

УДК 550.34.0

Мамыров Э.

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

ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА ГЛОБАЛЬНОМ И РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЯХ

Аннотация: В статье рассмотрены временные изменения сейсмического режима на глобальном и региональном уровнях в связи с проявлениями крупных сейсмодкатастроф.

Ключевые слова: сейсмический режим, сейсмодкатастрофа, магнитуда, изменение.

ГЛОБАЛДЫК ЖАНА РЕГИОНАЛДЫК ДЕНГЭЭЛДЕГИ СЕЙСМИКАЛЫК РЕЖИМДЕРДИН УБАКЫТТЫК ӨЗГӨРҮҮЛӨРҮ

Кыскача мазмуну: Макалада күчтүү сейсмодкатастрофалардын пайда болуусуна байланыштуу глобалдык жана регионалдык денгээлде сейсмикалык режимдердин убакыттык өзгөрүүлөрү каралган.

Түйүндүү сөздөр: сейсмикалык режим, сейсмодкатастрофа, магнитуда, өзгөрүү.

THE TEMPORARY VARIATIONS OF SEISMIC MODE ON THE GLOBAL AND REGIONAL PLANES

Abstract: The temporary variations of seismic mode on the global and regional planes according to the strong seismic catastrophes are considered at the paper.

Keywords: seismic regime, seismic disaster, magnitude, change.

Введение. И.В. Мушкетовым и А.П. Орловым [1] впервые было указано, что увеличение количества сильных землетрясений в сейсмоактивных зонах Земли происходят почти одновременно и выделяются крупные эпохи (циклы) глобальной активизации тектонофизических процессов. Анализ пространственно-временных закономерностей сейсмического режима за период инструментальных наблюдений, выполненный за последние годы А.В. Чипизубовым [2], доказывает, что в глобальном масштабе выделяются крупные циклы одновременного ослабления и усиления сейсмической деятельности в различных регионах. Такие общие выводы имеют принципиальное значение для теории и практики прогнозных исследований, т.е. уровень сейсмической опасности не остаётся постоянным, а статистическая значимость закона повторяемости Гуттенберга-Рихтера нуждается в существенных дополнениях. В связи с вышеуказанным, приведём некоторые выводы отдельных исследователей. К. Моги [3] было показано, что главные сейсмические пояса Земли тесно связаны в глобальном масштабе и имеют общие активные периоды. По данным авторов [4-9] глобальная сейсмичность хорошо коррелируется с локальной, например, в таких районах, как Греция, с отставанием сейсмоактивности на 10-16 лет. Корреляция сейсмической активности отмечается и для геодинамических сопряжённых районов – Балкан и Калабрии, Средне-Атлантического хребта и шельфовой области Северо-Американской плиты [2]. Высокая корреляция отмечается между ходом сейсмичности отдельных районов Кавказа, островных землетрясений Японии, а для территории Бишкекского геодинамического полигона А.М. Фридманом и В.Д. Брагиным (2005) была показана высокая корреляция сейсмичности региона с активизацией тектонофизических процессов в Восточном полушарии Земли [7]. Правда, последняя фаза активизации сильных землетрясений (о. Суматра, 2004-2012 гг., Япония 2005-2011 гг.) с магнитудой $M_w = 8.0 - 9.1$ в пределах восточного полушария

не отразились в сейсмичности на территории Бишкекского полигона, но привели к возникновению крупных землетрясений в пределах Восточного и Южного Тянь-Шаня с магнитудой $M_w = 5.8 - 6.2$.

Вторая важная закономерность заключается в том, что ход высвобождения энергии землетрясениями с $M_w \geq 7.9$ через 1-5 лет отражается в ходе роста количества событий с $7.0 < M_w < 7.9$ и, вероятно, через 25-30 лет в ходе высвобождения энергии землетрясений с $6 \leq M_w \leq 7.0$. Другими словами, в планетарном масштабе проявляется эффект запаздывания высвобождения энергии деформаций более слабыми землетрясениями. Такая взаимосвязь количества землетрясений различных масштабов позволила А.В. Чипизубову [2] отнести катастрофические события с $M_w \geq 7.9$ к первичным, а более слабые – к вторичным по аналогии с тем, как Г. Беньофф [7] отнёс деформации, связанные с сильнейшими землетрясениями, к первичным, другие более слабые – ко вторичным [8]. В известной мере такая аналогия подобна временной последовательности возникновения главного толчка и убыванию энергии количества афтершоков.

Третья важная закономерность – в региональном и локальном масштабах тектонофизических процессов: землетрясения с максимально возможной магнитудой для данного региона предвараются ростом количества средних событий с $5.0 \leq M_w \leq 6.5$ за 1-5 лет до крупной сейсмोकатастрофы [9-13].

В связи с вышеуказанными закономерностями приведём их конкретные примеры.

На рисунке 1. показан график изменения сейсмической активности Южного региона Калифорнии, или количества землетрясений с $5.1 \leq M_L \leq 6.7$, за каждый год со скользящим интервалом в 5 лет и промежуточным интервалом перекрытия в 4 месяца за 1935-1994 гг. (из статьи известных сейсмологов Knopoff, Keilis – Boroketal. [12]).

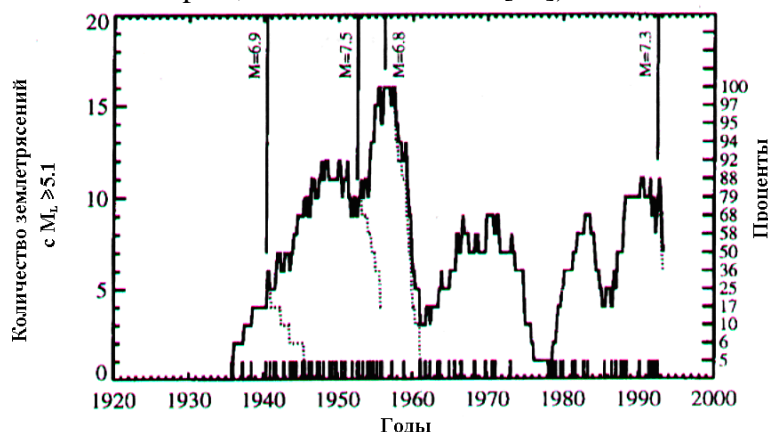


Рисунок 1. График изменения сейсмической активности Южного региона Калифорнии.

Сплошной линией показано количество землетрясений с $5.1 \leq M_L \leq 6.7$ со скользящим интервалом в 5 лет и промежуточным интервалом перекрытия в 4 месяца. Пунктирной линией обозначена активность, исходя из предположения, что после каждого сильного землетрясения не происходят землетрясения с указанной максимальной магнитудой. Если пунктирная и сплошная линии совпадают, то в течение 5 лет не происходят землетрясения с указанной магнитудой после сильного события. Сплошные вертикальные линии обозначают время проявления сильных землетрясений.

Не касаясь подробностей методики построения скользящих средних, которая позволяет удалить влияние высокочастотных мод, но при этом проявляется эффект Слущкого-Юла [14]. Главным выводом указанных авторов является увеличение количества землетрясений N с определённым интервалом магнитуд (рисунок 1). При этом максимальная величина $N = 16$ при достижении текущих значений $N \geq 10$, или при достижении 62.5% от максимального количества N , следует ожидать землетрясение с $M_L > 6.9$. Судя по рисунку 1, наиболее важным является выделение нескольких циклов активизации сейсмических процессов: двум крупным (1940-1960 гг., 1985-1994 гг.) циклам соответствуют события с

$M_L = 7.3 - 7.5$ (рисунок 1), а также наличие некоторого критического значения N ($N=10$), после достижения, которого следует ожидать сильное землетрясение в течение 5 лет (период повышения уровня сейсмической опасности) на территории Южной Калифорнии. К сожалению, авторы статьи не дали прогноз на 5 лет после 1994 г., пользуясь выработанной методикой.

В. А. Чипизубов [2], на основе анализа многолетних инструментальных и палеосейсмических данных по всему Земному шару, по величине суммарной ежегодной сейсмической энергии E_{SS} выделил главные периоды повышения E_{SS} , а в их колебаниях определяющими являются следующие моды: 2.75, 4.4, 6.7 и 45.5 года (рисунок 2).

Для уточнения характера изменения сейсмичности за период с 1897 г. этим автором были рассмотрены варианты хода сейсмичности в годовых значениях E_{SS} и в 3-летних скользящих средних (рисунок 2). Сглаживание желательно для исключения случаев разделения одной годовой совокупности землетрясений на два календарных года, а также необходимо для низкочастотной фильтрации.

При различных видах анализа временных рядов (спектральном, автокорреляционном) выявляется 3-летняя (2.7 год), 5-летняя (4-6 лет) и полувековая (31-46 лет) гармоника. При этом 9-летняя квазипериодичность отсутствует на периодограммах (спектры мощности), а полувековая хорошо проявляется, но менее отчетливо выделяется при автокорреляционном анализе (см. окно А, Б и В на рисунке 2). 3-летняя (2.7 года) составляющая выделяется при различных видах спектрального анализа, 9-летняя флуктуация, вероятно, является двойной пятилетней. В свою очередь в пятилетнюю гармонику вносят свой вклад и двойные 2-3 летние (случайные) для годовых значений всплески. Все эти составляющие можно проследить визуально во временном ряду [2].

