

УДК 550.34.0

Мамыров Э.,
Институт сейсмологии НАН КР
Бишкек, Кыргызстан

ПРОГНОЗ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА

Аннотация

В статье изложены результаты работ по прогнозу сильных землетрясений на территории Кыргызстана.

Ключевые слова: прогноз, землетрясение, активный разлом, сейсмическая брешь, магнитуда, эпицентр, сейсмический режим, цикличность.

КЫРГЫЗСТАНДЫН АЙМАГЫНДАГЫ КҮЧТҮҮ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮН БОЖОМОЛДОНУШУ

Кыскача мазмуну

Макалада Кыргызстандын аймагында болушу мүмкүн болгон күчтүү жер титирөөлөрдүн болжолдорунун жыйынтыктары баяндалган.

Негизги сөздөр: болжолу, жер титирөө, активдүү разлом, сейсмикалык брешь, магнитуда, эпицентр, сейсмикалык режим, цикличность.

PREDICTION OF STRONG EARTHQUAKES ON THE TERRITORY OF KYRGYZSTAN

Abstract

The results of investigations on problem of strong earthquake predictions on the territory of Kyrgyzstan are presented in the paper.

Keywords: prediction, earthquake, active fault, seismic gap, magnitude, epicenter, seismic mode, cyclicity.

Введение

Прогноз крупных землетрясений является наиболее сложной и нерешённой задачей современной геофизики. Основные достижения и проблемы прогноза сейсмокатастроф рассмотрены в работах [1-11]. В настоящее время многолетняя дискуссия о возможности (или невозможности) прогноза землетрясений можно считать завершённой. Об этом свидетельствует специальная резолюция 35-ой Генеральной Ассамблеи Международной ассоциации по сейсмологии и физике недр Земли (МАСФНЗ, январь 2009 г.), в которой чётко указано о возможности прогноза сейсмокатастроф и необходимости проведения широкомасштабных комплексных исследований. 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 сейсмокатастроф, 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 [1-11]. 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 [1].

Вышеприведённые результаты сейсмологических исследований и фундаментальные принципы динамики нелинейных систем были положены в основу прогноза сильных землетрясений на территории Кыргызстана.

Территория горноскладчатой системы Тянь-Шаня, возникшая в результате коллизии Индостанской и Евразийской плит, 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., $M_w = 6.1$), Сарыджазское (2013 г., $M_w = 6.2$) и Кызылартское (2016, $M_w = 6.4$). При Нура-Алайском землетрясении было полностью разрушено с. Нура и погибло 75 человек. Приведённые факты, с учётом экономического положения Кыргызстана, показывают актуальность исследований по сейсмической опасности территории республики [12-15].

1. Прогноз 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 [12-15]. Были рассмотрены пространственно-временные изменения параметра K_{sp} для 30 сильных землетрясений Тянь-Шаня (рис.1), включая Улуучатское 1955 г. ($M_w=7.1$), Учтурфанского 1969 г. ($M_w=6.2$), Маркансуйского 1974 г. ($M_w = 7.1$), Даравтурганского 1978 г. ($M_w = 6.6$), Чимионского 1982 г. ($M_w = 7.1$), Кашгар-2 1985 г. ($M_w = 6.9$), Байсорунского 1990 г. ($M_w = 7.1$), Суусамырского 1992 г. ($M_w = 7.2$), Кочкорского 2006 г. ($M_w = 6.0$), Лайлякского 2007 г. ($M_w = 6.0$), Нура-Алайского 2008 г. ($M_w = 6.7$), Сарыджазского 2013 г. ($M_w = 6.2$) и Кызылартского 2016 г. ($M_w = 6.4$). На рис. 2- 3 приведены карты поведения параметра плотности сейсмогенных разрывов (K_{sp}) перед возникновением ряда крупных землетрясений Тянь-Шаня, из которых следует, что эпицентры ожидаемых сейсмкатастроф приурочены к межаномальным зонам K_{sp} (рис. 2- 3).

После составления первой прогнозной карты с 1995 г. по октябрь 2016 г. в пределах республики и в приграничных районах стран Центральной Азии ($\varphi = 38.5^\circ - 43.5^\circ$, $\lambda = 69^\circ - 81^\circ$) произошло 130 землетрясений с $K_R = 11.6 - 16.0$ ($M_w = 4.8 - 6.7$), сотрясаемостью 6- 9 баллов. Из 130 событий 35 произошли в приграничных районах Китая, Казахстана, Таджикистана и Узбекистана, а на территории Кыргызстана возникли 95 землетрясений, из которых $K_R = 11.6 - 13.60$ или 20% от общего количества оказались пропущенными, т.е. оказались за пределами выделенных РОЗ.

Таким образом, из 95 событий 76 землетрясений или 80 % возникли в пределах РОЗ, выделенных за 3-6 лет и оказались спрогнозированными по ожидаемому месту в зонах активных разломов.

