

УДК 550.34.1

Мамыров Э., Маханькова В.А., Мозолева Е.Л.,  
Молдобекова С., Хан В.В.  
Институт сейсмологии НАН КР,  
г. Бишкек, Кыргызстан

## ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕГИОНА АЛАЙ-КАШГАР

**Аннотация:** В работе рассмотрена периодичность сейсмического режима региона Алай-Кашгар Южного Тянь-Шаня в пределах координат  $\varphi = 38.5^\circ - 39.4^\circ$  (запад) -  $38.5^\circ - 41^\circ$  (восток) и  $\lambda = 69^\circ - 76^\circ$  и дан прогноз ожидаемых периодов повышения уровня сейсмической опасности до 2020 г. По инструментальным данным впервые установлено, что в сейсмическом режиме региона Алай-Кашгар наиболее устойчивой длиннопериодной группой гармоник являются 22-27-летние составляющие с максимальной амплитудой и со средним периодом 24 года.

**Ключевые слова:** сейсмический режим, периодичность, сейсмическая опасность, сейсмокатастрофа.

## АЛАЙ-КАШГАР РЕГИОНУНУН СЕЙСМИКАЛЫК РЕЖИМИНИН УБАКТЫЛУУ ӨЗГӨРҮШТӨРҮ

**Кыскача мазмуну:** Түштүк Тянь-Шандын  $\varphi = 38.5^\circ - 39.4^\circ$  (батыш) -  $38.5^\circ - 41^\circ$  (чыгыш),  $\lambda = 69^\circ - 76^\circ$  координаттар чегиндеги Алай-Кашгар аймагындагы сейсмикалык режимдин убактылуу өзгөрүлүштөрү каралган жана 2020-жылга чейинки күтүлгөн сейсмикалык коркунуч деңгээлинин көтөрүлүү мезгилинин болжолдоо убактысы берилген. Инструменталдык малыматтар боюнча алгачкы жолу Алай-Кашгар регионунун сейсмикалык режиминде эң туруктуу узун мезгилдүү гармониктер тобу болуп максималдык амплитудадагы 22-27 жылдыктары жана 24 жылдык орточо мезгилдүүлөрү экендиги белгиленген.

**Негизги сөздөр:** сейсмикалык режим, мезгили, сейсмикалык коркунуч, сейсмикалык такалануу.

## TEMPORAL VARIATIONS IN SEISMIC CONDITIONS OF THE ALAY-KASHGAR REGION

**Abstract:** In the paper the periodicity of the seismic conditions of Alay-Kashgar area of Southern Tien Shan within the coordinates of  $\varphi = 38.5^\circ - 39.4^\circ$  (West) -  $38.5^\circ - 41^\circ$  (East) and  $\lambda = 69^\circ - 76^\circ$  was considered, and the prediction of the expected periods of seismic hazard increasing until 2020 was given. For the first time it was found that according to the instrumental data in the seismic conditions of the Alay-Kashgar region the most stable group of long-period harmonics are 22-27-year-old components with the maximum amplitude and the average time period of 24 years.

**Keywords:** seismic regime, periodicity, seismic hazard, seismic accident.

**Введение. Общие закономерности.** В настоящее время при анализе сейсмического режима и прогнозах возможных крупных сейсмокатастроф в пределах отдельных сейсмоактивных зон особый интерес вызывают вопросы периодичности активизации сейсмических процессов. Обзоры многочисленных публикаций по данной проблеме и неоднократные поиски параметров периодичности сейсмического режима в глобальном и региональном уровнях рассмотрены в работах [1-7].

По мнению многих исследователей, указанные периодичности могут быть вызваны как внешними космическими причинами, так и причинами внутреннего характера, например, колебаниями Земного ядра или разномасштабными волновыми тектонофизическими процессами [4]. С теоретических позиций прогноза вероятного времени ожидаемых сейсмokatastroф, по нашему мнению, наиболее важными являются следующие общие закономерности развития нелинейных геофизических систем.

Исследования последних лет основных типов взаимодействия волновых полей в нелинейной динамике геофизической среды показали, что эти процессы могут быть количественно отражены уравнениями солитонного типа: нелинейное уравнение Шредингера (НУШ), уравнение Кортевега–де-Фриза (КдФ) и др. [8]. Анализ взаимодействия коротковолновых и длинноволновых геофизических возмущений для КдФ на ЭВМ показал наличие эффекта «перемежаемости» аналогичного тому, что наблюдается в процессах возврата Ферми-Паста-Улама. Периоды спокойной длинноволновой динамики сменяются короткими периодами квазисолитонной активности, т.е. картина спокойствия сменяется следующим очередным «взрывом». Таким образом, в геофизической среде формируется собственный ритм в режиме самовозбуждения, который может быть идентифицирован с наблюдаемыми на геодинамических полигонах флуктуациями геофизических и геохимических параметров [8-10]. Все вышеуказанное полностью соответствует пространственно-временным циклам режима сейсмичности сейсмоактивных зон, включая сейсмический режим Тянь-Шаня [11-13].

Другим общеизвестным примером ритмичности сейсмokatastroф на определенной территории является эмпирический закон повторяемости землетрясений Гутенберга-Рихтера, подобный основному закону статистической физики - распределению Максвелла-Больцмана микрочастиц по их энергиям, в том числе и фоонов-квантов энергии упругих волн [11].

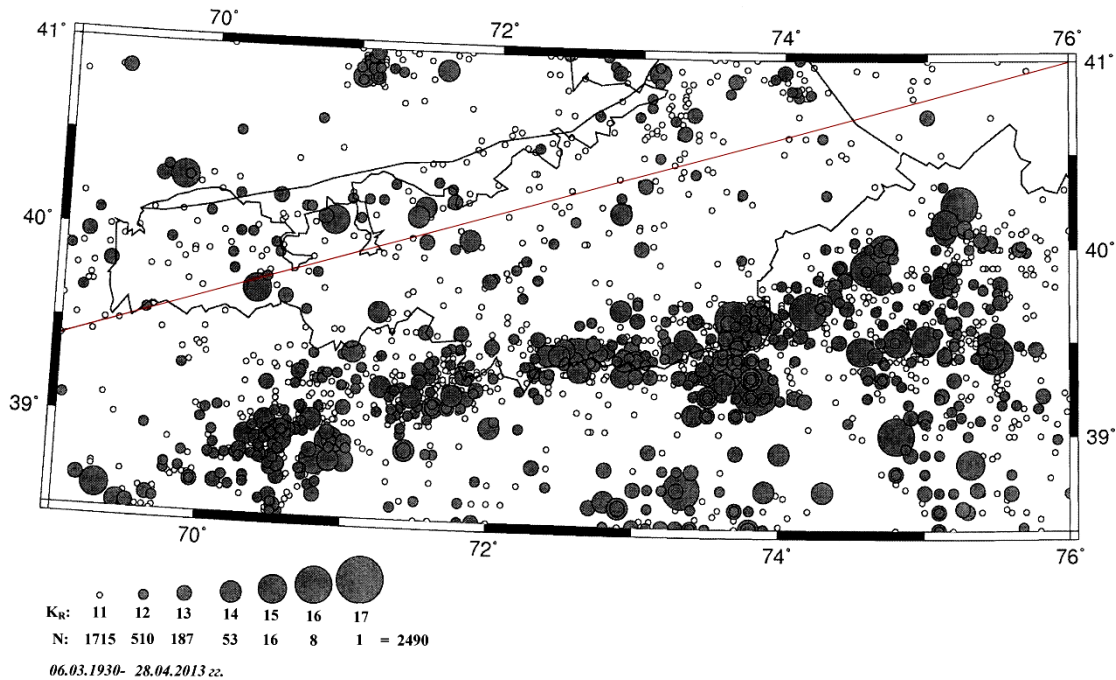
Новейшие исследования динамики сложных систем показали, что фундаментальной характеристикой изменения параметров геофизических, сейсмических, геохимических и гидродинамических полей, как и возникновения сильных землетрясений, является их периодичность, что присуще открытым системам с сильной нелинейностью во времени и пространстве, вытекающей из теории самоорганизации таких систем [9-10]. Циклы возрастания и снижения интенсивности сейсмических процессов, распада и объединения сейсмоактивных структур составляют внутреннюю закономерность нелинейных тектонофизических процессов. Проявления сильных землетрясений приурочены к периодам возникновения максимальных аномалий геофизических и геохимических полей, отражающих критическое неустойчивое напряженно - деформированное состояние земной коры Тянь-Шаня [13].

