

УДК 550.34.0

Мамыров Э.

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

ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА

Аннотация: В статье рассмотрены достижения лаборатории тектонофизических методов прогноза в области прогноза сильных землетрясений Тянь-Шаня за последние 10 лет. Указаны основные проблемы по совершенствованию прогнозных исследований.

Ключевые слова: прогноз, землетрясение, сейсмоактивная зона, сейсмический режим.

КЫРГЫЗСТАНДЫН АЙМАГЫНДАГЫ КҮЧТҮҮ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮ БОЖОМОЛДООЛОРДУН ЖЕТИШКЕНДИКТЕРИ ЖАНА ПРОБЛЕМАЛАРЫ

Кыскача мазмуну: Макалада божомолдоонун тектонофизикалык методдору лабораториясынын акыркы 10 жыл ичиндеги Тянь-Шандын күчтүү жер титирөөлөрүн божомолдоолор тармагындагы жетишкендери каралган. Божомолдоо изилдөөлөрүн өркүндөтүү боюнча негизги проблемалар баяндалган.

Түйүндүү сөздөр: божомолдоо, жер титирөө, сейсмоактивдүү зона, сейсмикалык режим.

ACHIEVEMENTS AND PROBLEMS OF STRONG EARTHQUAKES PREDICTION IN THE TERRITORY OF KYRGYZSTAN

Abstract: Laboratory's achievements of the Tien Shan strong earthquakes prediction for the last 10 years are presented in the paper. Most actual problems in the development of prediction's investigation have been indicated.

Введение. Прогноз крупных землетрясений является наиболее сложной и нерешённой задачей современной геофизики. В связи с высокой сейсмичностью территории Кыргызстана исследования по прогнозу землетрясений являются актуальными, имеющими важное практическое значение.

В комплексе различных геолого-геофизических методов, используемых для мониторинга сейсмической активности и прогноза крупных сейсмодатастроф, региональные исследования сейсмического режима по анализу сейсмических брешей и цикличности сейсмических процессов занимают ведущее положение. В последние годы отмечается значительный прогресс в области долго- и среднесрочного прогноза сильных землетрясений зон субдукции и континентальных регионов [1-9] Это связано со следующими результатами глобальных и региональных исследований:

- для крупных сейсмоактивных регионов существует сейсмическая повторяемость или сейсмические циклы со средним интервалом до 200 лет;
- сейсмоактивные регионы подразделяются на отдельные области (зоны) с фиксированными границами;

- эпохи сейсмического затишья во всем регионе разделяют периоды активности с проявлением сильных землетрясений;
- сейсмическая активизация наблюдается во всех блоках тектонической зоны и доказывает однородность подвижек по всей длине главного разлома;
- крупные землетрясения в сейсмоактивных зонах часто возникают в областях сейсмических брешей.

С теоретических позиций динамики нелинейных систем сейсмический режим крупных регионов рассматривается как взаимодействие коротковолновых и длинноволновых геофизических возмущений, для которых характерно наличие эффектов перемежаемости Ферми-Паста-Улама. В результате таких процессов фазы спокойной длинноволновой динамики сменяются короткими – «взрывными», периодами сейсмической активности. Циклы возрастания и снижения интенсивности сейсмических процессов являются наиболее важными характеристиками нелинейных тектонофизических процессов [10].

Территория горноскладчатой системы Тянь-Шаня, возникшая в результате коллизии Индостанской и Евразийской плит [12-13], характеризуется высокой сейсмичностью. Территория Кыргызстана, занимающая большую часть Тянь-Шаня в пределах координат $\varphi = 39^\circ - 43^\circ$ $\lambda = 69^\circ - 81^\circ$, систематически подвергается воздействию сильных землетрясений, что приводит к громадному экономическому ущербу и гибели людей. На фоне глобальной активизации проявления разрушительных сейсмокатастроф в начале XXI века с 2003 г. на территории республики произошли 8-9 балльные землетрясения: Куюккапское (2003 г., $M_w = 6.0$), Кочкорское (2006 г., $M_w = 6.0$), Ляйлякское (2007 г., $M_w = 6.0$), Нура-Алайское (2008 г., $M_w = 6.7$), Канское (2011 г., $M_w = 6.1$) и Сарыджазское (2013 г., $M_w = 6.2$). При Нура-Алайском землетрясении было полностью разрушено с.Нура и погибло 75 человек. Приведённые факты, с учётом экономического положения Кыргызстана, показывают актуальность исследований сейсмической опасности территории республики.

До недавнего времени Национальная система сейсмического мониторинга Кыргызстана базировалась, в основном, на аналоговых станциях, что существенно влияло на оперативность и представительность полученных данных. В связи с этой проблемой и в соответствии с современной тенденцией переоснащения сейсмических сетей Центрально-Азиатских стран цифровыми станциями, в 2007 году, в рамках сотрудничества с Организацией о Всеобъемлющем Запрещении Ядерных Испытаний (ОДВЗЯИ, СТВТО), Сейсмологическая Служба Норвегии (NORSAR) при поддержке Министерства иностранных дел Норвегии предоставила Институту сейсмологии Национальной Академии Наук Кыргызской Республики несколько цифровых широкополосных сейсмических станций. Такая модернизация системы мониторинга Кыргызстана позволила увеличить объём и улучшить качество сейсмического каталога Института сейсмологии НАН КР (KRNЕT).

1. Достижения в области прогноза вероятного места сильных землетрясений.

Проблема оценки сейсмической опасности территорий включает решение трёх основных задач: определение вероятного места, вероятной магнитуды (энергетического класса) и ожидаемого времени сильного землетрясения [1-13]. Среди многочисленных методов решения первых двух задач наиболее распространённым и часто используемым при средне- и долгосрочных прогнозах является метод сейсмических брешей. Многолетний опыт наших исследований показал, что сейсмические бреши в зонах активных разломов Тянь-Шаня можно выделить по высоким значениям параметра плотности сейсмогенных разрывов $K_{ср}$, которые располагаются внутри аномалий $K_{ср}$, с предельно низкими их величинами [14-19]. На основе этих результатов впервые в 1994 г. была составлена карта вероятной сейсмической опасности (прогноз на 10-15 лет), где были выделены районы ожидаемых землетрясений (РОЗ). Эта карта была использована Министерством по чрезвычайным ситуациям республики

для планирования превентивных защитных мероприятий. В последующем эта карта обновлялась (2002 г., 2011 г.) после крупных землетрясений.

Таблица 1.

**Каталог сильных землетрясений с $K_R \geq 11.6$ за 1995 – 2013 гг.
на территории Кыргызской Республики и приграничных районов стран Центральной
Азии в пределах $\varphi = 39^\circ - 43^\circ$ $\lambda = 69^\circ - 81^\circ$**

№№ п/п	Дата Год/мес./день	Координаты		Глубина, h,	Энергетический класс, K_R	Магнитуды		Название районов ожидаемых землетрясений (РОЗ), выделенных до события и где ожидалось сильные землетрясения
		$\varphi^\circ N$	$\lambda^\circ E$			M_{LN}	M_W	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1995/02/20	39.38	70.93	-	13.6	-	5.3	Шудманский, I=6-7
2	1995/02/20	41.27	72.33	-	12.6	5.3	5.1	Кара-Суу-Ташкумырский, I=5-6
3	1995/05/14	39.88	70.73	33	11.6	-	4.5	Алтын-Башинский, I=5
4	1995/10/08	41.10	71.88	20	13.6	5.3	5.2	Пропуск
5	1995/10/26	39.18	72.07	50	11.7	-	4.5	Сат-Шумкарский, I=5
6	1995/11/03	40.28	73.72	10	12.0	-	4.5	Гульчинский, I=5-6
7	1996/01/18	41.90	77.45	33	13.0	5.0	5.2	Борскоонский, I=6
8	1996/06/14	42.50	72.87	33	12.7	-	4.8	Талас-Кара-Кыштакский, I=6
9	1996/12/08	42.50	78.02	-	12.2	-	4.5	Пропуск
10	1996/12/19	39.48	72.15	-	12.0	-	4.7	Сат-Шумкарский, I=6
11	1997/01/09	41.07	74.33	15	14.6	5.9	5.8	Джамандаванский Кошдобо, I=7-8
12	1997/03/05	41.32	75.63	-	12.5	-	4.6	Байбиче-Каратооский, I=6
13	1997/08/13	41.87	79.47	33	13.0	-	4.6	Куюккапский, I= 6
14	1998/02/27	41.12	76.70	-	12.7	-	4.8	Пропуск
15	1998/05/29	41.17	75.63	31.5	13.6	-	5.3	Байбиче-Каратооский, I=6-7
16	1998/06/07	41.47	77.65	33	12.6	-	5.2	Жетимский, I=5-6
17	1998/11/04	39.62	73.90	41.9	12.3	-	-	Кушюганский, I=5-6
18	1999/02/27	41.11	76.70	33	12.7	-	4.9	Пропуск , I=5-6
19	1999/12/06	42.73	76.13	-	13.0	-	5.2	Чон-Кеминский, I=6-7
20	2000/08/08	41.90	76.83	33	12.2	-	5.0	Карагаман-Ашутебенский, I=6
21	2001/03/01	39.93	73.72	-	11.6	-	-	Пропуск
22	2001/09/02	39.4	72.03	15	13.6	-	5.5	Сат-Шумкарский, I=6
23	2001/09/02	40.95	73.12	15	11.9	-	-	Пропуск
24	2001/10/19	42.15	79.08	-	12.1	-	4.6	Куйлюкский, I=5-6
25	2001/11/12	40.95	72.80	-	11.7	-	-	Северо-Ферганский 1, I=5
26	2002/05/30	39.52	73.52	13	12.3	-	4.7	Пропуск
27	2002/09/05	39.78	71.97	31.6	13.0	5.2	5.5	Меликсуйский, I=6
28	2002/09/26	42.23	71.47	-	11.6	-	-	Сандалаш-Пскемский, I=5
29	2002/11/01	39.85	72.15	33	12.4	-	5.0	Меликсуйский, I=6
30	2002/11/07	39.18	71.68	33	12.4	-	4.9	Сат-Шумкарский, I=5
31	2003/03/09	41.17	72.92	-	11.7	-	-	Пропуск
32	2003/05/05	41.03	72.38	46	12.2	-	5.1	Северо-Ферганский 2, Сузак, I=5-6
33	2003/05/22	42.80	72.87	27.6	13.8	5.6	5.5	Казахстан, Луговское, I=7
34	2003/12/01	42.90	80.40	10	14.6	5.7	6.0	Казахстан,
35	2004/01/16	42.55	75.30	30.2	12.2	-	4.8	Кегетинский (Арпа тектир), I=5-6
36	2004/06/02	42.27	74.92	-	11.6	-	-	Кызартский, I=5
37	2004/06/04	39.37	72.68	-	11.7	-	-	Карагаман-Ашутебенский, I=5
38	2004/11/17	39.15	71.50	20	12.0	4.4	5.1	Сат-Шумкарский, Таджикистан, I=6
39	2004/11/17	39.20	71.51	1	13.5	5.3	5.8	Сат-Шумкарский I=6-7
40	2004/11/18	39.14	71.74	27	12.4	-	4.9	Сат-Шумкарский Таджикистан
41	2004/11/21	39.30	71.70	74	12.6	-	5.1	Сат-Шумкарский
42	2005/01/16	41.54	72.29	17	12	4.5	4.7	Карасу-Ташкумырский, I=5
43	2005/01/19	41.80	79.18	31	12.2	-	-	Куюккапский
44	2005/02/14	41.87	79.27	23	14.8	6.0	6.1	Куюккапский

