

*Мамыров Э., Маханькова В.А.*

**АНАЛИЗ КВАЗИПЕРИОДИЧНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СЛАБЫХ И СИЛЬНЫХ  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЯНЬ-ШАНЯ**

*Е. Мамыров, V.A. Makhankova*

**THE ANALYSIS QUASIPERIODICITY DISPLAYS OF WEAK AND STRONG  
EARTHQUAKES TIEN SHAN**

УДК: 550.34.1

*В работе выполнен анализ сейсмического режима Тянь-Шаня и установлено, что проявления сильных землетрясений во времени является периодическим и подтверждается данными наблюдений за 1882 - 2008 гг.*

*It has been done analysis of the Tien Shan seismic regime and determined that manifestations of strong earthquakes during the time are periodical and confirmed data observation for period 1882-2008.*

**Введение.** Активизация разрушительных землетрясений в мире, включая территорию Кыргызстана, начавшееся в 2003 г. и продолжающееся в 2010 г., доказывает актуальность прогнозных исследований по определению вероятного периода повышения уровня сейсмической опасности в отдельных сейсмоактивных регионах. Детальные исследования сейсмологического режима перед 11 сильнейшими землетрясениями мира с магнитудой  $M_s > 8$  (1985-2000 гг.), выполненные Ромашковой и др. (2001 г), показали, что сейсмическая обстановка, перед главными толчками, с большим основанием поддерживает гипотезу о предвестниковой активизации, чем о сейсмологическом затишье. На фоне общей региональной среднесрочной активизации слабых землетрясений с  $M_s = 3 - 5$  или энергетического классов  $K_R = 9 - 12$  в большинстве случаев наблюдается краткосрочное (в масштабе месяцев или более 10 дней) увеличение сейсмологической активности (рои, линейное или кольцевые концентрация эпицентров), происходящие на расстояниях, которые сравнимы с размерами очага готовящегося сильного землетрясения (Ромашкова и др., 2001).

Доказательства в пользу активизации потока слабых и ощутимых землетрясений перед крупными событиями приводятся многими авторами. К примеру, перед катастрофическим землетрясением 1906 г. в Сан-Франциско ( $M_s = 8.3$ ) было отмечено появление сравнительно большого числа средних землетрясений ( $M_s = 4-5$ ) в Северной Калифорнии (Sykes et al., 1990).

После другого калифорнийского землетрясения в Лома Приета с ( $M_s = 7,1$ ) 1989 г. Буфе и Варнес (Bufe et al., 1993) предложили концепцию степенного возрастания количества высвобожденной энергии упругих деформаций перед сильным землетрясением. Активизация слабых толчков при этом ассоциируется с приближением к своему критическому значению некоторого

«управляющего» параметра, в качестве которого рассматривается накопленная региональная деформация (Sykes et al., 1990). Динамика роста количества слабых толчков во времени подобна акустической эмиссии перед разрушением твердых тел (Соболев и др., 2003; Kanamori, 2003). Достижение критического значения деформации переводит регион в нестабильное состояние, которое разрешается катастрофой - сильнейшим землетрясением (Рикитаке, 1979; Ромашкова и др., 2001; Соболев и др., 2003; Мамыров, 2006). Для территории Кыргызстана вопросы периодичности слабых и сильных землетрясений впервые были рассмотрены В.П. Грином и др. (1980) на примере сейсмического режима Чуйской впадины и ее горного обрамления.

Учитывая вышеуказанное и актуальность проблемы прогноза периодов активизации сейсмических процессов, в настоящей работе сделана попытка анализа квазипериодичности максимального годового энергетического класса  $K_T$  и годового количества землетрясений энергетических классов  $K_R = 8, K_R = 9, K_R = 10$  ( $N_8, N_9, N_{10}$  – кодовое количество соответствующих энергетических классов) для всей территории Кыргызстана в пределах координат  $\phi = 39^\circ-43.5^\circ$   $X = 69^\circ-81^\circ$  и для участка Гиссаро-Кокшаальской сейсмоактивной зоны ( $\phi = 39^\circ-41^\circ$   $X = 72^\circ-75^\circ$ ), где 05. 10. 2008 г. произошло разрушительное 8-балльное Нура-Алайское землетрясение с моментной магнитудой  $M_w = 6.6$  и  $K_R = 16.0$ .

Цель исследований - определение основных параметров квазипериодичности изменений  $K_T, N_8, N_9$  и  $N_{10}$ , а также оценка возможности использования этих параметров для прогноза уровня сейсмической опасности территории Кыргызстана на ближайшие 5-10 лет.

Исходные данные и обоснование методики исследований. Исходными материалами для данной работы является банк сейсмологических данных Института сейсмологии НАН КР за период 1882-2008 гг. и опубликованные данные по моментной магнитуде  $M_w$  сильных землетрясений Тянь-Шаня (Уфимцев и др., 2009).

