

УДК 550.34

Омуралиев М. О.

*Институт сейсмологии НАН КР,  
г. Бишкек, Кыргызстан*

## ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗЕМЛИ В ЦЕЛОМ

**Аннотация.** В статье приведены результаты динамики сейсмических процессов Земли в целом и возможности оценки вероятной сейсмической опасности.

**Ключевые слова:** иерархия активных структур Земли, последовательность землетрясений, структуры разного порядка, повторяемость землетрясений, периоды сейсмической активизации и затишья, иерархия сейсмических циклов, кумулятивный сейсмический момент, кумулятивная сейсмическая энергия, скорость высвобождения сейсмической энергии, миграция сейсмической активизации по глубинам.

## БҮТКҮЛ ЖЕР ШАРЫНДАГЫ СЕЙСМИКАЛЫК ПРОЦЕССТЕРДИН ДИНАМИКАСЫ

**Кыскача мазмуну.** Макалада бүтүндөй алынган Жер шарындагы сейсмикалык процесстердин динамикасынын жыйынтыктары жана мүмкүн болгон сейсмикалык коркунучка баа берүү мүмкүндүгү келтирилген.

**Негизги сөздөр:** Жердин активдүү түзүмдөрүнүн иерархиясы, жер титирөөлөрдүн удаалаштыгы, ар түрдүү тартиптеги түзүмдөр, жер титирөөлөрдүн кайталануусу, сейсмикалык активдешүү жана жайлоо мезгилдери, сейсмикалык циклдердин иерархиясы, топтолгон (кошулмаланган) сейсмикалык момент, топтолгон (кошулмаланган) сейсмикалык энергия, сейсмикалык энергиянын бошонуу ылдамдыгы, сейсмикалык активдештирүүнүн терендик боюнча миграциялануусу.

## DYNAMICS OF THE EARTH'S SEISMIC PROCESSES AS A WHOLE

**Abstract.** Results of the Earth's seismic processes as a whole and the possibility of probable seismic hazard assessment are presented in the paper.

**Keywords:** hierarchy of the Earth's active structures, sequence of earthquakes, structures of different order, earthquakes' recurrence, seismically active and calm periods, hierarchy of seismic cycles, cumulative seismic moment, cumulative seismic energy, seismic energy release rate, migration of seismic activation by depth.

**Введение.** Проявление землетрясений на земном шаре, очевидно обусловлено развитием современной геодинамики Земли в целом. В связи с этим изучение сейсмичности, динамики сейсмичности Земли на основе современных данных является актуальной проблемой науки о земле и, в частности, сейсмологии. На эту проблему первыми обратили особое внимание ещё в 40-х годах прошлого столетия Б. Гутенберг [1] и Ч. Рихтер [2]. Ими изучено распределение землетрясений по энергиям и установлен закон повторяемости сейсмособытий, их связь с региональными особенностями земной поверхности (активными тектоническими структурами) и их географическое расположение. При этом выделены важнейшие зоны:

1. Тихоокеанский кольцевой пояс со многими ответвлениями.
2. Альпийский пояс Европы.
3. Памиро-Байкальская зона Центральной Азии.
4. Атлантический – Арктический пояс.
5. Пояс центральной части Индийского океана с ответвлениями.

6. Зоны разломов (ярким примером являются большие рифты Восточной Африки).
7. Большая треугольная активная площадь в восточной Азии, заключенная между Альпийским поясом и Памиро-Байкальской зоной.
8. Второстепенные сейсмические районы.
9. Центральная впадина северной части Тихого океана.
10. Стабильные центральные щиты континентов.

Эти зоны выражали, в определённой мере, иерархию активных структур разного порядка.

Важно отметить, что географическое распределение землетрясений земного шара являлось одной из основ новой глобальной тектоники – тектоники плит (рис. 1) ([3], [4], [5]).

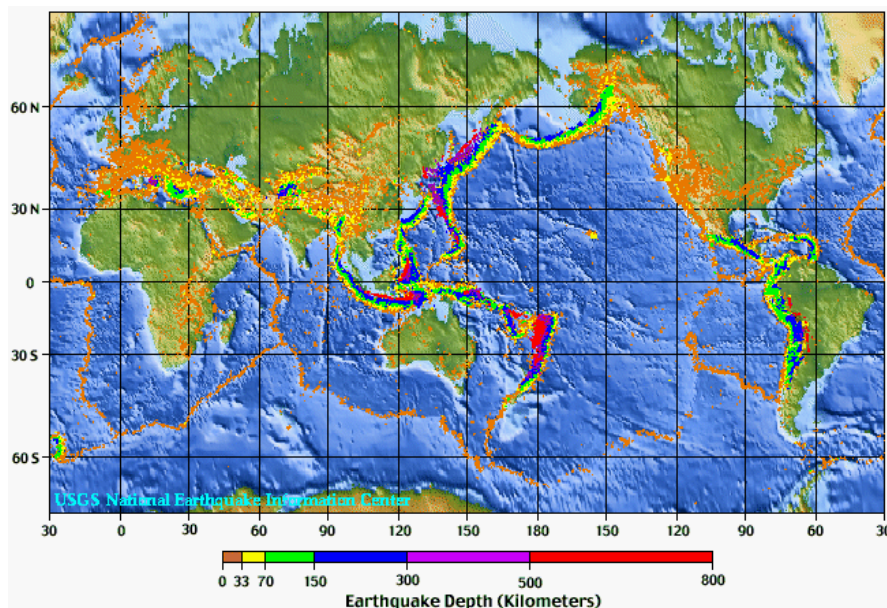


Рис.1. Распределение землетрясений земного шара за 1975-1995 гг. [3]

При этом было выделено 11 основных литосферных плит: Северо-Американская, Евразийская, Африканская, Аравийская, Индо-Австралийская, Южно-Американская, Антарктическая, Тихоокеанская, Кокос, Наска, Карибская (рис. 2).

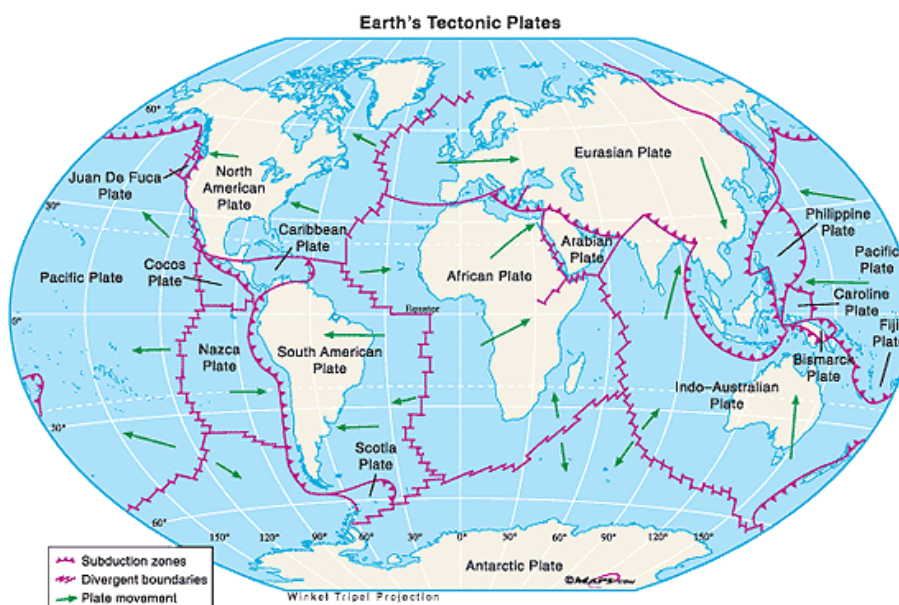


Рис.2. Литосферные плиты [5].

Вместе с тем в пределах отдельных основных плит отмечены плиты другого (нижнего) порядка. Так, в Тихоокеанской плите имеется Филиппинская плита, плита Горда и т.д. На южной части Евразийской плиты могут быть выделены плиты, щиты и блоки: Альпы, Карпаты, Кавказ, Тянь-Шань, Казахский щит, Туранская плита, Гималаи, Памир, Кунь-Лунь, Алтай, Байкал и т.д. Отмечено, что литосферы океанические и континентальные (материковые) отличаются по своему строению. В соответствии с моделью внутреннего строения Земли ([6], [7]) под литосферой, в интервале глубин 70-250 км, расположена астеносфера – слой повышенной текучести. Скорости сейсмических волн начинают постепенно расти с глубиной, начиная с ~ 250 км. Это, вероятно обусловлено преобладанием влияния давления на скорости  $V_s$  и  $V_p$  над влиянием температуры на глубинах 250-400 км. На глубинах около 400 км резко нарастают скорости из-за фазовых переходов оливинов в шпинелевую модификацию. На глубинах 400-650 км скорости сейсмических волн плавно возрастают под влиянием роста давления. На глубинах 650-700 км наблюдается вторая зона фазовых переходов и нарастание скорости сейсмических волн. Глубже, на глубине 2900 км, поверхность Гутенберга разделяет мантию и ядро Земли, а на глубине около 5100 км отмечается внутреннее ядро.

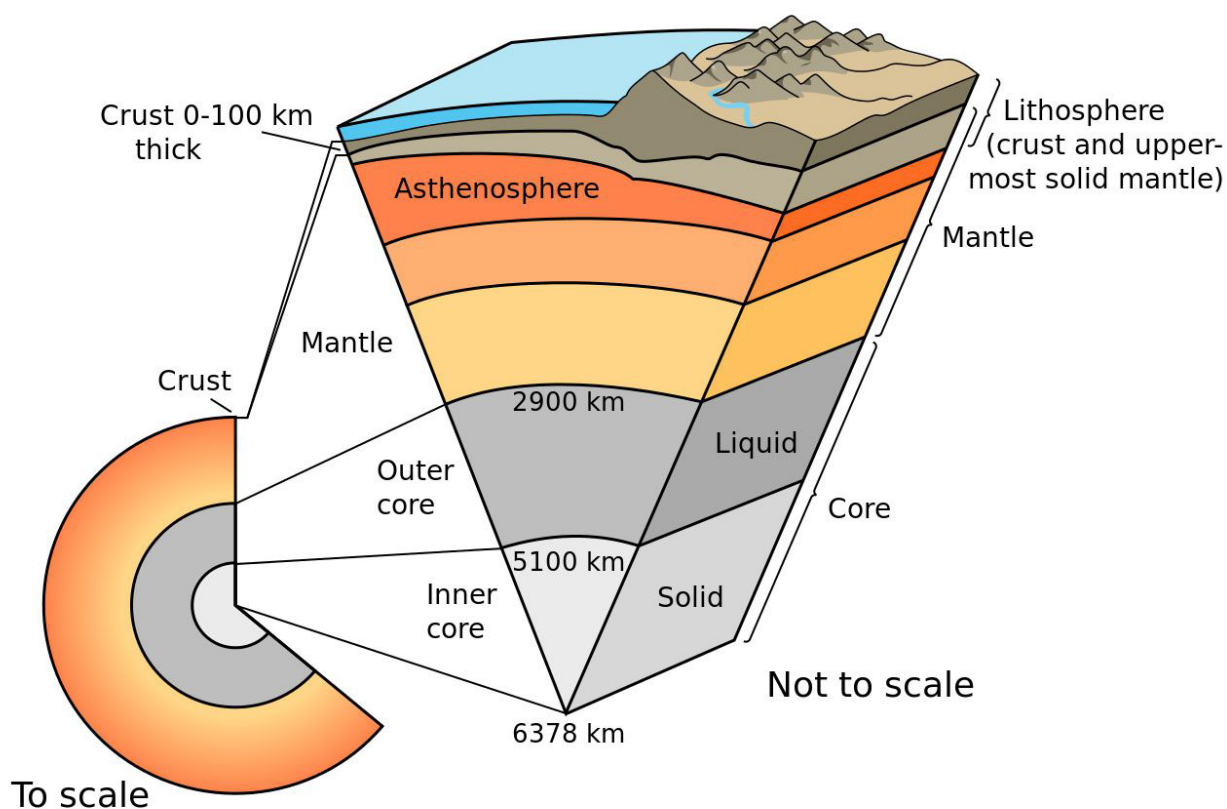


Рис. 3. Модель внутреннего строения Земли ([6], [7]).

Очевидно, что процессы внутри Земли в целом самоорганизуются, постоянно происходит взаимный обмен веществами и энергиями. Можно сказать, что процессы в мантии предопределяются процессами в ядре, а процессы в мантии предопределяют процессы в литосфере. Интегральные и дифференцированные характеры процессов отражены в частности на собственных колебаниях земного шара, на магнитогидродинамических колебаниях в земном ядре, на полосовых магнитных аномалиях разновозрастных базальтов в океанах, на последовательности проявлений землетрясений и т.д.

Мелкофокусные землетрясения по их плитотектоническим условиям подразделяются ([8], [9]) на три категории: межплитовые, внутриплитовые и рифтовые. Сброс напряжений в очагах «межплитовых» землетрясений достигает значения около 30 бар, а в очагах «внутриплитовых» землетрясений - до 100 бар [8]. Повторяемость землетрясений и вероятная магнитуда землетрясений первой категории составляют около  $10^2$  лет и  $M \approx 8.5$ , соответственно, второй категории –  $10^3$ – $10^4$  лет и  $M \approx 7.5$ . Последовательность «межплитовых» землетрясений имеет относительно регулярный характер, отмечаются периодичность, сейсмические бреши и миграция эпицентров вдоль сейсмической зоны. В то же время последовательность «внутриплитовых» землетрясений менее регулярна. Периодичность землетрясений (сейсмические циклы), сейсмические бреши и миграция эпицентров отмечены в отдельных зонах в пределах Японии, Курило-Камчатки, Южной Калифорнии, Чили, Анатолийского разлома Турции ([2], [9], [10], [11]). Кавасуми Х. [12], анализируя исторические записи о сильных землетрясениях, происходивших в г. Камакура (Япония), отметил 69-летнюю периодичность для сильных землетрясений в районе Южного Канто. На основе Фурье анализа временного ряда землетрясений было обнаружено, что в спектральной функции имеется несколько доминирующих периодов, из которых наиболее выделялся 69-летний период с возможным отклонением  $\pm 13.2$  года. В дальнейшем, с использованием более совершенного статистического анализа было отмечено, что 69-летний период статистически не значим ([13], [14]). Результаты Фурье анализа землетрясений Тянь-Шаня и сопредельных районов Центральной Азии показали, что время повышенной вероятности может определяться не одним периодом (гармоническим составляющим), а несколькими избранными периодами (со свойственными фазами, амплитудами) с учётом проявления сейсмической активизации и затишья в последовательности землетрясений ([15], [16]). Однако нужно отметить, что точность вероятной магнитуды невысокая.