Исходя из вышеизложенных теоретических и эмпирических предположений, рассмотрим периодичность сейсмического режима региона Алай-Кашгар, являющегося частью Гиссаро-Кокшаальской зоны глубинного разлома. Следует отметить, что вопросы сезонной периодичности землетрясений в Центральной Азии в пределах Гармского полигона впервые были рассмотрены в работе [1], а отдельные региональные закономерности отражены в работах [6, 7, 12-13].

**Исходные сейсмологические материалы.** В отличие от других работ, где рассматривалась ежегодная суммарная энергия сейсмического излучения [2-7], нами в качестве исходного параметра была выбрана величина максимального энергетического класса  $K_m$  за каждый год для данного региона. Эффективность выбора этого параметра была доказана в наших публикациях [13-15].

В географическом отношении рассматриваемый регион расположен в пределах координат  $\varphi = 38.5^\circ - 39.4^\circ$  (запад) -  $38.5^\circ - 41^\circ$  (восток) и  $\lambda = 69^\circ - 76^\circ$ , в тектоническом плане – в центральной части Гиссаро-Кокшаальского глубинного разлома, разграничивающего Южный Тянь-Шань от Памира. Сеймотектонические условия данного региона подробно рассмотрены в работах [16-17], в которых указана высокая сейсмичность зоны разлома.

Карта эпицентров землетрясений с  $K_R \geq 11.0$  данного региона за 1930-2013 гг. представлена на рисунке 1, а в таблице 1 приведен каталог землетрясений с максимальной величиной  $K_m$  за каждый год, составленного на основе работы [13]. Из представленных данных следует, что в среднем ежегодно на рассматриваемой территории происходит более 30 событий с  $K_R \geq 11.0$ , более 9 –  $K_R \geq 12.0$  и одно событие с  $K_R \geq 14.0$  (рисунок 1, таблица 1).



**Рисунок 1.** Карта-схема эпицентров землетрясений с  $K_R \geq 11$  региона Алай-Кашгарза 1930-2013 гг.

Таблица 1.

**Временной ряд значений  $K_m$  землетрясений региона Алай-Кашгар за 1930-2012 гг.**

№№ п/п	Годы	$K_m$	№№ п/п	Годы	$K_m$	№№ п/п	Годы	$K_m$	№№ п/п	Годы	$K_m$
1	1930	14.2	22	1951	14.5	43	1972	12.8	64	1993	11.6
2	1931	12.6	23	1952	12.6	44	1973	13.5	65	1994	13.3
3	1932	14.5	24	1953	13.0	45	1974	16.6	66	1995	13.6
4	1933	11.0	25	1954	13.0	46	1975	13.2	67	1996	11.8
5	1934	15.5	26	1955	16.4	47	1976	13.1	68	1997	11.7
6	1935	14.9	27	1956	13.0	48	1977	14.2	69	1998	11.2
7	1936	13.3	28	1957	14.0	49	1978	16.0	70	1999	11.6
8	1937	14.4	29	1958	14.0	50	1979	13.2	71	2000	11.7
9	1938	14.0	30	1959	14.6	51	1980	13.4	72	2001	11.8
10	1939	14.1	31	1960	12.9	52	1981	13.8	73	2002	13.0
11	1940	12.5	32	1961	14.0	53	1982	12.6	74	2003	11.8
12	1941	15.6	33	1962	13.0	54	1983	16.1	76	2005	11.9
13	1942	14.0	34	1963	15.9	55	1984	14.5	77	2006	13.7
14	1943	14.7	35	1964	13.1	56	1985	16.5	78	2007	14.8
15	1944	15.6	36	1965	13.0	57	1986	13.1	79	2008	16.0
16	1945	11.0	37	1966	14.0	58	1987	14.5	80	2009	12.3
17	1946	11.0	38	1967	15.0	59	1988	13.3	81	2010	13.5
18	1947	13.2	39	1968	12.1	60	1989	12.6	82	2011	14.2
19	1948	11.0	40	1969	14.8	61	1990	15.0	83	2012	13.0
20	1949	17.0	41	1970	13.0	62	1991	13.6			
21	1950	13.8	42	1971	13.4	63	1992	12.2			

Среди этих событий следует отметить крупнейшие землетрясения Центральной Азии: Агранкульское 1934 г. с  $K_R = 15.5$ , Гармское 1941 г. с  $K_R = 15.6$ , Гездарьинское 1944 г. с  $K_R = 15.6$ , Хаитское 1949 г. с  $K_R = 17.0$ , Улуучатское 1955 г. с  $K_R = 16.4$ , Иркештамское 1963 г. с  $K_R = 15.9$ , Маркансуйское 1974 г. с  $K_R = 16.6$ , Дарауткурганское 1978 г. с  $K_R = 16.0$ , Кызыл-Суйское 1983 г. с  $K_R = 16.1$ , Кашгарское-3 1985 г. с  $K_R = 16.5$  и Нура-Алайское 2008 г. с  $K_R = 16.0$ .