Использованная в этой работе методика анализа  $K_m, N_{Si}, N_9, N_{10}$  базируется на теоретических положениях динамики нелинейных систем и позволяет объяснить существующие противоречия между наблюдаемыми промежутками времени проявления сильных землетрясений и предполагаемыми периодами повторения крупных сейсмодкатастроф с использованием эмпири-

ческого закона повторяемости Гутенберга-Рихтера, которые приводятся на картах сейсмического районирования (Джанузаков и др., 1996). К примеру, на последней карте сейсмического районирования территории Кыргызской Республики период повторяемости сильных землетрясений с  $M_s > 7.3$  (с бальностью  $1 > 9$ ) в пределах Северного Тянь-Шаня составляет 500 лет и 200 лет - с  $M_s > 6.5$  ( $1 > 8$ ) для Южного Тянь-Шаня. Вместе с тем, в пределах Кемино-Чиликской зоны за 24 года - в период 1887-1911 гг. - произошли: Верненское (1887 г.,  $M_s = 7.3$ ), Чиликское (1889 г.,  $M_s = 8.3$ ) и Кеминское (1911 г.,  $M_s = 8.2$ ) катастрофические землетрясения с интенсивностью сотрясения  $I = 9 - 11$  баллов, а период между известными самыми крупными землетрясениями всего Тянь-Шаня с  $M_s > 8$  ( $1 > 9$ ) - Чиликским и Кеминским, составляет всего 22 года, а не 500 лет как указано на последней карте сейсмического районирования (Джанузаков и др., 1996 г.). Если же брать всю территорию Тянь-Шаня, то за этот же период 1887-1911 гг. произошли: Кастаозское (1888 г.,  $M_s = 6.3$  и 1893 г.,  $M_s = 6.7$ ), Ошское (1895 г.,  $M_s = 6.0$ ), Пскемское (Чаткальское 1896 г.,  $M_s = 6.6$ ), Артышское (1896 г.,  $M_s = 6.6$ ), Уратюбинское (1897 г.,  $M_s = 6.6$ ), Кашгарское (1902 г.,  $M_s = 8.2$ ), Андижанское (1902 г.,  $M_s = 6.4$ ), Аимское (1903 г.,  $M_s = 6.1$ ), Манасское (1906 г.,  $M_s = 7.7$ ), Кырккольское (1907 г.,  $M_s = 6.1$ ), Каратагское (1907 г.,  $M_s = 7.4$ ) и Сарезское (1911 г.,  $M_s = 7.4$ ), т.е. кроме трех землетрясений Кемино-Чиликской зоны с  $M_s > 7.3$  за 24 года произошло еще 4 события с  $M_s > 7.3$ , и тогда для всей территории Тянь-Шаня средний период повторяемости событий с  $M_s > 7.3$  составляет всего 3.6-4 года, но не 200 лет. Указанный период был самым «взрывным» периодом возникновения самых разрушительных землетрясений Тянь-Шаня. В Дарваз-Каракульской и Гассаро-Кокшаальской зонах Южного Тянь-Шаня в 1974 г. произошло Маркансуйское землетрясение с  $M_s = 7.3$  и  $I = 8$  баллов, а спустя 3 года - в 1978 г. - Дараут-Курганское землетрясение с  $M_s = 6.8$  и  $I = 8$  баллов. Однако период повторяемости землетрясений с  $I = 8$  баллов, в соответствии с вышеуказанной картой, в этой зоне Тянь-Шаня составляет не 200 лет, а всего 2-3 года. Кроме того, зарегистрированы «двойные» землетрясения (Куршабские - 7 и 12 июля 1924 г., Улучатские - 1955 г, в г. Ваши - 1961 г. и др.), а в 1997 г. восточнее г. Кашгар (СУАР КНР) с 21 января по 15 апреля произошло 6 землетрясений с  $M_s = 5.9 - 6.3$  и  $I = 8$  баллов, в результате которых было разрушено более 200 тысяч домов. Приведенные фактические данные показывают, что средние периоды повторяемости сильных землетрясений, которые приводятся на нормативных картах,

являются весьма спорными и неточными. В связи с этим возникает актуальная практическая необходимость в теоретическом обосновании

фактов длительного сейсмического «затишья» и неожиданных взрывов сейсмической активности с максимально возможными смещениями, ускорениями и т.д., приводящих к возникновению внезапных сейсмокатастроф.