Периодиаграммы различных реализаций сейсмического процесса показывают, что в ходе высвобождения энергии сильными ($M_w \geq 7.0$) землетрясениями (годовые значения) отчетливо проявляются гармоники с периодами 2.75, 4.4, 6.7 и 45.5 года. Статистически значимы на 75%-ном уровне только всплески на периодах в 4.4, 6.7 и 31 год. На периодиаграмме временного ряда, подвергнутого низкочастотной фильтрации, наиболее мощный процесс выделения энергии характерен для периодов 46 – 31, 6.5 и 5.7 – 5.4 года. Все эти гармоники статистически значимы на 95%-ном уровне.

Подобные результаты были получены и другими авторами. Д. Ксантакис [14] выявил 4-летнюю и ряд других гармоник, в том числе и значительно превышающих имеющийся временной ряд. С. Линдхольм и др. [15] указывают на следующие главные гармоники: 5, 9 и 37 лет. А.А. Любушин и др. [16] выделяют периодичности в 1.5, 4, 9-10 и 35-40 лет. А.Г. Гамбурцев и др. [17] отмечают, что вариации в сейсмичности Земли (число землетрясений с $M_w \geq 6$) с периодами 2-3 и 5-7 лет выделяются визуально [15-19].

Прогноз ожидаемой суммарной годовой сейсмической энергии по всему Земному шару на период 1982-2015 гг. по А.В. Чипизубову показан на рисунке 3, из которого следует, что в 1983-1985; 1989-1995; 2003-2006 и 2012-2015 гг. ожидается глобальная активизация сейсмических процессов (рисунок 3).

Анализ колебаний ежегодных максимальных M_w . В связи с вышеуказанным, нами проанализированы максимальные магнитуды M_w для землетрясений Земного шара за каждый год по методике, использованной для рассмотрения максимальных энергетических классов за каждый год для землетрясений Тянь-Шаня [10, 19]. В качестве исходных данных за 1900-1999 гг. по глобальной сейсмичности использованы обобщающие материалы Engdahl et al. [19], а за 2000-2012 гг. максимальные значения M_w выбраны из GlobalCMTCatalogue.

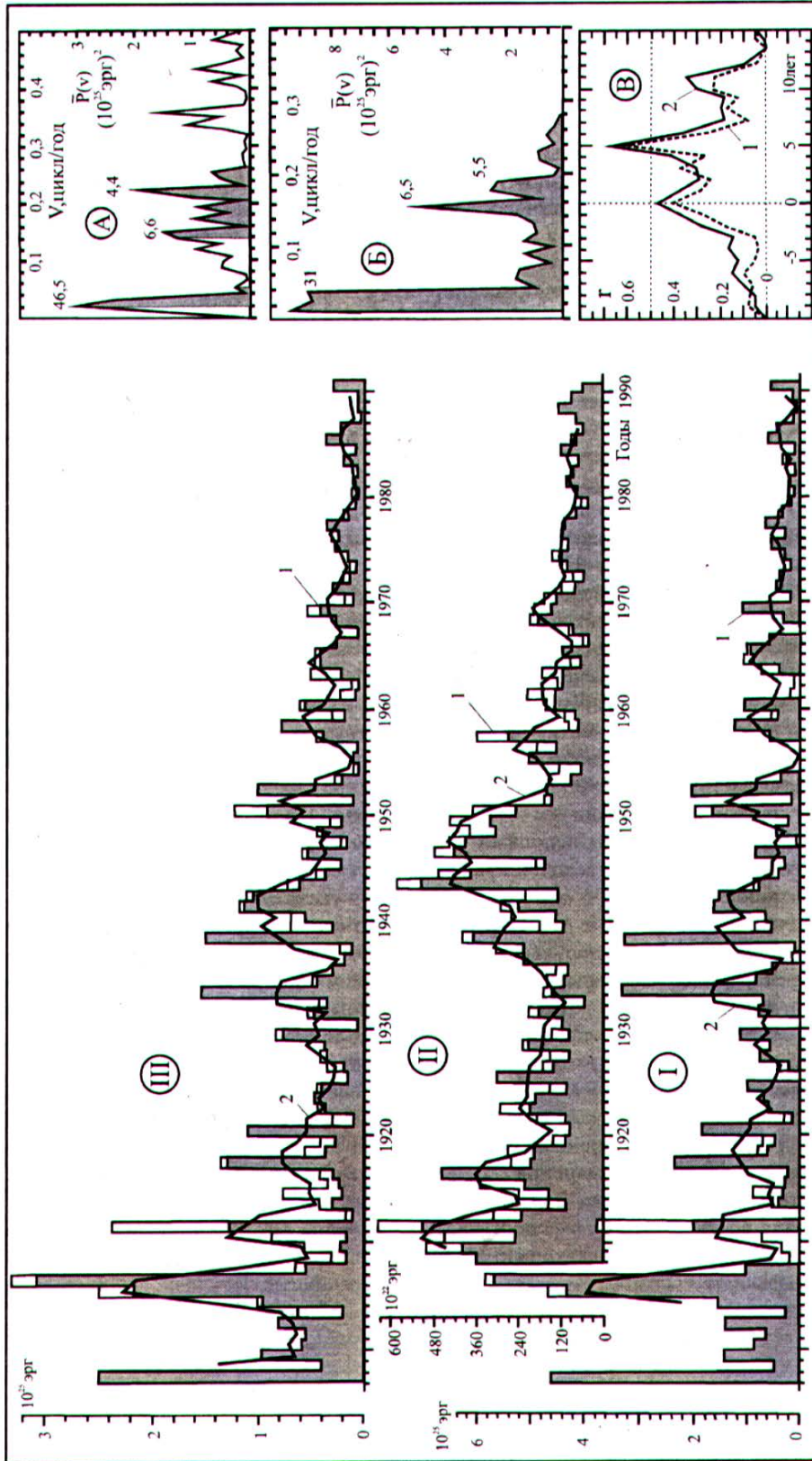


Рисунок 2. Энергия высвобождения первичными (I) и вторичными (II) землетрясениями (суммарная энергия поверхностных и объёмных волн), а также всеми землетрясениями (энергия из M_R с $M > 7$ (III)). 1. – годовые значения (заливка – доля коровых землетрясений); 2. – скользящие 3-летние средние. А – периодограмма годовых значений энергии, рассчитанной из M_R (заливка – 75%-ный уровень значимости). Б – периодограмма сглаженных значений суммарной энергии объёмных и поверхностных волн (заливка – 95%-ный уровень значимости). В – взаимокорреляционные функции годовых значений энергии, рассчитанной из M_R , первичных и вторичных только коровых (1) и (2) землетрясений (по Чипизубову А.В., 2008 г.) [2].

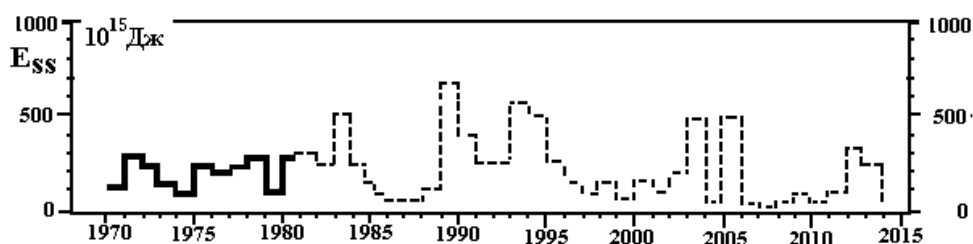


Рисунок 3. Прогнозная кривая высвобожденной сейсмической энергии E_{SS} по всему Земному шару за период 1982-2015 гг. (по Чипизубову А. В.) [2].

Собранные материалы представлены в таблице 1 и показаны на рисунке 4, из которых следует, что ежегодные максимальные магнитуды M_W землетрясений Земного шара колеблются от 7.3 до 9.6 (Великое Чилийское, 1960 г.) и в среднем составляют $M_W = 8.0$ (таблица 1, рисунок 4). Среди этих крупнейших сейсмодатроф Земного шара наиболее близкими к горноскладчатой системе Тянь-Шаня являются: 09.07.1905 г. - монгольское с $M_W = 8.5$, с повтором 23.07.1905 г. с $M_W = 8.4$, индийские - 15.11.1921 г. с $M_W = 7.6$, а также землетрясения 1935-1936 гг. с $M_W = 8.0-8.1$ и 1950-1951 гг. с $M_W = 7.7 - 8.6$ (таблица 1). В связи с этими сейсмодатрофами континентальной Азии следует указать, что к этим периодам приурочены активизации сейсмических процессов в пределах Тянь-Шаня [19].