45	2005/02/15	41.75	79.42	-	13.1	-	5.2	Куюккапский, I=6-7
46	2005/06/23	39.83	73.05	32	12.0	-	4.7	I=5
47	2005/10/08	42.10	76.00	13	11.8	-	-	Кегетинский, I=5
49	2006/12/24	42.33	75.22	13	12.1	4.4	5.0	Шамси-Боординский, I=5-6
50	2006/11/08	39.41	74.18	-	12.8	5.0	6.0	Китай
51	2007/01/08	39.42	70.21	23	14.8	5.8	6.0	Каравшинский, Лейлек, I=7-8
52	2007/01/25	42.05	76.02	3	14.2	5.5	6.0	Кочкорский, I=7-8
53	2007/01/24	41.02	71.45	13	12	4.6	4.7	Пропуск
54	2007/01/31	39.46	70.25	20	12.2	4.3	5.2	Афтершок, Лейлекского зем I=5
55	2007/02/02	39.09	71.18	17	12.2	4.6	5.2	Пропуск
56	2007/02/05	41.15	72.20	8	11.6	4.4	-	СФ-2
57	2007/03/28	41.15	72.20	7	11.6	4.4	4.5	Карасуу-Таш-Кумырский
58	2007/04/15	39.25	72.45	18	12.6	4.7	4.5	Сат-Шумкарский, I=6
59	2007/04/15	39.60	74.81	26	12.4	-	4.9	Китай
60	2007/06/02	39.48	70.11	-	11.7	-	4.2	Каравшинский афтершок
61	2007/06/06	42.34	75.23	8	12.2	4.5	5.0	Кегетинский, I=5-6
62	2007/07/21	39.01	70.46	12	13.6	5.4	5.2	Таджикистан
63	2007/07/27	42.34	75.23	7	11.8	-	-	Шамси-Боординский
64	2007/07/31	39.05	71.19	17	11.9	4.7	4.9	Таджикистан
65	2007/10/09	42.53	77.44	21	12.5	-	5.0	Аксуыйский, I=5-6
66	2007/12/26	40.19	73.02	13	12.8	5.1	5.1	Талдысуйский, Ош-Кокбел, I=6
67	2007/12/31	41.08	71.53	8	12.1	5.1	5.1	СФ-2, Узбекистан, I=6
68	2007/12/31	41.09	71.53	10	11.9	5.0	4.7	СФ-2, Узбекистан, I=6
69	2008/01/01	40.19	73.02	10	13.2	5.3	5.6	Талдысуйский, Ош-Кокбел-2, I=6-7
70	2008/04/10	39.23	74.43	13	12.2	4.8	5.0	АК2, Китай
71	2008/07/08	39.47	72.89	12	12.6	-	5.0	Форшок Нура-Алайского АК2
72	2008/08/01	41.24	71.42	17	11.8	-	4.8	пропуск , I=5
73	2008/10/05	39.50	73.64	12	16	6.6	6.6	АК2, Нура-Алайское I=8
74	2008/12/03	42.40	73.13	20	11.9	-	4.7	Каракол-Карабалтинский, I=5
75	2009/04/19	41.16	78.11	16	13.4	-	5.0	Узенгукуш
76	2009/04/26	41.06	72.62	36	12.7	-	4.9	СФ-1, I=5
77	2009/04/27	42.49	72.25	18	12.2	-	4.8	Талас-Каракыштанский, I=5
78	2009/04/29	41.35	71.20	13	11.7	-	4.8	Чуст-Папский I=5
79	2009/07/01	39.41	73.21	18	12.0	-	5.2	Кызыл-Агынский, I=5-6
80	2009/09/24	41.93	77.42	20	12.5	-	5.0	Турасу-Каджисайский, I=5
81	2010/03/02	42.37	75.60	25	12.9	-	5.1	Кызарт-Кочкорский, I=5-6
82	2010/04/25	40.78	74.93	-	11.9	-	-	Кулунский, I=5
83	2010/05/11	41.50	71.80	-	12.2	-	-	Аркитский, I=5-6
84	2010/08/20	39.21	71.86	-	12.0	-	-	Сат-Шумкарский, I=5
85	2010/09/07	39.52	73.75	-	13.9	-	-	АК2, I=6-7
86	2010/09/07	39.70	73.75	-	12.0	-	-	АК2, I=5-6
87	2011/01/01	39.13 (39.44)*	75.23 (75.16)*	12	12.5	-	4.9	Китай
88	2011/01/19	39.03	72.03	-	12.5	-	-	Сат-Шумкарский
89	2011/01/24	(38.50)	(72.78)	119	-	-	6.1	Таджикистан
90	2011/02/13	39.63	73.75	21	12.0	-	-	АК-2
91	2011/03/17	40.38 (40.39)	79.28 (78.90)	16	12	-	4.9	Китай
92	2011/04/09	42.07	74.82	16	11.6	-	-	Ойкаынский
93	2011/05/01	43.65	77.65	24	12.6	-	-	Казахстан
94	2011/06/02	42.37	78.42	25	11.6	-	-	Барскаунский
95	2011/06/21	39.17	72.33	17	11.9	-	-	Сат-Шумкарский
96	2011/07/19	40.12 (40.32)	71.45 (71.38)	17	14.9	-	6.1	Баткенский, Кан, I=8
97	2011/08/11	39.60 (39.89)	77.57 (77.31)	12	12.4	-	5.7	Китай
98	2012/02/05	41.57	74.76	20	12.2	-	-	Чаарташский
1	2	3	4	5	6	7	8	9
99	2013/01/28	42.6	79.65	14	15.0	6.2	6.2	Сарыджаз. Казахстан I=8
100	2013/09/20	42.28	76.47	21	11.6	-	-	Турасу-Каджисайский
101	2013/11/23	42.42	75.68	17	12.4	-	-	Окторкойский

*Примечание – в скобках приведены координаты эпицентров по HRV

В таблице 1 приведены параметры 101 землетрясений, произошедших с 1995 г. по 23.11.2013 г. - после составления первой прогнозной карты сейсмической опасности территории Кыргызской Республики (1994 гг.), обновлённой в 2002, 2007-2009 и 2011 годах. Из 101 события - $16 K_R = 11.6-13.6$ ($M_W = 4.5-5.5$) произошли в приграничных зонах Китая, Таджикистана, Узбекистана и Казахстана, т.е. за период 1995-23.11.2013 гг. на территории Кыргызстана произошло 85 землетрясения $K_R = 11.6-16.0$ (5-8 баллов), из которых 11 событий $K_R = 11.6 - 13.6$ оказались пропущенными, т.е. не попали в районы ожидаемых землетрясений (РОЗ) и их количество составляет 13%, а остальные 87% были спрогнозированы (таблица 1) на основе использования карт параметра плотности сейсмогенных разрывов. Важно подчеркнуть, что эпицентры всех разрушительных и сильных землетрясений, таких как: Кошдобинское (1997 г.), Куюкапское (2005 г.), Кочкорское (2006 г.), Лейлякское (2007 г.), Нура-Алайское (2008 г.), Канское (2011 г.) и Сарыджаское (2013 г.) попадают на площади РОЗ, выделенных на картах долгосрочного (1994 г.) и среднесрочного (2002, 2008-2009 гг.) прогнозов.

