04	53.37	159.66	8.0	1959.39	Камчатка	TO-EA	Тихоокеанский
1960.05.22	-38.24	-73.05	9.5	1960.89	Чили	НС-ЮА	Тихоокеанский

Примечание: литосферные плиты: ТО - Тихоокеанская, ЕА-Евразийская, СА-Северо-Американская, ЮА- Южно-Американская, НС- Наска.



Рисунок 16. График изменения моментной магнитуды Мw планетарного сейсмического цикла четвёртого порядка за 1957.392 – 1960.897 гг. перед землетрясением Чили (Мw = 9.5).



Рисунок 17. Графики функций сейсмических процессов: f1, f2, f3 планетарного сейсмического цикла четвёртого порядка за 1957.372 – 1960.897 гг. перед землетясением Чили (Мw = 9.5).

Сейсмический цикл четвёртого порядка в последовательности землетрясений земного шара, которые проявлены при взаимодействии литосферных плит и влиянии срединно-океанских хребтов, перед землетрясением Суматра Mw = 9.1 приведены в таблице 8 и на рисунках 18, 19.

Таблица 8. Пики сейсмических циклов пятого порядка в последовательности землетрясений земного шара, где выделяется цикл четвёртого порядка перед землетрясением Суматра Мw=9.1 при взаимодействии литосферных плит и влиянии срединно-океанских хребтов, обусловленных комплексом процессов литосферы, мантии, ядра, геофизических полей Земли, а также космическими факторами.

						Взаимо-	Влияние
						действие	срединно-
Дата	Широта	Долгота	Mw	Год	География	литос-	океанического
						ферных	хребта
						ПЛИТ	
2003.09.25	41.815	143.910	8.3	2003.75	Япония	TO-EA	Тихоокеанский
2003.11.17	51.146	178.650	7.8	2003.89	Аляска	TO-CA	Тихоокеанский
2004.02.07	-4.003	135.023	7.3	2004.17	Индонези	ИА-ЕА	Тихоокеанский
					я		
2004.09.05	33.216	137.061	7.4	2004.70	Япония	TO-EA	Тихоокеанский
2004.11.11	-8.172	124.856	7.5	2004.87	Индонези	ИА-ЕА	Индо-
					Я		Автралийский
2004.12.26	3.36	95.854	9.1	2004.98	Суматра	ИА-ЕА	Индо-
							Автралийский

Примечание: литосферные плиты: ТО - Тихоокеанская, ЕА-Евразийская, СА-Северо-Американская, ИА- Индо-Австралийская.



Рисунок 18. График изменение моментной магнитуды Мw планетарного сейсмического цикла четвёртого порядка с 2003.756 г. по 2004.987 гг. перед землетясением Суматра (Mw= 9.1).



Рисунок 19. Графики функций сейсмических процессов: f1, f2, f3, f4, f5 планетарного сейсмического цикла четвёртого порядка с 2003.756 по 2004.987 г. перед землетясения Суматра (Mw = 9.1).

Последовательность землетрясений на земном шаре с различными сейсмическими энергиями (lgE > 12, эрг) за 1950-2019 гг. приведена на рисунке 20. При этом энергия землетрясений прослеживалась в суточном, месячном и годовых временных масштабах, где выделялись иерархии планетарных сейсмических циклов.



Рисунок 20. Последовательность землетрясений (lgE > 12, эрг) земного шара за 1950-2019 гг. и проявление иерархии планетарных сейсмических циклов. Цикл четвёртого порядка обозначен сплошной кривой линией, цикл третьего порядка- пунктирной линией с точкой,

цикл второго порядка - точечной линией, цикл первого порядка (фрагмент) – пунктирной линией.

На рисунке 21 показана суммарная сейсмическая энергия (Ек), высвобожденная при значительных землетрясениях (lgE > 12, эрг) на земном шаре с 1950 г. по 2019 г. График кумулятивной планетарной сейсмической энергии неровный, ступенчатый, выражает проявление иерархии планетарных сейсмических циклов. Флуктуация суммарной сейсмической энергии ограничена сверху и снизу прямыми линиями, параллельными линейному тренду Ек. Линейный тренд её изменения выражается эмпирической формулой:

$$E\kappa = (0.3765x-728.17) \times 10^{25}, \text{ эрг},$$
(8)