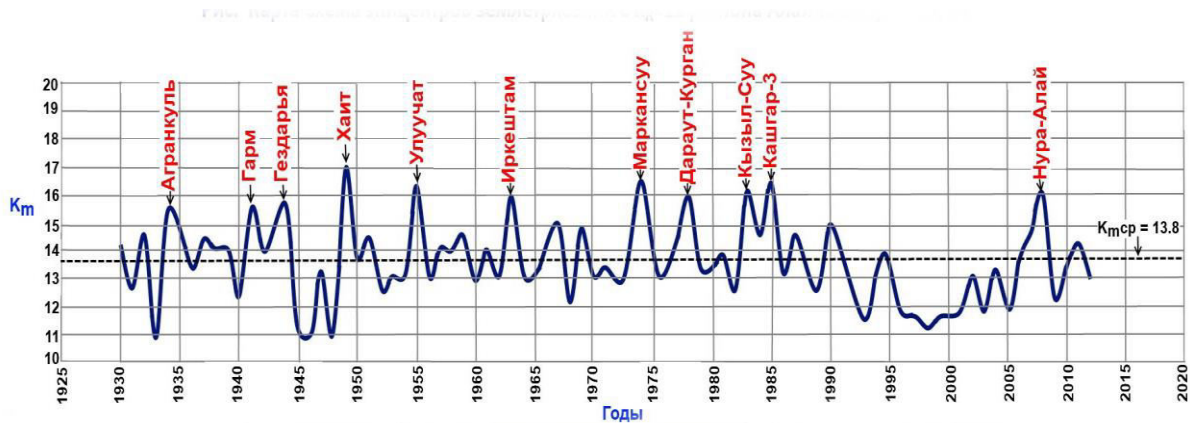


Рисунок 2. Временной ряд  $K_m$  землетрясений региона Алай-Кашгар за 1930-2012 гг.

Временной ряд  $K_m$  за 1930-2012 гг. представлен на рисунке 2, из которого следует, что в сейсмическом режиме данного региона наблюдаются колебания  $K_m$  от 11.0 до 17.0 и периоды сейсмического «затишья» сменяются периодами крупных сейсмокатастроф.

**Анализ периодичности  $K_m$ . Прогнозное значение первой длиннопериодной гармоники.** Поимеющемуся временному ряду  $K_m$  (таблица 1) был выполнен периодограммный анализ за 1930-1972 гг., 1930-1993 гг., 1930-2000 гг., 1930-2012 гг., 1940-1972 гг., 1940-1993 гг., 1940-2000 гг., 1940-2012 гг., 1975-1998 гг. и 1979-2002 гг. (рисунок 3), из которых следует, что наиболее устойчивой длиннопериодной группой гармоник являются 22-27-летние составляющие с максимальной амплитудой и со средним периодом 24 года. Это первая главная гармоника четко выделяется для рядов  $K_m$  за 1940-1972 гг., 1940-1993 гг., 1975-1988 гг. и 1979-2002 гг. (рисунок 3). На примере первой 24-х летней гармоники рассмотрены элементарные способы определения количественных параметров этой гармоники и ее роли для прогнозных построений. Уравнение ряда Фурье для его первой гармоники выглядит следующим образом [18]:

$$\bar{y}_i = a_0 + b_1 \cos t_i + b_2 \sin t_i, \quad (1)$$

где  $a_0 = \bar{y}_{ср}$ ,  $b_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n/2} y_i \cos t_i}{n/2}$ ,  $b_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n/2} y_i \sin t_i}{n/2}$ ,  $n$  = число точек во временном ряду,

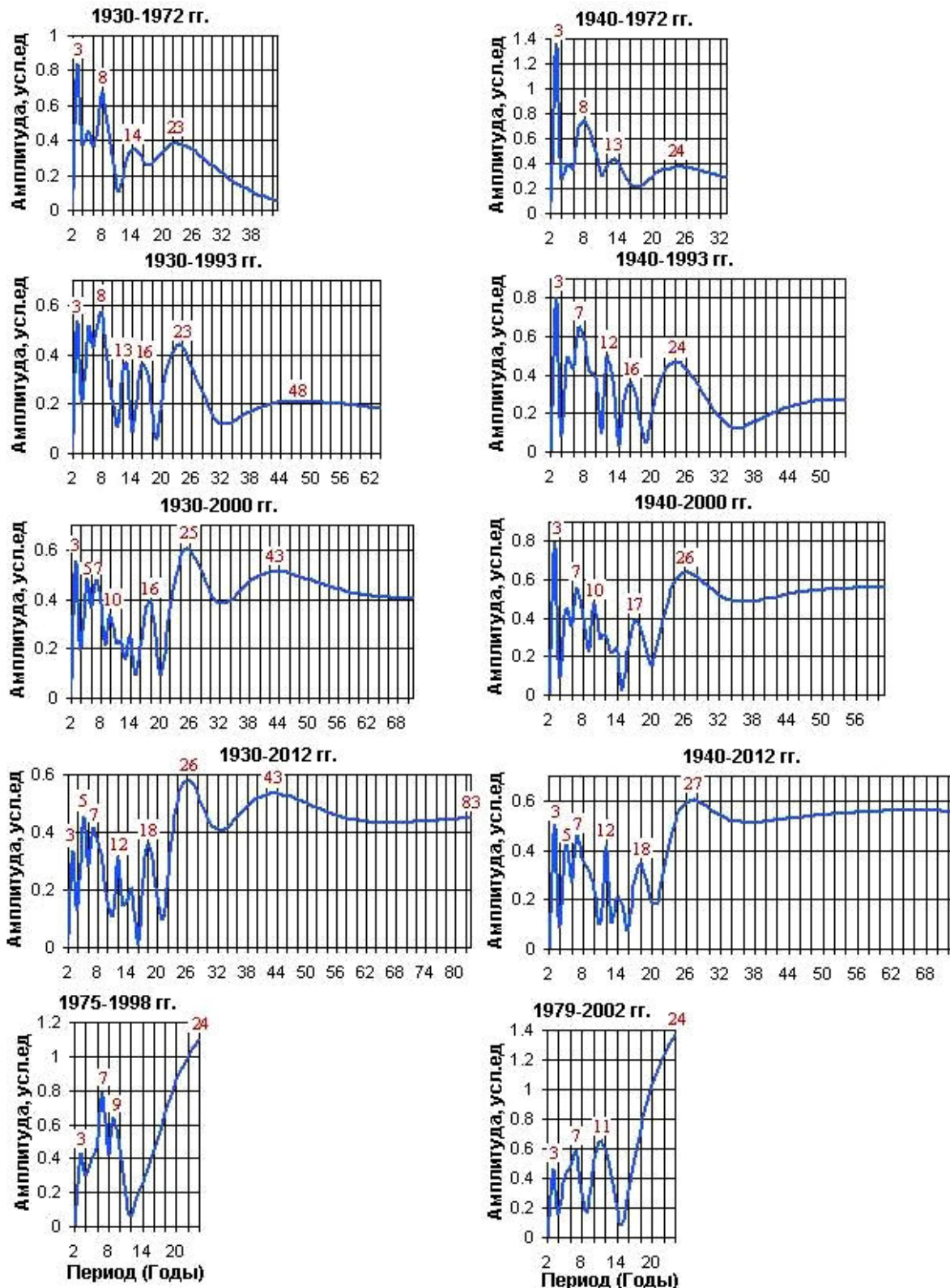
$$\bar{y}_{ср} = \sum_{i=1}^n y_i / n = a_0 - \text{среднее значение } y_i.$$

Для простых расчетов параметров первой гармоники обычно выбираются ряды  $n = 12$  или  $n = 24$ .