Сопоставления изменений режима сейсмичности с деформографическими наблюдениями на Бишкекском прогностическом полигоне за 1986-2002 гг. показали, что активизация от слабых до сильных землетрясений хорошо коррелируется с градиентами деформаций в направлении северо-юг, соответствующим общерегиональному вектору сжатия горноскладчатой системы Тянь-Шаня с юга на север по теории тектоники плит. Но более важным с позиции оценки сейсмической опасности является то, что эти деформации не являются постоянными, а носят сложный волновой квазициклический характер, в спектре которых четко выделяются суточные, приливные колебания, сезонные и т.д. Наиболее важными из них являются 3, 5, 8 и 22-летние гармоники, которые синхронны с колебаниями сейсмического режима Северного Тянь-Шаня. При этом к отрезкам времени с максимальными градиентами деформаций приурочены проявления сильных землетрясений, и с ростом растяжений увеличивается активность сейсмического режима. Периоды сейсмического затишья наступают при достижении максимума деформации с минимальными градиентами сжатия или растяжения, что наблюдалось в 1975-1978 гг. (максимум сжатия), 1986-1991 гг. (максимум растяжения) и 1999-2002 гг. (максимум сжатия). Время и смена фаз растяжения-сжатия характеризует изменения сейсмического режима с проявлением сильных землетрясений (Мамыров, 2006). Таким образом, подтверждается существование сложных длиннопериодных тектонических волн деформаций (сжатия-растяжения и сдвиговых), ответственных за колебания сейсмического режима.

Исследования сложных геофизических процессов показали, что они могут быть количественно отражены в соответствии с теорией нелинейных систем уравнениями солитонного типа (нелинейное уравнение Шредингера, уравнение Кортевега-де-Фриза и др.). Анализ взаимодействия коротковолновых и длинноволновых геофизических возмущений показал наличие эффектов перемерзости - Ферми-Паста-Улама, когда 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 на геодинамических полигонах флуктуациями геофизических параметров (Князева и др., 2003; Соболев и др., 2003; Тимашев, 2003).

Новейшие исследования динамики сложных систем показали, что фундаментальной характе-

ристикой изменения параметров геофизических, сейсмических и других полей, а также возникновения сильных землетрясений, является их периодичность, что присуще открытым системам с сильной нелинейностью во времени и пространстве, вытекающей из теории самоорганизации таких систем (Князева и др., 2003; Тимашев, 2003). 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, сейсмических и других полей, отражающих критическое неустойчивое напряженно-деформированное состояние земной коры Тянь-Шаня.

Таким образом, пространственно-временная сейсмическая опасность в виде максимальных смещений или ускорений является непостоянной и колеблется от минимальных до максимальных величин, что необходимо учитывать при составлении карт сейсмической опасности. С учетом полученных результатов и наблюдаемых параметров сейсмического режима мы получаем возможность решения на вероятностной основе трех главных задач оценки сейсмической опасности: определение вероятного места, магнитуды и периодов повышения (времени) уровня сейсмической опасности на предстоящие 5-15 лет. При этом особо следует подчеркнуть, что волнообразный характер тектонофизических процессов, вызывающих сейсмокатастрофы, требуют постоянного обновления прогнозных карт в соответствии с нелинейными изменениями поля деформаций через каждые 5-8 лет.