где Ек – кумулятивная сейсмическая энергия (эрг), х – время, коэффициент 0.3765х10<sup>25</sup> имеет единицу измерения эрг/год и представляет собой скорость высвобождения сейсмической энергии земного шара. Разница значений кумулятивной сейсмической энергии на верхней и нижней линиях флуктуации составляет около 14х10<sup>25</sup> эрг и представляет собой максимальную возможную сейсмическую энергию наиболее крупного землетрясения Земли за 20-21 вв. Как видно из графика суммарной сейсмической энергии, с 1965.37 г. по 2001.93 г. (около 36.65 лет) проявилось планетарное сейсмическое затишье. С 2012.65 г. снова наступил период сейсмического затишья, который, вероятно, завершится в сороковых годах.



Рисунок 21. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях lgE >12 эрг (Mw ≥ 5.0) земного шара за 1950-2019 гг.

Последовательность землетрясений на земном шаре с различными сейсмическими моментами lgMo > 23.5 дин см за 1950-2019 гг. приведена на рисунке 23. Сейсмический момент землетрясений прослеживался в суточном, месячном и годовом временных масштабах в регионах, где выделялись иерархии планетарных сейсмических циклов.



Рисунок 23. Последовательность землетрясений (lgMo > 23.5, дин см) земного шара за 1950-2019 гг. и проявление иерархии планетарных сейсмических циклов. Цикл четвёртого порядка обозначен сплошной кривой линией, цикл третьего порядка-пунктирной линией с точкой, цикл второго порядка - точечной линией, цикл первого порядка (фрагмент) – пунктирной линией.

На рисунке 24 показан суммарный сейсмический момент кумМо, проявленный при значительных землетрясениях lgMo > 23.5 дин см на земном шаре за 1950-2019 гг. График кумулятивного планетарного сейсмического момента неровный, ступенчатый, выражает проявление иерархии планетарных сейсмических циклов. Флуктуация суммарного сейсмического момента ограничена сверху и снизу прямыми линиями, параллельными линейному тренду кумМо. Линейный тренд его изменения выражается эмпирической формулой:

Кум $Mo = (0.7529x-1456.3) \times 10^{29}$ , дин·см, (8)

где КумМо – кумулятивный сейсмический момент (дин см), х – время, коэффициент  $0.7529 \times 10^{29}$  имеет единицу измерения дин см/год и представляет собой скорость проявления сейсмического момента земного шара. Разница значений кумулятивного сейсмического момента на верхней и нижней линиях флуктуации составляет около  $3 \times 10^{30}$  дин см и представляет собой максимально возможный сейсмический момент наиболее крупного землетрясения Земли за XX и XXI вв. Как видно из графика суммарного сейсмического момента, с 1965.37 г. по 2001.93 г. (около 36.65 лет) проявилось планетарное сейсмическое затишье. С 2012.65 г. снова наступил период сейсмического затишья, который, вероятно, завершится в сороковых годах.



Рисунок 24. Кумулятивный сейсмический момент, проявленный при землетрясениях lgE > 12 эрг (Mw ≥ 5.0) земного шара за 1950-2019 гг.

Важно отметить, что динамика планетарной сейсмичности выражается изменением разломного параметра землетрясений земного шара, который можно определить из формулы Аки [47]:

$$U A = Mo/\mu, \tag{9}$$

где U- величина подвижки по разлому, А - площадь разлома, Мо – сейсмический момент (дин · см), μ - жёсткость среды (дин/см<sup>2</sup>). На рисунке 25 показана последовательность значений разломного параметра на земном шаре за 1950-2019 гг. Разломный параметр землетрясений прослеживался в суточном, месячном, годовом временных масштабах, на которых выделялись иерархии планетарных сейсмических циклов.



Рисунок 25. Последовательность разломного параметра (lgUA > 6, м<sup>3</sup>) земного шара за 1950-2019 гг. и проявление иерархии планетарных сейсмических циклов. Цикл

четвёртого порядка обозначен сплошной кривой линией, цикл третьего порядкапунктирной линией с точкой, цикл второго порядка - точечной линией, цикл первого порядка (фрагмент) – пунктирной линией.