Выражение (1) можно представить в виде синуса:

$$\bar{y}_i = a_0 + A_1 \sin(t_i + \varphi_2), \quad (2)$$

где  $A_1 = (b_1^2 + b_2^2)^{0.5}$ ,  $\varphi$  – фаза колебания,  $\operatorname{tg} \varphi_1 = b_1 / b_2$ .



**Рисунок 3.** Перидиограммы временных рядов  $K_m$  землетрясений региона Алай-Кашгар за различные интервалы времени.

На основе выше представленных формул попытаемся определить возможные тенденции изменения сейсмического режима в начале XXI века по данным конца XX века. С этой целью за пиковое значение  $K_m$  временного ряда этого параметра приняты данные конца XX века, когда 23.08.1985 г. ( $\varphi = 39.43^\circ$   $\lambda = 75.48^\circ$ ) произошло крупнейшее землетрясение

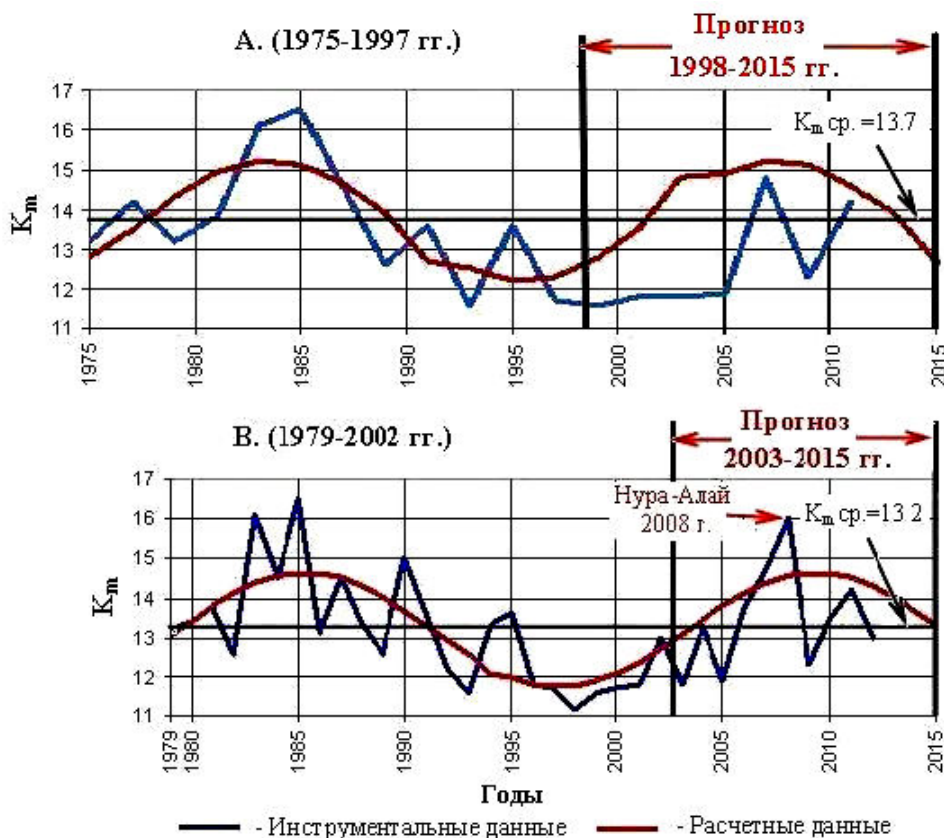
Центральной Азии с  $M_S= 7.6$  и  $K_R = 16.5$  и последнее в XX веке в зоне Гисаро-Кокшаальского разлома. Это значение  $K_R$  разместим в центре ряда с  $n = 12$  при шаге  $\Delta t_i= 2$  года.

Выбранный временной ряд  $K_m = y_i$  на основе таблицы 1 представлен в таблице 2, в которой приведены параметры 24-х-летней гармоника и попытка прогноза тенденции изменений  $K_m$  на период 1999-2021 гг. (таблица 2). Так как первая гармоника с периодом 24 года имеет максимальную амплитуду, то без расчетов можно предположить, что после 1985 г, спустя 24 года, т.е. в 2009 г. следует ожидать крупное землетрясение с  $K_m > 13.72$ , т.е. больше чем среднее многолетнее  $K_m$ . Расчеты, выполненные по временному ряду  $K_m$  без сглаживания, количественно подтверждают эти прогнозы и резкий рост  $K_m$  ожидался в 2003 г. при  $K_m = 14.8$  с максимумом  $K_m = 15.1-15.2$  в 2007-2009 гг. В действительности рост  $K_m$  начался в 2005 г. с  $K_m = 14.8$ , а в 2008 г. произошло разрушительное Нура-Алайское землетрясение с  $K_R = 16.0$  (таблица 2, рисунок 4А) т.е. прогноз тенденции роста  $K_m$  с вероятным максимумом в 2007-2009 гг. с использованием главной гармоники оказался оправданным.

Таблица 2.

**Преобразование многолетних колебаний  $K_m$  в ряд Фурье (24-летняя гармоника) для землетрясений региона Алай- Кашгар за 1975 – 1997 гг.**

№№ п/п	Годы	$y_i(K_m)$	$t^\circ$	$\cos t_i$	$y_i \cos t_i$	$\sin t_i$	$y_i \sin t_i$	$b_1 \cos t_i$	$b_2 \sin t_i$	$\Sigma (\sin t_i + \cos t_i)$	$K_m$ расчетн. ( $y_p$ )	$y_i - y_p$	Годы	$K_m$	
														инстр.	расч. прогноз
1	1975	13.2	0	1.0	13.2	0.0	0.0	-0.92	0.0	-0.92	12.80	0.40	1999	11.6	12.8
2	1977	14.2	30	0.866	12.3	0.50	7.1	-0.80	0.60	-0.20	13.52	0.68	<b>2001</b>	11.8	<b>13.5</b>
3	1979	13.2	60	0.50	6.6	0.866	11.43	-0.46	1.04	0.58	14.30	-1.10	<b>2003</b>	11.8	<b>14.80</b>
4	1981	13.8	90	0	0	1.0	13.80	0	1.20	1.2	14.92	-1.12	<b>2005</b>	11.9	<b>14.9</b>
5	1983	16.1	120	-0.50	-8.05	0.866	13.94	0.46	1.04	1.50	15.22	0.98	<b>2007</b>	14.8	<b>15.2</b>
6	1985	16.5	150	-0.866	-14.29	0.500	8.25	0.80	0.60	1.40	15.12	1.38	<b>2009</b>	12.3	<b>15.1</b>
7	1987	14.5	180	-1.00	-14.50	0	0	0.92	0.0	0.92	14.64	-0.14	<b>2011</b>	14.2	<b>14.6</b>
8	1989	12.6	210	-0.866	-10.91	-0.50	-0.6.30	0.80	-0.60	0.20	13.92	-1.32	<b>2013</b>	-	<b>13.9</b>
9	1991	13.6	240	-0.50	-6.8	-0.866	-11.78	0.46	-1.04	-0.58	12.68	-0.92	<b>2015</b>	-	<b>12.7</b>
10	1993	11.6	270	0.0	0	-1.00	-11.60	0	-1.20	-1.20	12.52	-0.98	<b>2017</b>	-	<b>12.5</b>
11	1995	13.6	300	0.50	6.80	-0.866	-11.78	-0.46	-1.04	-1.50	12.22	1.38	<b>2019</b>	-	<b>12.2</b>
12	1997	11.7	330	0.866	10.13	-0.50	-5.85	-0.80	-0.60	-1.40	12.32	-0.62	<b>2021</b>	-	<b>12.3</b>
$\Sigma$		<b>164.6</b>									<b>164.18</b>				
Ср.		<b>13.72</b>									<b>13.68</b>				
$\Sigma^+$					<b>49.03</b>		<b>54.52</b>					<b>5.74</b>			
$\Sigma^-$					<b>- 54.55</b>		<b>- 47.31</b>					<b>-5.28</b>			
$\Delta$					<b>- 5.52</b>		<b>7.21</b>					0.46			
$b_1$					<b>- 0.92</b>										
$b_2$							<b>1.20</b>								
$y_i = 13.72 - 0.92 \cos t_i + 1.2 \sin t_i$															
$A_{24} = 1.32, \varphi_{24} = -37.5^\circ$ ; сглаженные значения $A_{24} = 1.10 \quad \varphi_{24} = -47.5^\circ$															