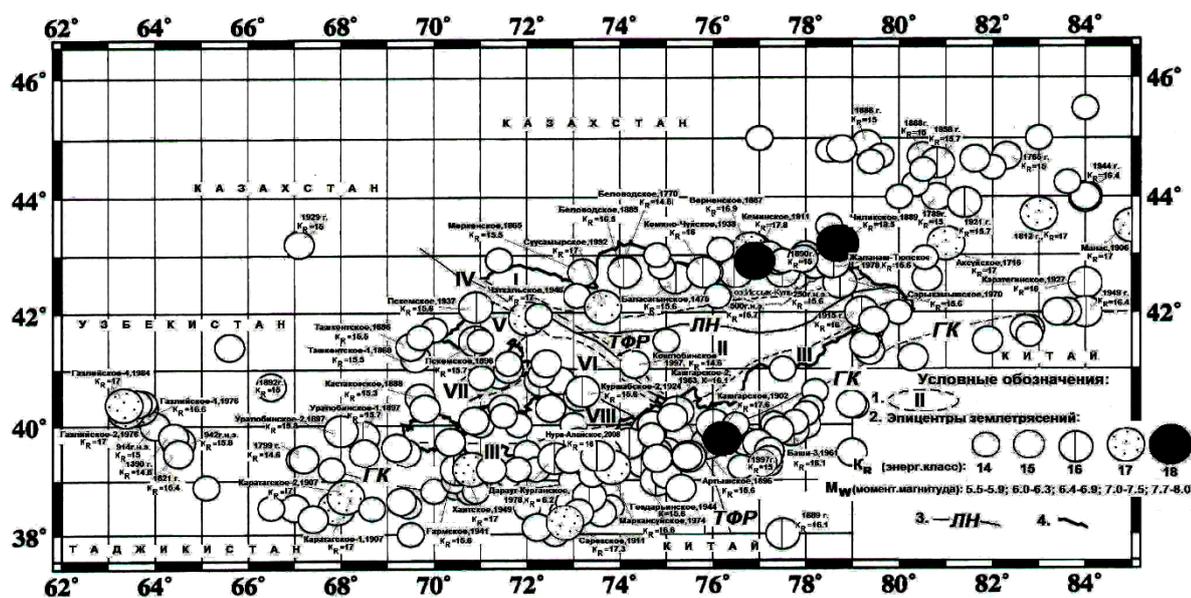


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Тянь-Шаня, произошедших в пределах координат: $\varphi = 38^\circ - 45.5^\circ$, $\lambda = 62^\circ - 85^\circ$ с древнейших времен (250 г. до н.э.) по 2008 г. с магнитудой $M_w \geq 5.5$, энергетическим классом $K_R \geq 13.6$.

1. Сейсмические зоны Тянь-Шаня: I – Северо-Тяньшаньская, II – Центрально-Тяньшаньская, III – Гиссаро-Кокшаальская, IV – Таласо-Ферганская, V – Атойнокская, VI – Восточно-Ферганская, VII – Северо-Ферганская, VIII – Южно-Ферганская; 2. Эпицентры землетрясений с $M_w \geq 5.5$ или $K_R \geq 13.6$; 3. Глубинные разломы: ТФР – Таласо-Ферганский, ЛН – Линия Николаева, ГК – Гиссаро-Кокшаальский; 4. Граница Кыргызстана.

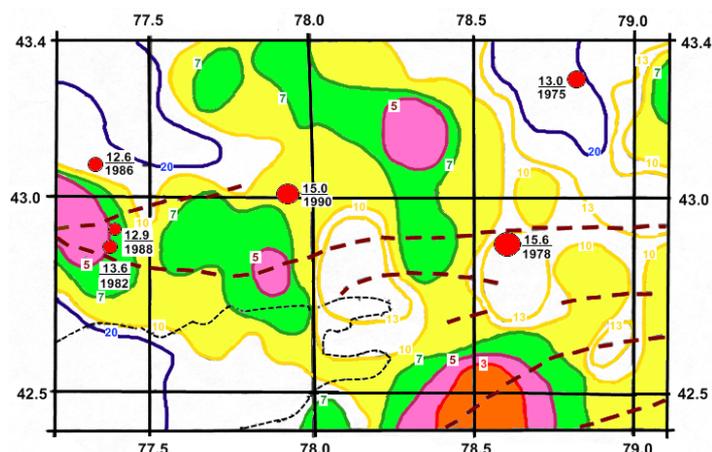


Рис.2. Карта изолиний Кср (1966-1972 гг.) перед сильным землетрясением Северного Тянь-Шаня.