На рисунке 1. приведён фрагмент карты-схемы вероятной сейсмической опасности территории Кыргызстана на период 2011-2020 гг., составленного автором этой статьи в 2011 г. и внедрённого в Департамент мониторинга МЧС КР. На этой карте показаны районы ожидаемых землетрясений (РОЗ), выделенные на основе анализа аномалий $K_{ср}$ за 1990-2010 гг. по методике, изложенной в работах [14-19]. Здесь же приведены эпицентры ощутимых и сильных землетрясений с $K_R > 11.5$, произошедших за 2012-2014 (до 30.09.2014 г.) в восточной части Кыргызстана и в приграничных районах Казахстана (рисунок 1). Из представленных материалов следует, что на рассматриваемой территории за 2012-2014 гг. произошло 5 землетрясений энергетического класса 11.5-15.1 (сотрясаемость 5-8 баллов), эпицентры которых попадают в РОЗ, выделенных в 2011 г. (рисунок 1). Таким образом, данные таблицы 1 и рисунка 1 позволяют утверждать, что в средне – долгосрочном плане на основе анализа динамики изменений параметра $K_{ср}$ можно определить вероятное место ожидаемой сейсмोकатастрофы на территории Кыргызстана и в приграничных районах стран Центральной Азии.

Вышеуказанная методика может быть дополнена в дальнейшем статистическим анализом параметров площадных изменений по поглощению S – волн в земной коре Тянь-Шаня. В связи с этим, при дальнейших исследованиях необходимо провести исследования по выделению кольцевых структур сейсмичности, формирующихся в континентальных районах – в зонах сейсмических затиший перед сильными землетрясениями [4-16]. По этой новой методике в области сейсмической брешы перед межплитными землетрясениями ($M_W \geq 7.0$) в интервале глубин 0-33 км в течение около 20 лет формируются кольцевые структуры сейсмичности.

Средние периоды (T) формирования таких структур до внутриконтинентальных событий в зависимости от механизма очага составляют $T = 25 \pm 5$ лет. Граница структур геометрически очерчивают координаты эпицентров с магнитудами $M_W = 4-6$ ($K_R = 11-15$). К примеру, для землетрясения Южного Тянь-Шаня 23.08.1985 г. с $M_W = 7.0$ получено: $T = 16$ лет и $L = 110$ км. (L - длина большой оси эллипса). Для разрушительного Суусамырского землетрясения 19.08.1992 г. с $M_W = 7.2$ Центрального Тянь-Шаня приведены следующие данные: $T = 21$ год и $L = 160$ км. Средние величины T и L статистически взаимосвязаны с M_W ожидаемых событий, что позволяет с точностью 5- 10 лет оценивать возможное время реализации крупных сейсмических сейсмोकатастроф. Формирование подобных структур перед крупными событиями связывается с периодической миграцией больших объёмов флюидов из верхней мантии по субвертикальным каналам в нижние слои земной коры, что приводит к высокому поглощению S – волн. Площади новых кольцевых структур сейсмичности в Центральном Тянь-Шане, где происходит завершение процессов подготовки возможных сильных событий [4-6], полностью совпадают с районами ожидаемых землетрясений, выделенных в 2010 г. [14, 17-19], что хорошо видно на рисунке 1.

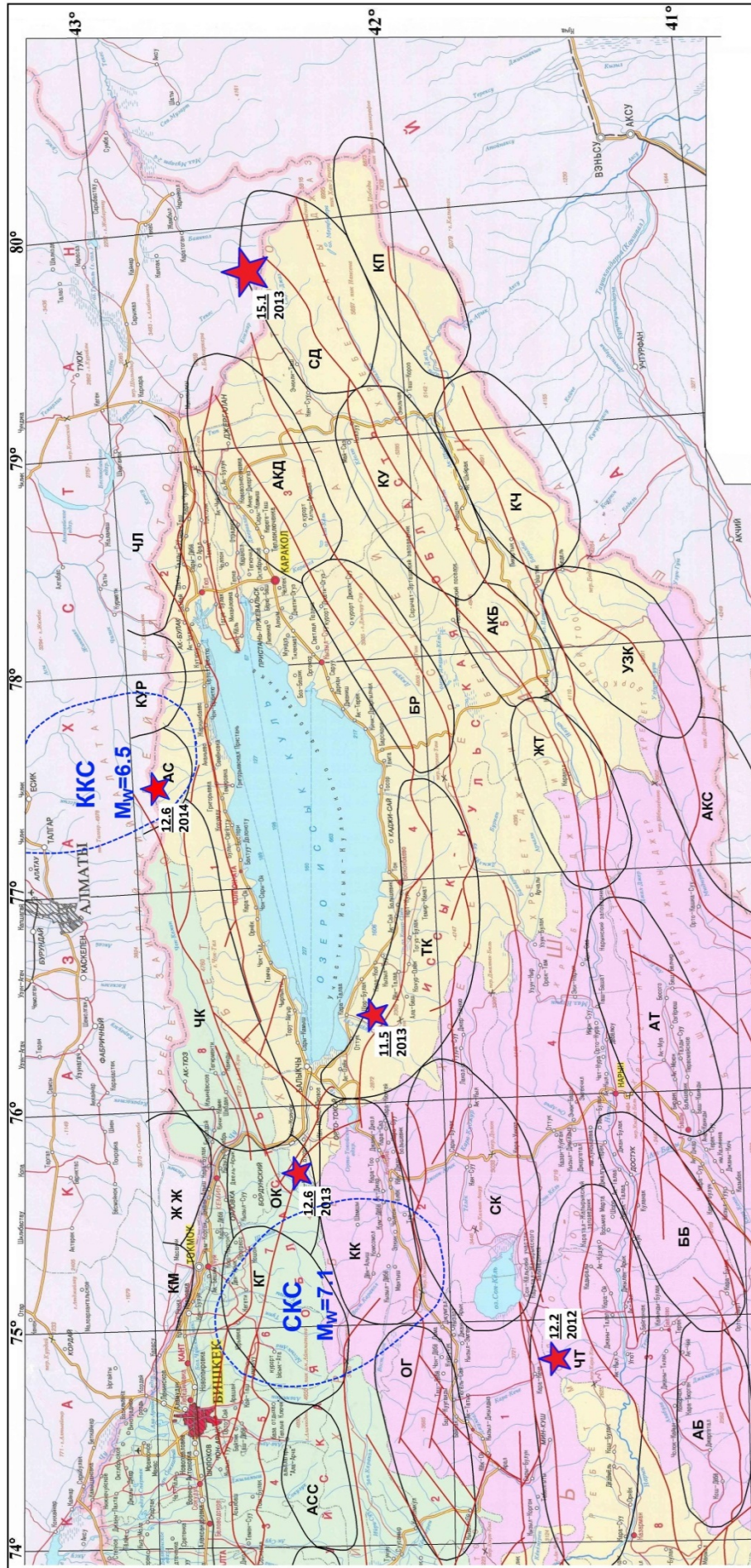


Рис. 1. Карта РОЗ (2011 г.) и сильные землетрясения на территории Восточного Кыргызстана в 2012 - 2014 гг.

Условные обозначения:

-  **12.6** **2013** - районы ожидаемых землетрясений (РОЗ);
-  **12.2** **2012** - эпицентры землетрясений **2012-2014 гг. (K_R/год)**;
-  - кольцевые сейсмические структуры, где в ближайшие годы могут произойти сильные землетрясения с $M_w = 6.5 - 7.1$ (по Колпичеву и Соколовой, 2012 г.);
-  - эпицентры землетрясений **2012-2014 гг. (K_R/год)**;

2. Достижения в области прогноза вероятного времени и магнитуды ожидаемых сильных землетрясений.

Выявление периодов проявления сильных землетрясений с целью оценки вероятных изменений уровня сейсмической опасности территории Кыргызстана на ближайшие 10 лет является главной задачей проводимых исследований. Анализ пространственно-временных изменений сейсмического режима за период инструментальных наблюдений, выполненный за последние годы А.В. Чипизубовым [20], доказывает, что в глобальном масштабе выделяются крупные циклы одновременного ослабления и усиления сейсмической деятельности в различных регионах. Для территории Бишкекского геодинамического полигона (Северный Тянь-Шань) была показана высокая корреляция сейсмичности региона с активизацией тектонофизических процессов в Восточном полушарии Земли за 1973- 2000 гг. [21]. Последняя фаза активизации разрушительных землетрясений (о.Суматра в 2004-2012 гг., Япония в 2005-2011 гг.) с магнитудами $M_w = 8.0 - 9.1$ в пределах восточного полушария отразилась проявлениями крупных событий в пределах Восточного и Южного Тянь-Шаня с магнитудой $M_w = 5.8 - 6.7$ в период 2006-2013 гг. [19].

Основываясь на цикличности сейсмических и геофизических процессов, был выполнен анализ изменений максимальных магнитуд M_w за каждый год (1900-2010 гг.) по всей территории Тянь-Шаня, который показан на рисунке 2.