При визуальном рассмотрении рисунка 4 и таблицы 1 по значениям максимальной моментной магнитуды M_W за каждый год (за период 1900-2012 гг.) можно выделить следующие фазы активизации проявления крупнейших землетрясений с $M_W \geq 8.0$ (больше, чем среднее $M_W = 8.0$): 1903-1906 гг. (Греция, полуостров Камчатка, Монголия, Эквадор), 1917-1924 гг. (о.Самоа и др.) с пиком в 1922 г. на полуострове Камчатка, 1957-1969 гг. (Алеутские острова, Гоби-Алтай – 1957 г.; Курильские острова – 1969 г.) – самая длительная с короткими перерывами активизация с максимальными магнитудами $M_W = 9.6$ – Великое Чилийское в 1960 г. и $M_W = 9.2$ – Великое Аляскинское в 1964 г. землетрясениями, которым не было равных в XX веке по всему Земному шару (рисунок 4, таблица 1). После этой фазы вплоть до 2001 г. наблюдались отдельные краткие периоды увеличения $8.0 \leq M_W \leq 8.3$: 1974 – 1977 гг. и 1994 – 1996 гг. С землетрясения 23.06.2001 г. в Перу ($\varphi = -17.28^\circ$ $\lambda = -72.71^\circ$) с $M_W = 8.4$ началась самая длительная фаза активизации сейсмических процессов Земного шара в XXI веке с двумя пиками - в 2004 г. с $M_W = 9.0$ (о. Суматра) и 2011г. с $M_W = 9.1$ в Японии (Фукусима). Для этой фазы характерны также грандиозные коровые землетрясения: 2005 г. с $M_W = 8.6$ (о. Суматра), 2007 г. землетрясения с $M_W = 8.3-8.5$ (о. Суматра, Курильские и Соломоновы острова) и землетрясения 2010 г. с $M_W = 8.8$ в Чили и возвращение максимума $M_W = 8.6$ в 2012 г. на о. Суматра (рисунок 4, таблица 1).

Из вышеуказанного следует, что во время длительных фаз роста M_W землетрясений Земного шара в 13 лет наблюдается 2 максимума $M_W > 9$ с перерывами в 4 года (1960 г. и 1964 г.) и 7 лет (2004 г. и 2011 г.), периоды повторения этих фаз возможны через 43- 57 лет. Указанные периоды отражаются в периодограммах при численном анализе временных рядов M_W или суммарной годовой сейсмической энергии. Если фаза активизации в 1957-1969 гг. составила 13 лет, то новая длительная фаза может продлиться 14-16 лет – с 2001 г. по 2015-2016 гг.

На рисунках 5-6 представлены перидиаграммы колебаний ежегодных максимальных M_W для землетрясений Земного шара за 1900-1999 гг., выполненных обычным стандартным методом и методом сглаживания с 3-летним скользящим окном, преимущества и недостатки которого были указаны в начале работы. Из перидиаграмм чётко видно, что в колебаниях M_W по амплитудам выделяются 3 группы гармоник: **1)** короткопериодные 2.32, 2.86, 4.17, 5.26, 9.1 и 11.1 года – по стандартному методу, 4, 7 и 10 – летние – по методу сглаживания; **2)** среднепериодные 14.3 и 20 – летние по стандартному методу, 15 и 20 – летние методом сглаживания; **3)** длиннопериодные – 50-летняя - по стандартному методу, 50-52-летние – методом сглаживания (рисунки 5-6).

Таблица 1.

**Каталог сильных землетрясений земного шара с максимальной магнитудой M_w
за каждый год с 1900 по 2012 гг. (с 1900 г. по 1999 г. по Engdau and Villasenor,
2000-2012 – по Global CMT Catalogue)**