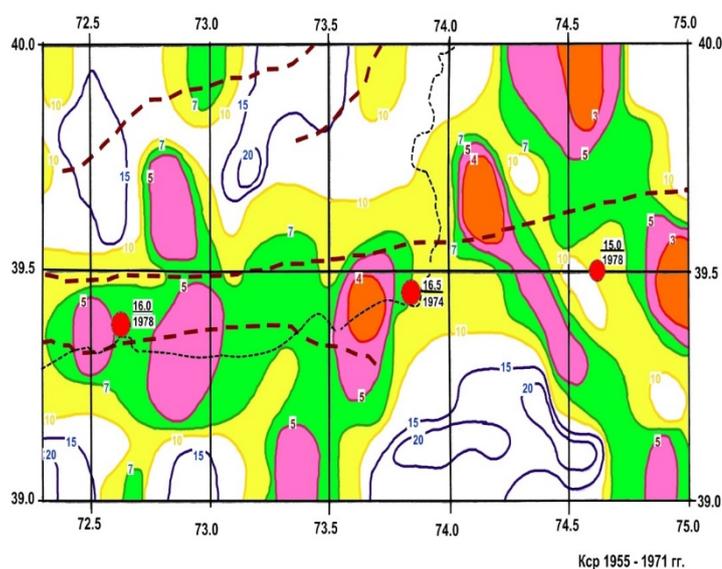


Рис.3. Карта изолиний Кср (1955-1971 гг.) перед сильными землетрясениями Южного Тянь-Шаня.

На основе этих результатов впервые в 1994 г. была составлена карта вероятной сейсмической опасности территории Кыргызстана (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.

Важно подчеркнуть, что эпицентры всех разрушительных и сильных землетрясений, таких как: Кошдобинское (1997 г.), Куюкапское (2005 г.), Кочкорское (2006г.), Лейлякское (2007 г.), Нура-Алайское (2008 г.), Каджисайское (2014 г.), Канское (2011 г.), Сарыджазское (2013 г.) Талдыкское (2015 г.) и Кызылартское (2016 г.) попадают на площади РОЗ, выделенных на картах долгосрочного (1994 г.) и среднесрочного (2002, 2008-2009 гг., 2011г.) прогнозов.

На рис. 4-5 приведены фрагменты карты-схемы вероятной сейсмической опасности территории Кыргызстана на период 2011-2020 гг., составленной автором этой статьи в 2011 г. и внедрённой в Департамент мониторинга МЧС КР. На этой карте показаны районы ожидаемых землетрясений (РОЗ), выделенные на основе анализа аномалий Кср.



Рис. 4. Карта РОЗ (2011 г.) с эпицентрами сильных землетрясений (2012-2016 гг.) на территории Северо-Восточного Кыргызстана.

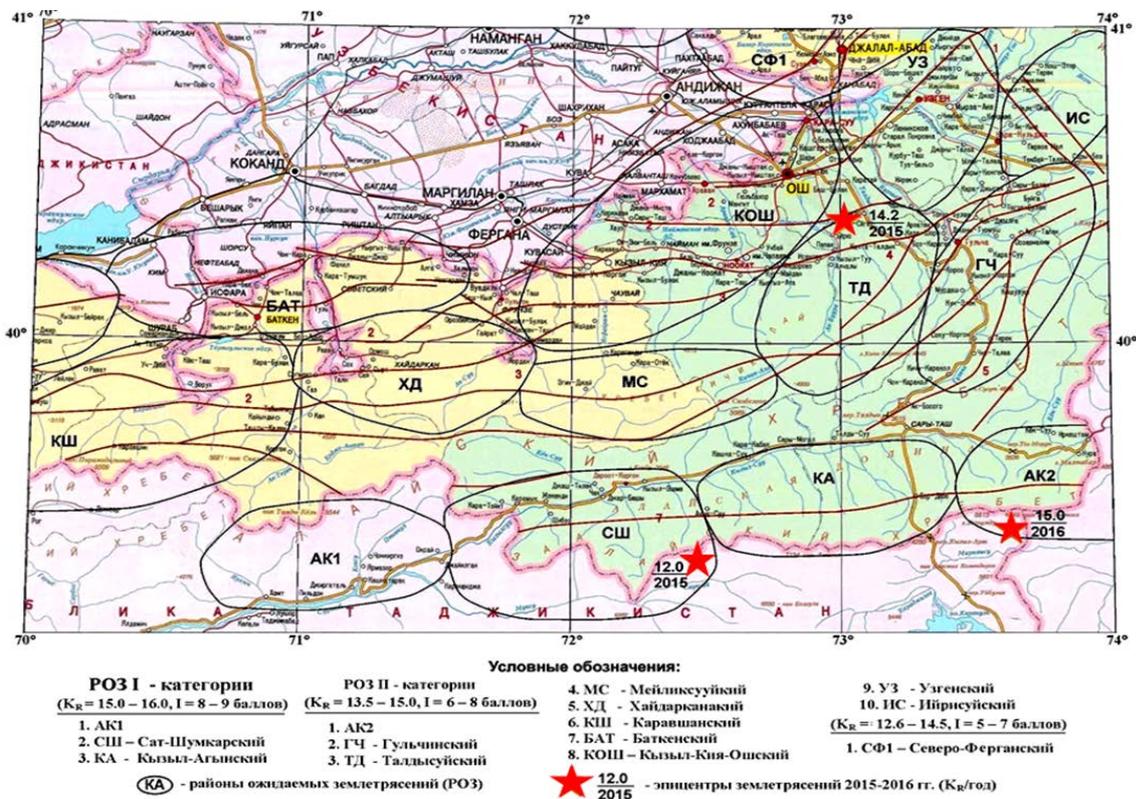


Рис.5. Карта РОЗ (2011 г.) с эпицентрами сильных землетрясений (2015 – 2016 гг.) на территории Южного Кыргызстана.