Из представленного временного ряда следует, что максимальные значения M_m (за каждый год) колеблется в пределах от 5.0 до 7.8 и K_m от 12.8 до 17.6, а среднее многолетнее составляет $M_w = 6.1$ и $K_R = 14.8$ (рисунок 2). Несмотря на сложный характер изменений M_m (K_m) во времени, из рисунка 2 визуально заметны фазы активизации с $M_m > 6.1$ ($K_R > 14.8$): 1902-1919, 1938-1955, 1974-1992 гг., между которыми располагаются фазы сейсмического относительного затишья с $5.0 \leq M_w \leq 6.5$, ($12.8 \leq K_R \leq 14.8$): 1920-1937, 1956-1973 и 1993-2007 гг. Вместе с тем в фазы активизации и затишья отмечаются относительно короткие интервалы (2 года) отклонение от общего тренда подъема (снижения) годовой максимальной магнитуды (рисунок 2). В первую фазу активизации (1902-1919 гг.) в пределах Южного и Северного Тянь-Шаня произошло 6 землетрясений с $M_w \geq 7.0$: Кашгар 22.08.1902 г. $M_w = 7.7$, Манас 21.10.1906 г. $M_w = 7.2$, Каратаг 21.10.1907 г. $M_w = 7.1$, Кемин 03.01.1911 г. $M_w = 7.8$, Сарез 18.02.1911 г. $M_w = 7.2$, 04.08.1914 г. $M_w = 7.2$. Во вторую фазу активизации произошло 5 событий с $M_w \geq 6.7$: Кемин-Чуй 20.06.1938 г. $M_w = 6.7$ ($M_S = 6.9$), 09.03.1944 г. $M_w = 6.9$, Чаткал 02.11.1946 г. $M_w = 7.6$, Хаит 10.07.1949 г. $M_w = 7.6$ и Улуучат 15.04.1955 г. $M_w = 7.1$.

В третью фазу активизации произошли следующие разрушительные события: Маркансуу 11.08.1974 г. $M_w = 7.1$, Газли - 2 17.05.1976 г. $M_w = 7.2$, Жаланаш-Тюп 24.03.1978 г. $M_w = 6.9$ ($M_S = 7.1$), Дараут-Курган 01.11.1978 г. $M_w = 6.6$ ($M_S = 6.9$), Газли - 4 19.03.1984 г. $M_w = 7.0$, Кашгар – 2 23.08. 1985 г. $M_w = 7.0$ и Суусамыр 19.08.1992 г. $M_w = 7.2$. Приведенные данные за 1900-2010 гг. позволяют, в первом приближении, выделить в сейсмическом режиме три главных периода (34-36 лет): 1-й период – 1902-1937 гг., 2-й период – 1938-1973, третий период – 1974-2007 гг. и, ожидаемый, четвертый период – 2008-2043 гг. с фазой активизации в 2008-2025 гг. При этом каждый период делится на фазы активизации и затишья длительностью по 17-18 лет. Из приведённых кратких статистических данных следует, что в фазы активизации на Тянь-Шане могут происходить 5-7 разрушительных землетрясений с магнитудой $M_w = 6.9-7.8$, а в фазы затишья проявляются события с $M_w = 5.0-6.5$ с минимальным экономическим ущербом.

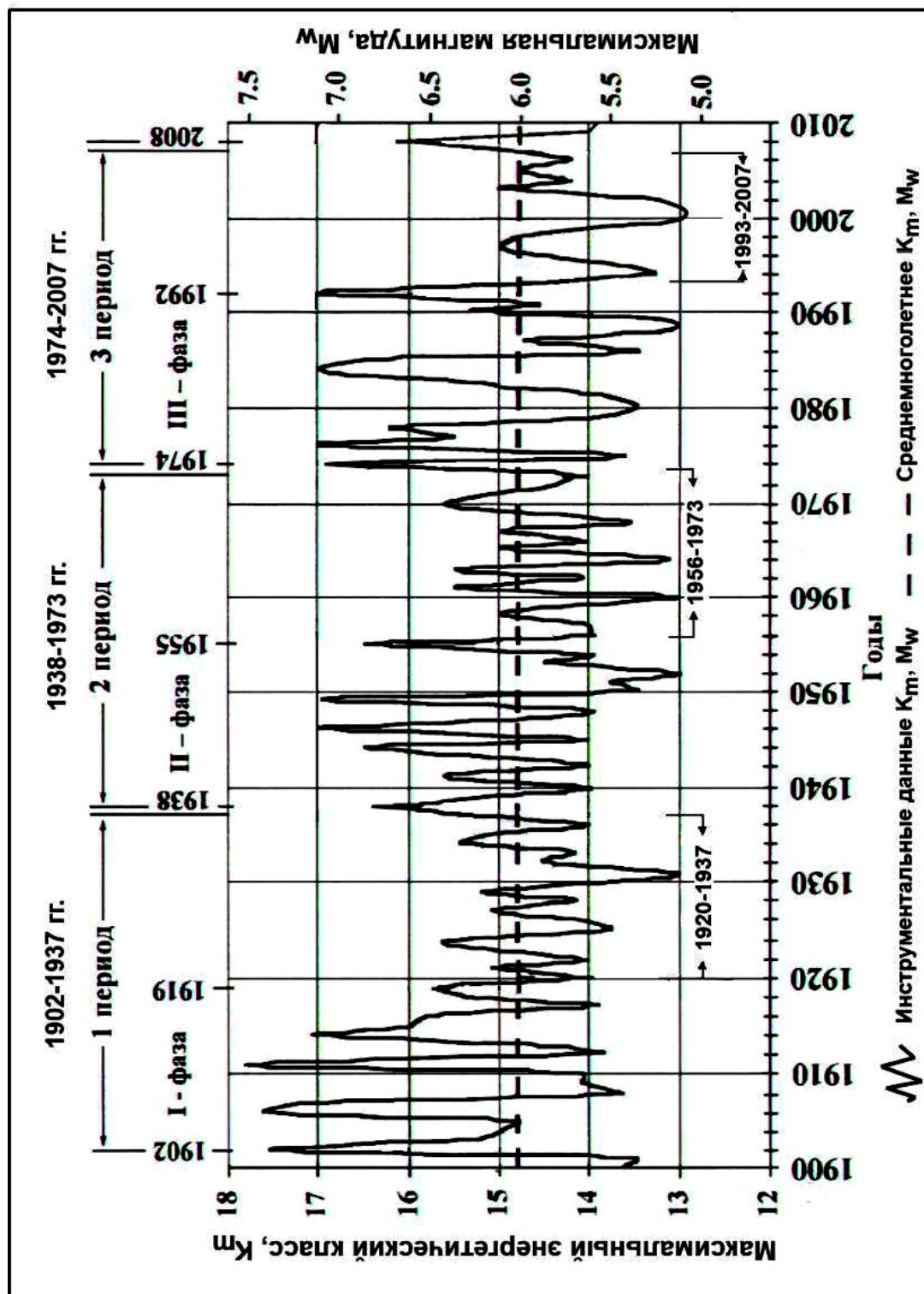


Рисунок 2. График изменения инструментальных значений максимальной годовых энергетических классов K_m и магнитуды M_w землетрясений Тянь-Шаня в пределах координат $\varphi = 38.5^\circ - 45^\circ$ $\lambda = 63^\circ - 96^\circ$ за 1900-2010 гг.

Среднемноголетнее $K_m = 14.8$, $M_w = 6.1$.

Анализ спектрального состава колебаний K_m показал, что во временных рядах K_m всего Тянь-Шаня за различные интервалы времени отмечаются устойчивые гармоника с периодами (по убыванию амплитуды): 35-37, 8, 11, 5, и 64 года. Для зоны Гиссаро-Кокшаальской системы разломов Южного Тянь-Шаня характерны следующие гармоника с периодами: 3, 7-8, 11-12 и 23-25 лет, а для восточной части Северо-Тянь-Шаньской системы разломов выделяются 8, 3, 5, 33-36 и 11-летние главные гармоника.

Конкретные примеры прогноза вероятных периодов повышения уровня сейсмической опасности для Восточной и Южной частей Кыргызстана приведены на рисунков 3-5. Из рисунка 3 следует, что по временным рядам максимального энергетического класса K_m

восточной части Иссык-Кульской впадины за 1946-2000 гг. и 1955-2000 гг. очередные фазы проявлений сильных землетрясений ожидалось в 2003, 2005 и в 2013 гг., которые подтверждаются инструментальными данными (рисунок 3).