№ п/ п	Дата	Время	Координаты		Глубина очага, км	M_w	K_{sk}	кол-во землетр $M_w \geq 7$, N	Географическое положение наиболее сильного землетрясения
			φ	λ					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1900/7/29	6/59/0	-10.0	165.0		7.6	16.20	13	Новая Гвинея
2	1901/8/29	13/01/0	-22.0	170.0		7.9	16.65	14	о. Фиджи
3	1902/9/23	20/18/0	16.0	-93.0		7.8	16.50	10	Гватемала
4	1903/8/11	4/32/54	36.36	22.97	80	8.3	17.25	9	Греция
5	1904/6/25	21/00/30	52.0	159.0		7.6	16.20	13	п-ов Камчатка
6	1905/7/9	9/44/24	49.0	39.0		8.5	17.55	18	Монголия (повтор 23.07 $M_w = 8.4$)
7	1906/1/31	15/36/0	1.0	-81.50		8.6	17.70	24	Эквадор (Чили 17.08 $M_w = 8,5$)
8	1907/4/15	6/08/6	-17.0	-100.0		7.9	16.65	18	Мехико
9	1908/12/12	72/08/0	-14.0	-78.0	60	8.2	17.10	11	Перу
10	1909/7/30	10/51/54	17.0	-100.50		7.6	16.20	19	Мексика
11	1910/6/16	6/30/42	-19.0	169.50	100	7.9	16.65	28	о. Новые Гебриды
12	1911/1/15	14/26/0	28.0	130.0	90	8.1	16.95	18	Япония
13	1912/5/23	2/24/06	21.0	97.0		7.7	16.35	14	Бирма (Мьянма)
14	1913/3/14	8/45/0	4.50	126.5		7.9	16.65	18	Филиппины
15	1914/5/26	14/22/42	-2.0	137.0		7.9	16.65	17	Новая Гвинея Вост.
16	1915/5/1	5/00/0	47.50	154.50	35	7.9	16.65	17	Курильские острова
17	1916/2/6	21/51/19	48.50	178.50		7.7	16.35	25	Алеутские острова
18	1917/6/26	5/49/42	-15.50	-173.0		8.5	17.55	18	о. Самоа
19	1918/8/15	2/18/16.5	5.65	123.56	35	8.2	17.10	17	Филиппины (Миндонао)
20	1919/4/30	17/11/2.5	-19.82	-172.21	35	8.2	17.10	13	о. Тонга
21	1920/12/16	2/05/54,7	36.60	105.32	25	8.3	17.25	8	Китай
22	1921/11/15	0/36/33.8	36.12	70.72	152	7.6	16.20	12	Индия
23	1922/11/11	4/32/45.2	-28.55	-70.75	35	8.7	17.85	15	Чили
24	1923/2/3	16/01/48.8	53.85	160.76	35	8.5	17.55	22	п-ов. Камчатка
25	1924/6/26	1/37/32.5	-56.41	158.49	15	8.3	17.25	17	(Филиппины, $M_w=8.2$ 14.04) о. Макгуир
26	1925/1/18	12/05/57.2	47.91	153.63	35	7.2	15.60	15	Курильские острова
27	1926/6/26	19/46/41	36.60	26.89	102	7.7	16.35	16	Греция
28	1927/5/22	22/32/48	37.39	102.31	25	7.7	16.35	17	Китай
29	1928/12/1	4/06/15.2	-35.09	-71.68	35	7.7	16.35	16	Чили
30	1929/6/27	12/47/149	-54.71	-29.55	35	8.0	16.80	16	Ю. Атлантика
31	1930/12/3	18/51/49.7	17.97	96.42	35	7.3	15.75	8	Мьянма (Бирма)
32	1931/8/10	21/18/47.7	46.57	89.96	35	7.9	16.65	23	Китай
33	1932/5/14	13/11/5.7	0.26	126.17	35	8.1	16.95	12	Моллука, Индонезия
34	1933/3/2	17/31/0.9	39.22	144.62	35	8.4	17.40	13	Санрику, Япония
35	1934/1/15	8/43/25.4	26.77	86.76	35	8.0	16.80	20	Бихар-Непал, Индия
36	1935/5/30	21/32/56.8	28.89	66.18	35	8.1	16.95	20	Кветта, Пакистан
37	1936/7/5	18/55/44.3	5.86	127.02	35	7.3	15.75	16	Молукские острова (Индонезия)
38	1937/1/7	13/20/41.2	35.40	97.67	15	7.6	16.20	20	Китай
39	1938/2/1	19/04/21.6	-5.05	131.62	35	8.4	17.40	22	Море Банда
40	1939/4/30	2/55/29.1	-9.30	159.23	35	7.9	16.65	17	Соломоновы острова
41	1940/8/1	15/08/26.4	44.51	139.83	35	7.5	16.05	18	Япония (аналог Перу 24.05)
42	1941/11/25	18/03/58.7	37.17	-18.96	21	8.1	16.95	20	Сев. Атлантика
43	1942/11/10	11/41/28,1	-49.73	29.95	15	8.0	16.80	17	Ю. Атлантика
44	1943/4/6	16/07/15	-30.75	-72.0		8.2	17.10	32	Чили
45	1944/12/7	4/35/42	33.75	136.0		8.1	16.95	23	Япония, Тонанкай
46	1945/11/27	21/56/50	24.50	63.0		8.0	16.80	14	Иран-Пакистан
47	1946/12/20	19/19/5	32.50	134.50		8.1	16.95	23	Япония, Нанкай (Алеуты, Пуэрто-Рика)
48	1947/11/1	14/58/53	-10.50	-75.0		7.7	16.35	14	Перу
49	1948/1/24	17/46/40	10.50	122.0		8.1	16.95	17	Филиппины
50	1949/8/22	4/01/11	53.75	-133.25		8.0	16.80	16	Острова Квен Шарлотта
51	1950/8/15	14/09/30	28.50	96.50		8.6	17.70	24	Индия, Ассам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
52	1951/11/28	91/35/47	30.50	91.00		7.7	16.35	13	Тибет
53	1952/11/4	16/58/26	52.75	159.50		9.0	18.30	12	п-ов. Камчатка
54	1953/11/25	17/48/54	34.00	141.70	33	7.9	16.65	15	Япония
55	1954/3/21	23/42/17	24.20	95.10	223	7.4	15.90	9	Китай
56	1955/2/27	20/43/24	-28.30	-175.50		7.8	16.50	12	о-ва Туамоту, Полинезия
57	1956/7/9	3/11/45.2	36.58	26.04	35	7.8	16.50	10	Греция
58	1957/3/9	14/22/33.3	51.59	-175.42	35	8.6	17.70	23	Алеутские о-ва, (Гоби-Алтай 04.12, Mw=8.1)
59	1958/11/6	22/58/94	46.31	148.65	35	8.4	17.40	9	Курильские острова
60	1959/5/4	7/15/46.1	53.37	159.66	35	8.0	16.80	12	п-ов. Камчатка
61	1960/5/22	19/11/17.5	-38.29	-73.05	35	9.6	19.20	14	Великое Чилийское
62	1961/2/26	18/10/51.1	31.59	131.51	37	7.7	16.35	11	Япония
63	1962/5/21	21/15/40.6	-20.00	-177.38	438	7.5	16.05	9	Полинезия
64	1963/10/13	5/17/55.1	44.76	149.80	26	8.6	17.70	17	Курильские острова
65	1964/10/13	3/36/12.7	61.02	-147.63	6	9.2	18.60	12	Великое Аляскинское
66	1965/2/4	5/01/21.7	51.21	178.50	29	8.7	17.85	13	Алеутские острова
67	1966/10/17	21/41/57.5	-10.80	-78.68	34	8.2	17.10	11	Перу
68	1967/7/22	16/56/55.3	40.63	30.74	4	7.4	15.90	10	Турция
69	1968/5/16	0/49/0.4	40.90	143.35	26	8.3	17.25	23	Япония, Токачи –Оки
70	1969/8/11	21/27/37.6	43.48	147.82	46	8.2	17.10	15	Курильские острова
71	1970/8/11	10/22/23.8	-14.10	166.57	40	7.5	16.05	21	о. Новые Гебриды
72	1971/7/26	1/23/12.2	-4.89	153.18	37	8.1	16.95	18	о.Новая Британия (14.07, там же Mw= 8.0)
73	1972/6/11	16/41/3.3	3.86	124.23	330	7.8	16.50	15	Индонезия, Сулавеси
74	1973/6/17	3/55/4	43.22	145.74	44	7.8	16.50	10	Курильские острова
75	1974/10/3	14/21/34.5	-12.25	-77.52	36	8.1	16.95	16	Перу, Лима
76	1975/5/26	3/11/49	35.97	-17.65	4	7.9	16.65	14	Азорские острова
77	1976/8/16	16/11/11.9	6.29	124.09	59	8.0	16.80	17	Филиппины
78	1977/8/19	6/08/34.9	-11.12	118.38	21	8.3	17.25	14	Индонезия, о. Сумбава
79	1978/11/29	19/52/50.1	16.01	-96.60	24	7.8	16.50	17	Мексика (06.12 Mw =7.8)
80	1979/12/12	7/59/4.7	1.60	-79.36	24	8.1	16.95	14	Эквадор-Колумбия
81	1980/7/17	18/42/24.6	-12.48	166.0	32	7.8	16.50	13	о. Санта –Круз
82	1981/5/25	5/25/12.2	-48.72	164.65	11	7.6	16.20	11	о.Новая Зеландия
83	1982/12/19	17/43/57	-24.19	-175.58	33	7.5	16.05	10	о. Тонга
84	1983/5/26	2/59/59.9	40.47	139.09	15	7.7	16.35	15	Япония, Наханхай
85	1984/2/7	21/33/21.6	-9.97	160.57	9	7.6	16.20	13	Соломоновы о-ва
86	1985/3/3	22/47/8.4	-33.14	-71.76	35	8.0	16.80	13	Чили (19.09 -аналогично Мексика)
87	1986/5/7	22/47/10.5	51.56	-174.81	20	8.0	16.80	11	Андреановы о-ва
88	1987/11/30	19/23/17.8	58.83	-142.60	15	7.9	16.65	14	Аляска
89	1988/3/6	22/35/36.8	57.26	-142.75	6	7.8	16.50	10	Аляска
90	1989/5/23	10/54/46.1	-52.51	160.60	2	8.1	16.95	6	о. Макгуир
91	1990/7/16	7/26/36	15.72	121.18	24	7.7	16.35	19	Филиппины, Лусон
92	1991/4/22	21/56/53.9	9.67	-83.07	13	7.6	16.20	13	Коста-Рика (22.12 –аналогично)
93	1992/12/12	5/29/28.06	-8.49	121.83	23	7.8	16.50	13	Индонезия
94	1993/8/8	8/34/25.9	13.00	144.87	57	7.8	16.50	12	Марианские острова
95	1994/10/4	13/23/03	43.83	147.33	33	8.3	17.25	17	Курильские острова (Боливия 09.06)
96	1995/7/30	5/11/24.5	-23.34	-70.26	41	8.0	16.80	18	Чили (Мексика 09.10; Курилы 03.12).
97	1996/2/17	5/59/32.4	-0.92	136.98	36	8.2	17.10	14	Индонезия
98	1997/12/5	11/26/56.8	54.80	162.00	37	7.8	16.50	17	п-ов. Камчатка
99	1998/3/25	3/12/28.3	-62.90	149.61	20	8.1	16.95	12	Море Баллени
100	1999/9/20	17/47/19.7	23.79	120.95	31	7.7	16.35	18	о. Тайвань, Чи-Чи
101	2000/11/16	4/55/36.5	-4.56	152.79	24	8.0	16.80	12	о. Новая Ирландия
102	2001/6/23	20/34/23.3	-17.71	-72.71	29.6	8.4	17.40	13	Перу
103	2002/11/3	22/13/28	63.23	-144.89	15	7.8	16.50	15	Аляска
104	2003/9/25	19/50/38.2	42.21	143.84	28.2	8.3	17.25	12	Япония, Хоккайдо
105	2004/12/26	1/1/9.0	3.09	94.26	28.6	9.0	18.30	15	о. Суматра
106	2005/3/28	16/10/31.5	1.67	97.07	25.8	8.6	17.70	11	о. Суматра
107	2006/11/15	11/15/8	46.71	154.33	13.5	8.3	17.25	11	Курильские острова
108	2007/9/12	11/11/15	-3.78	100.98	24.4	8.5	17.55	18	о. Суматра, (Курилы, Перу, Соломоновы о-ва 01.04)
109	2008/11/16	17/2/43.8	1.50	122.05	29.2	7.3	15.75	2	Индонезия, Сулавеси
110	2009/9/29	17/48/26.8	-15.13	-171.97	12	8.1	16.95	17	о. Самоа
111	2010/2/27	6/35/14.5	-35.98	-73.15	23.2	8.8.	18.00	23	Чили
112	2011/3/11	5/47/32.8	37.52	143.05	20.0	9.1	18.45	19	Япония, Фукусима
113	2012/4/11	8/39/31.4	2.35	92.82	45.6	8.6	17.70	16	о. Суматра

Часть этих гармоник по периодам совпадает с данными ранее указанных авторов и для многолетних данных по землетрясениям Тянь-Шаня [18]. Следует также особо подчеркнуть, что периодограммы временного ряда M_w за 1900-1999 гг., полученные двумя разными методами, совпадают между собой и, как следовало ожидать, метод сглаживания «гасит» высокочастотные гармоники (рисунки 5-6).

На рисунке 7 показаны периодограммы колебаний максимальных M_w за каждый год землетрясений Земного шара для различных интервалов времени на основе метода сглаживания с 3-х летним окном: за 1930-1999 (А), 1940-1999(В), 1947-1999 (С), 1954-1999 (D), 1954-2008 (Е) и 1954-2012 гг.(F). Из этих графиков следует, что за различные интервалы временных рядов M_w наибольшей амплитудой обладают длиннопериодные гармоники с периодами 44, 46, 48, 53, 56 и 57 лет, второе место - краткопериодные составляющие с периодами 3, 5, 7, 8 и 10 лет и третье место - среднепериодные гармоники с периодами 14, 15, 16, 17, 22 и 24 года. При этом за различные периоды времени набор краткопериодных гармоник останется практически постоянным. Здесь же следует особо подчеркнуть, что преобладание максимальных магнитуд у длиннопериодных колебаний с периодами 43-57-лет по данным за 1900-1999 гг. позволяет прогнозировать очередную глобальную фазу активизации сейсмичности после 1960 г. – в 2004-20016 гг. с вероятным максимумом в 2010–2011 гг., когда могут проявиться уникальные землетрясения с магнитудой $M_w=8.6-9.6$. Эти предположения подтвердились реальными сейсмокатастрофами, начала XXI века (см. таблицу 1).

Долгосрочный прогноз изменений сейсмического режима Земного шара. На рисунках 8-9 и в таблице 2 приведены результаты долгосрочных прогнозов по вероятным изменениям M_w землетрясений Земного шара до 2025г. на основе гармонического анализа. При этом за периоды повышения уровня сейсмической опасности приняты те годы, когда по расчетам с использованием набора гармоник соблюдается условие $M_w > 8.0$, (рисунки 8-9). Сравним значения инструментальных и прогнозных ежегодных максимальных магнитуд M_w за 2000-2012 гг. по данным 1900-1999 (А), 1930-1999 (В), 1940-1999 (С), 1947-1999 (D) и 1954-1999 гг. (Е, рисунок 8, таблица 2). Первый и самый важный практический результат заключается в том, что по указанным 5-и временным рядам длительностью 100, 70, 60, 53 и 45 лет с высокой точностью можно было предсказать новую фазу проявления грандиозных сейсмокатастроф с 2001 г. с максимумами в 2004 г. (о. Суматра) и 2011 г. (Фукусима, Япония, таблицы 1-2).