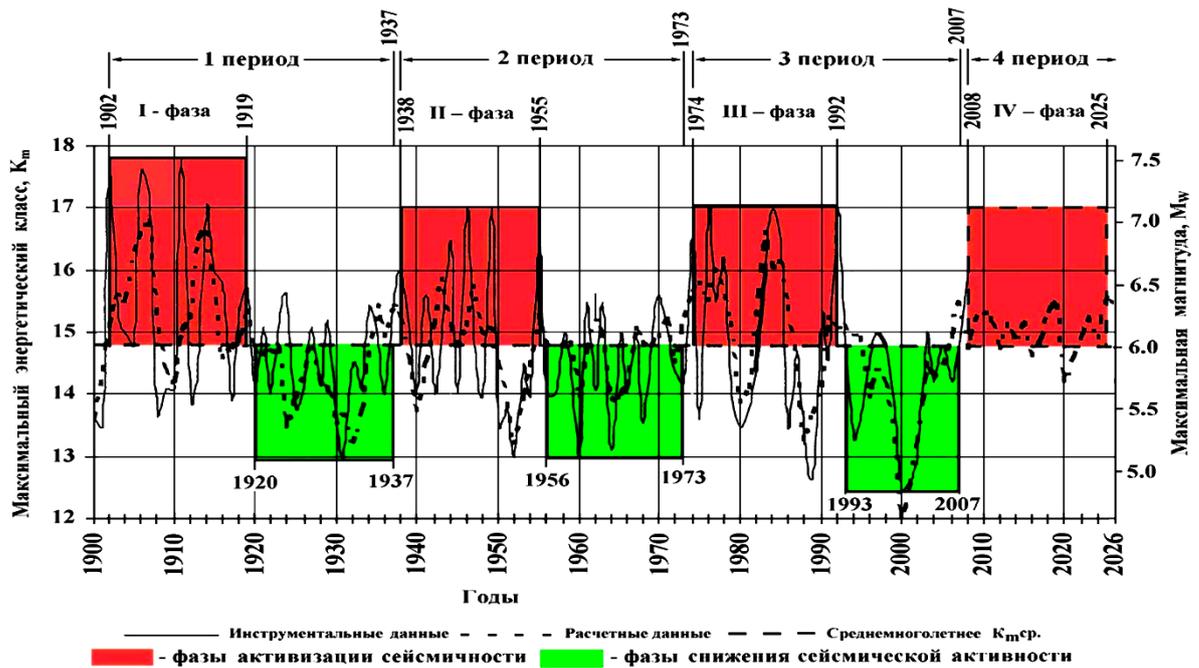


Рис.6. Главные периоды изменения сейсмического режима Тянь-Шаня ($\varphi = 38.5^\circ - 45^\circ$, $\lambda = 63^\circ - 93^\circ$) в XX веке и в начале XXI века.

Из представленных рисунков следует, что на рассматриваемой территории за 2012-2016 гг. произошло 12 землетрясений энергетического класса 11.5-15.1 (сотрясаемость 5-8 баллов), эпицентры которых попадают в РОЗ, выделенных в 2011 г. (рис. 4). Таким образом, можно утверждать, что в средне – долгосрочном плане на основе анализа динамики изменений параметра $K_{ср}$ можно определить вероятное место ожидаемой сейсмодкатастрофы на территории Кыргызстана и в приграничных районах стран Центральной Азии.

2. Прогноз вероятного времени и магнитуды ожидаемых сильных землетрясений

В последние годы при средне- и долгосрочных прогнозных построениях значительное внимание уделяется внешним космическим факторам, которые являются пусковыми механизмами начала активизации тектонофизических процессов [18]. По заключению многих исследователей природа внеземных и планетарных триггеров весьма разнообразна [8-18].

Судя по наблюдаемым гармоникам, происхождение некоторых из них может быть увязано с ротационным режимом Земли, чандлеровскими колебаниями её оси вращения, орбитальным положением нашей планеты по отношению к Солнцу в разные месяцы года, приливным влиянием Солнца и Луны и, возможно, с другими космическими причинами.

Механизмы внешних квазипериодических возмущений могут быть весьма различны, но, несмотря на их во многом неясную природу, можно предположить их реальную регулирующую роль в активизации сейсмических процессов. По [16,18] большинство крупных сейсмодкатастроф с $M_w \geq 8.0$ в различных сейсмоопасных зонах произошло в периоды изменений гравитационных сил, вызванных влиянием Солнца и планет солнечной системы (23-х - летний ритм, 1911-1932 гг.).

Для успешного изучения динамики сейсмических процессов принципиально важно, чтобы сейсмическая информация по конкретному сейсмоопасному региону была полной без перерывов и временные ряды имели достаточную длительность. По заключению многих исследователей при изучении периодических колебаний, к которым

относится и повторяемость сильных землетрясений, необходимо иметь информацию не менее чем за три полных цикла колебаний. Например, при анализе сезонных колебаний за каждый год на базе рядов месячной или квартальной их динамики. Если солнечная активность по числам Вульфа W имеет в среднем 11-летнюю цикличность, с которой часто синхронизируют проявления сильных землетрясений, то для прогнозных построений необходимо иметь длительность инструментальных данных не менее чем 33 года, а период упреждения может составить не более 11 лет.