**Рисунок 4.** Сопоставление изменений расчетных  $K_m$  по первой 24-х-летней гармонике с наблюдаемыми  $K_m$  для Алай-Кашгарского региона.

При расчетах использованы данные за: **А** - 1975-1997 гг., **В** – 1979-2002 гг.

Прогноз: **А** – 1998-2015 гг., **В** – 2003-2015 гг.

Вышеуказанные результаты позволили перейти к детализации прогнозных построений с увеличением временного ряда  $K_m$  до 24 с шагом в 1 год. За начало был выбран 1979 г., когда после Дараут-Курганского землетрясения с  $K_R = 16.0$  произошло резкое снижение  $K_m$  до 13.2 (таблица 1). Временный ряд  $K_m$  за 1979-2002 г. и параметры первой 24-х-летней гармонике представлены в таблице 3, а в таблице 4 приведен прогноз возможных землетрясений  $K_m$  за 2003-2015 гг. (таблица 4); сравнение инструментальных и расчетных  $K_m$  показано на рисунке 4В.

Таблица 3.

**Преобразование многолетних колебаний  $K_m$  в ряд Фурье (24-летняя гармоника) для землетрясений региона Алай- Кашгар за 1979–2002 гг.**

№ п/п	Годы	$y_i (K_m)$	$t_i$	$\cos t_i^\circ$	$y_i \cos t_i$	$\sin t_i^\circ$	$y_i \sin t_i^\circ$	$b_1 \cos t_i$	$b_2 \sin t_i$	$\sum(\sin + \cos)$	$K_{рас.}$ $13..15 + \sum(\sin + \cos)$	$\frac{y_i рас. - y_i}{K_p - K_m}$
1	1979	<b>13.2</b>	0	1.00	13.20	0.0	0.0	-0.13	0.0	-0.13	<b>13.06</b>	0.24
2	1980	<b>13.4</b>	1	0.966	12.94	0.259	3.47	-0.12	0.37	0.25	<b>13.40</b>	0.04
3	1981	<b>13.8</b>	2	0.866	11.95	0.500	6.80	-0.11	0.72	0.61	<b>13.80</b>	-0.0
4	1982	<b>12.6</b>	3	0.707	8.91	0.707	8.91	-0.09	1.02	0.93	<b>14.12</b>	1.52
5	1983	<b>16.1</b>	4	0.50	8.05	0.866	13.94	-0.06	1.25	1.19	<b>14.38</b>	-1.72

6	1984	<b>14.5</b>	5	0.259	3.75	0.966	14.01	-0.03	1.39	1.36	<b>14.55</b>	0.05
7	1985	<b>16.5</b>	6	0.0	0	1.00	16.5	0.0	1.44	1.44	<b>14.63</b>	-1.87
8	1986	<b>13.1</b>	7	-0.259	-3.39	0.966	12.65	0.03	1.39	1.42	<b>14.61</b>	1.51
9	1987	<b>14.5</b>	8	-0.500	-7.25	0.866	12.56	0.06	1.25	1.31	<b>14.50</b>	0.0
10	1988	<b>13.3</b>	9	-0.707	-9.40	0.707	9.40	0.09	1.02	1.11	<b>14.30</b>	1.00
11	1989	<b>12.6</b>	10	-0.866	-10.91	0.500	6.80	0.11	0.72	0.83	<b>14.02</b>	1.42
12	1990	<b>15.0</b>	11	-0.966	-14.49	0.259	3.88	0.12	0.37	0.49	<b>13.68</b>	-1.32
13	1991	<b>13.6</b>	12	-1.0	-13.6	0.0	0.0	0.13	0	0.13	<b>13.32</b>	-0.28
14	1992	<b>12.2</b>	13	-0.966	-11.78	-0.259	-3.16	0.12	-0.37	-0.25	<b>12.94</b>	0.74
15	1993	<b>11.60</b>	14	-0.866	-10.04	-0.500	-5.80	0.11	-0.72	-0.61	<b>12.58</b>	0.98
16	1994	<b>13.30</b>	15	-0.707	-9.40	-0.707	-9.40	0.09	-1.02	-1.11	<b>12.08</b>	-1.22
17	1995	<b>13.60</b>	16	-0.50	-6.80	-0.866	-11.78	0.06	-1.25	-1.19	<b>12.00</b>	-1.60
18	1996	<b>11.8</b>	17	-0.259	-3.06	-0.966	-11.40	0.03	-1.39	-1.36	<b>11.83</b>	0.03
19	1997	<b>11.7</b>	18	0.0	0.0	-1.00	-11.7	0.0	-1.44	-1.44	<b>11.75</b>	0.05
20	1988	<b>11.2</b>	19	0.259	2.90	-0.966	-10.82	-0.03	-1.39	-1.42	<b>11.77</b>	0.57
21	1999	<b>11.6</b>	20	0.500	5.80	-0.866	-10.04	-0.06	-1.25	-1.31	<b>11.91</b>	-0.28
22	2000	<b>11.7</b>	21	0.707	8.27	-0.707	-8.27	-0.09	-1.02	-1.11	<b>12.08</b>	0.38
23	2001	<b>11.8</b>	22	0.866	10.22	-0.500	-5.90	-0.11	-0.72	-0.83	<b>12.36</b>	-0.50
24	2002	<b>13.0</b>	23	0.966	12.56	-0.259	-3.37	-0.12	-0.37	-0.49	<b>12.70</b>	-0.30
$\Sigma$		<b>316.7</b>									<b>316.38</b>	
$y_i$		<b>13.19</b>										
$y_p$											<b>13.18</b>	
$\Sigma^+$					<b>98.55</b>		<b>108.92</b>					<b>9.13</b>
$\Sigma^-$					<b>100.12</b>		<b>91.64</b>					<b>6.96</b>
$\Sigma\Delta_{cp}$												<b>2.17</b>
$\Delta_i$					<b>- 1.57</b>		<b>17.28</b>					<b>0.09</b>
$b_1$					<b>- 0.131</b>		<b>1.44</b>					
$b_2$												

$$y_{pac.} = 13.19 - 0.13 \cos t_{24} + 1.44 \sin t_{24}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{24} = - \frac{0.131}{1.44} = - 0.091 \quad \varphi_{24} = - 5.25^\circ$$

$$A_{24} = (0.0169 + 2.086)^{0.5} = 1.45 \quad y_{pac.} = 13.19 + 1.45 \sin(t_{24}^\circ - 5.25^\circ);$$

сглаженные значения:  $A_{24} = 1.37, \varphi = -13^\circ$ .