В последние годы результаты изучения последовательности проявления землетрясений показали следующее: 1 - графики изменения магнитуды (сейсмической энергии, момента и т.д.) нелинейные (процессы спуска и подъёма сейсмической активизации сильно отличаются); 2 - временные ряды имеют разную фрактальную размерность; 3 - использование спектрального анализа, в определённой мере, ограничено; 4 - отмечаются иерархия периодов сейсмической активизации, затишья и иерархия сейсмических циклов с различной длительностью (интервал повторяемости) ([17], [18]). Например, на материках Азии, Америки и др., и их частях, как Тянь-Шань, интервал повторения (время повторения) землетрясений в регионах большого масштаба (большой площади) - короткий, а время повторения землетрясений в регионах малого масштаба (малой площади) - относительно длинное [19].

### **Исследование динамики сейсмичности Земли в целом**

Основой исследований стали каталоги исторических землетрясений всего Земного шара [20]. Каталоги разных лет отличаются неоднородностью - в зависимости от степени изученности. В последние годы, с появлением всемирной сети сейсмических станций и региональных сетей, каталог стал полным и пополняется оперативно. Однако, имеющиеся каталоги (старые и современные) позволяют отметить основные особенности последовательности проявления землетрясений Земли в целом.

В последовательности проявления землетрясений на всем Земном шаре за 1901-2017 гг. проявляются периоды сейсмической активизации и затишья, которые составляют иерархию сейсмических циклов ([21], [22], [23]) разного порядка (рисунки 4, 5, 6). Циклы определённого порядка имеют свойственные пики сейсмической активизации. При этом, по пикам циклов, например, третьего порядка выделяются

циклы второго порядка. В свою очередь по пикам циклов второго порядка выделяются циклы первого порядка. Сейсмические циклы в основном асимметричные и нелинейные - в них спуск и подъём сейсмической активизации имеют различные характеры. Следует отметить, что циклы четвёртого, пятого и т.д. порядков наблюдаются более чётко на графиках крупного масштаба. Асимметричное строение цикла осложняет, в определённой мере, проведение гармонического (спектрального) анализа последовательности землетрясений.

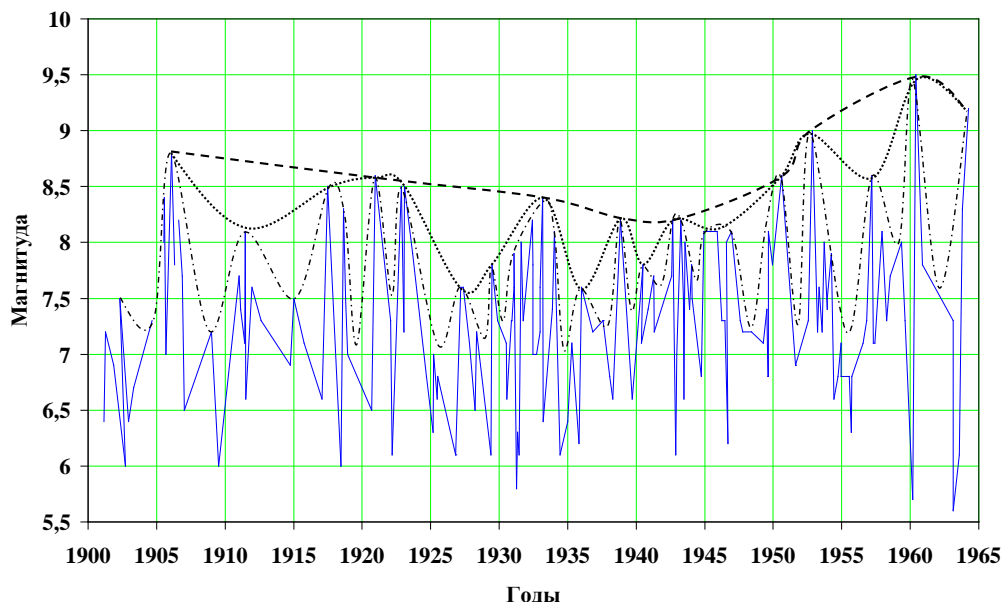


Рис.4. Последовательность проявления землетрясений с  $M \geq 5.5$  на всем Земном шаре за 1901-1964 гг. Сейсмические циклы третьего порядка обозначены штрихпунктиром, циклы второго порядка – точечной линией, циклы первого порядка – пунктирной линией. Сейсмические циклы третьего порядка находятся при  $M \geq 7.0$ , циклы второго порядка - при  $M \geq 7.4$ , циклы первого порядка - при  $M \geq 8.2$ .

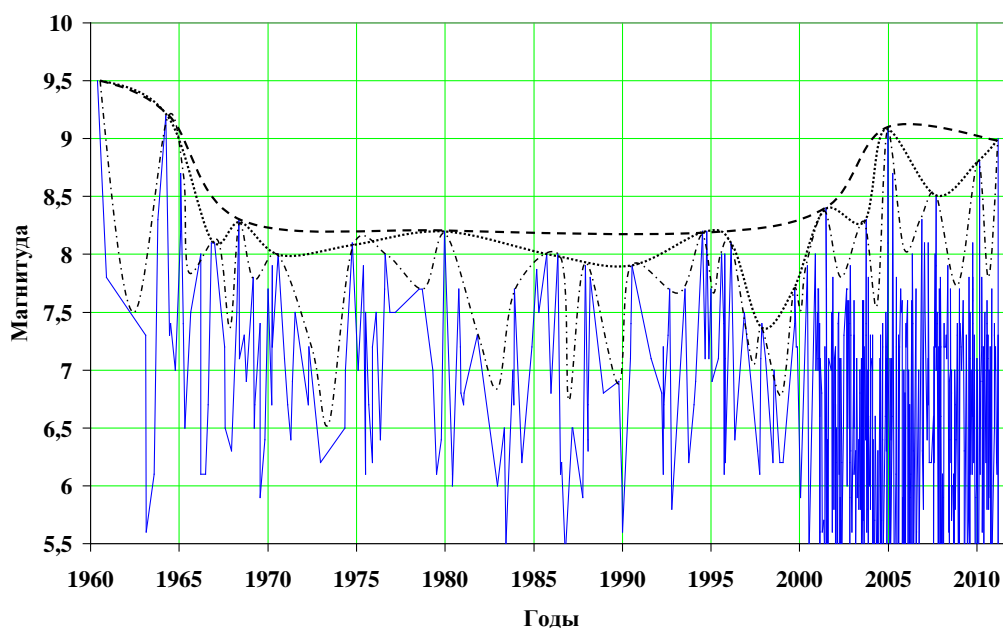


Рис.5. Последовательность проявления землетрясений с  $M \geq 5.5$  на всем земном шаре за 1960-2011 гг. Сейсмические циклы третьего порядка обозначены

штрихпунктиром, циклы второго порядка – точечной линией, циклы первого порядка – пунктирной линией. Сейсмические циклы третьего порядка находятся при  $M \geq 6.5$ , циклы второго порядка - при  $M \geq 7.4$ , циклы первого порядка - при  $M \geq 8.2$ .

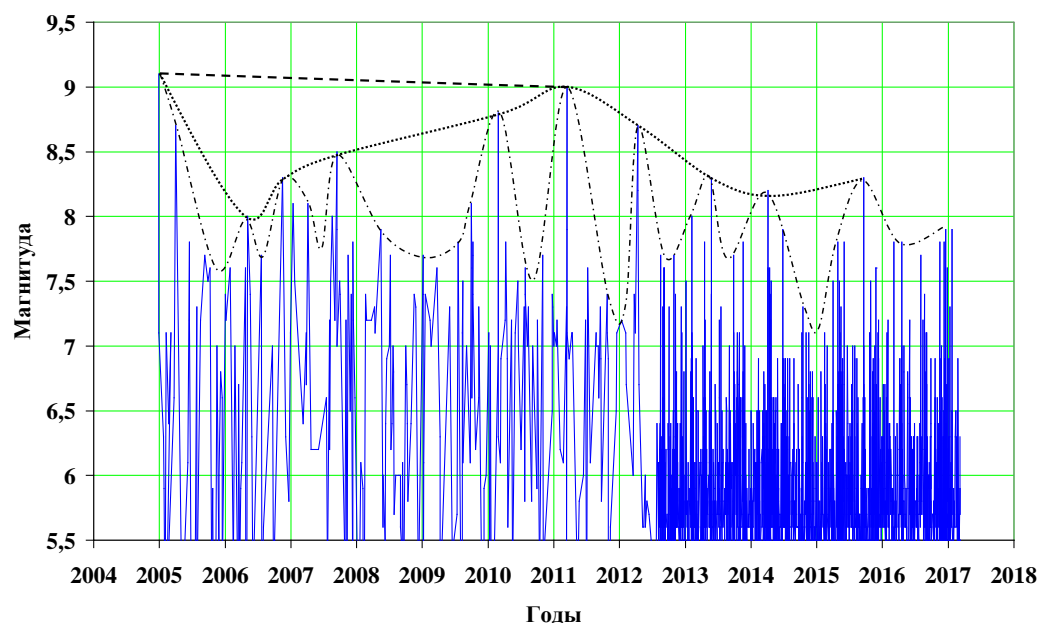


Рис.6. Последовательность проявления землетрясений с  $M \geq 5.5$  на всем земном шаре за 2004-2017 гг. Сейсмические циклы третьего порядка обозначены штрихпунктиром, циклы второго порядка – точечной линией, циклы первого порядка – пунктирной линией. Сейсмические циклы третьего порядка находятся при  $M > 7.0$ , циклы второго порядка - при  $M \geq 8.0$ , циклы первого порядка –  $M \geq 9.0$ .

В последовательности землетрясений за 1901-1964 гг. проявлены 14 циклов третьего порядка (см. рис.4, табл.1) с продолжительностью  $T = 1.66 - 6.02$  год, в среднем 3.67 лет и 6 циклов второго порядка (табл.4) с продолжительностью  $T = 3.78 - 14.87$  лет, в среднем 8.94 год.

Таблица 1.

**Пики сейсмической активизации циклов 3- го порядка в последовательности проявления землетрясений с  $M \geq 7.0$  за 1901-1964 гг.**

№	Год	Месяц	Число	Время, год	Магнитуда	Географическое место	Широта	Долгота
1	1906	1	31	1906.0866	$M_w=8.8$	Колумбия-Эквадор	1.0	-81.5
2	1911	6	15	1911.4593	$M_s=8.1$	Рядом с островом Кикай, Япония	28.0	130.0
3	1917	6	26	1917.4879	$M_w=8.5$	Вблизи Самоа	-15.5	173.0
4	1920	12	16	1920.9618	$M_s=8.6$	Нинся-Ганьсу, Китай	36.6	105.32
5	1922	11	11	1922.8634	$M_w=8.5$	Регион Атакама, Чили	-28.5	-70.0
6	1923	2	3	1923.0613	$M_w=8.5$	Камчатка	54.0	161.0
7	1927	3	7	1927.1868	$M_s=7.6$	Полуостров Танго	35.8	134.92
8	1929	6	17	1929.4632	$M_s=7.8$	Мерчисон, Новая	-41.5	172.25

						Зеландия		
9	1933	3	2	1933.1740	Mw=8.4	Тохоку, Япония	39.22	144.62
10	1938	11	10	1938.8630	Mw=8.2	Шумагинские острова, Аляска	55.33	-158.37
11	1939	1	25	1939.0690	Ms=7.8	Чильян, Чили	-37.0	-70.5
12	1939	12	26	1939.9910	Ms=7.8	Эрзинджан, Турция	39.77	39.53
13	1942	8	24	1942.6491	Mw=8.2	Перу	-14.98	-74.92
14	1943	6	6	1943.2664	Mw=8.2	Овалье, Чили	-30.75	-72.0
15	1944	12	7	1944.9360	Mw=8.1	Япон	33.75	136.0
16	1945	11	27	1945.9100	Mw=8.1	Пакистан	24.5	63.0
17	1950	8	15	1950.6260	Mw=8.6	Ассам-Тибет	28.5	96.5
18	1952	11	4	1952.8461	Mw=9.0	Камчатка	52.76	160.06
19	1957	3	9	1957.1929	Mw=8.6	Острова Андреано, Аляска	51.56	-175.39
20	1960	5	22	1960.3958	Mw=9.5	Вальдивия, Чили	-38.24	-73.05
21	1964	3	28	1964.244	Mw=9.2	Аляска	61.02	-147.65

В последовательности землетрясений за 1960–2011 гг. проявлены 13 циклов третьего порядка (см. рис.5, табл. 2) с продолжительностью  $T = 1.04 - 6.72$  год, в среднем 3.63 лет и 6 циклов второго порядка (табл.5) с продолжительностью  $T = 3.5 - 14.6$  лет, в среднем 7.4 год.

Таблица 2.