В соответствии с концепцией квазипериодичности сейсмического режима крупных сейсмоопасных регионов Земного шара, нами была разработана методика количественного анализа временных рядов сейсмологических данных с целью выделения периодов повышения уровня сейсмической опасности для территорий отдельных регионов Кыргызстана [12-15].

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 глобального сейсмического режима за период инструментальных наблюдений, выполненный в работах [11,16,18], 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. [16]. 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. [16].

Основываясь на цикличности сейсмических и геофизических процессов, был выполнен анализ энергетических классов K_m за каждый год (1900-2010 гг.) по всей территории Тянь-Шаня, который показан на рис.6.

Из представленного временного ряда следует, что максимальные значения M_m и K_m от 12.8 до 17.6, а среднее многолетнее составляет $M_W = 6.1$ и $K_R = 14.8$ (рис.6). Несмотря на сложный характер изменений M_m (K_m) во времени, из рис.6 визуально заметны фазы активизации с $M_W > 6.1$ ($K_R > 14.8$): 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.

Анализ спектрального состава колебаний K_m показал, что во временных рядах K_m всего Тянь-Шаня за различные интервалы времени отмечаются устойчивые гармоники с периодами (по убыванию амплитуды): 35-37, 8, 11, 5, и 64 года. Для зоны Гиссаро-Кокшаальской системы разломов Южного Тянь-Шаня характерны следующие гармоники 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 гармоники.

Конкретные примеры прогноза вероятных периодов повышения уровня сейсмической опасности для Тянь-Шаня приведены на рис. 7- 10.

Из рис. 7А следует, что временным рядам K_m за 1880-2001, 1882-2005, 1930-2001 и за 1966- 2008 гг. характерны следующие главные гармоники: 8,11,13,18 и 36-38- летние составляющие, по которым на рис.7В составлен прогноз изменений K_m на период 2001-2035 и 2008- 2035 гг. Из представленных данных следует, что по временным рядам K_m до 2001 г. ближайшая фаза активизации сильных землетрясений с $K_m \geq 15.0$ ожидалась в 2006-2009 гг. Эта фаза подтверждается с наблюдаемыми величинами K_m (рис. 6В), когда произошли Кочкорское (2006), Лейлякское (2007) и разрушительное Нура-Алайское (2008) землетрясения, а вторая фаза активизации возможна в период 2015-

2020 г., что подтверждается Талдыкским (2015 г.) Кызылартским (2016 г.) землетрясениями.

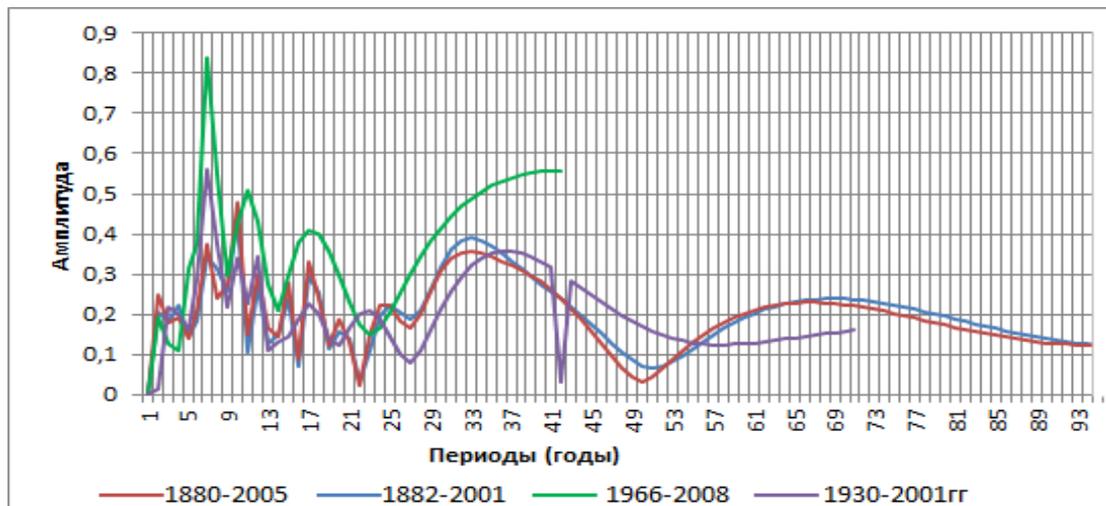


Рис.7А. Периодограммы временных рядов K_m землетрясений Тянь-Шаня за 1880-2005 гг., 1882-2001 гг., 1966-2008 гг., 1930-2001 гг.