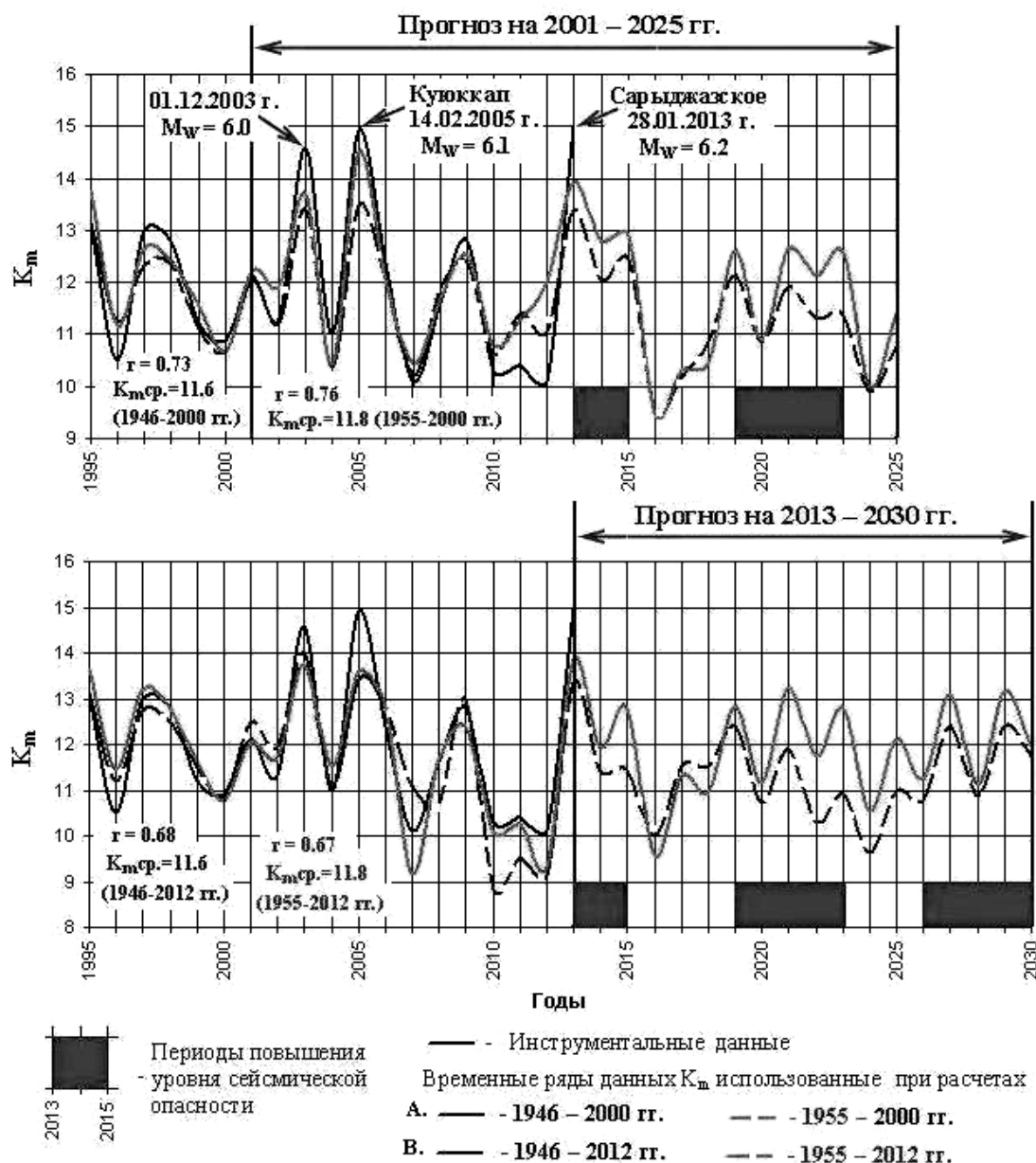


Рисунок 3. Прогноз вероятных изменений максимальных годовых энергетических классов землетрясений K_m для Восточного Иссык-Куля ($\varphi = 41.5^\circ - 43.5^\circ$ $\lambda = 79^\circ - 81^\circ$) на периоды **А** - 2001-2025 гг. и **В** – 2013-2030 гг. по разным временным рядам: **А** – 1946-2000 гг. и 1955-2000 гг., **В** – 1946-2012 гг. и 1955-2012 гг.

На рисунках 4 и 5 представлены расчётные и наблюдаемые временные ряды K_m с прогнозом до 2020 г. для Алай-Кашгарского сегмента Гиссаро-Кокшаальского сейсмогенерирующей зоны, наиболее сейсмоопасного региона Тянь-Шаня, где происходят 60-70% землетрясений от общего годового количества всех событий на территории Кыргызстана.

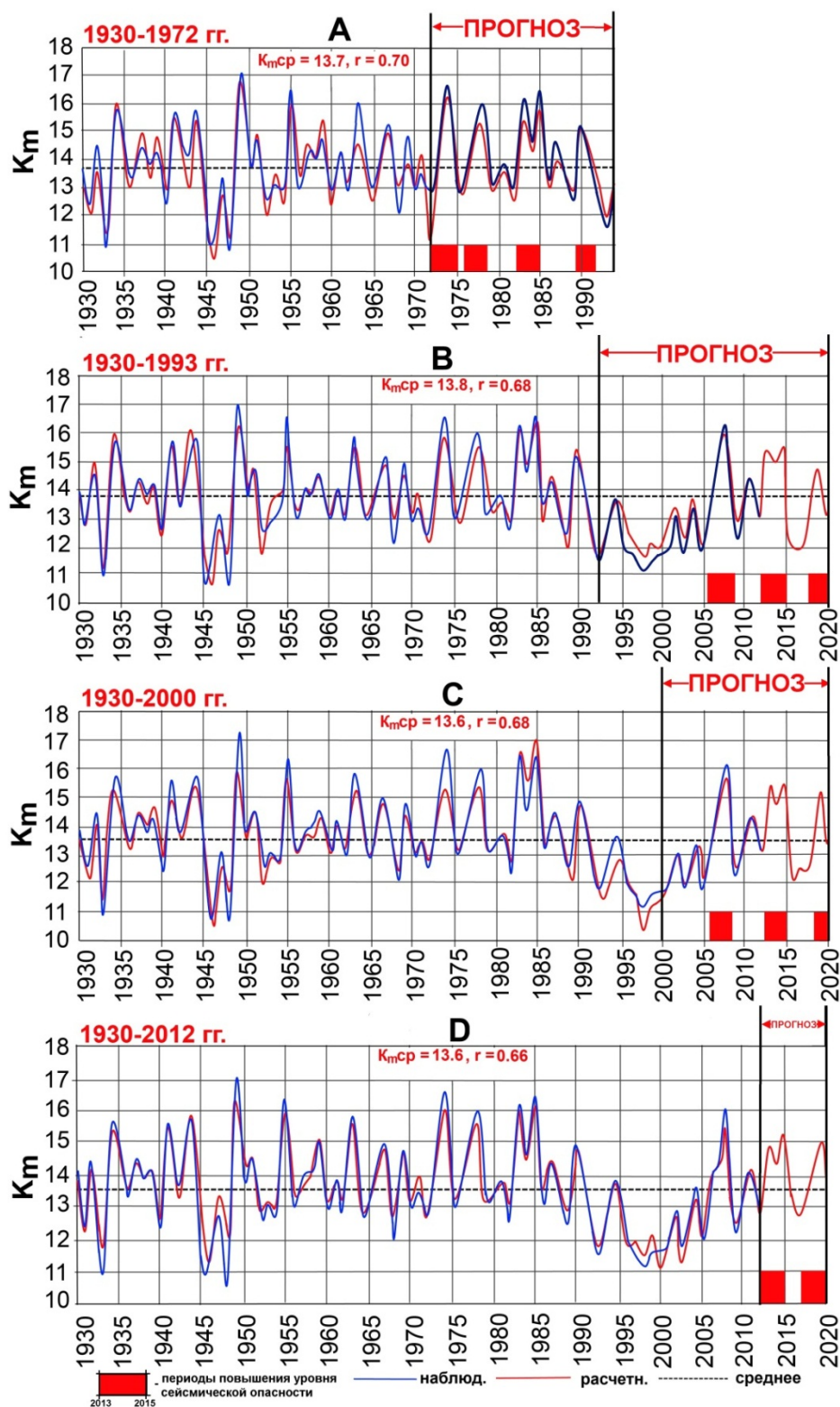


Рисунок 4. Графики изменения наблюдаемых и расчётных значений максимальных годовых энергетических классов землетрясений (K_m) для Алай-Кашгарской сейсмоактивной зоны. Для расчётов K_m взяты интервалы: А – 1930-1972 гг., В – 1930-1993 гг., С – 1930-2000 гг., D - 1930-2012 гг. При расчётах использовались гармоники: А – 3-10, 14, 18, 23; В – 3-11, 13-16, 19, 23, 48; С – 3-13, 18, 25, 32, 43, 71; D - 3-12, 15, 18, 26, 33, 43, 83. r - коэффициент корреляции; K_{mcp} - среднемноголетние значения.