Так, по временному ряду (А) в 2004 г. и в 2011 г. ожидалось пиковые $M_w=8.8$ и 8.8 соответственно, по ряду (В) $M_w = 8.8$ и 8.9 , по ряду (С) $M_w = 8.7$ и 8.9 , по ряду (D) $M_w = 8.9$ и 9.0 и по ряду (Е) $M_w = 8.7$ и 9.2 (рисунок 1.8, таблица 2). С такой же точностью совпадают годы с минимальными $M_w = 7.3-7.8$, проявленные в 2002 г. и 2008 гг. (таблица 2). Таким образом, использованный нами метод с условной вероятностью $p = 0.60 - 0.70$ ($p \approx r$, r – коэффициент корреляции) позволяет прогнозировать вероятные изменения сейсмического режима во времени на 10-12 лет.

Из таблицы 2 следует, что с увеличением временного ряда и периода прогнозирования больше, чем 10-12 лет, точность прогноза M_w постоянно снижается. К примеру, по первому ряду ($T=100$ лет) ожидаемая M_w в 2011 и 2012 гг. составляла 8.8 и 8.2 , по ряду (В) 8.9 и 8.4 , по ряду (С) 8.9 и 8.4 , по ряду (D) 9.0 и 8.3 и по ряду (Е) 9.2 и 8.5 , а по инструментальным данным значения M_w равны 9.1 и 8.6 , т. е. временный ряд за 1954-1999 гг. показал лучшую сходимость расчётных и инструментальных значений M_w (таблица 1.2.). Следовательно, по временным рядам M_w за 44-57 лет землетрясений Земного шара можно выполнять удовлетворительные прогнозы на предстоящие 10-12 лет.

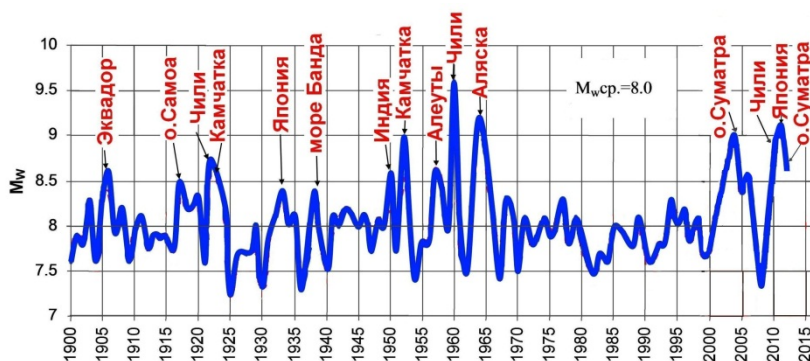


Рисунок 4. Колебания ежегодных максимальных магнитуд M_w землетрясений Земного шара за 1900-2012 гг.

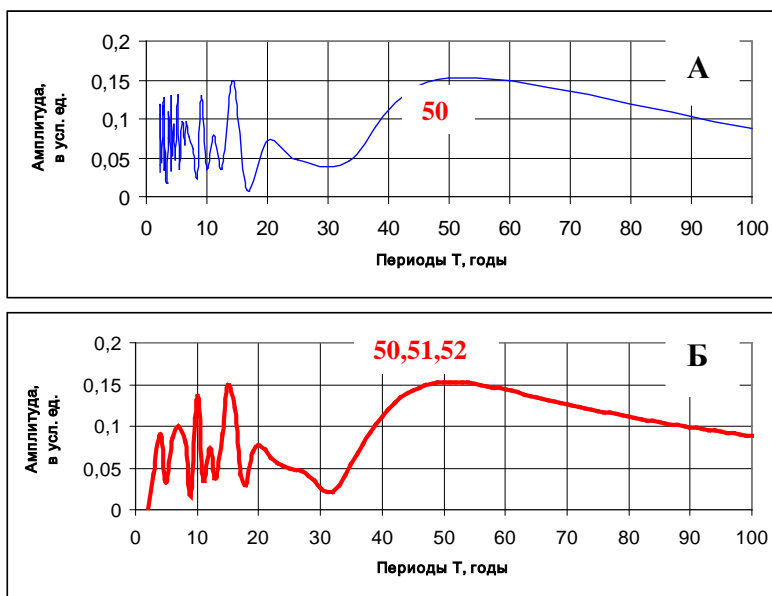


Рисунок 5. Периодограммы спектра колебаний максимальных M_w за каждый год землетрясений Земного шара за 1900-1999 гг.; А – обычный стандартный метод; Б – метод сглаживания с 3-х летним скользящим окном.

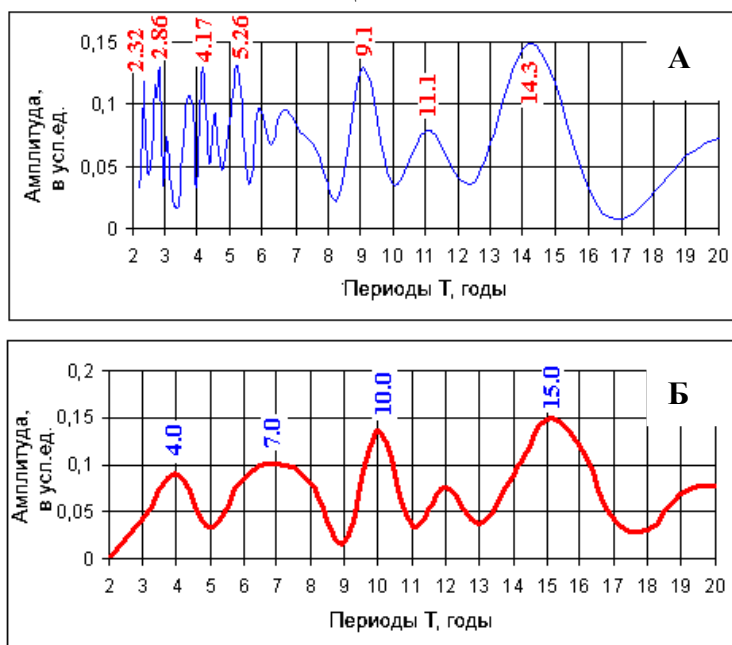


Рисунок 6. Периодограммы спектра колебаний максимальных годовых M_w землетрясений Земного шара для интервала $T = 2-20$ лет (см. рисунок 5).

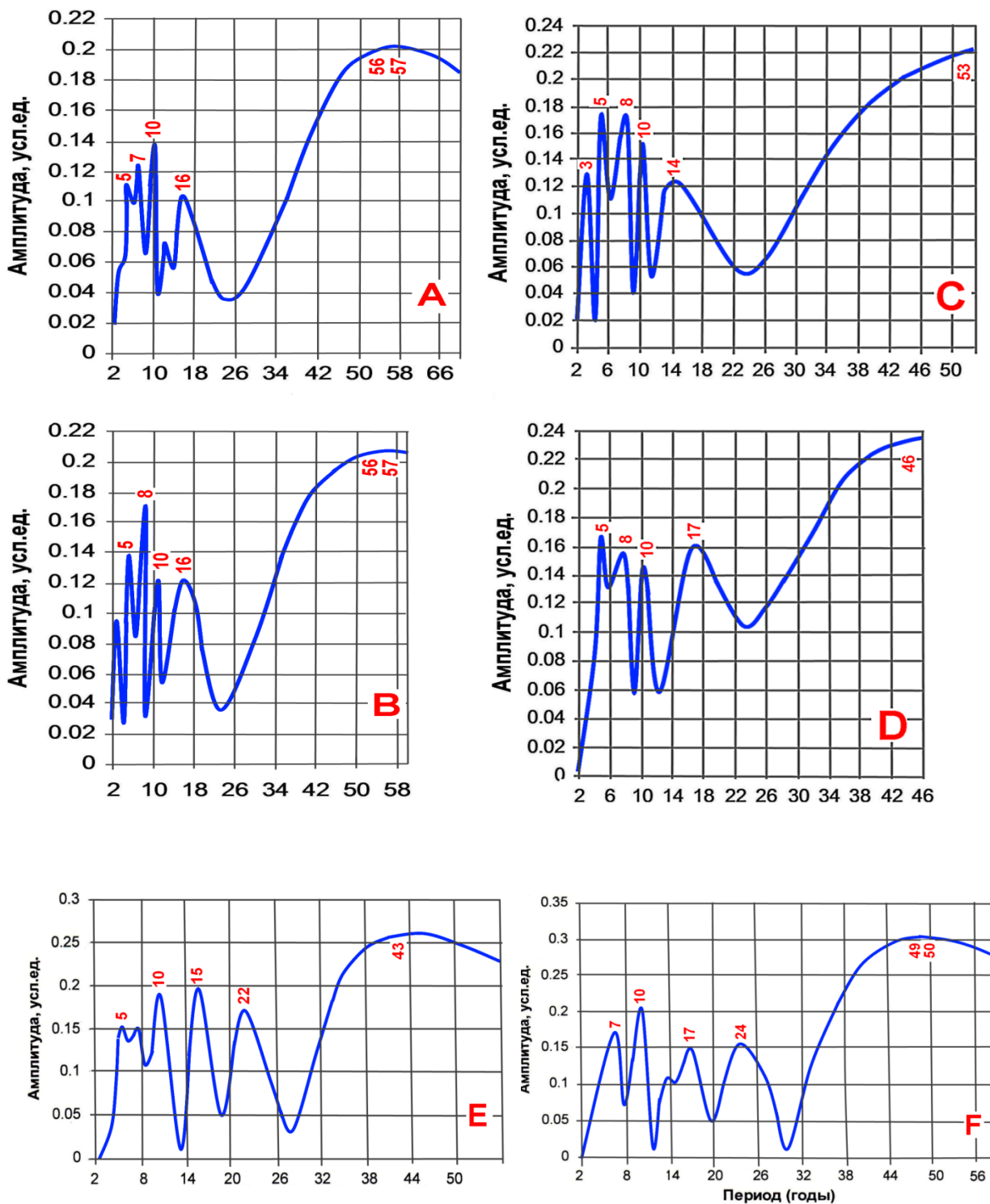


Рисунок 7. Периодиаграммы колебаний ежегодных максимальных M_w землетрясений Земного шара: А- 1930-1999 гг., В – за 1940-1999 гг., С – за 1947-1999 гг., D – за 1954-1999 гг., E – за 1954-2008 гг., F – за 1954 – 2012 гг.