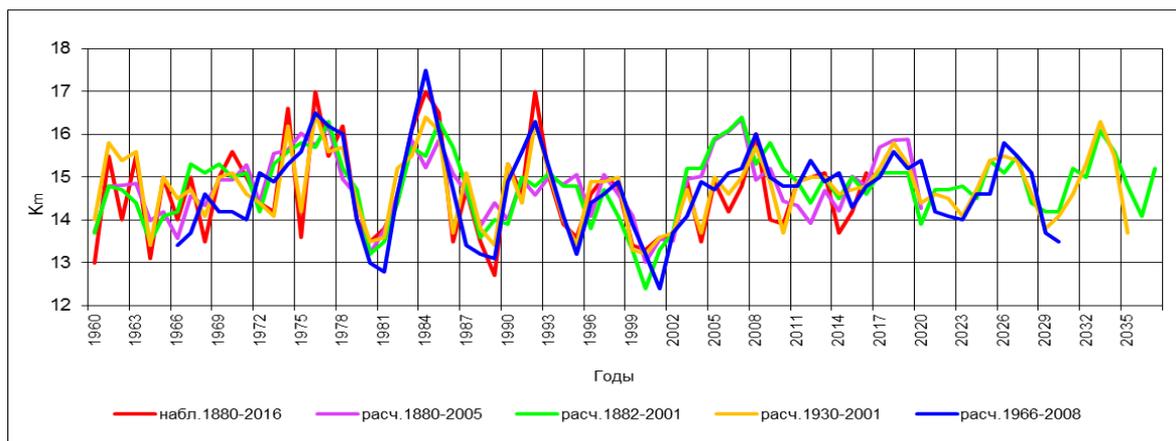


Рис.7В. Сопоставление расчётных и наблюдаемых K_m сильных землетрясений Тянь-Шаня за различные периоды: 1880-2005гг., 1882-2001гг., 1930-2001гг., 1966-2008 гг.

На рис. 8А представлены периодограммы временных рядов K_m за 1990- 2014, 1940-2014, 1956-2014 и за 1960- 2014 гг., в которых главными гармониками являются подобные, которые приведены по длительным временным рядам, приведённым на рис. 7А (рис.7А-8А). По этим главным гармоникам на рис. 8В приведены сравнения расчётных и наблюдаемых K_m до 2016 г., а также прогнозы до 2030 г. По представленным данным видно, что прогнозы на 2015- 2016 гг. оправдались, новые фазы активизации ожидаются в 2015- 2019 и 2024- 2028 гг. (8В).

В последние годы при долгосрочных прогнозах большое внимание уделяется влиянию солнечной активности на проявления крупных землетрясений [16,18]. В связи с этим на рис.9 приведены сопоставления наблюдаемых K_m и чисел Вульфа W за 2000-2015 гг. с прогнозом до 2030 г. (рис.9).

Из представленных следует, что периодам повышения W соответствует снижение сейсмической активности на Тянь-Шане по K_m , а в периоды снижения солнечной активности наблюдается повышение сейсмической активности (2003-2009 гг., рис.9), что характерно для других сейсмоопасных регионов. Ожидаемому периоду снижения

солнечной активности в 2015 - 2020 гг. будет, вероятно, соответствовать проявление сильных землетрясений, которые были приведены на рис. 7В - 8В.

На рис. 10, в качестве примера, по данным временных рядов K_m за 1950 - 2016 (октябрь) и за 1966 - 2016 (октябрь) гг. показан прогноз K_m по региону Алай - Кашгар ($\varphi = 39^\circ - 40^\circ$, $\lambda = 70^\circ - 76^\circ$) на период 2017- 2030 гг. По этим данным на территории Южного Кыргызстана очередная фаза повышения уровня сейсмической опасности продолжится до 2020 г. и наступление новой фазы ожидается с 2022 - 2023 гг. (рис.10).

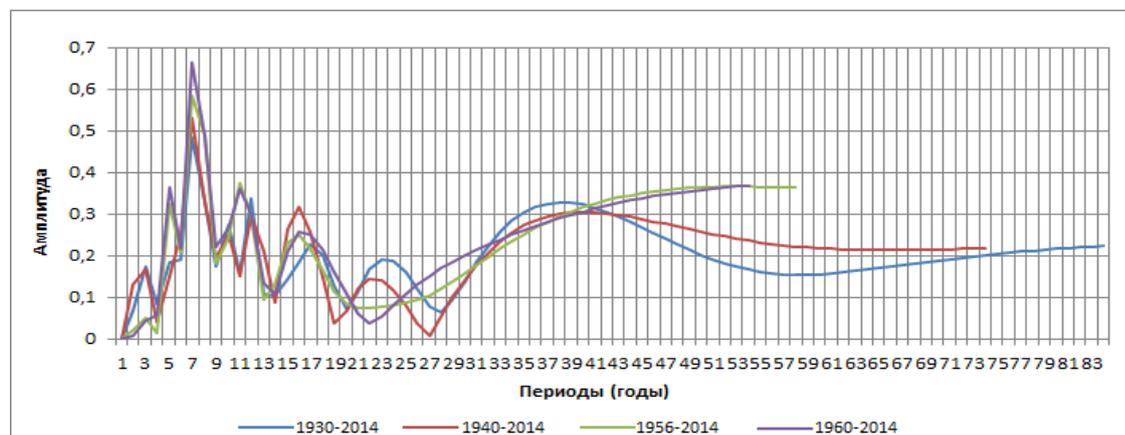


Рис.8А. Периодограммы временных рядов K_m землетрясений Тянь-Шаня за 1930-2014 гг., 1940-2014 гг., 1956-2014 гг., 1960-2014 гг.