На рисунке 26 показан суммарный разломный параметр кумUA, проявленный при значительных землетрясениях lgUA > 6, м<sup>3</sup> на земном шаре за 1950-2019 гг. График кумулятивного планетарного разломного параметра неровный, ступенчатый, выражает проявление иерархии планетарных сейсмических циклов. Флуктуация суммарного разломного параметра ограничена сверху и снизу прямыми линиями, параллельными линейному тренду кумUA. Линейный тренд его изменения выражается эмпирической формулой:

КумUA = 
$$(0.2055x-397.69) \times 10^{12}, M^3$$
, (10)

где КумUA – кумулятивный разломный параметр ( $M^3$ ), х – время, коэффициент 0.2055х10<sup>12</sup> имеет единицу измерения  $M^3$ /год и представляет собой скорость проявления планетарного разломного параметра. Разница значений кумулятивного разломного параметра на верхней и нижней линиях флуктуации составляет около  $8x10^{12}$   $M^3$  и представляет собой максимально возможный разломный параметр наиболее крупного землетрясения Земли за XX-XXI вв. Как видно из графика суммарного разломного параметра, с 1965.37 г. по 2001.93 г. (около 36.65 лет) отмечалось планетарное сейсмическое затишье. С 2012.65 г. снова наступил период сейсмического затишья, который, вероятно, завершится в сороковых годах.



Рисунок 26. Кумулятивный разломный параметр (lgUA > 6, м<sup>3</sup>) землетрясений земного шара за 1950-2019 гг.

Следовательно, изменения сейсмической энергии (Е, эрг), сейсмического момента (Мо, дин см) землетрясений земного шара, планетарного разломного параметра UA (м<sup>3</sup>) представляют собой параметры динамики планетарной сейсмичности.

### Заключение

- Изучена последовательность проявления землетрясений земного шара. Отмечена иерархия планетарных сейсмических циклов. Циклы имеют нелинейный характер. В каждом из них проявляются фазы - период активизации, пик активизации, период спада активизации, период затишья. Цикл четвёртого порядка (Mw ≥ 6.9, период повторения 0.95-8.16 лет) выделяется по пикам циклов пятого порядка; третьего порядка (Mw ≥ 8.0, период 3.46 - 14.61 год) - по пикам циклов четвёртого порядка; второго порядка (Mw ≥ 8.2, период 44.55 лет) - по пикам циклов третьего порядка; первого порядка (Mw ≥ 9.1, период приблизительно 90-100 лет) – по пикам циклов второго порядка. Определены функции сейсмических процессов сейсмических циклов. Планетарный сейсмический цикл второго порядка повторный после землетрясения Суматра (Mw=9.1, 2004) в 2011 г. перешёл в период спада сейсмической активизации (Mw=9.0, Япония) и в последние годы находится в период затишья.
- 2. Динамика планетарной сейсмичности Земли выражается совокупностью иерархии сейсмических циклов, предопределена динамикой взаимодействия литосферных плит, влияния срединно-океанских хребтов, комплекса процессов литосферы, мантии, ядра, геофизических полей Земли и космических факторов. Крупные землетрясения земного шара мигрируют по взаимодействующим активным литосферным плитам. Наиболее вероятные пики планетарных сейсмических циклов первого порядка (как Чили (Mw=9.5), Суматра (Mw=9.1)) могут быть проявлены в зонах взаимодействия активных литосферных плит: Наска Южная Америка, Индо-Австралийская Евразийская Тихоокеанская.
- 3. Параметрами динамики планетарной сейсмичности являются, в частности, изменения сейсмической энергии (Е, эрг), сейсмического момента (Мо, дин см) землетрясений земного шара, планетарного разломного параметра UA (где U- величина подвижки, м; А площадь разлома, м<sup>2</sup>). Изменение суммарной сейсмической энергии выражается эмпирической формулой:

где Ек – кумулятивная сейсмическая энергия (эрг), х – время, коэффициент 0.3765х10<sup>25</sup> имеет единицу измерения эрг/год и представляет собой скорость высвобождения сейсмической энергии земного шара. Изменение суммарного сейсмического момента выражается эмпирической формулой:

### КумМо=(0.7529х-1456.3) х10<sup>29</sup>, дин · см

где КумМо – кумулятивный сейсмический момент (дин·см), х – время, коэффициент 0.7529х10<sup>29</sup> имеет единицу измерения дин·см /год и представляет собой скорость проявления сейсмического момента земного шара. Изменение планетарного разломного параметра выражается эмпирической формулой:

где КумUA – кумулятивный разломный параметр (м<sup>3</sup>), х – время, коэффициент 0.2055х10<sup>12</sup> имеет единицу измерения м<sup>3</sup>/год и представляет собой скорость проявления планетарного разломного параметра.