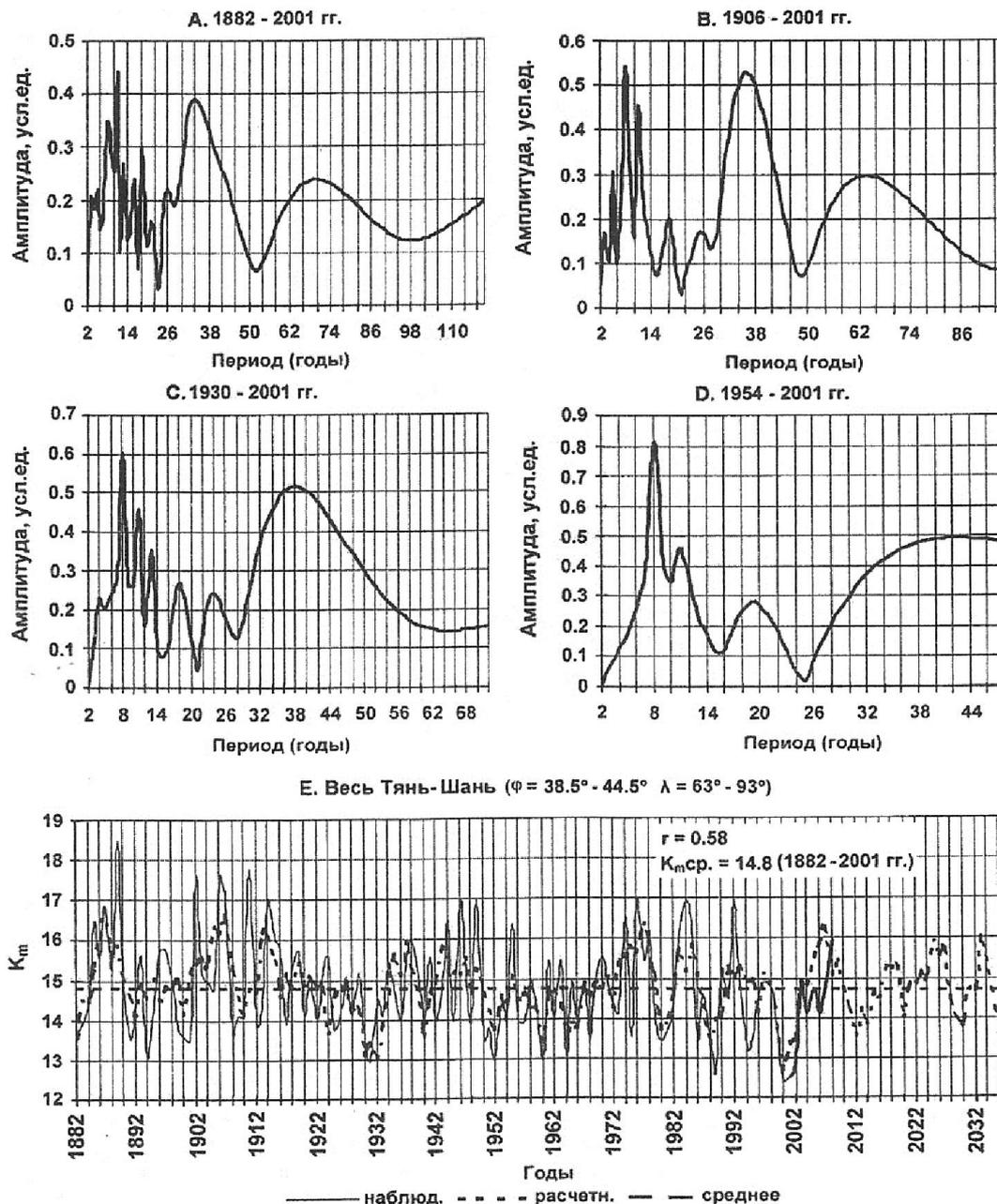
В пределах горноскладчатой системы Тянь-Шаня (ср = 38.5°– 44.5° Д = 63°– 93°) за последние 150 лет выделяются следующие крупные 12-летние сейсмические циклы: 1858-1869, 1870-1881, 1882-1893, 1894-1905, 1906-1917, 1918-1929, 1930-1941, 1942-1953, 1954-1965, 1966-1977, 1978- 1989, 1990-2001 гг. При этом в начале и середине цикла происходили разрушительные землетрясения с магнитудой  $M_s > 6.3$ ; конец циклов, чаще всего, сопровождается снижением сейсмической активности (Мамыров, 2006).

В связи с вышесказанным при дальнейших построениях нами использованы методы гармонического анализа временных рядов сильных землетрясений, оползней, паводков и годового количества атмосферных осадков. Первые резуль-

таты этих работ показали их эффективность при прогнозе сильных землетрясений и оползней (Абдрахматов и др., 1999; Мамыров и др., 2003,2007).

**Квазипериодичность сейсмического режима Тянь-Шаня.** На рис.1 представлены результаты перидиограммного анализа годовых значений  $K_T$  землетрясений Тянь-Шаня в пределах координат  $\varphi = 38.5^\circ - 44.5^\circ$   $\lambda = 63^\circ - 93^\circ$  за 1882-2001, 1906-2001, 1930-2001 и за 1954-2001 гг. (рис.1 А, В, С, D). При этом следует отметить, что поскольку сеть сейсмических станций в Центральной Азии была создана в 30-х годах XX столетия, то нижние пределы  $K_m$  за период 1882-1930 гг. являются приближенными.

Из представленных данных следует, что в многолетнем разрезе в колебаниях  $K_m$  за различные периоды времени наблюдаются устойчивые гармонические составляющие с максимальными амплитудами (в порядке убывания амплитуд): 8, 11, 32-36, 16, 18, 24 - летние гармоники, меньшей амплитудой характеризуются 3-6, 7, 9, 12, 64 и 70 - летние гармоники (рис.1 А, В, С, D). Наличие устойчивых гармонических составляющих позволяет с определенной точностью прогнозировать наперед вероятные величины  $K_m$ , а взаимодействие вышеуказанных гармоник приводит к сложным квазипериодическим проявлениям сильных землетрясений Тянь-Шаня, которые приведены на рис.1Е за период 1882-2008 гг., и ожидаемые изменения  $K_T$  до 2036 г. Из этого рисунка видно, что максимальные величины  $K_T$  составляют  $K_m=17-18.5$ , а минимальные  $K_m$  равны 12.5-13.0, что соответствует моментной магнитуде  $M_w=7.0-8.0$  и  $M_w=5-6$ , среднее многолетнее значение  $K_m=14.8$  или  $M_w=6.1$  (рис.1 Е). Из представленных данных на рис.1Е, на фоне 32-36-летних главных циклов четко выделяются периоды проявления наиболее разрушительных сейсмокатастроф (1885-1893, 1902-1915, 1934-1949, 1961-1963, 1970-1978, 1983-1985, 1990-1992 гг.) и относительно краткие периоды сейсмического затишья (1890-1901, 1922-1933, 1950-1954, 1956-1968, 1993-1996, 1999-2002 гг.), когда происходили кратковременные отдельные «вспышки» сильных землетрясений (1896-1897, 1923-1924, 1955-1958 и др.). Кроме того, приведенные данные указывают на общее снижение  $K_m$  с 1809-1911 гг. ( $K_m=17.5- 18.5$ ) к 1974-1992 гг. ( $K_m=16-17$ ), что совпадает