**Таблица 4.** Прогноз возможных изменений  $K_m$  для ожидаемых землетрясений на период 2003-2015 гг. региона Алай- Кашгар по временному ряду  $K_m$  за 1979- 2002 гг. (24-летняя гармоника, начало расчетов 1979 г.)

№ п/п	Годы	$K_m$	$t_i$	$\cos t_i^\circ$	$b_1 \cos t_i$	$\sin t_i$	$b_2 \sin t_i^\circ$	$\Sigma(\sin + \cos)$	$K_{pac.}$ $13.19 + \Sigma(\sin + \cos)$	$\Delta = K_p - K_m$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	<b>2003</b>	<b>11.8</b>	24	1.0	-0.13	0.0	0.0	-0.13	<b>13.06</b>	1.26
2	<b>2004</b>	<b>13.3</b>	25	0.966	-0.12	0.259	0.37	0.25	<b>13.44</b>	-0.14
3	<b>2005</b>	<b>11.9</b>	26	0.866	-0.11	0.500	0.72	0.61	<b>13.80</b>	1.90
4	<b>2006</b>	<b>13.7</b>	27	0.707	-0.09	0.707	1.02	0.93	<b>14.12</b>	0.42

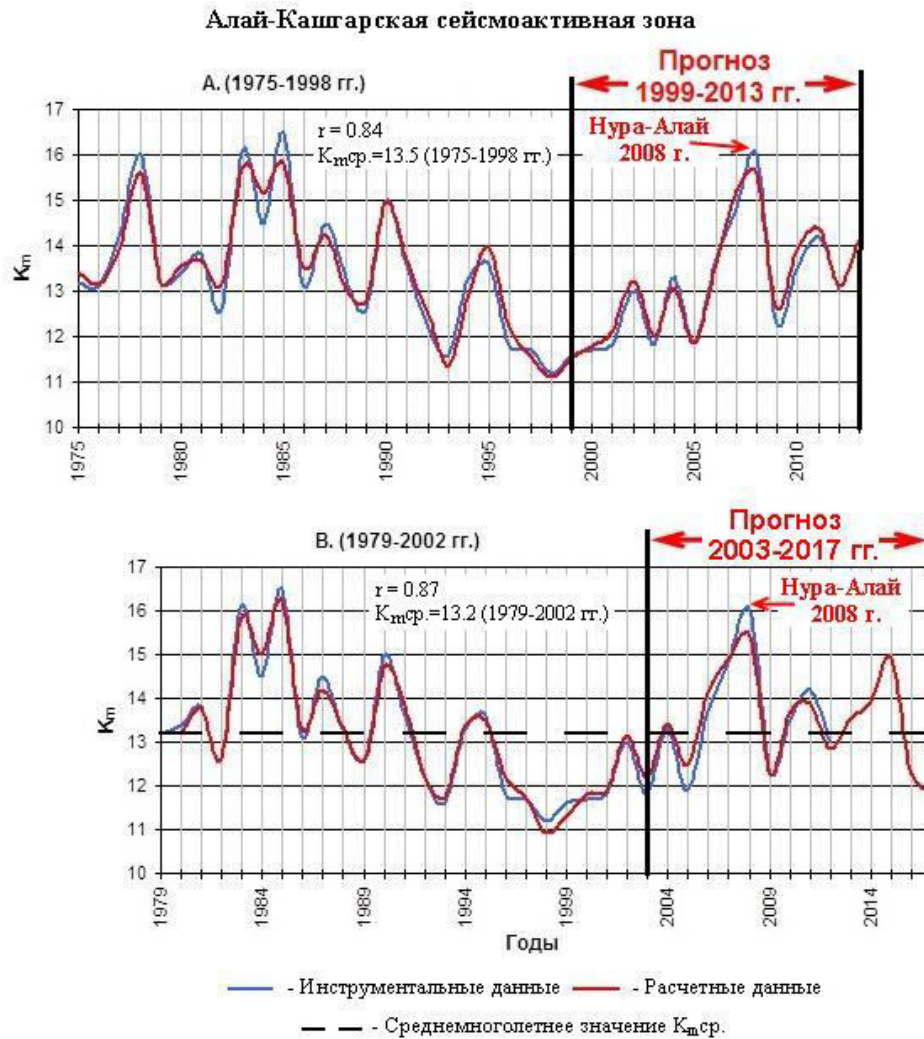


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	<b>2007</b>	<b>14.8</b>	28	0.50	-0.06	0.866	1.25	1.19	<b>14.38</b>	-0.50
6	<b>2008</b>	<b>16.0</b>	29	0.259	-0.03	0.966	1.39	1.36	<b>14.55</b>	-1.45
7	<b>2009</b>	<b>12.3</b>	30	0.0	0.0	1.00	1.44	1.44	<b>14.63</b>	2.33
8	<b>2010</b>	<b>13.5</b>	31	-0.259	0.03	0.966	1.39	1.42	<b>14.61</b>	1.11
9	<b>2011</b>	<b>14.2</b>	32	-0.500	0.06	0.866	1.25	1.31	<b>14.50</b>	-0.30
10	<b>2012</b>	<b>13.0</b>	33	-0.700	0.09	0.707	1.02	1.11	<b>14.30</b>	1.30
11	<b>2013</b>		34	-0.866	0.11	0.500	0.72	0.83	<b>14.02</b>	
12	<b>2014</b>		35	-0.960	0.12	0.259	0.37	0.49	<b>13.68</b>	
13	<b>2015</b>		36	-1.00	0.13	0.0	0.0	0.13	<b>13.32</b>	

Из представленного материала следует, что анализ данных за 1979 - 2002 гг. по 24-летней гармонике, как и в предыдущем случае, удовлетворительно предсказывает возможные тенденции изменения  $K_m$ , а также рост максимальных  $K_m$  до  $K_m = 14.12-14.62$  в 2006-2010 гг. (таблица 4, рисунок 4В). При сравнении инструментальных и расчетных величин временных рядов  $K_m$  за 1975-1998 гг. и 1979-2002 гг. (таблицы 2-4) выясняется, что при шаге  $\Delta t = 1$  год и  $n = 24$  точность прогнозов повышается: при шаге  $\Delta t = 2$  года максимальная ошибка достигает 22% (таблица 2, 2003 г.,  $K_m = 14.8$  против 11.8), при шаге  $\Delta t = 1$  год максимальная ошибка достигает 17% (таблица 4, 2009 г.,  $K_m = 14.63$  против 12.3). Однако, как видно из рисунка 4А,В, несмотря на удовлетворительное предсказание тенденции вероятных изменений  $K_m$  по первой гармонике появление короткопериодных гармоник не позволяет более точно определить возможные пиковые значения  $K_m$  (рисунок 4А,В).