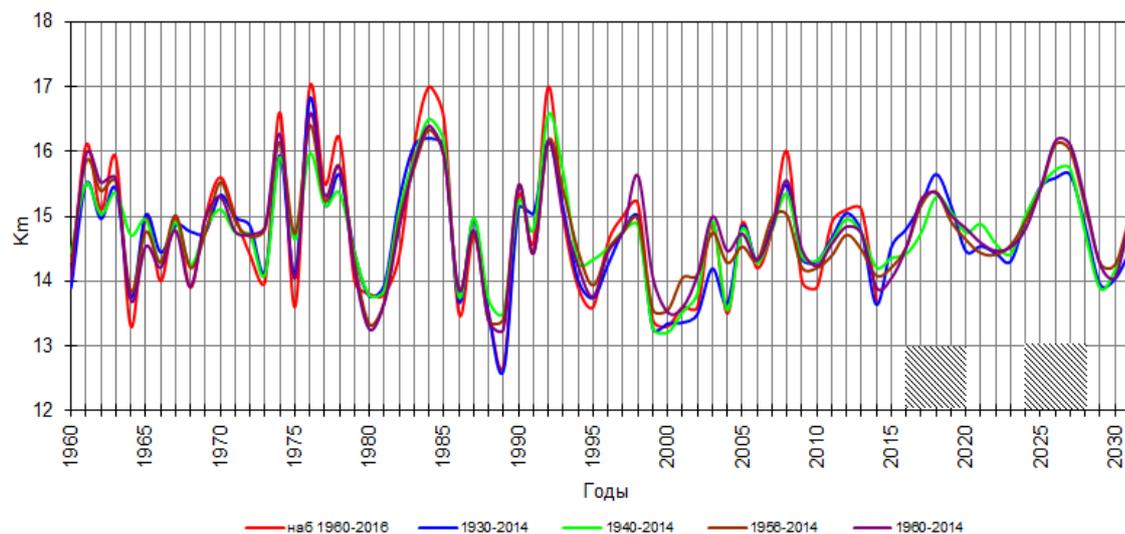


Рис.8 В. Сопоставление расчётных и наблюденных K_m сильных землетрясений Тянь-Шаня за различные периоды: 1960-2016 гг., 1930-2014 гг., 1940-2014 гг.; штриховкой показаны прогнозные периоды повышения уровня сейсмической опасности.

Выводы

1. Территория Кыргызстана относится к наиболее сейсмоопасным зонам Тянь-Шаня и разработанные в ИС НАН КР методы прогноза позволяют в долго-среднесрочном плане с заблаговременностью в 3-5 лет выделить районы ожидаемых землетрясений.

2. Вероятные места ожидаемых сейсмодкатастроф в зонах активных разломов на территории Кыргызстана выделяются по сейсмическим брешам, локализуемых по межаномальным районам параметра плотности сейсмогенных разрывов K_{cp} .

3. Циклы возрастания и снижения интенсивности сейсмических процессов с проявлениями крупных землетрясений в зонах активных разломов Тянь-Шаня определяются взаимодействиями коротковолновых и длинноволновых геофизических возмущений. Очередная фаза проявления сильных землетрясений на территории республики продлится до 2020 г. и наиболее сейсмоопасной является территория Южного Кыргызстана.

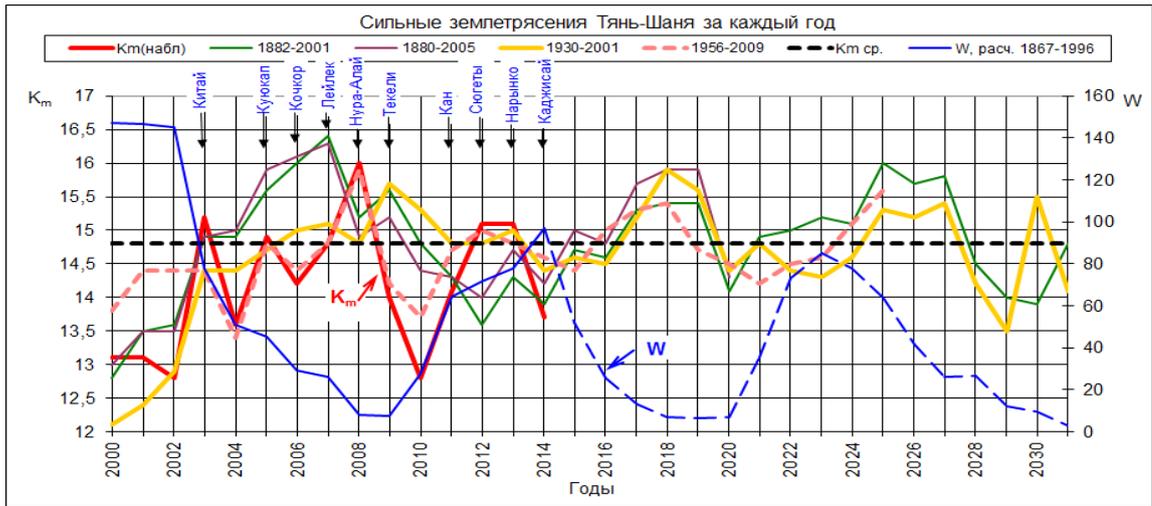


Рис.9. Наблюдённые ежегодные максимальные K_m сильных землетрясений Тянь-Шаня за 2000-2014 гг. и прогнозные K_m до 2031 г., рассчитанные по различным временным рядам K_m ; показаны также ожидаемые изменения W с 2015 по 2031 гг.