**Пики сейсмической активизации циклов 3-го порядка в последовательности проявления землетрясений с  $M > 6.5$  за 1960-2011 гг.**

№	Год	Месяц	Число	Время, год	Магнитуда	Географическое место	Широта	Долгота
1	1960	5	22	1960.3958	Mw=9.5	Вальдивия, Чили	-38.24	-73.05
2	1964	3	28	1964.244	Mw=9.2	Аляска	61.02	-147.65
3	1966	10	17	1966.7989	Mw=8.1	Перу	-10.7	-78.7
4	1966	12	28	1966.9940	Mw=8.1	Тальталь, Чили	-25.51	-70.74
5	1968	5	16	1968.3773	Mw=8.3	Хоккайдо, Япония	40.90	143.35
6	1970	6	31	1970.5869	Mw=8.0	Колумбия	-1.48	-72.56
7	1974	10	3	1974.7582	Mw=8.1	Вблизи Лимы, Перу	-12.25	-77.52
8	1979	12	12	1979.9500	Mw=8.2	Нариньо, Колумбия	1.59	-79.358
9	1985	9	19	1985.7187	Mw=8	Мичоакан, Мексика	18.44	-102.36
10	1986	5	7	1986.3525	Mw=8	Острова Андреано, Аляска	51.56	-174.81
11	1987	11	30	1987.9155	Mw=7.9	Залив Аляски	58.84	-142.6
12	1990	7	16	1990.544	Mw=7.9	Багио-Сити, Филиппины	15.7	121.2
13	1994	6	9	1994.5246	Mw=8.2	Боливия	-13.86	-67.49
14	1994	10	4	1994.7610	Mw=8.2	Вблизи Курильских островов	43.706	147.32
15	2001	6	23	2001.4819	Mw=8.4	Перу	-16.265	-73.641

16	2004	12	26	2004.9879	Mw=9.1	Суматра	3.316	95.854
17	2007	9	12	2007.7008	Mw=8.5	Южная Суматра	-4.520	101.37
18	2010	2	22	2010.1580	Mw=8.8	Чили	-35.909	-72.733
19	2011	3	11	2011.1973	Mw=9.0	Вблизи восточного побережья Хонсю, Япония	38.297	142.37

В последовательности землетрясений за 2004–2017 гг. проявлены 7 циклов третьего порядка (см. рис.6, табл. 3) с продолжительностью  $T = 0.82 - 2.45$  лет, в среднем 1.34 год и один цикл второго порядка (табл.6) с продолжительностью  $T = 6.2$  года.

Таблица 3.

**Пики сейсмической активизации циклов 3- го порядка в последовательности проявления землетрясений с  $M \geq 7.0$  за 2004-2017 гг.**

№	Год	Месяц	Число	Время, год	Магниту да	Географическое место	Широта	Долгота
1	2004	12	26	2004.9879	Mw=9.1	Суматра	3.316	95.854
2	2006	5	3	2006.3632	Mw=8.0	Тонга	-20.130	-174.16
3	2006	11	15	2006.8757	Mw=9.0	Курильские острова	46.607	153.23
4	2007	9	12	2007.7008	Mw=8.5	Южная Суматра	-4.520	101.37
5	2010	2	22	2010.1580	Mw=8.8	Чили	-35.909	-72.733
6	2011	3	11	2011.1973	Mw=9.0	Вблизи восточного побережья Хонсю, Япония	38.297	142.37
7	2012	4	11	2012.2810	Mw=8.6	Суматра	2.311	93.063
8	2013	5	24	2013.3996	Mw=8.3	Охотское море	54.874	153.28
9	2014	4	1	2014.2553	Mw=8.2	Икике, Чили	-19.642	-70.817
10	2015	9	16	2015.7130	Mw=8.3	Иллапель, Чили	-31.570	-71.654

Таблица 4.

**Пики сейсмической активизации циклов 2- го порядка в последовательности проявления землетрясений с  $M \geq 7.6$ .**

№	Год	Месяц	Число	Время, год	Магниту да	Географическое место	Широта	Долгота
1	1906	1	31	1906.0866	Mw=8,8	Колумбия-Эквадор	1.0	-81.5
2	1920	12	16	1920.9618	Ms=8.6	Нинся-Ганьсу, Китай	36.6	105.32
3	1933	3	2	1933.1740	Mw=8.4	Тохоку, Япония	39.22	144.62
4	1938	11	10	1938.8630	Mw=8.2	Шумагинские острова, Аляска	55.33	-158.37
5	1942	8	24	1942.6491	Mw=8.2	Перу	-14.98	-74.92
6	1943	6	6	1943.2664	Mw=8.2	Овалье, Чили	-30.75	-72.0
7	1952	11	4	1952.8461	Mw=9.0	Камчатка	52.76	160.06
8	1960	5	22	1960.3958	Mw=9.5	Вальдивия, Чили	-38.24	-73.05



Таблица 5.

**Пики сейсмической активизации циклов 2- го порядка в последовательности проявления землетрясений с  $M \geq 7.1$**

№	Год	Месяц	Число	Время, год	Магнитуда	Географическое место	Широта	Долгота
1	1960	5	22	1960.3958	Mw=9.5	Вальдивия, Чили	-38.24	-73.05
2	1964	3	28	1964.244	Mw=9.2	Аляска	61.02	-147.65
3	1968	5	16	1968.3773	Mw=8.3	Хоккайдо, Япония	40.90	143.35
4	1979	12	12	1979.9500	Mw=8.2	Нариньо, Колумбия	1.59	-79.358
5	1994	6	9	1994.5246	Mw=8.2	Боливия	-13.86	-67.49
6	1994	10	4	1994.7610	Mw=8.2	Вблизи с Курильскими островами	43.706	147.32
7	2001	6	23	2001.4819	Mw=8.4	Перу	-16.265	-73.641
8	2004	12	26	2004.9879	Mw=9.1	Суматра	3.316	95.854

Таблица 6.

**Пики сейсмической активизации циклов 2- го порядка в последовательности проявления землетрясений с  $M \geq 8.0$ .**

№	Год	Месяц	Число	Время, год	Магнитуда	Географическое место	Широта	Долгота
1	2004	12	26	2004.9879	Mw=9.1	Суматра	3.316	95.854
2	2011	3	11	2011.1973	Mw=9.0	Около восточного побережья Хонсю, Япония	38.297	142.37

Как видно из таблиц 4, 5, 6 пики ( $M_w = 8.2-9.5$ ) сейсмических циклов второго порядка проявились в пределах и вблизи Тихоокеанского пояса (в Южной Америке: в Колумбии - 1906 г., 1979 г.; Перу - 1942 г., 2001 г.; Боливии - 1994 г.; Чили - в 1943 г., 1960 г.; в Северной Америке: на Аляске - 1938 г., 1964 г.), на востоке и юге Азии (в Китае - 1920 г.; Японии - 1933 г., 1968 г., 2011 г.; на Камчатке - 1952 г.; Курилах - 1994 г.; Суматре - 2004 г.). При этом отмечалась своеобразная миграция этих пиков в направлении Южная Америка – Азия – Северная Америка – Южная Америка, иногда Южная Америка (Чили 1960 г.) - Северная Америка (Аляска 1968 г.).

Пики сейсмических циклов первого порядка проявились в 1906 г. в Боливии ( $M_w=8.8$ ), в 1960 г. в Чили ( $M_w=9.5$ ) и в 2004 г. на острове Суматра ( $M_w=9.1$ ). Продолжительность сейсмических циклов первого порядка составляла  $T = 54.3 - 50.8$  лет, в среднем 52.6 год.

График изменения магнитуды  $M_w = 8.2-9.5$  крупных землетрясений сейсмического цикла первого порядка с 31 января 1906 г. по 22 мая 1960 г. приведен на рис.7. Вариация магнитуды выражается эмпирической формулой:

$$M = 4E - 05t^3 - 0.002t^2 + 0.0057t + 8.8, R^2 = 0.94, \quad (1)$$

где  $M$  – магнитуда,  $t$  - время (в год),  $R^2$ - достоверность аппроксимации.

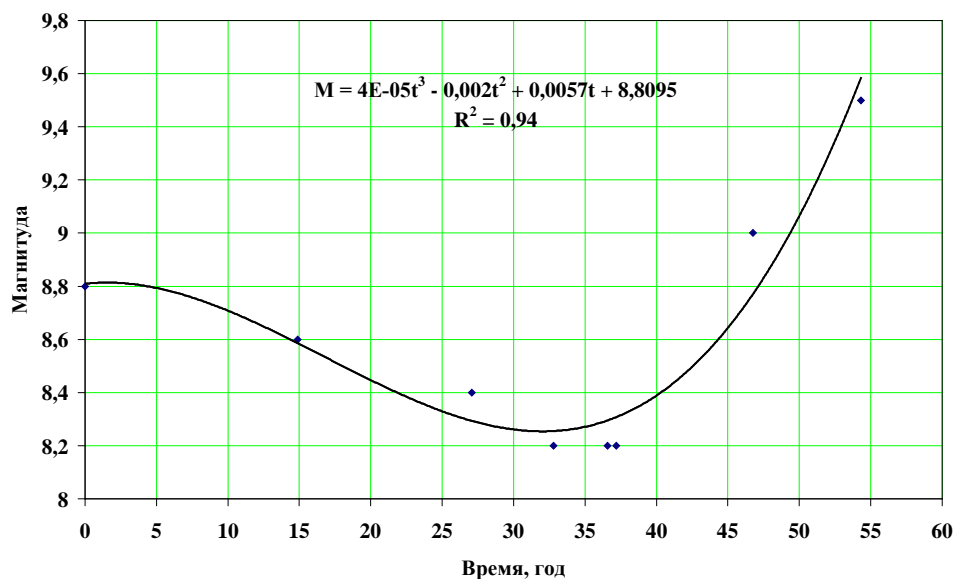


Рис.7. Изменение магнитуды  $M_w = 8.2-9.5$  крупных землетрясений сейсмического цикла первого порядка с 31 января 1906 г. по 22 мая 1960 г.

График изменения крупных землетрясений сейсмического цикла первого порядка с 22 мая 1960 г. по 26 декабря 2004 г. приведён на рис.8. Вариация магнитуды выражается эмпирической формулой:

$$M = 5E - 06t^4 - 0,0004t^3 + 0,0144t^2 - 0,2285t + 9,6, R^2 = 0,92, \quad (2)$$

где  $M$  – магнитуда,  $t$  – время (в год),  $R^2$  – достоверность аппроксимации.

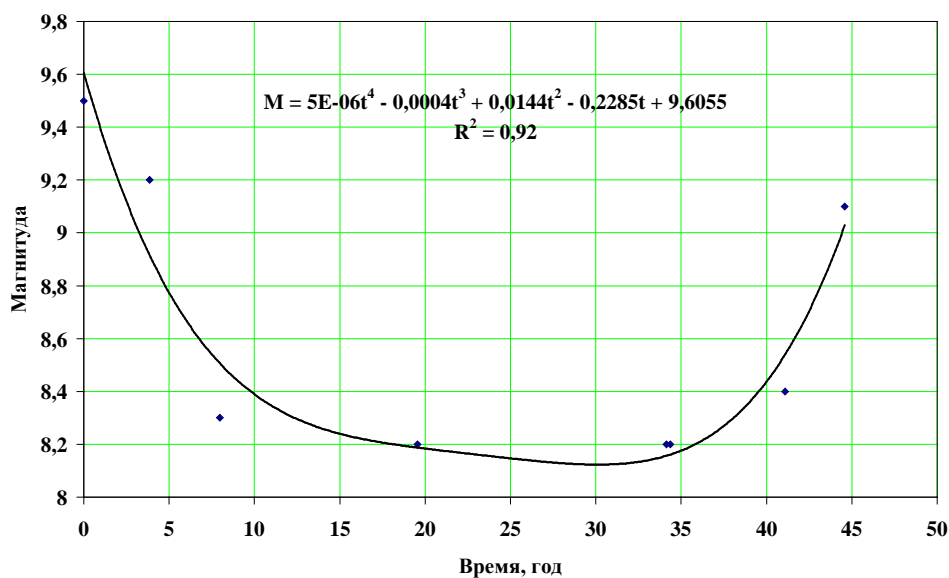


Рис.8. Изменение магнитуды  $M_w = 8.2-9.5$  крупных землетрясений сейсмического цикла первого порядка с 22 мая 1960 г. по 26 декабря 2004 г.

Составные функции сейсмических процессов в цикле первого порядка с 31 января 1906 г. по 22 мая 1960 г. на основе формулы (1) отражены на рис.9. Функции сейсмических процессов цикла первого порядка  $f(t) = 0,000004t^3$ ,  $f(t) = 0,2285t$  постепенно возрастали во времени, а функция  $f(t) = 0,002t^2$  спускалась во времени на фоне  $f(t) = 8.8$ .

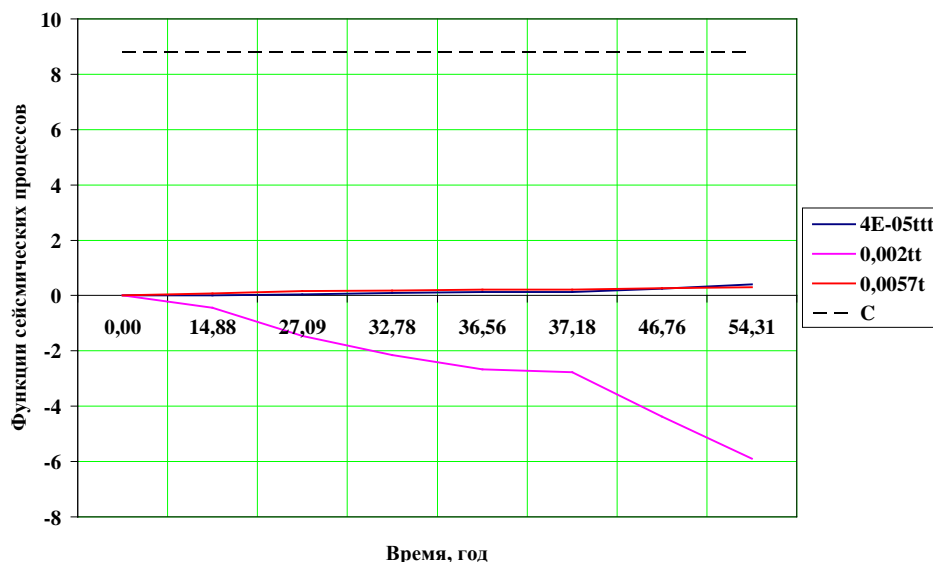


Рис.9. Составные функции сейсмических процессов в цикле первого порядка с 31 января 1906 г. по 22 мая 1960 г.