**Прогнозное значение короткопериодных гармоник.** Для временного ряда  $K_m$  за 1979-2002 гг. по компьютерной программе были установлены следующие периоды с максимальными амплитудами: 3, 7, 11 и 24 года (рисунок 5), а при расчетных прогнозах  $K_m$  были использованы следующие составляющие с периодами: 3, 4, 5, 6, 7, 11, 15 и 22 года с амплитудами:  $A_3 = 0.46$ ,  $A_4 = 0.15$ ,  $A_5 = 0.40$ ,  $A_6 = 0.48$ ,  $A_7 = 0.58$ ,  $A_{11} = 0.65$ ,  $A_{15} = 0.08$ ,  $A_{24} = 1.37$ , с фазами:  $\varphi_3 = 90^\circ$ ,  $\varphi_4 = 33^\circ$ ,  $\varphi_5 = 74^\circ$ ,  $\varphi_6 = 143^\circ$ ,  $\varphi_7 = 29^\circ$ ,  $\varphi_{11} = -87^\circ$ ,  $\varphi_{15} = -75^\circ$  и  $41 \varphi_{24} = -13^\circ$  (фазы в целях упрощения округлены до целых значений). При этом для первой гармоники амплитуды и фазы сглаженного ряда  $K_m$  удовлетворительно совпадают с несглаженными  $A_{24}$  и  $\varphi_{24}$  (таблицы 2-3).

На фоне общей тенденции роста  $K_m$  коротко периодные 3, 6, 7 и 11-летние гармоники приводят к появлению резонансных «взрывных» ростов  $K_m$ , т.е. взаимодействие коротковолновых и длинноволновых деформаций мы наблюдаем как эффекты «перемежаемости», что предсказывают теоретические предположения. Прогнозные расчеты по двум рассмотренным временным рядам  $K_m$  приведены на рисунке 5, из которого видно, что рассмотренные величины  $K_m$  за 2003-2012 гг. удовлетворительно совпадают с инструментальными, а в 2013-2015 гг. возможны проявления землетрясений с  $K_R = 15.0$  (рисунок 5). Из рисунка 4 А,В, следовало, что при использовании только одной главной 24-летней гармонике к 2015 г. ожидалось снижение  $K_m$  до средних многолетних значений  $K_m = 13.2-13.7$ . Однако благодаря воздействию короткопериодных 3, 7 и 11-летних колебаний, уровень сейсмической опасности после Нура-Алайского землетрясения 2008 г. к 2013-2015 гг. вновь остается повышенным (рисунок 5).



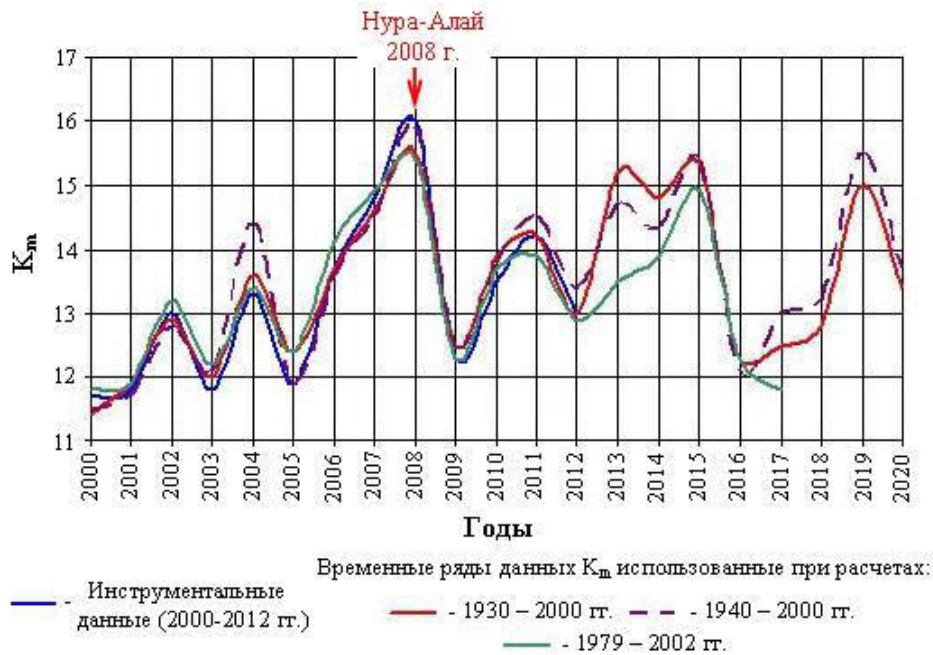
**Рисунок 5.** Графики изменения наблюдаемых и расчетных значений максимальных годовых энергетических классов землетрясений ( $K_m$ ) для Алай-Кашгарской сейсмоактивной зоны.

Для расчетов  $K_m$  взяты интервалы: **А** – 1975-1998 гг., **Б** – 1979-2002 гг.

При расчетах использовались гармоники: **А** – 3-7, 9, 12, 24; **Б** – 3-7, 11, 15, 24.

$r$  - коэффициент корреляции;  $K_{m\text{ср.}}$  – среднемноголетние значения;

Эти предположения подтверждаются прогнозными расчетами и по длительным временным рядам за 1930-2000 и 1940-2000 гг., которые приведены на рисунке 6. Кроме этого, на рисунке 6 видно, что новая локальная фаза снижения  $K_m$  ожидается в 2016-2018 гг., за которой в 2019 г. возможно новое повышение уровня сейсмической опасности с  $K_m = 15.0$  (рисунок 6). На вышеприведенных примерах четко видна роль влияния короткопериодных гармоник на возможные изменения сейсмического режима центральной части зоны Гиссаро-Кокшаальского глубинного разлома.



**Рисунок 6.** Наблюдаемые и расчетные значения  $K_m$  землетрясений региона Алай-Кашгар за 2000-2012 гг. и прогноз  $K_m$  до 2017-2020 гг.

**Обсуждение полученных результатов.** Анализ колебаний  $K_m$  по региону Алай-Кашгар за различные периоды наблюдений показывает, что общие тенденции возможных инерционных колебаний роста или снижения уровня сейсмической опасности на ближайшие 5-10 лет определяются параметрами первой гармоники. Для рассматриваемого региона период этой гармоники колеблется от 23 до 27 лет и в среднем составляет 24 года. В пределах вышеуказанного периода, когда могут проявиться землетрясения с  $K_R > 13.8$  (до 16.6), изменения колебаний условной вероятности  $p_1$  по 24-х летней гармонике можно выразить формулой:

$$p_1 = 0.50 + 0.5\sin\alpha, \quad (3)$$

где  $\alpha = t_{24}^\circ + \varphi_{24}$ , для случая таблицы 3  $\varphi = -5.25^\circ$ . В соответствии с (3) по ряду  $K_m$  за 1979-2002 гг. величина  $p_1$  возрастала от 0.44 в 1979 г. до 0.99 в 1985 г. и снижалась до 0.01 (1997 г.), а в 2002 г. величина  $p_1$  составляла 0.33 и к 2007 г. (за год до Нура-Алайского землетрясения)  $p_1$  возросла до  $p_1 = 0.91$ . (рисунок 7).