### Литература

- 1. Электронные источники <u>https://geographyofrussia.com/stroenie-zemli/</u>
- 2. Электронные источники <u>https://textarchive.ru/c-1815093.html</u>
- Электронные источники <u>https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%</u> <u>B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F\_%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B0</u>
   А
- 4. Электронные источники <u>https://studbooks.net/1793873/geografiya/obschaya\_harakteristika\_granits\_litosfernyh\_plit</u>

- 5. Хейрцлер Дж., Г. Диксон, Э. Херрон, У. Питман III, Пишон Кс. Ле. Морские магнитные аномалии, инверсии геомагнитного поля и движения океанического дня и континентов. //Кн.: Новая глобальная тектоника (тектоника плит). – М.: Мир. -1974. - С. 38-57.
- Диц Р. -Эволюция континентов и океанических бассейнов как результат спрединга океанического дна. //Кн.: Новая глобальная тектоника (тектоника плит). – М.: Мир. -1974. - С. 26-32.
- 7. Хесс Г.- История океанических бассейнов. //Кн.: Новая глобальная тектоника (тектоника плит). Москва: Мир. -1974. С. 9-26.
- 8. Электронные источники <a href="https://oko-planet.su/science/sciencehypothesis/54344-smena-magnitnyh-polyusov-zemli-mozhet-proizoyti-mgnovenno.html">https://oko-planet.su/science/sciencehypothesis/54344-smena-magnitnyh-polyusov-zemli-mozhet-proizoyti-mgnovenno.html</a>
- 9. Электронные источники <u>https://present5.com/istoricheskaya-geologiya-chast-12-vnutrennee/</u>
- 10. Морган В. Океанические поднятия, глубоководные желоба, большие разломы и блоки земной коры. //Кн.: Новая глобальная тектоника (тектоника плит). М.: Мир. -1974. С. 68-93.
- 11. Электронные источники <u>http://www.grandars.ru/shkola/geografiya/dvizhenie-litosfernyh-</u><u>plit.html</u>
- 12. Электронные источники <u>https://sites.google.com/site/burkettclass2011/fall</u>
- 13. Жарков В.Н. -Внутренне строение Земли и планет. М.:Наука. -1983. 416 с.
- 14. Электронные источники <u>https://www.pbslearningmedia.org/resource/ess05.sci.ess.earthsys.tectonic/tectonic-plates-earthquakes-and-volcanoes/</u>
- 15. Visser, S. W. -Some remarks on the deep-focus earthquakes in the International Seismological Summary //Gerlands Beitr. Z. Geophys. -1936a. -47. P.321-332
- 16. Visser, S. W. -Some remarks on the deep-focus earthquakes in the International Seismological Summary, Second paper // Gerlands Beitr. Z. Geophys., -1936b. -48. P.254-267.
- 17. Wadati, K. -On the activity of deep-focus earthquakes in the Japan Islands and neighbourhoods //Geophys. Mag. -1935. -8. –P.305-325.
- 18. Заварицкий А.Н. Вулканическая зона Курильских островов //Вестн.АН СССР. -1946. –№1. –С.41-48
- 19. Benioff, H. -Seismic evidence for the fault origin of oceanic deeps //Geol. Soc. Am. Bull. 1949. -60. P.1837-1856.
- 20. Кукал З. -Скорость геологических процессов. -М.: Мир. -1987. 246 с.
- 21. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Владова Г.Л., Мирлин Е.Г., Миронов Ю.В., Рожкова В.В., Соловьев А.А. -Зоны субдукции: действующие силы, геодинамические типы, сейсмичность и металлогения // Вестник ОГГГГН РАН. № 2(12)'2000 Т.1. <u>http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\_dgggms/2-2000/subduction.htm#begin</u>
- 22. Викулин А.В., Тверитинова Т.Ю. -О скоростях движения тектоничсеких плит. -2004. URL: <u>http://www.kscnet.ru/ivs/publication/whirlwinds/viktver.htm</u>
- 23. Электронные источники <u>http://www.isc.ac.uk/</u>
- 24. Gutenberg B. and Richter C. F. -Seismicity of the Earth. //In: Seismicity of the Earth. Geological Society of America. Special Papers. No.34. Geological Society of America, New York. -1941. pp. 1-126.
- 25. Рихтер Ч.Ф. -Элементарная сейсмология. -М: Изд. Иностр. литер. -1963. -670 с.
- 26. Gutenberg B., Richter C.F. -Seismicity of the Earth and Associated Phenomena //Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1954.
- 27. Aki K.- Some problems in statistical seismology //Zisin, J. Seismol. Soc. Japan, Ser., II. -1955. 8. -P. 205-228.
- 28. Федотов С. А. -О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозу. //Кн.: Сейсмическое районирование СССР. -М.: Наука. -1968. с.121-150.
- 29. Kawasumi H. -Proofs of 69 years periodicity and imminence of destructive earthquake in southern Kwanto district and problems in the countermeasures thereof //Chigaku Zasshi. -1970. N76. -P.115-138.