Составные функции сейсмических процессов в цикле первого порядка с 22 мая 1960 г. по 26 декабря 2004 г. на основе формулы (2) отражены на рис.10. Функции сейсмических процессов цикла первого порядка  $f(t)=5E-06t^4$  и  $f(t)=0.0144t^2$  возрастали во времени, а функции  $f(t)=0,0004t^3$  и  $f(t)=0,2285t$  спускались во времени на фоне  $f(t)=9.6$ .

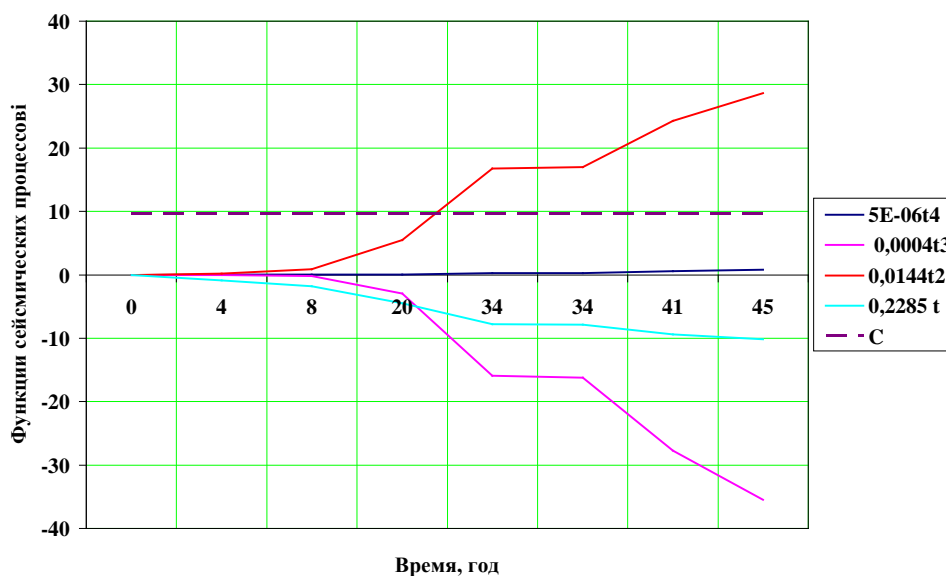


Рис.10. Составные функции сейсмических процессов в цикле первого порядка с 22 мая 1960 г. по 26 декабря 2004 г.

Следует отметить, что особенности изменения магнитуды в сейсмических циклах второго и третьего порядков представляют определённый интерес. Так, на рис.11 приведён график изменения магнитуды сейсмического цикла второго порядка с 11 марта 2011 г. Здесь после пика сейсмической активизации  $M_w=9.0$  наблюдался спад и 11 апреля 2012 г., 24 мая 2013 г. произошли землетрясения с  $M_w=8.6$  и  $M_w=8.3$ . Затем наблюдался период сейсмического затишья, а 1 апреля 2014 г. проявилось

землетрясение с  $M_w=8.2$ . В дальнейшем отмечалось наступление периода сейсмической активизации - 16 сентября 2015 г. произошло землетрясение с  $M_w=8.3$ . Эти магнитуды цикла второго порядка являлись одновременно пиками сейсмических циклов третьего порядка.

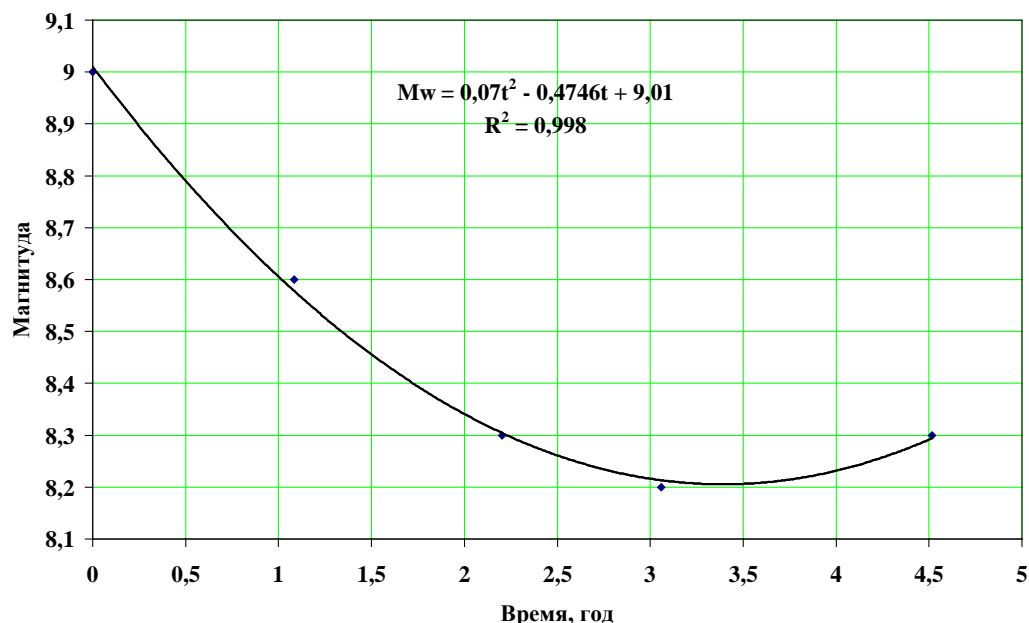


Рис.11. Изменение магнитуды в сейсмическом цикле второго порядка с 11 марта 2011 г. (начало координат) по 16 сентября 2015 г. (значение 4.5).

График изменения магнитуды сейсмического цикла второго порядка выражается эмпирической формулой:

$$M_w = 0.070t^2 - 0.4746t + 9.01, R^2 = 0.998, \quad (3)$$

где  $M_w$  – магнитуда,  $t$  - время (год),  $R^2$  – достоверность аппроксимации.

Соответственно, сейсмические процессы нелинейные.

На основании формулы (3) можно определить (путём экстраполяции) возможные магнитуды как продолжение данного цикла второго порядка (рис. 12). На графике видно, что вероятная магнитуда  $M_w \approx 9.0$  ожидаемого землетрясения может быть при значении времени 6.8 лет или  $6.8 + 2011,1974$  (11 марта 2011 г.) = 2017.99 (в конце ноября 2017 г.). Следует отметить, что продолжительность предыдущего цикла второго порядка составляла  $T=6.2$  года.

В цикле третьего порядка, проявившегося после 16 сентября 2015 г., наблюдался спад сейсмической активизации - 2 марта 2016 г. и 16 апреля 2016 г. проявились землетрясения с  $M_w=7.8$ . Затем отмечался период затишья, а 28 июля 2016 г. произошло землетрясение  $M_w=7.7$ . В дальнейшем наступил период сейсмической активизации - 17 декабря 2016 г. и 22 января 2017 г. проявились землетрясения с  $M_w=7.9$ . График изменения этих магнитуд сейсмического цикла третьего порядка с 16 сентября 2016 г. приведен на рис.13. Изменение магнитуды выражается эмпирической формулой:

$$M_w = 0.8301t^2 - 1.3879t + 8.2249, R^2 = 0.976, \quad (4)$$

где  $M_w$  - магнитуда,  $t$  – время (год),  $R^2$  – достоверность аппроксимации. Соответственно, сейсмические процессы цикла третьего порядка нелинейные.

На основании формулы (4) можно определить (путём экстраполяции) возможные магнитуды как продолжение данного цикла третьего порядка (рис. 14). На графике видно, что вероятная магнитуда  $M_w \approx 8.3$  ожидаемого землетрясения может быть при

значении времени 1.68 год или  $1.68+2015.713$  (16 сентября 2015 г.) = 2017.4 (после апреля 2017 г.). Следует отметить, что в действительности землетрясение с  $M_w=8.2$  произошло 9 сентября 2017 г. в Мексике.



Рис.12. Вероятные магнитуды как продолжение цикла второго порядка в 2017 г. Возможные магнитуды ожидаемых землетрясений обозначены пунктирной линией. Время вероятной магнитуды  $M_w \approx 9.0$  показано вертикальной штрихпунктирной линией.

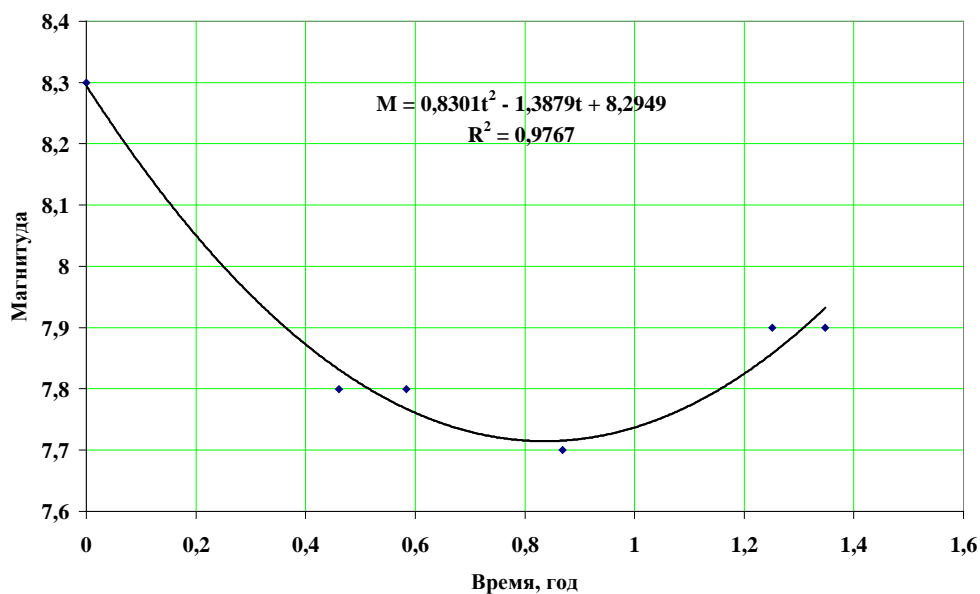


Рис.13. Изменение магнитуды сейсмического цикла третьего порядка с 16 сентября 2015 г. (начало координат).

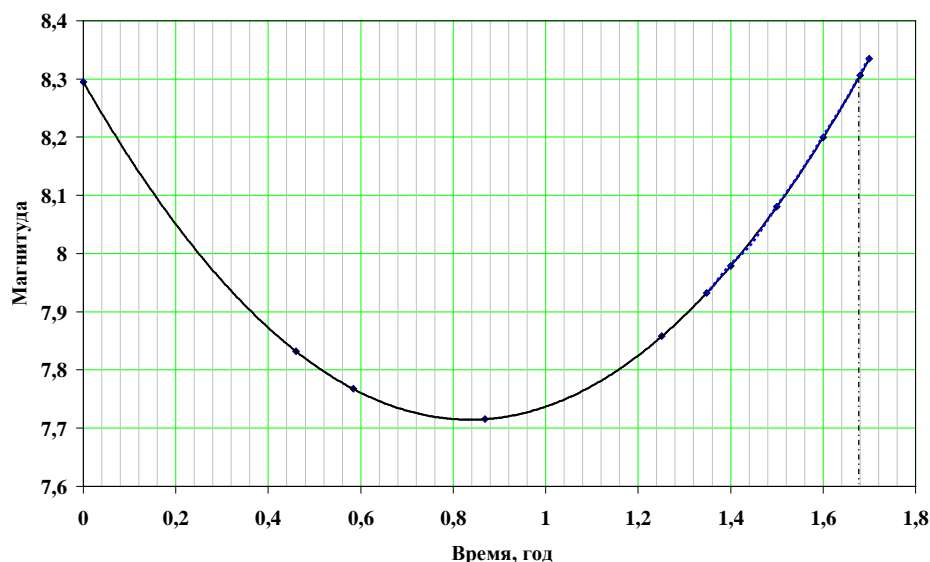


Рис.14. Вероятные магнитуды как продолжение цикла третьего порядка в 2017 г. Возможные магнитуды ожидаемых землетрясений обозначены пунктирной линией. Время вероятной магнитуды  $M_w \approx 8.3$  показано вертикальной штрихпунктирной линией

На основании формулы Канамори [24] можно определить сейсмический момент крупных землетрясений при  $\Delta\sigma \approx 30$  бар:

$$\lg M_0 = 1.5 M_w + 16.5 \quad (5)$$

и сейсмическую энергию:  $\lg E = \lg M_0 - 4.3$ . (6)

По имеющимся данным ([25], [26], [27]) были изучены кумулятивный сейсмический момент и кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при последовательных крупных землетрясениях в Земле в целом с 1900 г. по 2012 г. График кумулятивного сейсмического момента неровный, ступенчатый (рис.15). Линейный тренд его выражается эмпирической формулой:

$$M_{ok} = (6.2612t - 11996) \times 10^{28} \text{ (дин} \cdot \text{см)}, \quad (7)$$

где  $M_{ok}$  – кумулятивный сейсмический момент (дин·см),  $t$  – время (в год), коэффициент  $6.2612 \times 10^{28}$  – имеет размерность дин·см/год, представляет собой скорость проявления сейсмического момента. Флуктуация кумулятивного сейсмического момента очерчивается снизу и сверху прямыми линиями, параллельными линейному тренду, которые могут быть описаны эмпирическими формулами:

$$M_{ok} = (6.2612t - 12117,0429) \times 10^{28} \text{ (дин} \cdot \text{см)} \quad (8)$$

и

$$M_{ok} = (6.2612t - 11859,98521) \times 10^{28} \text{ (дин} \cdot \text{см)}, \quad (9)$$

соответственно. Разница сейсмического момента между этими линиями составляет  $257 \times 10^{28}$  дин·см.