Выделенные в сейсмическом режиме региона Алай-Кашгар периодичности 3, 5, 7-8, 9-18 и 22-27 лет имеют различную статистическую значимость. Наиболее значимые из них периодичности - 3, 7, 11 и 22-27 лет. В свете физических экспериментов в области изучения разрушения твердых тел и моделирования взаимодействия, геофизических полей [4, 8] получены результаты, которые позволяют объяснить возможные причины сейсмических флуктуаций, связывая их, например, с триггерными механизмами в виде дискретно-волновых колебательных движений различного происхождения. По масштабу их можно разделить на вземные, общепланетарные, региональные и локальные [4]. Последние 2 типа могут проявляться как деформационные волны, генерируемые из районов с высокоактивным тектоническим режимом. В нашем случае таковым является отдельный сегмент региона коллизий Индостанской и Евразийской плит – зона Гиссаро-Кокшаальского глубинного разлома.



**Рисунок 7.** Предполагаемые изменения условной вероятности  $p_1$  проявления землетрясений с  $K_m > 13.7$  по 24-х-летней первой гармонике для региона Алай-Кашгар на 2003-2015 гг. по данным 1979-2002 гг. (таблица 3-4).

По [4] природа вземных и планетарных триггеров весьма разнообразна. Судя по наблюдаемым гармоникам, происхождение некоторых из них может быть связано с ротационным режимом Земли, чандлеровскими колебаниями ее оси вращения, орбитальным положением нашей планеты по отношению к Солнцу в разные месяцы года, приливным влиянием Луны и Солнца и, возможно, с другими космическими причинами.

Действия триггерных механизмов в сейсмическом режиме можно пояснить следующим образом [4]. В тех объемах геофизической среды, где горные породы находятся в состоянии крайней динамической неустойчивости, достаточно малых возмущений от осцилляторов различной природы для запуска механизма лавинно-неустойчивого трещинообразования (модель ЛНТ) или быстрого проскальзывания берегов разрывов сейсмогенерирующих разломов (модель stick-slip). Механизмы внешних квазипериодических возмущений могут быть весьма различны, но, несмотря на их во многом пока неясную природу, можно предполагать реальной их регулирующую роль в проявлениях сейсмичности.

Таким образом, выявленные периодичности 3, 7-8, 9-18 и 22-27 лет в сейсмическом режиме региона Алай-Кашгар - в центральной части Гиссаро-Кокшаальского глубинного разлома уже в настоящее время могут использоваться в прогностических целях экстраполяции на определенный интервал – 10-15 лет. Такие же попытки впервые были предприняты в Прибайкалье и в ряде других регионов [2, 4, 6-7, 14]. Они привели к выводу о необходимости учитывать ожидаемые периодические изменения в сейсмической «погоде» этих регионов при прогнозе вероятной сейсмической опасности на ближайшие 10-15 лет.

## ВЫВОДЫ

1. По данным инструментальных наблюдений за 1930-2012 гг. в сейсмическом режиме региона Алай-Кашгар выделяются устойчивые гармонические составляющие с периодами 3, 5, 7, 11 и 22-27-лет. При этом параметры первых длиннопериодных колебаний определяют общие тенденции роста или снижения вероятной сейсмической опасности на ближайшие 10-15 лет.

2. Совместное взаимодействие короткопериодных и длиннопериодных тектонофизических колебаний приводят к усложнению периодичности сейсмического режима, характерного и для других сейсмоактивных зон.

3. По прогнозным предположениям новая фаза активизации сейсмичности в данном регионе ожидается в 2013-2015 гг. с последующим снижением сейсмической опасности в 2016-2018 гг. и новый подъем  $K_m$  до 15.0 в 2019 г.

### Литература

1. Кропоткин П.Н. Люстих А.Е. Сезонная периодичность землетрясений. //ДАН СССР, 1974, т. 217,5, с.1061-1064.
2. Гамбурцев А.Г. Александров С.И. Беляков А.С. и др. Сейсмичность Земли и Луны. //Атлас временных вариаций природных процессов. – Москва: ОИФЗ РОАН, т.1., 1994, с.32-41.
3. Сытинский А.Д. Зависимость сейсмичности Земли от процессов на Солнце, в межпланетной среде и в атмосфере. //Атлас временных вариаций природных процессов. Москва: ОИФЗ РАН, т. 2., 1998, с.70-72.
4. Любушин А.А., Писаренко В.Ф., Ружич В.В., Буддо В.Ю. Выделение периодичностей в сейсмическом режиме. // Физика Земли, 1998, №1, с.62-76.
5. Соболев Г.А. Понамарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. – Москва: Наука, 2003, 270 с.
6. Чипизубов А.В.. Реконструкция и прогноз изменений сейсмичности Земли. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2008, 240с.
7. Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. – Алматы: Эверо, 2004, 504с.,
8. Володин И.А. Нелинейность и многомасштабность сейсмоакустики. // Проблемы геофизики XXI века. Москва: Наука, кн. 2, 2003, с.5-35.
9. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Особенности неравновесных процессов в открытых диссипативных средах. // Проблемы геофизики XXI века. Москва: Наука, кн.1, 2003, с.37-65.
10. Тимашев С.Ф. О базовых принципах «нового диалога с Природой». // Проблемы геофизики XXI века. – Москва: Наука, кн.1, 2003, с.104-139.
11. Мамыров Э., Омуралиев М. Теоретическое обоснование статистики землетрясений и его значение для сейсмологии. – Бишкек: Илим, 1993, 68с.
12. Мамыров Э., Омуралиев М., Усупаев М.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.
13. Мамыров Э. Землетрясения Тянь-Шаня: магнитуда, сейсмический момент и энергетический класс. Бишкек: ИНСАНАТ 2012, 234с.
14. Мамыров Э., Маханькова В.А. Анализ квазипериодичности правления слабых сильных землетрясений Тянь-Шаня. //Наука и новые технологии, №2, 2010, с. 66-78.
15. Mamurov E. Cycling analysis of Tien Shan seismic regime. //Book Abstracts European Seismological Commission 33 RD General Assembly August 2012. Moscow – Obninsk, Russia, 2012, pp. 29-30.
16. Абдрахматов К.Е., Томпсон С., Уилдон Р. Активная тектоника Тянь-Шаня. – Бишкек: Илим, 2007, 72 с.
17. Лемзин И.Н. Разломы Кыргызской части Тянь-Шаня. – Бишкек: Илим, 2005, 60с.
18. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. – Москва: Финансы и статистика, 2001, 228с.