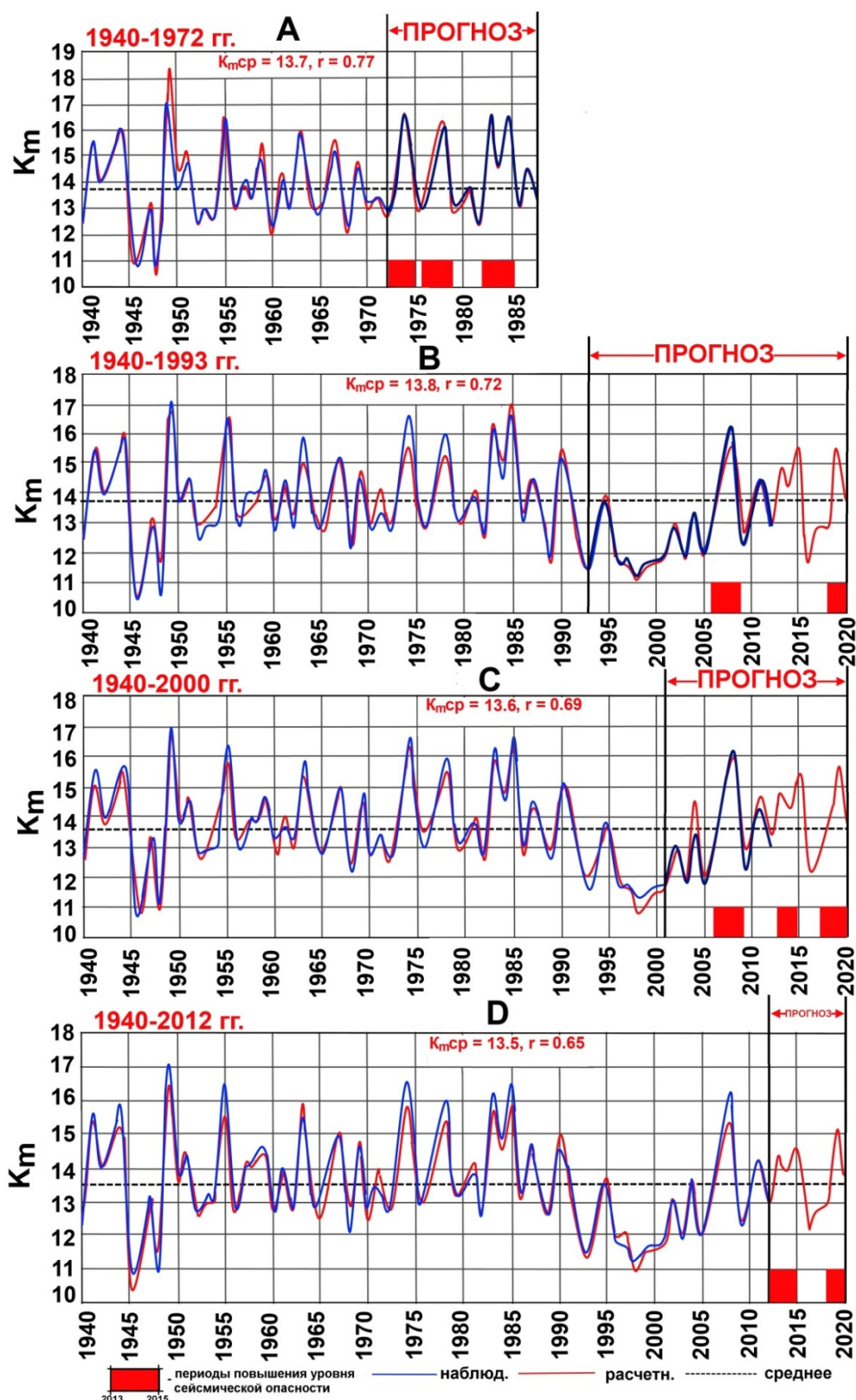


Рисунок 5. Графики изменения наблюдаемых и расчётных значений максимальных годовых энергетических классов землетрясений (K_m) для Алай-Кашгарской сейсмоактивной зоны. Для расчётов K_m взяты интервалы: А – 1940-1972 гг., В – 1940-1993 гг., С – 1940-2000 гг., D - 1940-2012 гг. При расчётах использовались гармоники: А – 3-13, 17-18, 23, 33; В – 3-10, 12, 16, 24, 53; С – 3-12, 14-17, 26, 58; D - 3-17, 27, 65. r - коэффициент корреляции; K_{mcp} - среднемноголетние значения.

Для этого региона в пределах $\varphi = 38.5^\circ - 39.4^\circ$ (запад) – $38.5^\circ - 41^\circ$ (восток) $\lambda = 69^\circ - 76^\circ$ были составлены временные ряды K_m с 1930, 1940, 1976 и 1980 гг. различной длительностью (рисунки 4-5, таблица 2) и по главным гармоникам составлены расчётные (прогнозные) ряды K_m на 11-27 лет. К примеру, по ряду K_m за 1930-1972 гг. до 1995 г. периоды повышения уровня сейсмической опасности с $K_m \geq 15$ ожидалось в 1973-1974, 1978, 1983-1985 и в 1990 гг. (рисунок 4.А). В указанные периоды произошли крупные землетрясения Тянь-Шаня: Маркансуйское $K_R = 16.6$ и с $M_W = 7.0$ (1974г.), Дарауткурганское с $M_W = 6.6$ и $K_R = 16.2$, Кызыл-Суйское с $K_R = 16.1$ и $M_W = 6.7$ (1983г.), Кашгар -3 с $M_W = 6.9$ $K_R = 16.5$. По ряду K_m за 1930-1993 гг. сейсмическое «затишье» ожидалось до 2007 г. и новая крупная сейсмокатастрофа ожидалась в 2008 г. (рисунок 4.В, таблица 2), что подтвердилось Нура-Алайским землетрясением 05.10.2008 г. с $K_R = 16.0$. Аналогичные результаты были получены по рядам K_m за 1940-1972, 1940-1993 и 1940-2000 гг. (рисунки 4-5, таблица 2). По прогнозным расчётам очередная фаза активизации сейсмических процессов в этом регионе ожидается в 2014-2015 гг. (рисунки 4-5, таблица 2), когда могут произойти землетрясения с $K_m = 13.9-15.6$ (7-8 баллов). Таким образом, анализ квазипериодичности сейсмических процессов позволяет прогнозировать время и энергетический класс ожидаемых сейсмокатастроф на территории Кыргызстана.

Таблица 2.

Сравнение инструментальных и прогнозных K_m за различные периоды времени и прогноз K_m на 2017- 2020 гг. для региона Алай - Кашгар

Годы	K_m набл.	Расчетные K_m за интервалы времени, годы									
		1940-1993	1940-2000	1940-2012	1930-1993	1930-2000	1930-2012	1976-2012	1979-2012	1979-2002	1980-2002
2005	11.9	12.2	11.9	12.1	12.0	12.4	12.0	12.5	12.5	12.4	12.2
2006	13.7	13.6	13.6	13.8	13.5	13.7	13.9	13.6	13.7	14.1	13.7
2007	14.8	14.7	14.5	14.2	14.8	14.6	14.4	15.1	15.2	14.9	14.5
2008	16.0	15.4	15.9	15.3	15.7	15.5	15.3	15.8	16.2	15.4	15.1
2009	12.3	12.9	12.5	12.4	13.0	12.5	12.6	12.6	12.8	12.3	12.9
2010	13.5	13.7	13.8	13.8	13.5	13.9	13.8	13.6	13.7	13.7	13.9
2011	14.2	14.4	14.5	14.0	14.3	14.2	14.0	14.1	14.6	13.9	14.3
2012	13.0	13.0	13.4	13.0	13.1	13.0	12.8	13.3	13.1	12.9	13.1
2013	13.2	14.8	14.7	14.2	15.3	15.2	14.7	14.6	13.8	13.5	13.6
2014		14.3	14.3	13.9	15.0	14.8	14.5	15.6	14.5	13.9	13.9
2015		15.4	15.4	14.5	15.4	15.3	15.0	14.6	14.2	14.9	14.6
2016		11.8	12.1	12.2	12.0	12.3	12.9	13.6	13.3	12.3	11.9
2017		12.7	13.0	12.8	12.0	12.5	12.9	13.5	12.7	11.8	11.7
2018		12.8	13.2	12.9	12.4	12.8	13.4	14.0	13.2		
2019		15.4	13.5	15.1	14.6	15.0	15.1	15.2	14.4		
2020		13.6	13.7	13.9	13.2	13.4	13.8	14.9	14.2		

3. Достижение в области поисков функциональной связи магнитуды и энергии с сейсмическим моментом коровых землетрясений

В связи с переходом от энергетического класса K_R ($K_R = \log E_R$, E_R – сейсмическая энергия, Дж) к общемировой магнитудной шкале оценки масштабов коровых землетрясений Тянь-Шаня возникла необходимость разработки самосогласованной системы взаимосвязи между магнитудами (m_b , M_L , M_S) и K_R с M_S сейсмическим моментом как опорной шкалы. С этой целью нами впервые сделана попытка разработки функциональных соотношений в системе: магнитуда - энергетический класс- сейсмический момент с учётом ранее выполненных исследований [17, 22-25].

Предполагается, что в выражении:

$$M(m_b, M_L, M_S) = k_i + z_i \log M_0 \quad (1)$$

коэффициенты k_i и z_i управляются параметрами соотношения:

$$\log t_0 = a_t + b_t \log M_0, \quad (2)$$

где t_0 – corner период Брюна, (1970,1971); t_0, c ; M_0 Н · м, a_t и b_t – управляющие параметры.

В соответствии с новыми теоретическими предположениями общую функциональную зависимость модернизированных магнитуд

M_m ($m_{bm} = m_b$, $M_{Lm} = M_L$, $M_{Sm} = M_S$) от $\log M_0$, $\log t_0$ и упругих свойств C_i можно представить в виде:

$$M_m = d_i \log M_0 - 2 \log t_0 + C_i, \quad (3)$$

где $z_i = d_i - 2b_t$, $k_i = C_i - 2a_t$; для усредненных упругих свойств земной коры C_i ,

для m_{bm} $C_i = -11.30$ и $d_i = 1.0$, для M_{Lm} $C_i = -14.12$ $d_i = 7/6$, для M_{Sm} $C_i = -16.95$ $d_i = 4/3$.

Для землетрясений Тянь-Шаня (1960-2012 гг.) получено:

$\log t_0 = 0.22 \log M_0 - 3.45$, из которой на основе вышеприведённых выражений следует, что $M_{Sm} = 1.59 m_{bm} = 3.06$, а по инструментальным данным получена корреляционная зависимость: $M_S = 1.57 m_b - 3.05$.