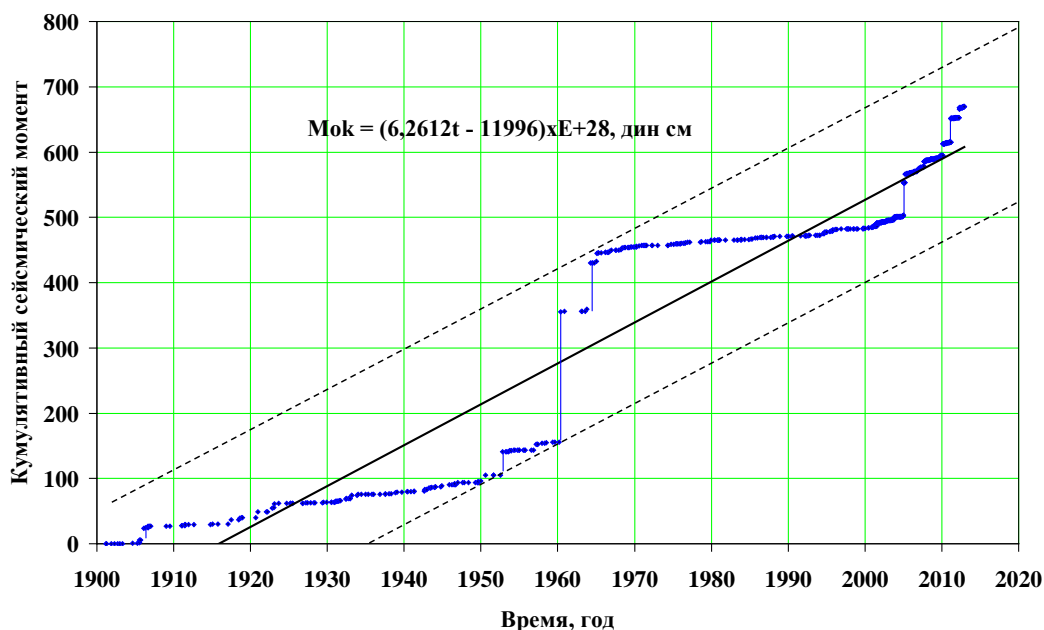


Рис.15. Кумулятивный сейсмический момент, проявленный при последовательности землетрясений с магнитудами больше 5.5 в Земле в целом с 1900 по 2012 гг. Линейный тренд кумулятивного сейсмического момента обозначен сплошной линией, а пределы флуктуации кумулятивного сейсмического момента обозначены пунктирными линиями.

График кумулятивной сейсмической энергии аналогичен графику кумулятивного сейсмического момента - неровный, ступенчатый (рис.16). Линейный тренд его выражается эмпирической формулой:

$$E_k = (3.138t - 6012.3) \times 10^{24} \text{ (эрг)}, \quad (10)$$

где  $E_k$  – кумулятивная сейсмическая энергия (эрг),  $t$  – время (год), коэффициент  $3.138 \times 10^{24}$  имеет размерность эрг/год и представляет собой скорость высвобождения энергии. Флуктуация кумулятивной сейсмической энергии очерчивается снизу и сверху прямыми линиями, параллельными линейному тренду, которые могут быть описаны эмпирическими формулами:

$$E_k = (3.138t - 6072.81) \times 10^{24} \text{ (эрг)} \quad (11)$$

и

$$E_k = (3.138t - 5944.005) \times 10^{24} \text{ (эрг)}, \quad (12)$$

соответственно. Разница сейсмической энергии между этими линиями составляет  $128.8 \times 10^{24}$  эрг. Она представляет собой возможную максимальную сейсмическую энергию на пике сейсмической активизации в цикле первого порядка.

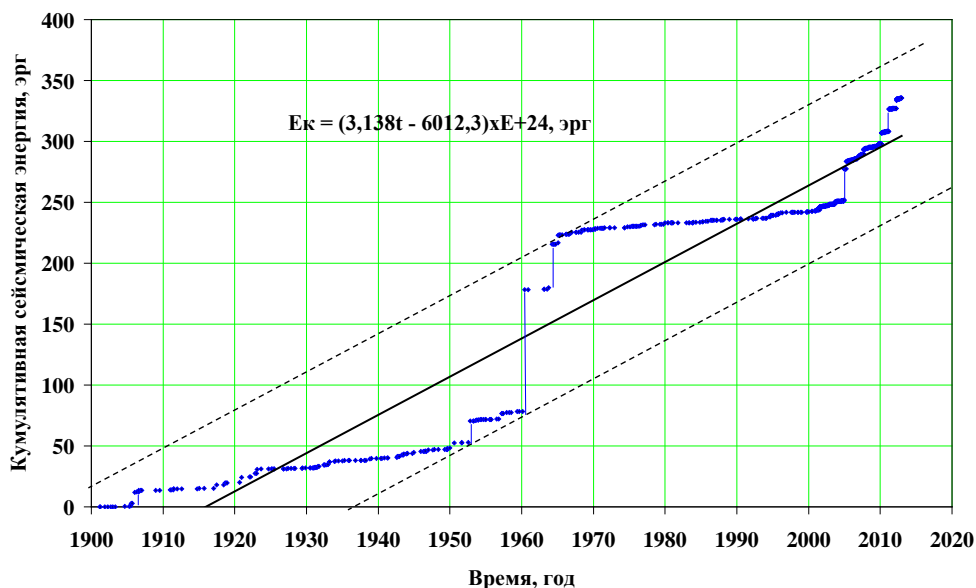


Рис.16. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с магнитудами больше 5.5 в Земле в целом с 1900 по 2012 гг. Линейный тренд кумулятивной сейсмической энергии обозначен сплошной линией, а пределы флуктуации кумулятивной сейсмической энергии обозначены пунктирными линиями.

Рассмотрим суточное изменение кумулятивного сейсмического момента Земного шара, определенное [28] по данным сейсмических волн землетрясений за 2012-2017 гг. (рис.17).

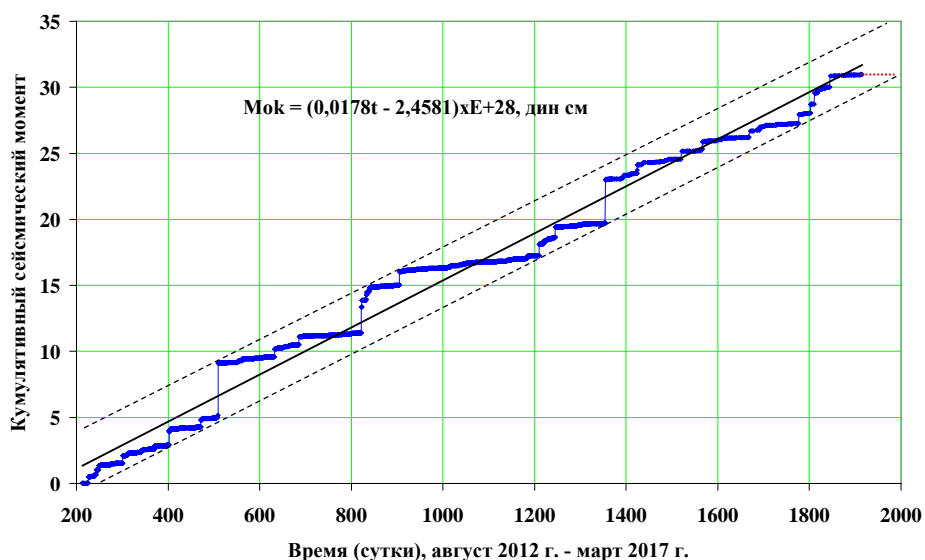


Рис.17. Кумулятивный сейсмический момент, проявленный при последовательности землетрясений с магнитудами больше 4.5 в Земле в целом за 2012 – 2017 гг. Пределы флуктуации кумулятивного сейсмического момента обозначены пунктирными линиями. Ожидаемое время наступления сейсмической активизации обозначено точечной красной горизонтальной линией.

В данном интервале времени наблюдались спад сейсмической активизации, период затишья и период подъема активизации сейсмического цикла второго порядка.



График кумулятивного сейсмического момента неровный, ступенчатый. Линейный тренд его выражается эмпирической формулой:

$$Mok = (0.0178t - 2.4581) \times 10^{28} \text{ (дин} \cdot \text{см)}, \quad (13)$$

где  $Mok$  – кумулятивный сейсмический момент (дин·см),  $t$  – время (сутки), коэффициент  $0.0178 \times 10^{28}$  – имеет размерность дин·см/сутки, представляет собой скорость проявления сейсмического момента. Флуктуация кумулятивного сейсмического момента очерчивается снизу и сверху прямыми линиями, параллельными линейному тренду, которые могут быть описаны эмпирическими формулами:

$$Mok = (0.0178t - 4.4078) \times 10^{28} \text{ (дин} \cdot \text{см)} \quad (14)$$

и

$$Mok = (0.0178t + 0.0362) \times 10^{28} \text{ (дин} \cdot \text{см)}, \quad (15)$$

соответственно. Разница сейсмического момента между этими линиями составляет  $4.44 \times 10^{28}$  дин·см. Она представляет собой возможный максимальный сейсмический момент ожидаемого землетрясения. Интервал времени от конечной точки кумулятивного сейсмического момента ( $t=1914.7257$  сутки,  $Mok=30,9630 \times 10^{28}$  дин·см) до нижней линии ( $t=1987.12$  сутки) представляет собой ожидаемое время начала сейсмической активизации ( $1987.12 - 1914.72$ ) = 72.4 сутки, т.е. июнь 2017 г.

По имеющимся данным сейсмического момента, используя формулу (6), рассмотрим суточное изменение кумулятивной сейсмической энергии в земном шаре за 2012-2017 гг. (рис.18). График кумулятивной сейсмической энергии неровный, ступенчатый. Линейный тренд его выражается эмпирической формулой:

$$Ek = (0.0089t - 1.2319) \times 10^{24} \text{ (эрг)}, \quad (16)$$

где  $Ek$  – кумулятивная сейсмическая энергия (эрг),  $t$  – время (сутки), коэффициент  $0.0089 \times 10^{24}$  имеет размерность эрг/сутки и представляет собой скорость высвобождения энергии.

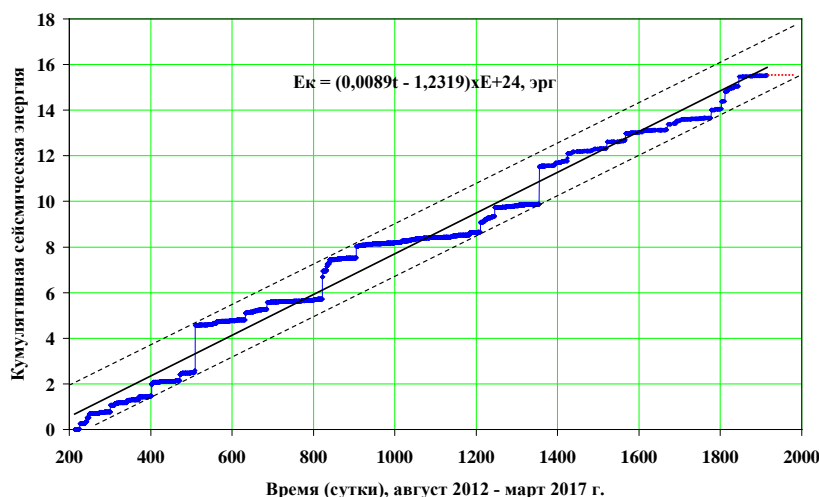


Рис.18. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с магнитудами больше 4.5 в Земле в целом за 2012-2017 гг. Пределы флуктуации кумулятивной сейсмической энергии обозначены пунктирными линиями. Ожидаемое время наступления сейсмической активизации обозначено точечной красной горизонтальной линией.

Флуктуация кумулятивной сейсмической энергии очерчивается снизу и сверху прямыми линиями, параллельными линейному тренду, которые могут быть описаны эмпирическими формулами:

$$E_k = (0.0089t - 2.1806) \times 10^{24} \text{ (эрг)} \quad (17)$$

и

$$E_k = (0.0089t - 0.0289) \times 10^{24} \text{ (эрг)}, \quad (18)$$

соответственно. Разница сейсмической энергии между этими линиями составляет  $2.2 \times 10^{24}$  эрг. Она представляет собой возможную максимальную сейсмическую энергию ожидаемого землетрясения. Интервал времени от конечной точки графика кумулятивной сейсмической энергии ( $t=1914.7257$  сутки,  $E_k=15,5182 \times 10^{24}$  эрг) до нижней линии ( $t=1989.23$  сутки) представляет собой ожидаемое время начала сейсмической активизации ( $1989.23-1914.72$ )=74.5 сутки, т. е. июнь 2017 г.

### Распределение глубины очагов землетрясений всей Земли во времени за август 2012 г. – апрель 2017 г.

Очаги землетрясений за рассматриваемый период имеют глубины до 681 км (рис. 19). Высокая их плотность отмечается на глубинах от 5 км до 70 км, концентрация уменьшается с глубиной и на уровне 250-500 км она относительно малая. Далее на глубинах от 500 км до 681 км плотность очагов увеличивается и становится сравнительно высокой.

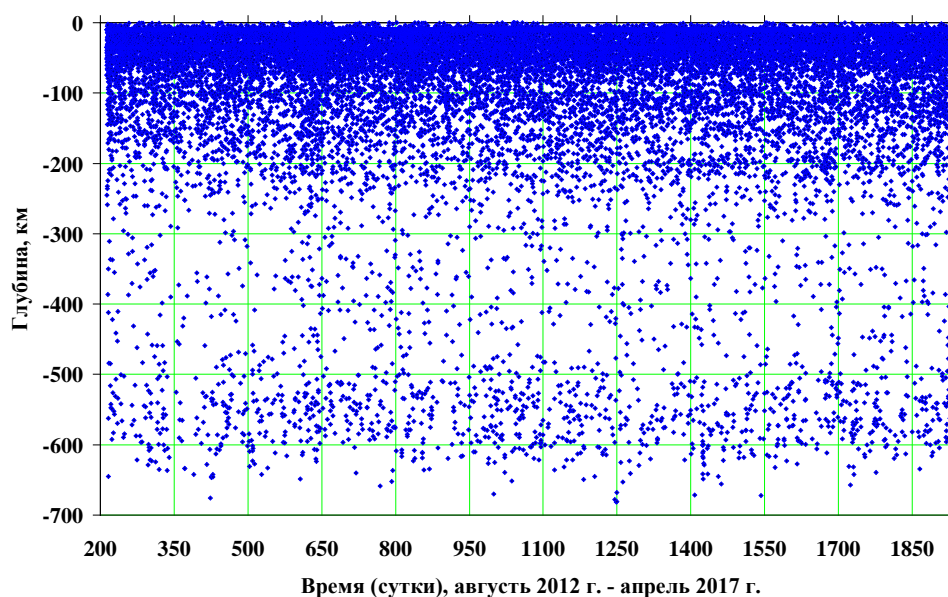


Рис.19. График распределения глубины очагов землетрясений всей Земли в целом за август 2012 г. - апрель 2017 г.