- 30. Омуралиев М., Землянский А.А., Ачакеев Э. -Управляющие параметры процессов в области подготовки сильных землетрясений Тянь-Шаня. //Материалы пятой международной конференции молодых учёных и студентов (Бишкек, 24-25 апреля 2013 г.) «Современные техника и технологии в научных исследованиях», Москва-Бишкек: НС РАН. -2013. -С.103-109.
- 31. Рикитаке Т. -Предсказание землетрясений / Пер. с англ. А.Л. Петросяна и Н.И. Фроловой; Под ред. Е.Ф. Саваренского. М.: Мир, 1979. 388 с.
- 32. Омуралиев М., Омуралиева А. -Естественные размерности сейсмических процессов и сейсмической среды на примере Тянь-Шаня //Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2015. -№2(6). –С.96-107.
- 33. Shimazaki K. -A model of earthquake recurrence and its application to crustal movement in Tokai district, Japan. Geographical Survey Institute, Tokyo, 1977, pp. 32-40.
- 34. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.
- 35. Aki K. -Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, Part II, Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G wave spectrum // Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo. – 1966. – V. 44, N 1. – P. 73–88.
- 36. Brune J. N. -Seismic moment, seismicity, and rate of slip along major fault zones //J. Geophys. Res. -1968. -73. –P.777-784.
- 37. Kanamori H. -The energy release in great earthquakes //J. Geophys. Res. -1977. -82. –P.2981-2987.
- 38. Кузнецов И.В., Кейлис-Борок В.И. -Взаимосвязь землетрясений Тихоокеанского сейсмического пояса // Докл. РАН. 1997. Т. 355. № 3. С. 389-393.
- 39. Рундквист Д.В., Владова Г.Л., Рожкова В.В. -Закономерности миграции очагов землетрясений вдоль островных дуг // ДАН. -1998. - т.360, № 2. -С.263-266.
- 40. Рогожин Ю.А., Шестопалов И.П. -Вековые циклы сейсмичности Земли и сейсмическая безопасность атомных станций //Атомная стратегия. -2007. -№3. –С.18.
- 41. Уломов В.И. -К вопросу о планетарной сейсмической активизации //Геориск. -2010. -№3. С.4-8. URL: <u>http://seismos-u.ifz.ru/p/Ulomov\_GR\_2010\_3.pdf</u>
- 42. Викулин А.В.- Физика волнового сейсмического процесса. -Петропавловск-Камчатский: Из-во КГПУ. 2003. 150 с.
- 43. Омуралиева А., Омуралиев М. -Последовательность проявления землетрясений, высвобождение сейсмической энергии Земли в целом и её регионах (Азии, США) и оценка сейсмической опасности //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2013. -№1. -С.85-92.
- 44. Омуралиев М., Омуралиева А. -Средне-, краткосрочная сейсмическая опасность на Земле в целом и её частях: Америки, Азии, Кыргызстана после июля 2014 г. //Наука и Новые Технологии, 2014, №3, с. 64-73.
- 45. Омуралиев М., Омуралиева А., Ачакеев Э.А. -Динамика разломов землетрясений Земли и её частей //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2015. -№5. –С.88-101.
- 46. Омуралиев М., Омуралиева А. -Опыт слежения за динамикой сейсмичности всей Земли в целом и землетрясение Чили 16 сентября 2015 г. М=8.3 //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2015. -№2(6). –С.108-125.
- 47. Aki K.- Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, Part II, Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G wave spectrum // Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo. – 1966. – V. 44, N 1. – P. 73–88.

Рецензент: д.ф.-м.н. Погребной В.Н.