В качестве примера на рисунках 6-7 и в таблице 3. приведены сопоставления расчётных и эмпирических зависимостей K_R (KRNET – данные ИС НАН КР, NNC – данные национального Ядерного Центра Казахстана) с магнитудами M_S и M_L по данным Международного сейсмологического центра (ISC), Сейсмологического бюро Китая (ВЛ) и Сейсмологической службы России (MOS) для землетрясений Тянь-Шаня. Представленные данные подтверждают теоретические предположения [22-25] и впервые позволяют переходить от энергетического класса K_R к общемировой магнитудной шкале оценки масштабов землетрясения Тянь-Шаня.

Таблица 3.

Соотношения магнитуд (m_b , M_S , M_L , M_{LH}) с энергетическим классом K_R (KRNET) землетрясений Тянь-Шаня

№	K_R	$\lg M_0$ A_0	M_w	m_b					M_S					M_L		
				теор.	[20-26]	ICS	ВЛ	MOS	расч.	[20-26]	ISC	ВЛ	MOS	теор.	ВЛ	M_{LH}
1	8	14.22	3.41	2.95	2.84	3.17	3.52	3.61	1.72	1.79	2.02	2.67	2.07	2.46	2.92	2.18
2	9	14.86	3.84	3.37	3.28	3.53	3.81	3.95	2.39	2.39	2.58	3.17	2.63	2.96	3.43	2.73
3	10	15.61	4.34	3.79	3.27	3.89	4.10	4.29	3.06	2.98	3.15	3.67	3.19	3.51	3.94	3.28
4	11	16.36	4.84	4.21	4.18	4.25	4.39	4.63	3.73	3.57	3.71	4.17	3.75	4.06	4.45	3.83
5	12	17.10	5.33	4.63	4.63	4.61	4.68	4.97	4.40	4.17	4.28	4.67	4.31	4.61	4.96	4.38
6	13	17.85	5.83	5.04	5.08	4.97	4.97	5.31	5.07	4.76	4.84	5.17	4.87	5.16	5.47	4.93
7	14	18.59	6.33	5.46	5.53	5.33	5.26	5.65	5.74	5.36	5.41	5.67	5.43	5.17	5.98	5.48
8	15	19.34	6.82	5.88	5.98	5.69	5.55	5.99	6.41	5.95	5.97	6.17	5.99	6.26	6.49	6.03
9	16	20.09	7.32	6.30	6.42	6.05	5.84	6.33	7.08	6.54	6.54	6.67	6.55	6.81	7.00	6.58
10	17	20.83	7.82	6.72	6.88	6.41	6.13	6.67	7.75	7.14	7.10	7.17	7.11	7.36	7.51	7.13

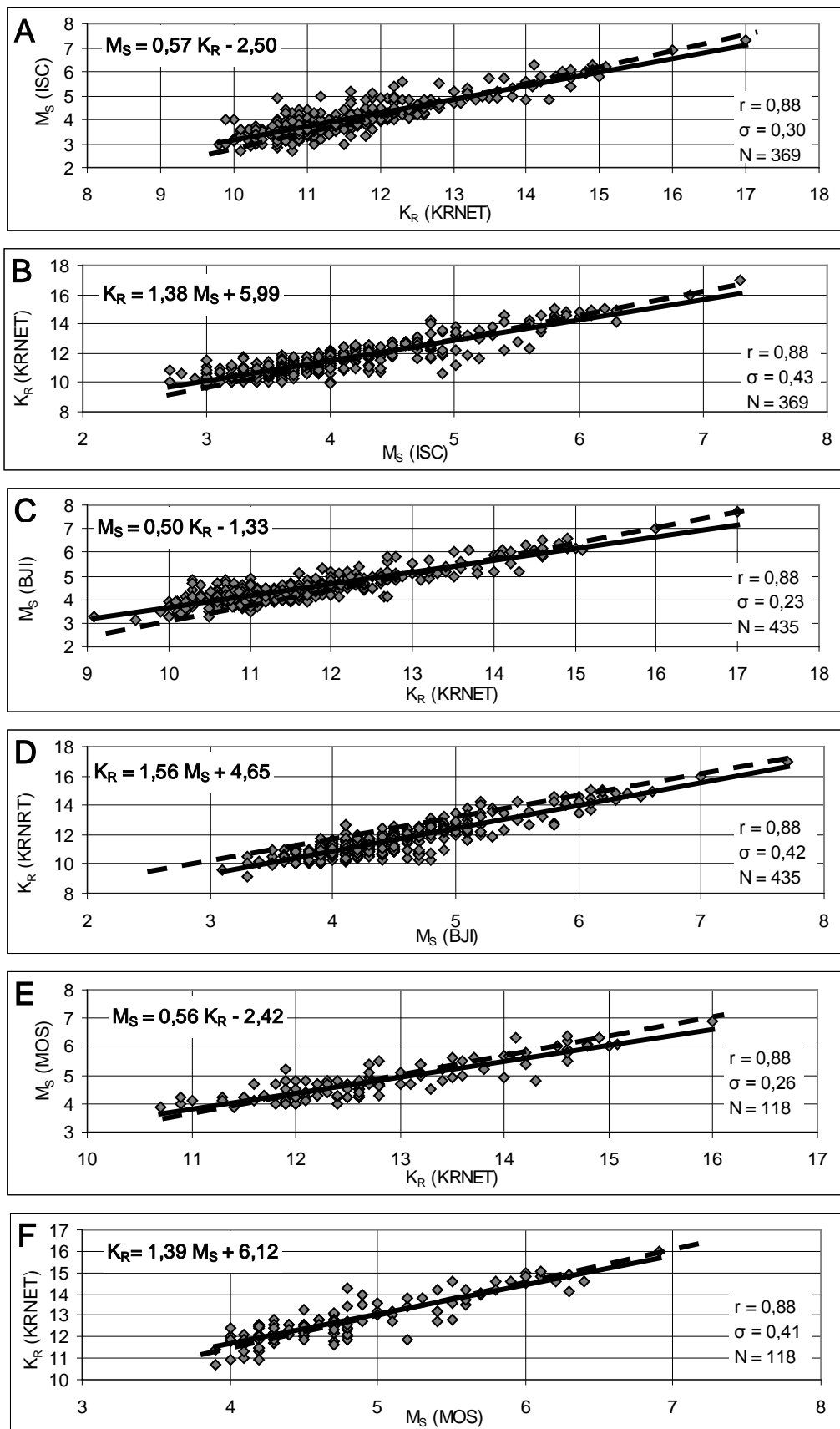


Рисунок 6. Соотношения между K_R (KRNET) и магнитудой M_S по данным ISC, ВJI и MOS для землетрясений Тянь-Шаня: пунктирной линией показаны расчётные зависимости: $K_R = 5.46 + 1.5 M_{Sm}$ и $M_{Sm} = 0.67 K_R - 3.64$.