В связи с этим можно предположить, что свойства сейсмической геофизической среды, вероятно, отличаются в промежутках глубины: 0-70 км, 70-250 км, 250-500 км, 500-681 км и более 681 км. Данные промежутки глубины сейсмической среды частично совпадают с зонами современной модели мантии Земли, построенной по данным сейсмологии и результатам лабораторных исследований при высоких давлениях. Так, сейсмическая среда на глубинах 70-250 км находится на уровне астеносферы; сейсмическая среда на глубинах 250-500 км - на уровне зоны роста скорости из-за давления вышележащих слоев, где находится зона фазовых переходов оливинов в шпинель; сейсмическая среда на глубинах 500-681 км - на уровне зоны роста скорости из-за давления вышележащих слоев, где находится вторая зона фазовых переходов мантии Земли на глубинах 650-700 км.

На рис.20 приведено распределение очагов землетрясений во времени на глубинах 0-250 км. Здесь отмечается периодическое проявление своеобразных «вспышек» (далее вспышки) очагов, которые на графике выделяются в виде висячих вертикальных «цепочек» (далее цепочки). Вместе с тем отмечаются поверхности сейсмической среды на глубинах 10 км и 35 км – горизонтальные непрерывные цепочки частых очагов землетрясений, также имеются поверхности сейсмической среды на глубинах 5 км и 15 км – горизонтальные прерывистые цепочки нечастых очагов землетрясений (рис. 21, 22).

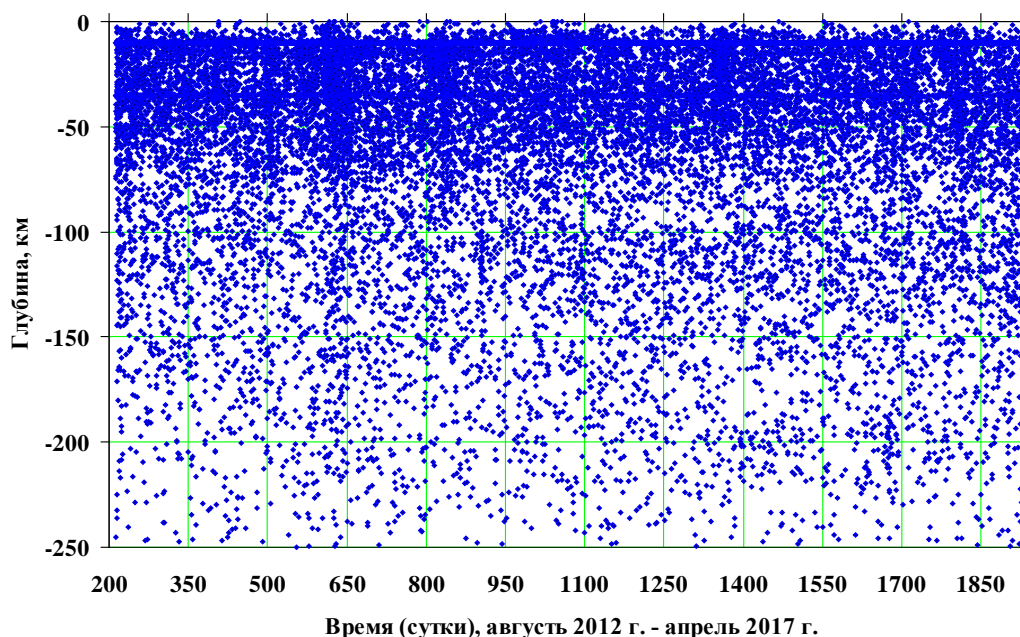


Рис.20. Распределение очагов землетрясений Земли в целом во времени на глубинах 0-250 км за период август 2012 г. – апрель 2017 г.

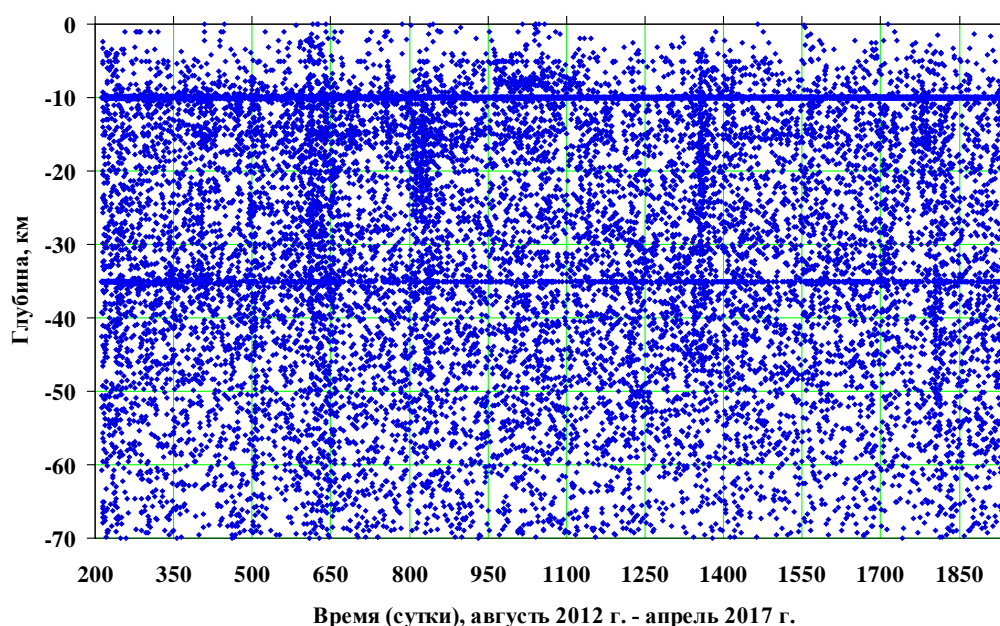


Рис.21. Распределение очагов землетрясений Земли в целом во времени на глубинах 0-70 км за период август 2012 г. – апрель 2017 г.

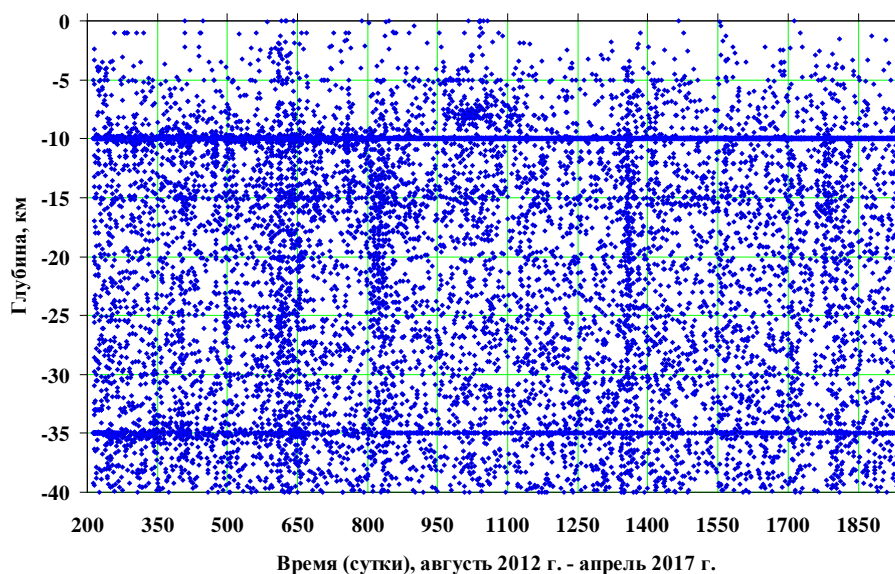


Рис.22. Распределение очагов землетрясений Земли в целом во времени на глубинах 0-40 км за период август 2012 г. – апрель 2017 г.

**В последовательности проявления землетрясений в слоях - промежутках глубины сейсмической среды литосферы и верхней мантии Земли, представляющих собой сейсмогенные слои, наблюдается чередование периодов сейсмической активизации и затишья [29]. Так, на глубине 0-10 км (рис.23) в периодах сейсмической активизации произошли 05.01.2013 г., 17.11.2013 г., 19.08.2016 г. землетрясения с  $M=7.5$  (Аляска),  $M=7.8$  (Шотландское море),  $M=7.4$  (остров Джорджия).**

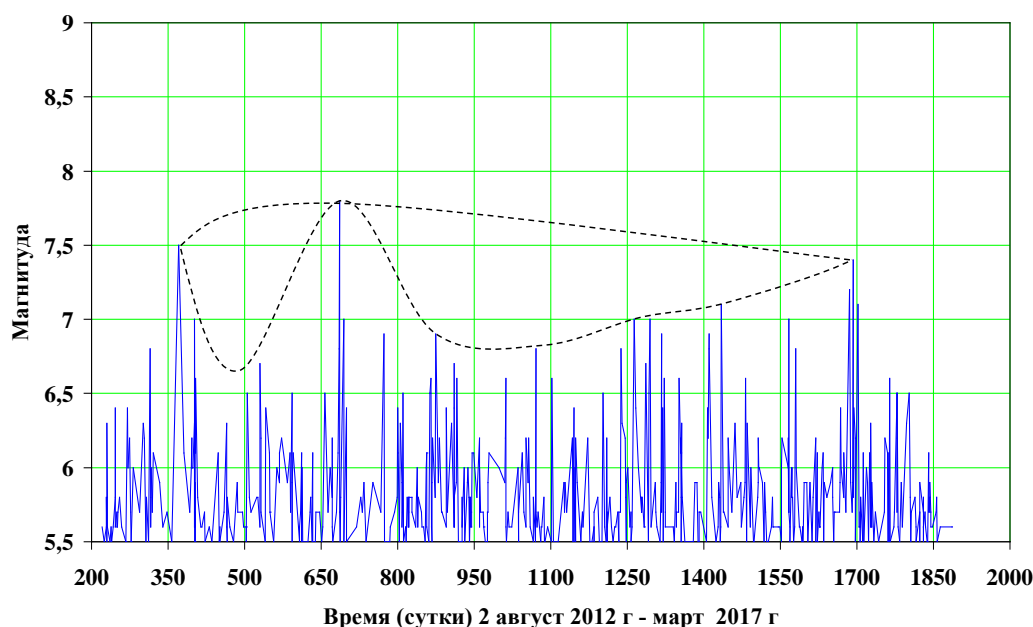


Рис.23. Последовательность проявления землетрясений, чередование периодов сейсмической активизации и затишья на глубине 0-10 км. Сейсмические циклы разного порядка обозначены пунктирной и штрихпунктирной линиями

На глубине 10-35 км (рис.24) 06.02.2013 г., 01.04.2014 г., 16.09.2015 г. произошли землетрясения с  $M=8.0$  (острова Санта-Крус),  $M=8.2$  (Чили),  $M=8.3$  (Чили). Между

ними проявились землетрясения с  $M=7.6$  (Филиппинские острова) 31.08.2012 г.,  $M=7.7$  (острова Шарлотта) 28.10.2012 г.,  $M=7.7$  (Пакистан) 24.09.2013 г.,  $M=7.8$  (Непал) 25.04.2015 г.,  $M=7.8$  (Суматра) 02.03.2016 г.,  $M=7.8$  (Эквадор) 16.04.2016 г.,  $M=7.8$  (Новая Зеландия) 13.11.2016 г.

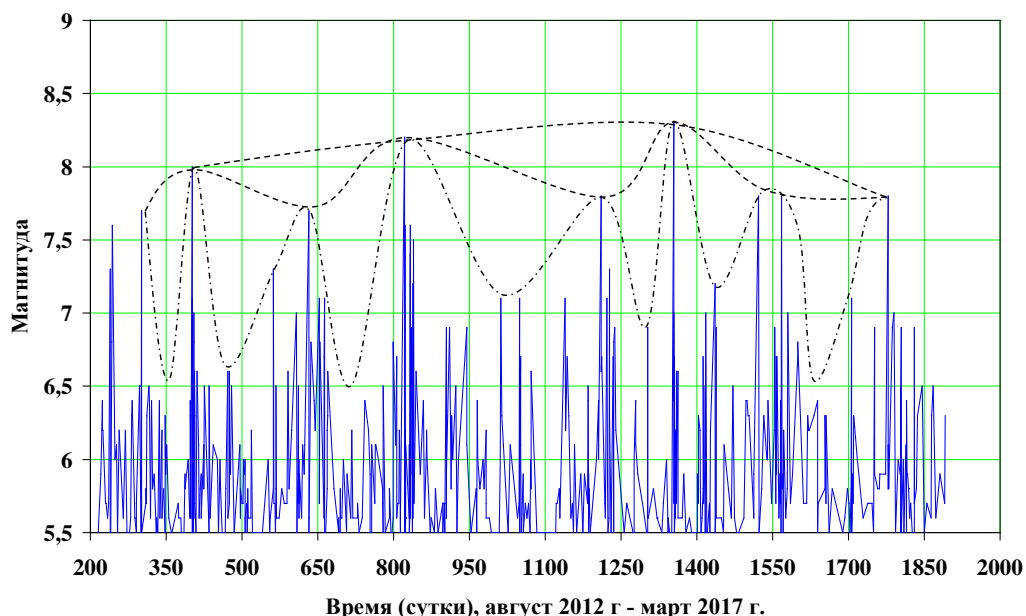


Рис.24. Последовательность проявления землетрясений, чередование периодов сейсмической активизации и затишья на глубине 10-35 км. Сейсмические циклы разного порядка обозначены пунктирной и штрихпунктирной линиями.

На глубине 35-70 км (рис.25) в периодах сейсмической активизации проявились 05.09.2012 г., 29.03.2015 г., 05.05.2015 г., 08.12.2016 г., 25.12.2016 г. землетрясения с  $M=7.6$  (Коста-Рика),  $M=7.5$  (Папуа Новая Гвинея),  $M=7.5$  (Папуа Новая Гвинея),  $M=7.8$  (Соломоновы острова),  $M=7.6$  (Чили).