**Рис. 1.** Графики А, В, С, D - изменения амплитуд; Е - изменения наблюдаемых и расчетных значений ( $K_m$ ) для Тянь-Шаня ( $\varphi = 38.5^\circ - 44.5^\circ$ ,  $\lambda = 63^\circ - 93^\circ$ ). Амплитуды рассчитаны по наблюдаемым значениям  $K_T$  за периоды: А - 1882-2001 гг., В - 1906-2001 гг., С - 1930-2001 гг., D - 1954-2001 гг. Для расчетов  $K_m$  (Е) взят интервал - 1882-2001 гг. При расчетах использовались гармоники - 3-9, 11-14, 16-18, 30, 38, 78, 120.  $r$  - коэффициент корреляции;  $K_m$  ср. - среднееголетние значения; жирная кривая - значения  $K_T$  за период 2002-2008 гг., не использованные при расчетах.

с общим фоном глобального изменения суммарной энергии землетрясений, начавшегося в 20-х годах XX века (Чипизубов, 2008). По данным 1882-2001 гг. был сделан прогноз до 2036 г. и как видно из рис.1Е наблюдаемые землетрясения за 2002-2008 гг. удовлетворительно совпадают с расчетными  $K_m$ ; ожидаемый рост  $K_m$  с 2003 г. (с пиком в 2007 г и точностью  $\pm 1$  год) соответствует новой фазе активизации сейсмических процессов в земной коре Тянь-Шаня и максимуму  $K_m = 16.0$  в 2008 г. - разрушительному Нура-Алай-

скому землетрясению 05.10.2008 г. (Мамыров и др., 2009). Таким образом, несмотря на сравнительно невысокий коэффициент корреляции ( $r = 0,58$ ) между наблюдениями и расчетными величинами  $K_T$ , использование современных методов теории нелинейных систем, о чем было указано в начале работы, позволяет обосновать и выделить периоды повышения уровня сейсмической опасности в пределах Тянь-Шаньской горно-складчатой системы.

Кыргызский Тянь-Шань ( $\varphi > = 39^\circ - 43.5^\circ \lambda = 69^\circ - 81^\circ$ )