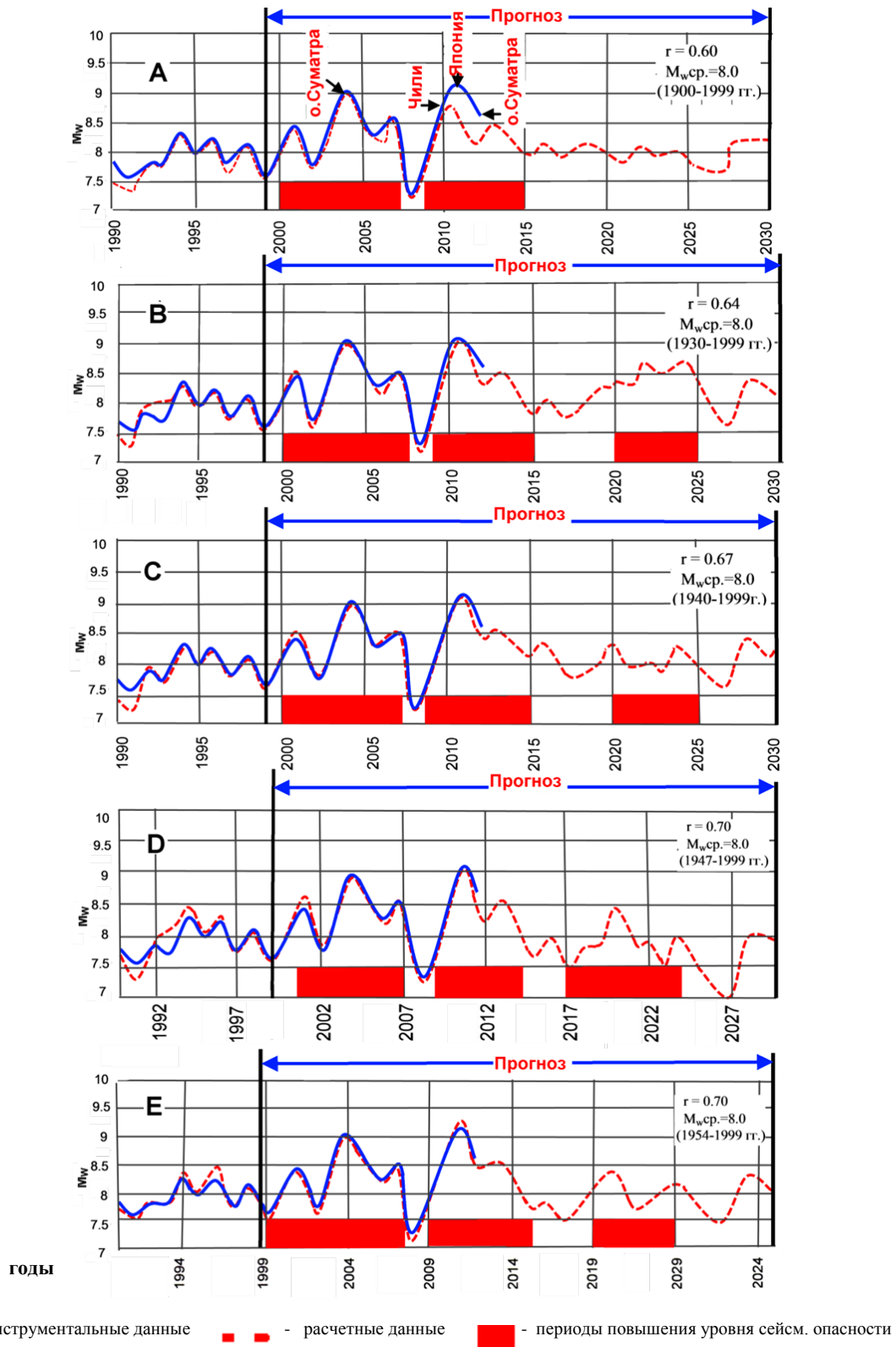


Рисунок 8. Прогноз возможных ежегодных максимальных M_w землетрясений Земного шара:
А – на 2000-2015 гг. по данным 1900-1999 гг., использованы гармоники с периодами: 3-15,20, 23-24,30,44,69 лет.
В– на 2000-2025 гг. по данным 1930-1999 гг., использованы гармоники с периодами: 3-13, 16-17, 30, 61 лет.
С – на 2000-2025 гг. по данным 1940-1999 гг., использованы гармоники с периодами: 3-12, 14, 17, 20, 50 лет.

D – на 2000-2025 гг. по данным 1947-1999 гг., использованы гармоники с периодами: 3-12, 15-16, 22-23, 44-45 лет.

E – на 2000-2025 гг. по данным 1954-1999 гг., использованы гармоники с периодами: 3-13, 17 и 45 лет.

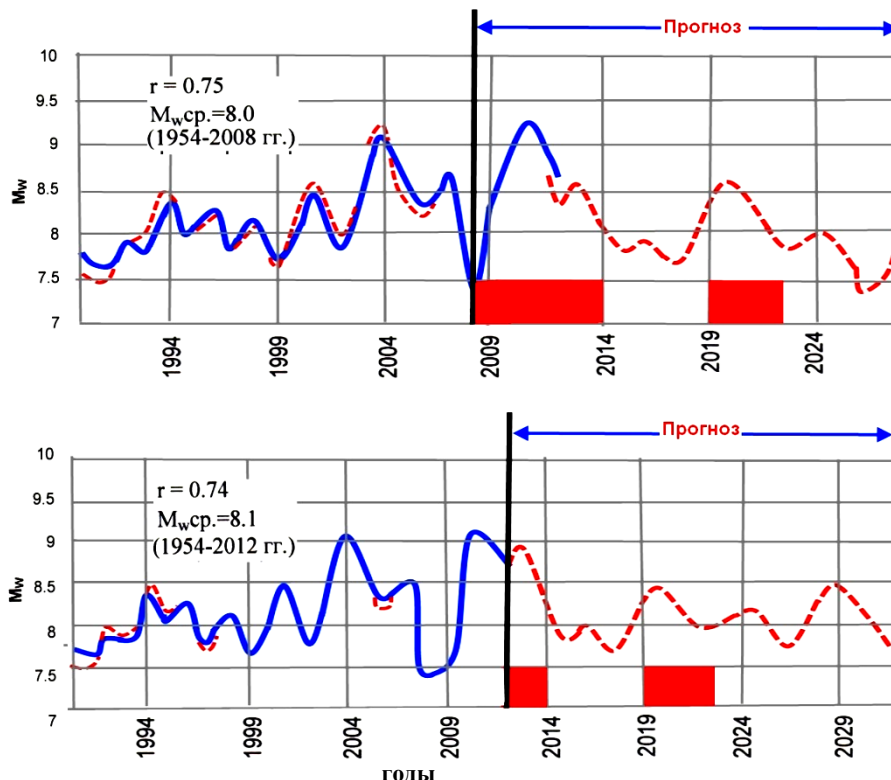


Рисунок 9. Прогноз возможных ежегодных максимальных M_w землетрясений земного шара: **F** – на 2009-2024 гг. по данным 1954-2008 гг., использованы гармоники с периодами: 4-10, 15, 22 и 44 года. **G**– на 2013-2024 гг. по данным 1954-2012 гг., использованы гармоники с периодами: 4-10, 17, 24 и 49 лет.

Таблица 2.

Сравнение инструментальных и расчётных значений максимальных годовых M_w за каждый год землетрясений Земного шара (1999-2012 гг.)