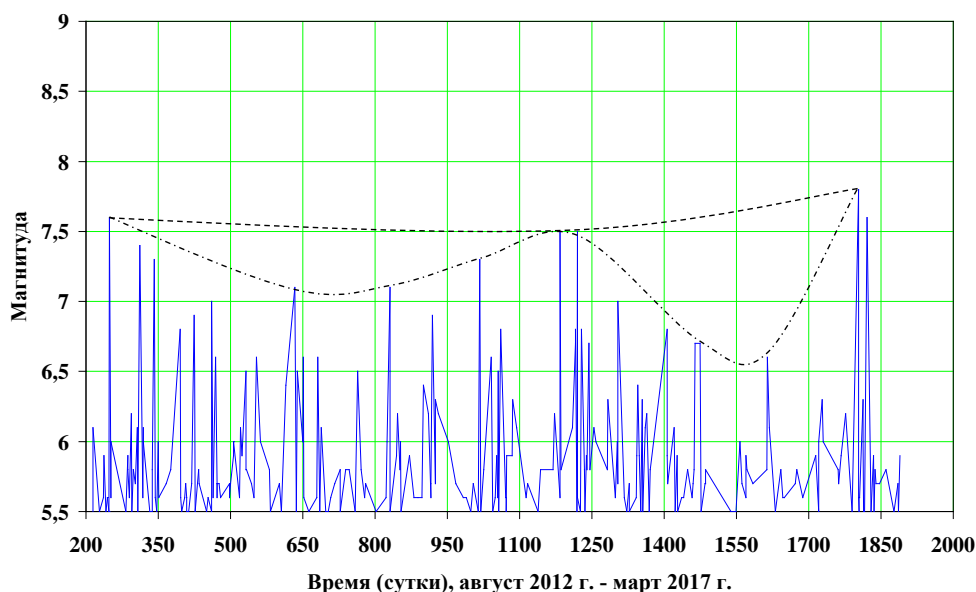


Рис.25. Последовательность проявления землетрясений, чередование периодов сейсмической активизации и затишья на глубине 35-70 км. Сейсмические

циклы разного порядка обозначены пунктирной и штрихпунктирной линиями.

На глубине 70-250 км (рис.26) в периодах сейсмической активизации проявились 16.04.2013 г., 23.06.2014 г., 26.10.2015 г., 29.07.2016 г., 17.12.2016 г., 22.01.2017 г. землетрясения с  $M=7.8$  (Пакистан),  $M=7.8$  (Аляска),  $M=7.5$  (Афганистан),  $M=7.7$  (Марианские острова),  $M=7.9$  (Папуа Новая Гвинея),  $M=7.9$  (Папуа Новая Гвинея).

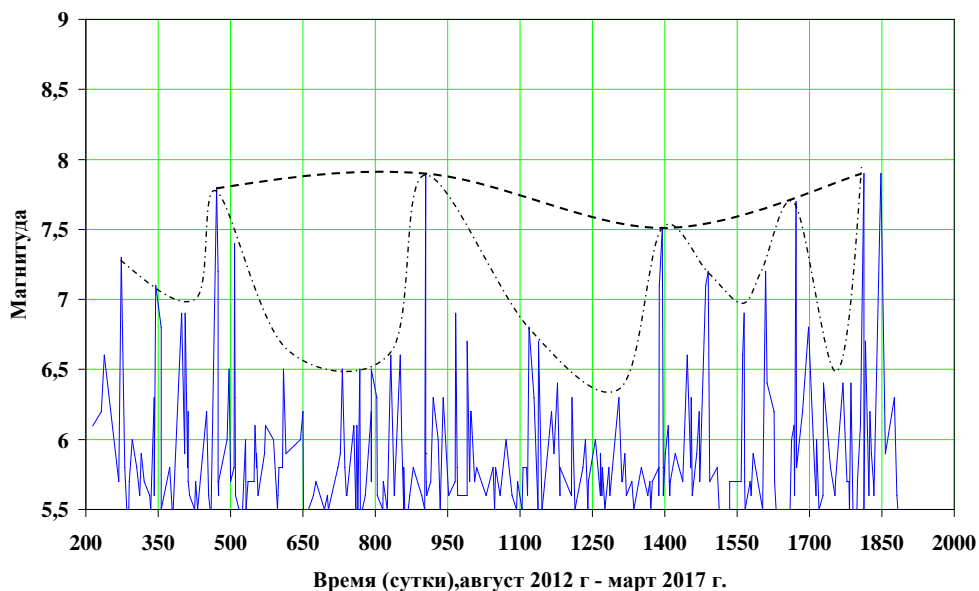


Рис.26. Последовательность проявления землетрясений, чередование периодов сейсмической активизации и затишья на глубине 70-250 км. Сейсмические циклы разного порядка обозначены пунктирной и штрихпунктирной линиями.

На глубине 250-500 км (рис. 27) в периодах сейсмической активизации проявились 07.07.2013 г., 01.11.2014 г., 24.02.2017 г. землетрясения с  $M=7.2$  ( $\varphi=-3.939^\circ$ ,  $\lambda=153.88^\circ$ ),  $M=7.1$  (Фиджи),  $M=6.9$  (Фиджи).

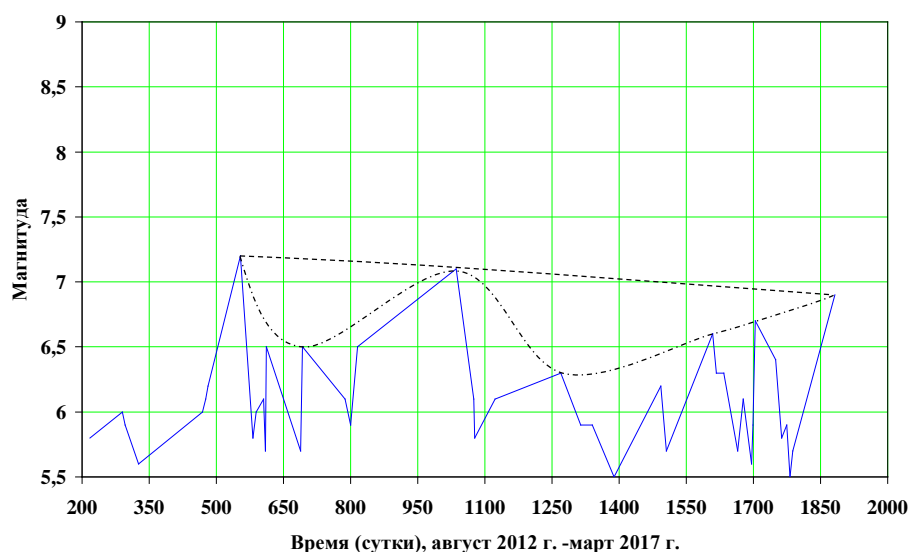


Рис.27. Последовательность проявления землетрясений, чередование периодов сейсмической активизации и затишья на глубине 250-500 км. Сейсмические

циклы разного порядка обозначены пунктирной и штрихпунктирной линиями.

На глубине 500-700 км (рис. 28) в периодах сейсмической активизации проявились 14.08.2012 г., 24.05.2013 г., 30.05.2015 г., 24.11.2015 г., 10.01.2017 г. землетрясения с  $M=7.7$  (Охотск),  $M=8.3$  ( $\varphi=54.87^\circ$   $\lambda=153.28^\circ$ ),  $M=7.8$  (Япония),  $M=7.6$  (Перу, Бразилия),  $M=7.3$  (Филиппины).

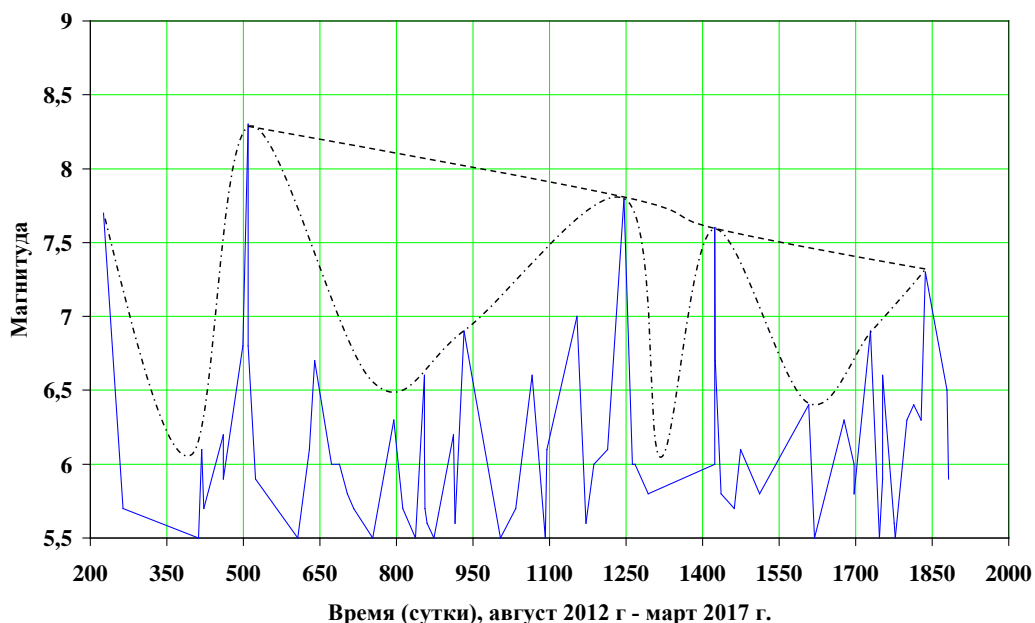


Рис.28. Последовательность проявления землетрясений, чередование периодов сейсмической активизации и затишья на глубине 500-700 км. Сейсмические циклы разного порядка обозначены пунктирной и штрихпунктирной линиями.

В таблице 7 приведено распределение сейсмической активизации во времени и по глубинам в пределах литосферы и верхней мантии Земли в целом.

Таблица 7.

**Проявление сейсмической активизации во времени и по глубинам в пределах литосферы и верхней мантии Земли в целом.**

Глубина					
(0-10) км	(10-35) км	(35-70) км	(70-250) км	(250-500) км	(500-700) км
					<b>226.1</b> <b>(14.08.2012)</b>
	<b>243.3*</b> <b>(31.08.2012)</b>				M=7.7 Охотское море
	M=7.6 Филиппинские острова	<b>248.6</b> <b>(05.09.2012)</b>			
	<b>301.1</b> <b>(28.10.2012)</b>	M=7.6 Коста-Рика			
<b>370.3</b> <b>(05.01.2013)</b>	M=7.7 Острова				

M=7.5 Аляска	Шарлотты				
	<b>402.0</b> <b>(06.02.2013)</b>				
	M=8.0 Острова Санта-Круз		<b>471.4</b> <b>(16.04.2013)</b>		
			M=7.8 Пакистан		<b>509.2</b> <b>(24.05.2013)</b>
				<b>553.7</b> <b>(07.07.2013)</b>	M=8.3 Охотское море
	<b>632.4</b> <b>(24.09.2013)</b>			M=7.2 Новая Ирландия, P.N.	
<b>686.3</b> <b>(17.11.2013)</b>	M=7.7 Пакистан				
M=7.8 Шотландское море	<b>821.9</b> <b>(01.04.2014)</b>				
	M=8.2 Чили		<b>904.8</b> <b>(23.06.2014)</b>		
			M=7.8 Аляска	<b>1035.7</b> <b>(01.11.2014)</b>	
		<b>1183.9</b> <b>(29.03.2015)</b>		M=7.1 Фиджи	
		M=7.5 Папуа Новая Гвинея			
	<b>1210.2</b> <b>(25.04.2015)</b>				
	M=7.8 Непал	<b>1220.0</b> <b>(05.05.2015)</b>			
		M=7.5 Папуа Новая Гвинея			<b>1245.4</b> <b>(30.05.2015)</b>
					M=7.8 Япония
	<b>1354.9</b> <b>(16.09.2015)</b>				
	M=8.3 Чили		<b>1394.3</b> <b>(26.10.2015)</b>		
			M=7.5 Афганистан		<b>1423.9</b> <b>(24.11.2015)</b>
	<b>1522.5</b> <b>(02.03.2016)</b>				M=7.6 Перу, Бразилия
	M=7.8 Суматра				
	<b>1567.9</b> <b>(16.04.2016)</b>				
			<b>1671.8</b> <b>(29.07.2016)</b>		
<b>1692.3</b> <b>(19.08.2016)</b>	M=7.8 Эквадор		M=7.7 Марианские острова		
M=7.4 остров	<b>1778.4</b>				



Джорджия	(13.11.2016)				
	M=7.8 Новая Зеландия	<b>1803.7</b> <b>(08.12.2016)</b>			
		M=7.8 Соломоновы острова	<b>1812.4</b> <b>(17.12.2016)</b>		
			M=7.9 Папуа Новая Гвинея		
		<b>1820.5</b> <b>(25.12.2016)</b>			
		M=7.6 Чили			<b>1836.2</b> <b>(10.01.2017)</b>
			<b>1848.1</b> <b>(22.01.2017)</b>		
			M=7.9 Папуа Новая Гвинея	<b>1881.7</b> <b>(24.02.2017)</b>	
				M=6.9 Фиджи	

**Примечание.** \*Время дано в сутках, начиная с августа 2012 г.

Сейсмическая активизация периодически поднимается и спускается (мигрирует) по сейсмогенным слоям [29]. Так, 14.08.2012 активизация проявилась на глубинах 500-700 км; 30.08.2012 г., 05.09.2012 г. и 28.10.2012 г. – на 10-35 км и 35-70 км, а 05.01.2013 г. – на 0-10 км. Затем активизация начинает спускаться: 06.02.2013 г. она проявилась на глубинах 10-35 км; 16.04.2013 г. – на 70-250 км; 24.05.2013 г. – на 500-700 км. Далее активизация снова поднималась: 07.07.2013 г. проявилась на глубинах 200-500 км; 24.09.2013 г. – на глубинах 10-35 км; 17.11.2013 г. – на глубинах 0-10 км. После активизация снова спускалась: 01.04.2014 г. отмечалась на глубинах 10-35 км; 23.06.2014 г. – на 70-250 км; 01.11.2014 г. – на 250-500 км. Далее снова повторился подъём активизации: 29.03.2015 г. наблюдалась на глубине 35-70 км; 25.04.2015 г. – на 10-35 км. После отмечается спуск активизации: 05.05.2015 г. проявилась на глубинах 70-250 км; 30.05.2015 г. – на 500-700 км. В дальнейшем наблюдался прерывистый подъём и спуск активизации, а именно 16.09.2015 г. проявилась на глубинах 10-35 км; 26.10.2015 г. и 26.11.2015 г. – на 70-250 км и 500-700 км; 02.03.2016 г. и 16.04.2016 г. – на 10-35 км. После наблюдался спуск активизации и 29.07.2016 г. она проявилась на глубинах 70-25 км. После активизация отметилась 19.08.2016 г. на глубинах 0-10 км. В дальнейшем наблюдался спуск активизации: 13.11.2016 г. – на глубинах 10-35 км, 08.12.2016 г. – на 35-70 км; 17.12.2016 г. – на 70-250 км; 25.12.2016 г. – на 35-70 км; 10.01.2017 г. – на 500-700 км. После отметился её подъём (22.01.2017 г. – на глубинах 70-250 км) и спуск (24.02.2017 г. – на глубинах 250-500 км). В связи с этим можно сказать, что ожидаемая активизация вероятна на глубинах 0-70 км.