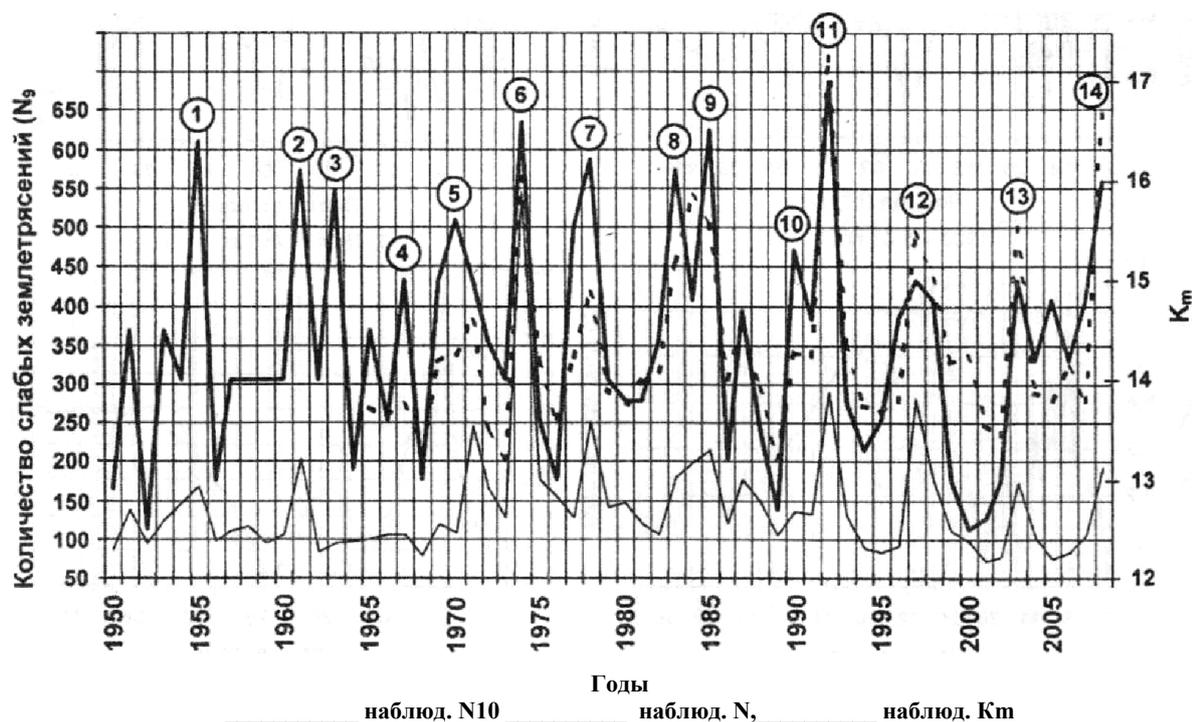


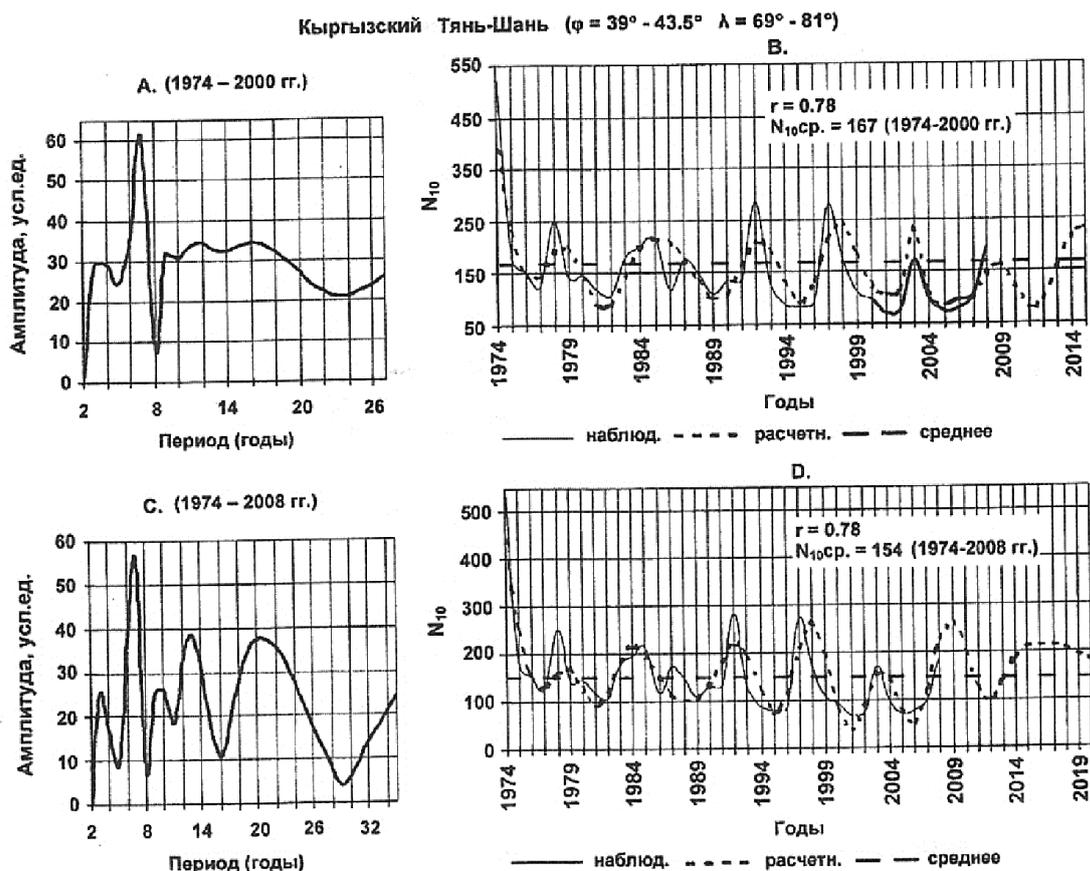
Рис. 2. График изменения наблюдаемых величин  $N_9$ ,  $N_w$  и  $K_m$  (максимальный годовой энергетический класс землетрясений) для территории Кыргызского Тянь-Шаня ( $\varphi=39^\circ-43.5^\circ X=69^\circ-81^\circ$ ).

Периоды наблюдений:  $N_{10}$  и  $K_m$  - 1950-2008 гг.,  $N_w$  - 1965-2008 гг.