№ п/п	Годы	M_w , INSTR.	Расчетные M_w по данным разл. рядов							периоды
			1990-1999	1930-1999	1940-1999	1947-1999	1954-1999	1954-2008	1954-2012	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1999	7.7	7.9	7.8	7.7	7.7	7.6	7.7	7.7	Mini
2	2000	8.0	8.0	7.9	8.1	8.0	7.9	8.1	8.0	
3	2001	8.4	8.2	8.5	8.5	8.6	8.3	8.4	8.3	
4	2002	7.8	8.0	7.6	7.9	8.1	7.7	8.1	7.8	Mini
5	2003	8.3	8.1	8.4	8.1	8.2	8.3	8.4	8.1	
6	2004	9.0	8.8	8.8	8.7	8.9	8.7	9.1	8.9	Maxi
7	2005	8.6	8.5	8.5	8.4	8.7	8.4	8.3	8.5	
8	2006	8.3	8.2	8.2	8.3	8.2	8.3	8.2	8.2	
9	2007	8.5	8.3	8.3	8.4	8.5	8.4	8.3	8.5	
10	2008	7.3	7.1	7.2	7.2	7.4	7.1	7.8	7.5	Mini
11	2009	8.1	7.9	8.1	8.0	8.0	8.3	8.0	8.3	
12	2010	8.8	8.6	8.5	8.5	8.9	8.6	8.6	8.9	
13	2011	9.1	8.8	8.9	8.9	9.0	9.2	9.1	9.0	Maxi
14	2012	8.6	8.2	8.4	8.4	8.3	8.5	8.3	8.7	
15	2013		8.4	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.8	
16	2014		8.3	8.3	8.4	8.2	8.3	8.1	8.2	
17	2015		8.0	7.9	8.2	7.7	7.8	7.8	7.9	Mini
18	2016		8.1	8.0	8.3	7.9	7.8	7.8	7.9	

Такой вывод подтверждается также сравнением наблюдаемых и расчётных M_w за 2009-2012 гг. по ряду 1954-2008 гг. и по прогнозным построениям по ряду за 1954-2012 гг. (рисунок 9, таблица 2).

Представленные данные показывают, что начавшаяся в 2001 г. фаза активизации сейсмических процессов на Земном шаре, вероятно, закончится в 2015-2016 гг., а новая фаза может начаться в 2019 г. и закончится в 2024-2025 гг.

Среднесрочный и краткосрочный прогнозы изменений сейсмического режима Земного шара. Вопросы методики среднесрочного (1-5 лет) прогноза рассмотрены во многих публикациях временных рядов магнитуды или энергетического класса землетрясений конкретного региона [2, 3-5, 10-13]. Вышеприведённые примеры гармонического анализа временных рядов M_w и сравнения расчётных с наблюдаемыми значениями M_w доказывают приемлемость использованной методики для количественного среднесрочного прогноза. Различные количественные методы кратко-среднесрочного прогноза на основе анализа временных рядов отдельных параметров широко используются в экономике и изложены в работах [20-23], где основное внимание уделяется оперативным (1-30 дней), краткосрочным (1-12 месяцев) и среднесрочным прогнозам. При этом используются различные методы экстраполяции наблюдаемых тенденций для периода упреждений, т.е. продление в будущее тенденции (тренда), наблюдавшейся в прошлом (для периода наблюдений). При этом предполагается некоторая квазиинерционность динамики изменений изучаемого параметра в определённом цикле времени и отсутствие существенных изменений общей тенденции в течение периода упреждения. В практике анализа временных рядов значительное внимание уделяется следующим компонентам (составным частям или структурно-образующим элементам): 1) амплитуда колебаний, 2) тренд, 3) сезонная компонента, 4) циклическая компонента, 5) случайная составляющая. На основе анализа вышеуказанных компонентов в экономике выполняется прогнозирование развития с помощью моделей кривых роста, представляющих собой различные функции во времени $y = f(t)$. При таком подходе изменение рассматриваемого параметра связывают лишь с течением времени, и предполагается, что влияние других возможных факторов несущественно или косвенно связывается через фактор времени. Кривые роста условно могут быть разделены на три класса. К I классу относятся функции, используемые с монотонным характером тенденции развития и отсутствием пределов роста. Ко II классу относятся кривые, описывающие процесс, который имеет предел роста в исследуемом периоде, и называются кривыми насыщения. Если кривые насыщения имеют точки перегиба, то они относятся к III классу и к S-образным кривым. Эти кривые описывают как два последовательных лавинообразных процесса (когда прирост зависит от уже достигнутого уровня): один с ускорением развития, а другой – с замедлением. На рисунке 10 приведены наиболее часто используемые кривые роста при анализе временных рядов, заимствованных из работ [20-23].

Для полиномов 3- порядка: $y = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$ коэффициенты a_0, a_1, a_2, a_3 можно трактовать следующим образом: a_0 – величина начального уровня при $t = 0$, a_1 – скорость роста, a_2 – ускорение роста и a_3 – изменение ускорения. Для многих видов кривых были найдены такие преобразования приростов, которые линейно изменялись относительно времени t или были постоянными. Однако, на практике чаще всего к выбору кривых подходят исходя из значений критерия, в качестве которого принимаются среднеквадратичное отклонение от расчётных, получаемых выравниванием исходного временного ряда.

Исходя из вышеизложенного, рассмотрим изменения временного ряда максимальной магнитуды M_w землетрясений Земного шара за каждый год с 1900 по 1999 гг., а так же возможности прогноза 1-3 года в период 2000-2012 гг. с использованием простого графического метода полинома первого порядка или линейной интерполяции [20-23].

100-летние данные (таблица 1) показывают, что максимальное значение M_W не может быть больше 9.6, а минимальное (среднее) $M_W = 7.3$. Следовательно, параметр M_W имеет пределы насыщения, т.е. к описанию кривых изменения M_W для отдельных интервалов времени могут быть использованы методы прогноза II и III –классов кривых. Если рассматривать амплитуды колебаний M_W от предыдущего года к последующему по разности M_W , то они колеблются в пределах $\Delta_m = 0 \pm 1.6$. При этом если значения $\Delta_m \geq \pm 0.3$, то после последующего года следует ожидать резкие изменения M_W (таблица 1). Следовательно, скачкообразные резкие изменения M_W за 2 года оказывают воздействие на максимальную магнитуду M_W землетрясений на 3-й год. На рисунке 11 показан график изменения M_W землетрясений Земного шара за 1999-2012 гг. по данным таблицы 1-2, отдельные интервалы, которые можно выразить линейными уравнениями или полиномами первого порядка ($y = a_0 + a_1t$). Неудачная попытка краткосрочного прогноза сильных землетрясений на территории США (до 15 июля 2013 г. с $M=7.7$) и Кыргызстана (до конца апреля 2013 г. с $K = 13.5$) с использованием полинома второго порядка ($y = a_0 + a_1t + a_2t^2$) была предпринята М.О. Омуралиевым и др. [24]. К сожалению, эти прогнозы не подтвердились из-за отсутствия должного статистического анализа временных рядов.

По долгосрочному прогнозу после 2002 г. должен был начаться рост M_W вплоть до 2004 г. и на этой основе на рисунке 11 прямая линия (графический метод полинома первого порядка), соединяющая данные M_W за 2002 г. с M_W 2003 г., были продолжены до пересечения с ординатой 2004 г. и получено значение $M_W = 8.8$, не превышающее верхний предел насыщения 9.6 (рисунок 11). Это расчётное значение $M_W = 8.8$ хорошо совпадает с инструментальным $M_W = 9.0$ результатами гармонического анализа (рисунок 11, таблица 2). Прогноз вероятного снижения M_W с 2004 г. был проведён продолжением линии M_W за 2004-2005 гг. до 2008 г., т.е. сделана попытка определения M_W за 2006-2008 гг. (рисунок 11) в период снижения M_W . При этом минимальное расчётное M_W не должно быть меньше нижнего предела $M_W = 7.3$. Из рисунка 11 следует, что с помощью такого графического прогноза расчётное $M_W = 8.2$ за 2006 г. совпадает с наблюдаемыми $M_W = 8.3$, а также $M_W = 7.5$ расчётное близко к наблюдаемому $M_W = 7.3$ для 2008 г. Ошибочными является прогноз на 2007 г. с $M_W = 7.9$ при наблюдаемом $M_W = 8.5$, что видимо, связано с не учётом гармонических составляющих (рисунок 11). В период роста M_W с 2008 г. по 2010 г. от 7.3 до 8.8 линия роста за эти годы была продолжена до пересечения с ординатой 2011 г. и было получено прогнозное значение $M_W = 9.5$, что ниже верхнего предела насыщения 9.6 и близко совпадает с инструментальным значением $M_W = 9.1$. Прогноз периода снижения M_W выполнен по линии снижения M_W с 2011 г. по 2012 г. с 9.1 до 8.6 и ожидаемые значения M_W в 2013 г. составит 8.2 и в 2014 г. - 7.6, что близко совпадает с данными гармонического анализа (таблица 1.2, рисунок 1.11).

Вышеприведённые результаты показывают, что простые методы прогноза временных рядов при плавных циклах подъёма и спада M_W , длительностью 3-6 лет, позволяют с учётом верхнего и нижнего пределов M_W выполнить кратко-среднесрочные прогнозы изменений сейсмического режима.