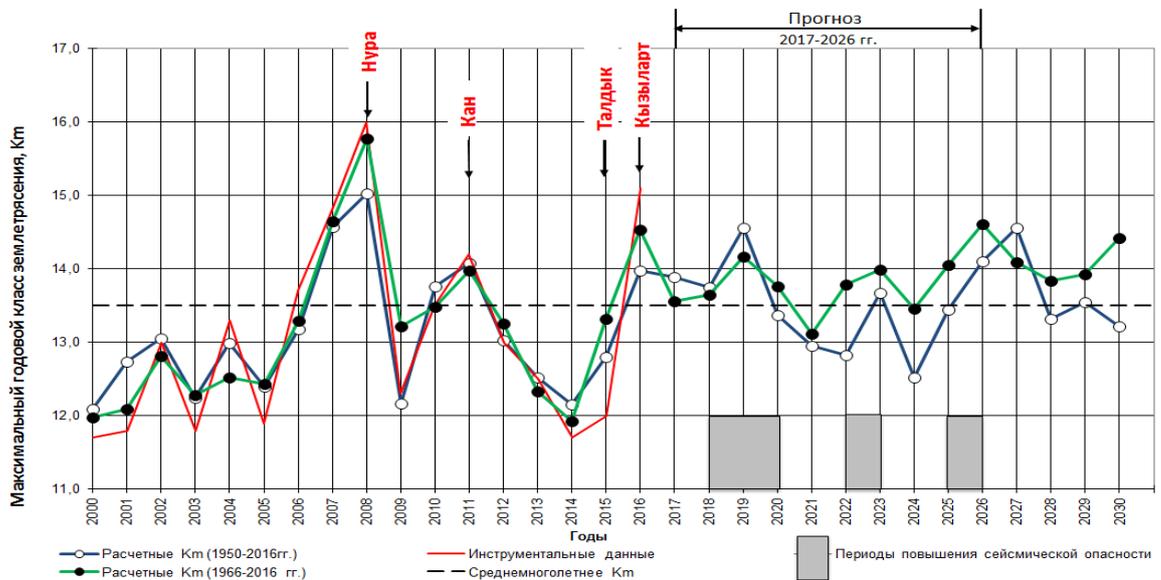


Рис.10. Прогноз вероятных изменений K_m для региона Алай - Кашгар на период 2017-2030 гг. по разным временным рядам за 1950-2016 гг. и 1966-2016 гг.

Литература

1. Володин И.А. Нелинейность и многомасштабность сейсмоакустики. /Проблемы геофизики XXI века. Москва: Наука, кн. 2, 2003, с.5-35.
2. Gufeld I.L., Matveeva M.I. Novoselov O.N. Why we cannot predict strong earthquakes..?/Geodynamics, Tectonophysics, 2011, v.2, 4, pp.378-415.
3. Добровольский И.П. Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. Москва: Физматлит, 2009, 240 с.
4. Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений. Москва: Наука, 2006, 254 с.
5. 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.
6. Kasahara K. Earthquake mechanics //Cambridge University press, 1981, p. 264.
7. 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.
8. Моги К. Предсказание землетрясений. Москва: Мир, 1988, 382 с.
9. 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.
10. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. Москва: Наука, 2003, 270 с.
11. Федотов С.А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. Москва: Наука, 2005, 303 с.
12. 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.
13. Мамыров Э., Маханькова В.А. Анализ квазипериодичности проявления слабых и сильных землетрясений Тянь-Шаня //Наука и новые технологии, 2010, №2 с.66-78.
14. Мамыров Э. Землетрясения Тянь-Шаня: магнитуда, сейсмический момент и энергетический класс. Бишкек: ИНСАНАТ 2012, 234с.
15. Мамыров Э., Маханькова В.А. Квазипериодичность сейсмического режима Южно-Ферганской зоны и прогноз ожидаемых сейсмокатастроф до 2030 г. //Collection of paper abstracts The Eighth International Symposium on Tianshan Earthquakes, September 23-26 2013. Urumqi, China, 2013, с.25-26.
16. Чипизубов А.В. Реконструкция и прогноз изменений сейсмичности Земли. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2008, 240 с.
17. Фридман А.М., Брагин В.Д. О связи глобальной и локальной сейсмической активности //Физика Земли, 2005, №96 с.54-57.
18. Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Пространственно-временные закономерности сейсмической и вулканической активности. Burgas. SWB, 2008. 450 с.