Сильные землетрясения, обозначенные цифрами:

- 1 - Улуучат 15.04.1955 г.  $K_R=16.4 M_w=7.1$ ;
- 2 - Баши-3 13.04.1961 г.  $K_R=6.1 M_w=7.0$ ;
- 3 - Иркештам 29.08.1963 г.  $K_R=15.9 M_w=6.8$ ;
- 4 - Каракуль 11.05.1967 г.  $K_R=15.0 M_w=6.3$ ;
- 5 - Сарыкамыш 05.06.1970 г.  $K_R=15.6 M_w=6.7$ ;
- 6 - Маркансу 11.08.1974 г.  $K_R=6.6 M_w=7.3$ ;
- 7 - Джаланаш-Тюп 24.03.1978 г.  $K_R=15.6 M_w=6.9$ ; Дарооткурган 01.11.1978 г.  $K_R=16.2 M_w=6.6$ ;
- 8 - Кызылсуу 13.02.1983 г.  $K_R=16.1 M_w=6.2$ ;
- 9-Кашгар-3 23.08.1985 г.  $K_R=16.5 M_w=7.0$ ;
- 10-Байсору 12.11.1990 г.  $K_R=15.3 M_w=6.3$ ;
- 11 - Суусамыр 19.08.1992 г.  $K_R=17.0 M_w=7.2$ ;
- 12 - Кошдобо-Кашгар-8 09.01.– 15.04.1997 г.  $K_R=14.6-15.0 M_w=5.8-6.1$  (7 событий);
- 13 - Кашгар-9 24.02.2003 г.  $K_R=14.9 M_w=6.3$ ;
- 14 - Нура-Алай 05.10.2008 г.  $K_R=16.0 M_w=6.6$ .

Для территории Кыргызского Тянь-Шаня ( $\varphi=39-43.5^\circ X=69-81^\circ$ ) на рис.2 приведено сопоставление величин  $K_m$ ,  $N_9$  и  $N_{10}$  за 1950-2008 гг., поскольку для указанной площади представительные данные по годовому количеству слабых землетрясений  $K_R=9$  и  $K_R=10$  энергетических классов существуют с 1950г, когда была создана единая система сейсмических наблюдений в Центральной Азии (Джанузаков, 1964). Из представленных данных следует, что значения  $K_m$ ,  $N_9$  и  $N_{10}$  во времени изменяются синхронно: периодам проявления сильных землетрясений соответствуют наибольшие  $N_9$  и  $N_{10}$ , связанные главным образом афтершоками, а так же ростом слабых землетрясений в периоды активизации сейсмических процессов перед главными толчками, о чем было указано в начале статьи. Конкретный процесс роста слабых толчков перед сильным главным толчком будет доказан далее на примере Нура-Алайского разрушительного землетрясения произошедшего 05.10.2008 г.



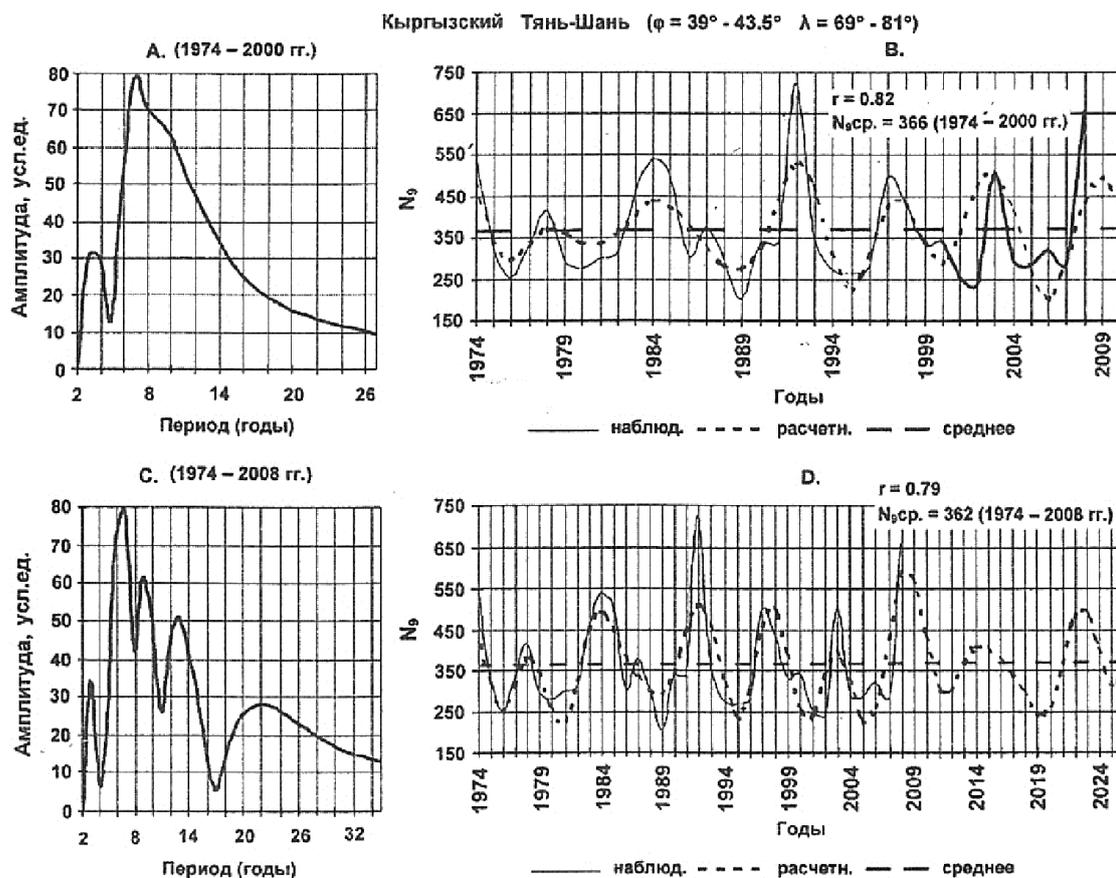
**Рис. 3.** А, С - амплитуды; В, D - сопоставление наблюдаемых и расчетных значений суммарного годового количества землетрясений ( $N_{10}$ ) с энергетическим классом  $K_R = 10$  для территории Кыргызского Тянь-Шаня ( $\varphi=39^\circ-43.5^\circ$   $\lambda=69^\circ-81^\circ$ ). Для расчетов взят интервалы: А, В - 1974-2000 гг., С, D - 1974-2008 гг.