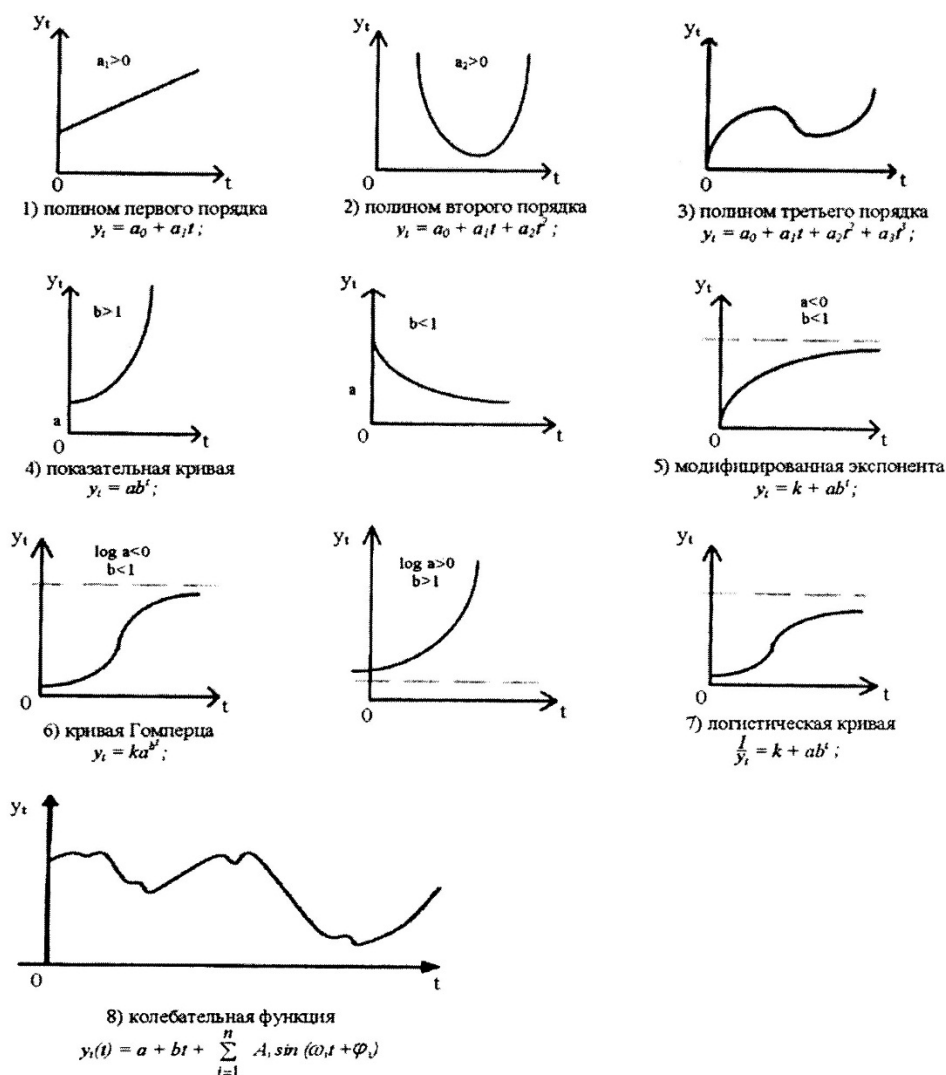


Рисунок 10. Графики некоторых основных кривых роста [20-23].

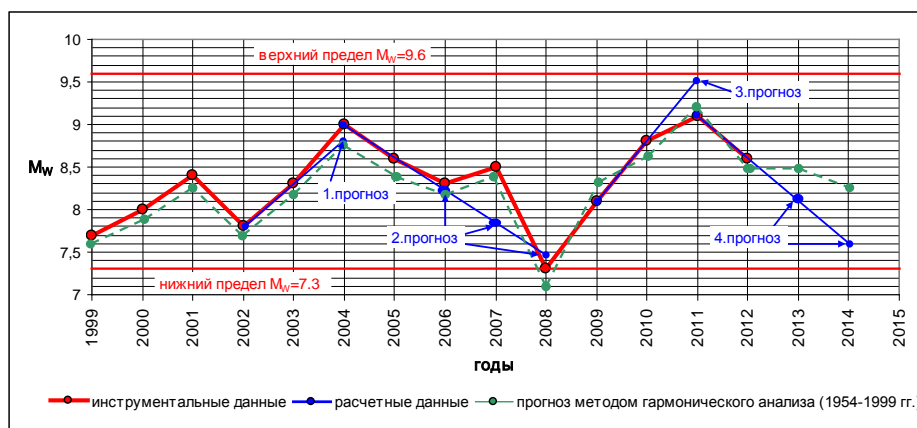


Рисунок 11. Изменения максимального M_w за каждый год землетрясений Земного шара с 1999-2012 гг. Синей линией показаны примеры прогноза M_w на 2004 г. (1) по данным 2002-2003 гг., прогноза M_w на 2006-2008 гг. (2) по данным 2004-2005 гг., прогноза M_w на 2011 г. по данным 2008-2010 гг. (3), прогноз M_w на 2013-2014 гг. по данным 2011-2012 гг. (4).

Выводы

1. В колебаниях ежегодных максимальных магнитуд M_w землетрясений Земного шара за последние 100 лет выделяются глобальные устойчивые короткопериодные, среднeperиодные и длиннопериодные гармоники, по параметрам которых можно выполнить средне- и долгосрочные прогнозы изменений уровня сейсмической опасности и выделять глобальные периоды активизации сейсмических процессов.
2. Глобальная активизация сейсмичности коррелируется с региональной и локальной фазой повышения уровня сейсмической опасности, которая предваряется увеличением количества слабых землетрясений на территории данного региона.
3. С 2001 г. началась новая фаза глобальной активизации сейсмичности, которая характеризуется двумя максимумами – в 2004 г. с $M_w = 9.0$ (о. Суматра) и в 2011 г. с $M_w = 9.1$ (Япония, Фукусима). Предполагается, что эта фаза закончится в 2015-2016 гг., а новая фаза активизации может начаться в 2019 г. и продлится до 2024-2025 гг.

Статья написана при поддержке гранта по проекту МНТЦ КР -2011.

Литература

1. Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи, СПб: Тип.имп.ак.наук, 1893, 583 с.
2. Чипизубов А.В. Реконструкция и прогноз изменений сейсмичности Земли. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2008, 240с.
3. Моги К. Предсказание землетрясений. Москва: Мир, 1988, 382 с.
4. Bath U. Correlation between regional and global seismic activity // Tectonophysics, 1984, 109, № ½, pp. 187-194
5. Alborella N.N., Mucciarelli M., Mantovani E. Use of non –parametric correlation test the study of seismic interrelations. // J.Geophys., 1989,96. №1, pp. 185-188
6. Фридман А.М., Брагин В.Д. О связи глобальной и локальной сейсмической активности.//ФизикаЗемли, 2005. 9. с. 54-57
7. Беньофф Г. Накопление и высвобождение деформаций по наблюдениям сильных землетрясений. // Слабые землетрясения. Москва: Изд.ин. лит.,1961, с. 199-210
8. Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. Алматы: Эверо, 2004, 504 с.
9. Мамыров Э., Маханькова В.А., Эрнесова Н. Главные периоды изменения сейсмического режима Тянь-Шаня // Сейсмопрогностические наблюдения на территории Азербайджана. Баку: НАН Азербайджана, 2012, с. 307-313.
10. Рогожин Е.А. Иогансон Л.И., Захаров В.С., Завьялов А.Д. и др.. Потенциальные сейсмические очаги и сейсмические предвестники землетрясений – основа реального сейсмического прогноза. Москва: Светоч Плюс, 2011, 368 с.
11. Ромашкова Л.Л., Кособоков В.Г. Динамика сейсмической активности до и после сильных землетрясений Мира.// Выч. сейсмология, 2001, 32, с. 162-189.
12. Knopoff L., Levshina T., Keilis-Borok V.I., Mattoni C. Increased long-range intermediate – magnitude earthquake activity prior to strong earthquakes in California, // J. Geophys. Res., 1996, 101, В3, pp. 5779-5796
13. Баласанов Ю.Г. Скользящий средний метод. Слуцкого-Юла эффект. // Вероятность и математическая статистика. Энциклопедия. Москва: БРЭ, 1999,с. 579,583.
14. Xanthakis J. Possibly periodicities of the annually released global seismic energy ($M \geq 7.9$) during the period 1898-1971. // Tectonophysics, 1982, 81, № 1/2, pp. 155-164.
15. Lindholm C.D., Hanskov J., Sellevolt M.A. Periodicity in seismicity: examination of the four catalogs. // Tectonophysics, 1991, 191, №1/2, pp. 155-164.

16. Любушин А.А., Писаренко В.Ф., Ружич В.В. и др. Выделение периодичностей в сейсмическом режиме. //Вулканология и сейсмология, 1998, 1, с. 62-67
17. Гамбурцев А.Г. Кондорская Н.В., Олейник О.В. и др. Ритмы в сейсмичности Земли. // Физика Земли, 2004,5, с. 95-107.
18. Мамыров Э. Землетрясения Тянь-Шаня: магнитуда, сейсмический момент и энергетический класс. Бишкек: Инсанат, 2012, 234 с.
19. Engdahl E.R., Villasenor A. Globalseisimity: 19900-1999. // International Hand book of earthquake and Engineering Seismology, 2002, Akademik press, p.A, pp. 665-690.
20. Афанасьев В.Н., М.М. Юзбашев. Анализ временных рядов и прогнозирование. Москва: Финансы и статистика, 2001, 228 с.
21. Дуброва Т.А., М.Ю. Архипова. Статистические методы прогнозирования в экономике. Москва: Моск. ГОСУНИР. экономики, статистики и информатики, 2004, 136 с.
22. Мартино Д. Технологическое прогнозирование. Москва. Прогресс, 1977, 591 с.
23. Христиановский В.В., В.П. Щербина. Анализ временных рядов в экономике: практика применения. Донецк: ДонНУ, 2011, 125с.
24. Омуралиев М., Омуралиева А. Опыт оценки сейсмической среднесрочной опасности на территории Кыргызстана и краткосрочной опасности территории США// Вестник Института сейсмологии НАН КР, 2013, № 1, интернет-журн. URL: http://www.journal.seismo.kg/archive/journal_2013-1/article11.pdf