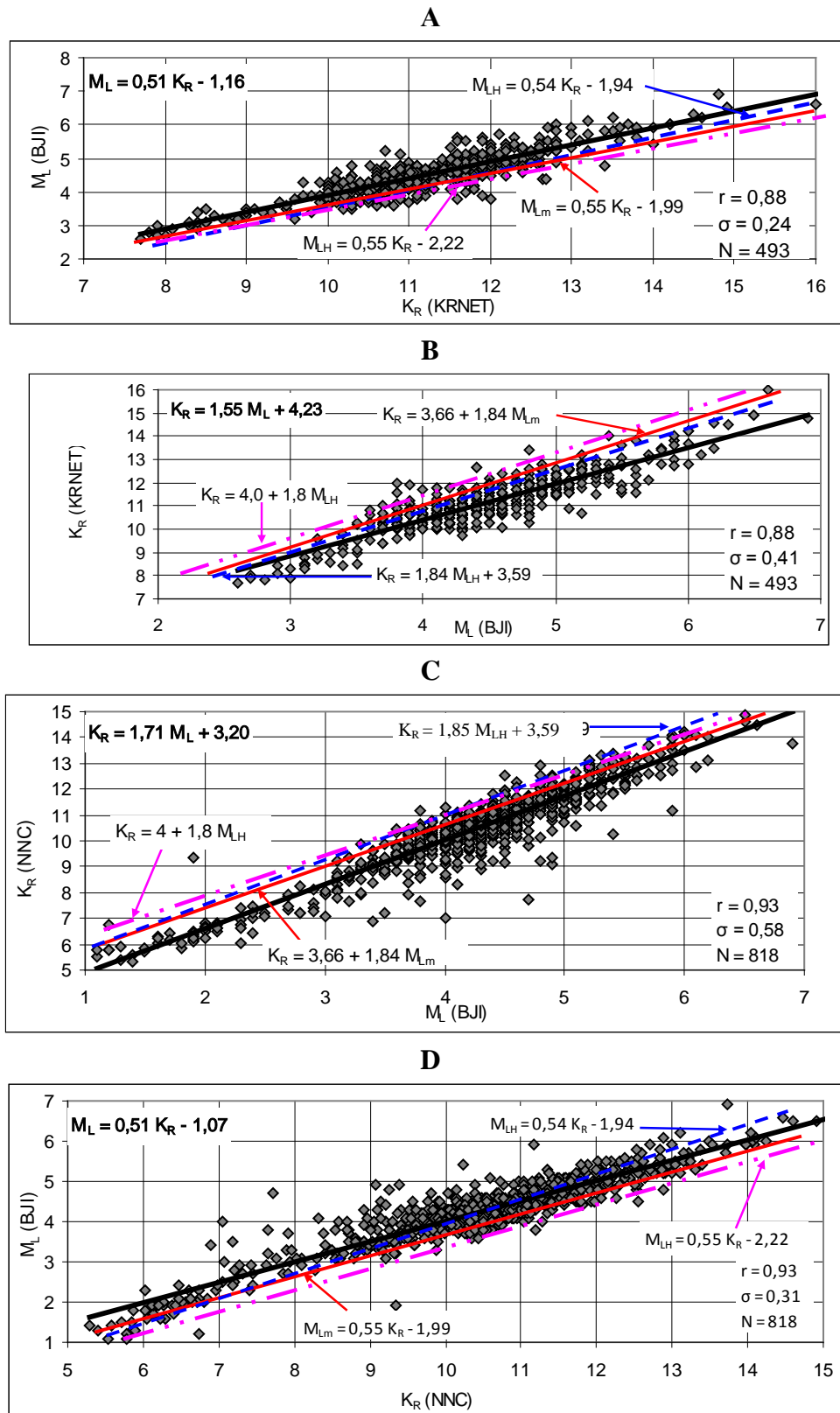


Рисунок 7. А. В. Корреляционные зависимости между магнитудой M_L (BJJ) и энергетическим классом K_R (KRNET) для землетрясений Тянь-Шаня за 1997-2014 гг. **А** – Зависимость M_L от K_R ; **В** – зависимость K_R от M_L ; бледными линиями показаны расчётные зависимости (см. текст). **С. Д.** Корреляционные зависимости между магнитудой M_L (BJJ) и энергетическим классом K_R (NNC) для землетрясений Тянь-Шаня за 1997-2014 гг. **С** – Зависимость K_R от M_L ; **Д** – зависимость M_L от K_R ; бледными линиями показаны расчётные зависимости; теоретическая зависимость: $K_R = 3,55 + 1,84 M_{Lm}$ и $M_{Lm} = 0,55 K_R - 1,99$.

Основные проблемы в области прогноза землетрясений, которые необходимо решить в ближайшие 5-10 лет. С учётом геолого-геофизических условий Тянь-Шаня и современной оснащённости сейсмической аппаратурой территории Кыргызстана для прогноза вероятного места ожидаемых сейсмодкатастроф необходимо решить следующие задачи:

1. Разработка количественных методов локализации вероятного места сильных землетрясений с использованием параметров площадных изменений сейсмического режима в пределах отдельных сейсмогенерирующих зон.
2. Анализ площадных изменений количества слабых и сильных землетрясений в пределах зон активных разломов и внедрение новых компьютерных технологий по анализу параметра плотности сейсмогенных разрывов.
3. Установление статистических параметров площадной фоновой и аномальной сейсмичности в пределах зон активных разломов.

Для дальнейшего совершенствования методики прогноза возможной магнитуды и ожидаемого времени сейсмодкатастроф необходимо решить следующие задачи:

1. Установление фоновых статистических параметров изменений сейсмического режима во времени отдельных зон активных разломом и выявление их стандартных параметров.
2. Количественный анализ динамики проявления форшоков и афтешоков до и после сильных землетрясений для отдельных сейсмогенерирующих зон.
3. Внедрение новых количественных методов анализа временных рядов сейсмических параметров для прогноза времени ожидаемых сейсмодкатастроф, а также разработка методов анализа сейсмических аномалий (биений) длиннопериодных деформационных волн с близкими частотами, вызывающих взрывные периоды проявления сильных землетрясений.

Выводы

1. За последние 10 лет существенно усовершенствована методика определения возможного места ожидаемых крупных землетрясений Тянь-Шаня и в средне-долгосрочном плане с вероятностью 0.70 можно локализовать вероятное место будущих сейсмодкатастроф в зонах активных разломов. Разработана методика выделения периодов повышения уровня сейсмической опасности, основанная на теории динамики нелинейных систем сейсмического режима. Ежегодные результаты прогнозных исследований внедряются в МЧС КР.
2. Впервые разработаны функциональные связи в системе магнитуда - энергетический класс - сейсмический момент, позволяющие по управляющим параметрам переходить от энергетического класса к магнитудной шкале оценки масштабов коровых землетрясений.
3. Важнейшей нерешённой проблемой в области прогноза землетрясений Тянь-Шаня является разработка и внедрение новых количественных методов, а также компьютерных технологий, позволяющих использовать комплекс сейсмологических предвестников для отдельных зон сейсмоактивных разломов.

Литература

1. Gufeld I.L., Matveeva M.I. Novoselov O.N. Why we cannot predict strong earthquakes. //Geodynamics, Tectonophysics, 2011, v.2, 4, pp.378-415.
2. Kanamori H. Earthquake prediction: An Overview //International Handbook of earthquake and engineering Seismology, part B. International Geophysics Series, v. 81. Academic Press, 2003, pp.1205-1217.
3. Kasahara K. Earthquake mechanics //Cambridge University press, 1981, 264 p.
4. Kopnichev Yu.F., Sokolova I.N. Annular seismicity structures and the march 11, 2011, earthquake (MW = 9.0) in Northeast Japan. //Doklady Earth Sciences, 2011, v.440,1, pp.324-1427.

5. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности в районе Центрального Тянь-Шаня: возможная подготовка сильных землетрясений. //Вестник НЯЦ РК, 2012, 2, с.157-160.
6. Kopnichev Yu.F., Sokolova I.N. Ring-shaped seismicity structures, being formed prior to large earthquakes with different mechanisms withing intercontinental Regions //Geophys. Issledovaniya, 2013, 14,1, pp.5-15.
7. Моги К. Предсказание землетрясений. Москва: Мир, 1988, 382с.
8. Рогожин Е.А., Иогансон Л.И., Захаров В.С., Завьялов А.Д. и др. Потенциальные сейсмические и сейсмические предвестники землетрясений – основа реального сейсмического прогноза. Москва: Светоч Плюс, 2011, 368 с.
9. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. Москва: Наука, 2003, 270 с.
10. Володин И.А. Нелинейность и многомасштабность сейсмоакустики. /Проблемы геофизики XXI века. Москва: Наука, кн. 2, 2003, с.5-35.
11. Федотов С.А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. Москва: Наука, 2005, 303 с.
12. Abdrachmatov K., Havenith H.B., Delvaux D., Jongmans D. ProbabilisticPGA and Arias Intesity maps of Kyrgyzstan (Central Asia)//J. of Seismology, 2007, 7, pp.203-220.
13. Molnar P., chose S. Seismic moments of major earthquakes and rate of shortening across the Tien Shan //J. Geoph. Res. Let., 2000, v.27, 16, pp 2377-2380.
14. Мамыров Э., М.Омуралиев, Ш.Э.Усупаев. Оценка вероятной сейсмической опасности территории Кыргызской Республики и приграничных районов стран Центральной Азии на период 2002-2005 гг. Бишкек: Аль Салам, 2002, 92 с.
15. Мамыров Э., Маханькова В.А. Анализ квазипериодичности проявления слабых и сильных землетрясений Тянь-Шаня //Наука и новые технологии, 2010, №2 с.66-78.
16. Мамыров Т/ Cycling analysis of Tien Shan seismic regim //Book of abstracts European seismological Commission 33rd General Assembly. Moscow-Jbninsk< Russia, 2012, pp.29-30.
17. Мамыров Э. Землетрясения Тянь-Шаня: магнитуда, сейсмический момент и энергетический класс. Бишкек: ИНСАНАТ 2012, 234с.
18. Мамыров Э., Маханькова В.А. Квазипериодичность сейсмического режима Южно-Ферганской зоны и прогноз ожидаемых сейсмokatastroф до 2030 г. //Collection of paper abstracts The Eighth International Symposium on Tianshan Earthquakes, September 23-26 2013. Urumqi, China, 2013, с.25-26.
19. Мамыров Э. Временные изменения сейсмического режима на глобальном и региональных уровнях // Вестник Института сейсмологии НАН Кр, 2014, с.70-86.
20. Чипизубов А.В. Реконструкция и прогноз изменений сейсмичности Земли. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2008, 240 с.
21. Фридман А.М., Брагин В.Д. О связи глобальной и локальной сейсмической активности //Физика Земли, 2005, №9б с.54-57.
22. Мамыров Е. Control parameters of magnitude-seismic moment correlation for the crustal earthquakes.// Open Journal of Earthquakes Res., 2013, 13, pp. 60-74.
23. Мамыров Э., Абдрахматов К.Е., Березина А.В. Взаимосвязь энергетического класса с магнитудой по объемным волнам землетрясений Тянь-Шаня.// Докл. НАН КР, 2014, 1, с. 69-72.
24. Мамыров Е. Relations among earthquake source parameters derived from Debye solid-body model. // J. of Geodynamics, 1996, v. 22, 1, pp. 137-143.
25. Мамыров Э. Физическое обоснование функциональной связи магнитуд с сейсмическим моментом и энергией сейсмического излучения землетрясений Тянь-Шаня./ Геодинамика Таласо-Ферганского разлома Тянь-Шаня. Бишкек: Арашан, 2009, с. 130-154.

26. Bormann P., Fujita K., Mackey K.G., Gusev A. The Russian K-class system, its relationship to magnitudes an its potential for future development and application// Jyli 2012; DOI: 10.2312/GFZ. NMSOP – 2 IS 3.7., p. 1-26.
27. Rautian T.G., Khalturin V.L., Fujita K. et al. Origins and methodology of the Russian K-class system and relationship to magnitudes scales.// Seismol. Res. Letters, 2007, 78, pp. 579-590.