В промежутках глубины (в различных сейсмических средах) Земного шара отмечается характерная повторяемость землетрясений в соответствии с законом Гутенберга и Рихтера (таблица 8).

Таблица 8.

**Средняя годовая частота (N) землетрясений ( $M \geq 5.5$ ) в промежутках глубины (сейсмических средах) на всем земном шаре за август 2012-март 2017 гг.**

Глубина, км	Формула повторяемости землетрясений по закону Гутенберга и Рихтера	Максимальная магнитуда M
0-70	$\lg N = -0.9091M + 8.0102, R^2 = 0.956$	8.3
0-10	$\lg N = -1.2247M + 9.4547, R^2 = 0.998$	7.8
10-35	$\lg N = -0.7998M + 7.0143, R^2 = 0.87$	8.3
35-70	$\lg N = -0.837M + 6.6984, R^2 = 0.998$	7.8
70-250	$\lg N = -0.8019M + 6.4726, R^2 = 0.99$	7.9
250-500	$\lg N = -0.6284M + 4.6251, R^2 = 0.999$	7.2
500-700	$\lg N = -0.5043M + 4.0153, R^2 = 0.98$	8.3
0-700	$\lg N = -0.862M + 7.7943, R^2 = 0.972$	8.3

**Примечание:** N – средняя годовая частота землетрясений, M – магнитуда,  $R^2$  – достоверность аппроксимации.

Из таблицы 8 видно, что коэффициент (b - в формуле повторяемости) наклона графика повторяемости землетрясений Земли на глубинах 0-70 км равен 0.9091 и близок к величине коэффициента  $b=0.90$  [30]. Значение коэффициента «b» на глубинах 0-10 км составляет 1.22, на глубинах 10-35 км принимает значение 0.79, а на глубинах 35-70 км повышается до 0.84, затем уменьшается до 0.62 на глубинах 250-500 км, на глубинах 500-700 км он равен 0.50. Следует отметить, что максимальная магнитуда на глубинах 10-35 км и 500-700 км составляет  $M=8.3$ , на глубинах 250-500 км  $M=7.2$ , а на остальных глубинах  $M=7.8-7.9$ . Очевидно, что коэффициенты графика повторяемости землетрясений выражают свойства сейсмической среды на глубинах: 0-10 км, 10-35 км, 35-70 км, 70-250 км, 250-500 км, 500-700 км, отраженные на современной модели литосферы и верхней мантии ([6], [7]).

### Заключение

На основе изучения сейсмичности Земли в целом можно отметить нижеследующее:

1. Земной шар, состоящий из литосферы, мантии и ядра, имеет иерархию активных литосферных плит, блоков и зон разломов. Взаимодействие этих образований предопределяет геодинамику и динамику сейсмичности Земного шара.
2. В последовательности проявления землетрясений Земли в целом за 1900-2017 гг. наблюдается чередование периодов сейсмической активизации и затишья. На графиках выделяется иерархия сейсмических циклов, особенно третьего (при  $M > 6.5$ ), второго (при  $M \geq 7.4$ ) и первого (при  $M \geq 8.2$ ) порядков. Продолжительность сейсмических циклов третьего порядка составляет 0.82 - 6.02 года, второго порядка – 3.5-14.87 лет, первого порядка - 50.8-54.3 года. На основе результатов исследований отмечено, что иерархия сейсмических циклов Земли в целом представляет собой универсальный параметр сейсмических процессов.
3. Сейсмические процессы циклов нелинейные. График изменения магнитуды  $M_w=8.2-9.5$  землетрясений сейсмического цикла, например, первого порядка с 31 января 1906 г. по 22 мая 1960 г. выражается эмпирической формулой:

$$M = 4E - 05t^3 - 0.002t^2 + 0.0057t + 8.8, R^2 = 0.94,$$

где  $M$  – магнитуда,  $t$  – время (в год),  $R^2$  – достоверность аппроксимации.

График изменения магнитуды  $M_w=8.2-9.5$  землетрясений сейсмического цикла первого порядка с 22 мая 1960 г. по 26 декабря 2004 г. выражается эмпирической формулой:

$$M = 5E - 06t^4 - 0.0004t^3 + 0.0144t^2 - 0.2285t + 9.6, R^2 = 0.92,$$

где  $M$  – магнитуда,  $t$  – время (в год),  $R^2$  – достоверность аппроксимации.

4. Эмпирические формулы последних циклов второго порядка с 11.03.2011 г.:

$$M_w = 0.070t^2 - 0.4746t + 9.01, R^2 = 0.998,$$

и третьего порядка с 16 09 2016 г.:

$$M_w = 0.8301t^2 - 1.3879t + 8.2249, R^2 = 0.976,$$

где  $M_w$  – магнитуда,  $t$  – время (год),  $R^2$  – достоверность аппроксимации, позволяют определить (путем экстраполяции) возможные магнитуды, как продолжение данных циклов. На соответствующих графиках видно, что вероятная магнитуда  $M_w \approx 9.0$  ожидаемого землетрясения в цикле второго порядка может быть при значении времени 6.8 год или  $6.8 + 2011,1974 = 2017.99$  г., а вероятная магнитуда  $M_w \approx 8.3$  ожидаемого землетрясения в цикле третьего порядка может быть при значении времени после 1,68 лет или  $1.68+2015.713 = 2017.4$  г. В действительности землетрясение с  $M_w = 8.2$  произошло 9 сентября 2017 г. в Мексике.

5. Проявление сейсмического момента и высвобождение энергии при последовательностях землетрясений Земли в целом происходят в соответствии с сейсмическими циклами. Графики кумулятивного сейсмического момента и кумулятивной сейсмической энергии неровные, ступенчатые. Линейный тренд кумулятивного сейсмического момента (за 1900 - 2012 гг.) выражается эмпирической формулой:

$$M_{ок} = (6.2612t - 11996) \times 10^{28} \text{ (дин} \cdot \text{см)},$$

где  $M_{ок}$  – кумулятивный сейсмический момент (дин·см),  $t$  – время (в год), коэффициент  $6,2612 \times 10^{28}$  – имеет размерность дин·см/год, представляет собой скорость проявления сейсмического момента. Линейный тренд кумулятивной сейсмической энергии выражается эмпирической формулой:

$$E_k = (3.138t - 6012.3) \times 10^{24} \text{ (эрг)},$$

где  $E_k$  – кумулятивная сейсмическая энергия (эрг),  $t$  – время (год), коэффициент  $3.138 \times 10^{24}$  имеет размерность эрг/год и представляет собой скорость высвобождения энергии. Изучено суточное изменение кумулятивного сейсмического момента и кумулятивной сейсмической энергии земного шара за 2012-2017 гг. Скорость проявления сейсмического момента составляет  $0.0178 \times 10^{28}$  дин·см/сутки, а скорость высвобождения энергии -  $0.0089 \times 10^{24}$  эрг/сутки.

6. Исследование распределения глубины очагов землетрясений Земли в целом за 2012-2017 гг. показало, что сейсмическая среда различается на глубинах: 0-10 км, 10-35 км, 35-70 км, 70-250 км, 250-500 км, 500-681 км. Данные промежутки глубины приближенно совпадают с зонами современной модели литосферы и мантии Земли, построенной по данным сейсмологии и результатам лабораторных исследований при высоких давлениях. Отмечено периодическое проявление всплеск очагов в виде висячих цепочек на глубинах до 250 км. Выделены горизонтальные непрерывные поверхности на глубинах 10 км и 35 км и прерывистые поверхности на глубинах 5 км и 10 км. Коэффициент графика повторяемости (по закону Гутенберга и Рихтера) составляет: 1.22 на глубинах 0-10 км; 0.79 - на 10-35 км; 0.83 - на 35-70 км; 0.80 - на 70-250 км; 0.62 - на 250-500 км; 0.50 - на 500 -681 км. Установлено, что сейсмическая активизация на этих глубинах

сейсмической среды мигрирует периодически вверх (поднимается) и вниз (спускается) в соответствии с сейсмическими циклами.

### Литература

1. Гутенберг Б., Рихтер Ч. Сейсмичность Земли. М.: ИЛ, 1948. -160 с.
2. Richter C.F. Elementary Seismology. Freeman.Co., San Francisco.1958. -768 pp.
3. Электронные ресурсы:
4. <http://neic.usgs.gov/neis/general/seismicity/world.html>
5. Новая глобальная тектоника. М: Мир,1974.с.471.
6. Электронные ресурсы: [https://www.e-education.psu.edu/earth107/sites/www.e-education.psu.edu/earth107/files/Unit1/Mod2/Earth107Mod2Fig2.1\\_JULY\\_2016Plates.gif](https://www.e-education.psu.edu/earth107/sites/www.e-education.psu.edu/earth107/files/Unit1/Mod2/Earth107Mod2Fig2.1_JULY_2016Plates.gif)
7. Жарков И.Н. Внутреннее строение Земли и планет.М: Наука, 1983. – 416 с.
8. Электронные ресурсы:
9. <https://media.nationalgeographic.org/assets/photos/293/059/02346985-95bc-4856-a683-9894f0a6f8c7.jpg>
10. Kanamori H. Anderson D.L. Theoretical basis of some empirical relations in seismology.// Bull. Seismol. Soc. Am., 1975, 65, 1073-95.
11. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985.-254 с.
12. Федотов С.А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии.// Труды Института Физики Земли АН СССР.№36 (203).М.: Наука, 1965. С. 66-93.
13. Mogi K. Migration of seismic activity.// Bull.Earthq.Res.Inst., Tokyo University.1968, 46, 53-74 pp.
14. Kawasumi H. Proofs of 69 years periodicity and imminence of destructive earthquake in southern Kwanto district and problems in the counter – measures thereof. //Journal of Geography (Chigaku Zasshi) (Tokyo), 1970, 79, 115-138 pp.
15. Usami T., Hisamoto S. Future probability of a coming earthquake with intensity V or more in the Tokyo area. // Bull.Earthq.Res.Inst., Tokyo University.1970, 48, 331-340.
16. Shimazaki K. Hidden periodicities of destructive earthquake at Tokyo. Zisin. J.Seismol. Soc. Japan, 1972, 25, 24-32 pp.
17. Мамыров Э.М., Омуралиев М., Усупбаев Ш.Э. Оценка вероятной сейсмической опасности территории Кыргызской Республики и приграничных районов стран Центральной Азии на период 2002-2005 гг. Бишкек: Аль Салам, 2002, 92 с.
18. Омуралиев М., Землянский А. А., Ачакеев Э. Управляющие параметры процессов в области подготовки сильных землетрясений Тянь-Шаня. //Материалы пятой международной конференции молодых ученых и студентов (Бишкек, 24-25 апреля 2013 г.) «Современные техника и технологии в научных исследованиях», Москва-Бишкек: НС РАН, 2013, с.103-109.
19. Омуралиева А., Омуралиев М. Динамика сейсмичности и сейсмическая опасность Тянь-Шаня – активного блока первого порядка литосферы. //Вестник Института сейсмологии НАН КР.- 2017. - № 1(9), с. 62-71.
20. Омуралиева А., Омуралиев М. Динамика сейсмичности и сейсмическая опасность блоков Тянь-Шаня второго порядка. //Вестник Института сейсмологии НАН КР.- 2017. - № 1(9), с. 72-84.
21. Омуралиев М., Омуралиева А., Ачакеев Э.А. Авторское свидетельство №2037 от 11.10.2012 “Масштабный закон периодичности проявления и повторяемости землетрясений”.
22. Электронные ресурсы: [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_earthquakes](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_earthquakes).

23. Омуралиева А., Омуралиев М. Последовательность исторических землетрясений Земли в целом и периоды сейсмической активизации и затишья. //Наука и Новые Технологии, 2012, №3, с. 90-96.
24. 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.
25. 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.
26. Kanamori H. The energy release in great earthquakes. //J.Geophys. Res., 1977, 82, 2981-2987 pp..
27. Brune J.N. Seismic moment, seismicity, and rate of slip along major fault zones. J.Geophys.Res., 1968, 73, 777-84 .
28. Tsuboi C. Time rate of earthquake energy release in and near Japan. Proc. Jap. Acad., 1965, 41, 392-7.
29. Мого К. Предсказание землетрясений.М.:Мир,1988.-382 с.
30. U.S. Geological Survey (USGS <<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>>)
31. Mogi K. Global variation of seismic activity. //Tectonophysics,1979, 57, T43-T50
32. Gutenberg B., Richter C.F. Seismicity of the Earth and associated phenomena, 2nd edition, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1954. -310 pp.

*Рецензент: д. г.- м. н., профессор Абдрахматов К. Е.*