При расчетах использовались гармоники: В - 6- 7, 11,15, 27; D - 6-7, 9-10, 12,23, 35.

$r$  - коэффициент корреляции;  $N_{10\text{ср.}}$  - среднееголетнее значение; жирная кривая на графике (В) - значения  $N_{10}$  за 2001-2008 гг., не использованные при расчетах.

На рис.3 (А, В) показаны изменения  $N_{10}$  для рассматриваемой территории за 1974-2000 гг. с прогнозом до 2016 г, а также приведено сопоставление расчетных и наблюдаемых величин  $N_{10}$  за 2001-2008 гг. (рис.3 В). Эти данные показывают, что в многолетних колебаниях  $N_w$  главной составляющей является 7-ми летняя гармоника, а расчетные значения  $N_{10}$  за 2001-2008 гг. хорошо совпадают с наблюдаемыми: ожидаемые максимумы в 2003 г. и 2008 г. соответствует активизации количества  $N_{10}$  выше средних  $N_{10\text{ср.}} = 167$  и связано с проявлениями сильных землетрясений Тянь-Шаня в указанные годы.

На рис.3 (С, D) показан спектральный состав колебаний  $N_{10}$  за период 1974-2008 гг., где главными составляющими являются 7, 13 и 20-летние гармоники. По этим же данным новое сейсмическое затишье по количеству  $N_{10}$  ожидается в 2011-2013 гг., а с 2014 г. по 2019 г. значения  $N_{10}$  вырастут до 200-210 при среднем  $N_{10\text{ср.}} = 154$  (рис.3 D).



**Рис.4.** А, С - амплитуды; В, D - сопоставление наблюдаемых и расчетных значений суммарного годового количества землетрясений ( $N_9$ ) с энергетическим классом  $K_R = 9$  для территории Кыргызского Тянь-Шаня ( $\varphi = 39^\circ - 43.5^\circ$   $\lambda = 69^\circ - 81^\circ$ ).

Для расчетов взят интервалы: А, В - 1974-2000 гг., С, D - 1974-2008 гг. При расчетах использовались гармоники: В - 5- 7, 10; D - 6-7, 9, 14, 18, 22.

$r$  - коэффициент корреляции;  $N_{9\text{ср.}}$  - среднеегодовое значение; жирная кривая на графике (В) - значения  $N_9$  за 2001-2008 гг., не использованные при расчетах.

Изменения годового количества землетрясений 9-го энергетического класса  $N_9$  за 1974-2000 гг. и 1974-2008 гг. приведены на рис.4. Из рис. 4 А следует, что в колебаниях  $N_9$  главными являются 7, 9, 10, 3-х летние гармоники за период 1974-2000 гг., по которым был выполнен прогноз до 2010 г. Как и в случае с  $N_{10}$ , прогноз  $N_9$  на 2001-2008 гг. хорошо совпадает с наблюдаемыми значениями  $N_9$  с максимумами в 2003 г. и 2008-2009 гг. при среднем  $N_{9\text{ср.}} = 366$  (рис.4 В).

Данные по  $N_9$  за 1974-2008 г. показывают, что в спектре колебаний  $N_9$  четко выделяются 7, 6, 9, 14, 18 и 22-летние гармоники (рис.4 С), по параметрам которых дан прогноз изменений  $N_9$  до 2026 г. (рис.4D). Этот прогноз полностью совпадает с ожидаемым изменениям  $K_T$  и  $N_{10}$  для территории Кыргызского Тянь-Шаня (рис. 1 -4).

Далее рассмотрим квазипериодичность сейсмического режима одного из участков Гиссаро-Кокшаальской системы активных разломов, который располагается в пограничной зоне Ошской области (Алайский район) с СУ АР КНР в пределах координат  $\varphi = 39-40^\circ$   $\lambda = 72.5-74.5^\circ$ , где 02.10.2008 г. произошло Нура-Алайское землетрясение с  $M_w = 6.6$ .

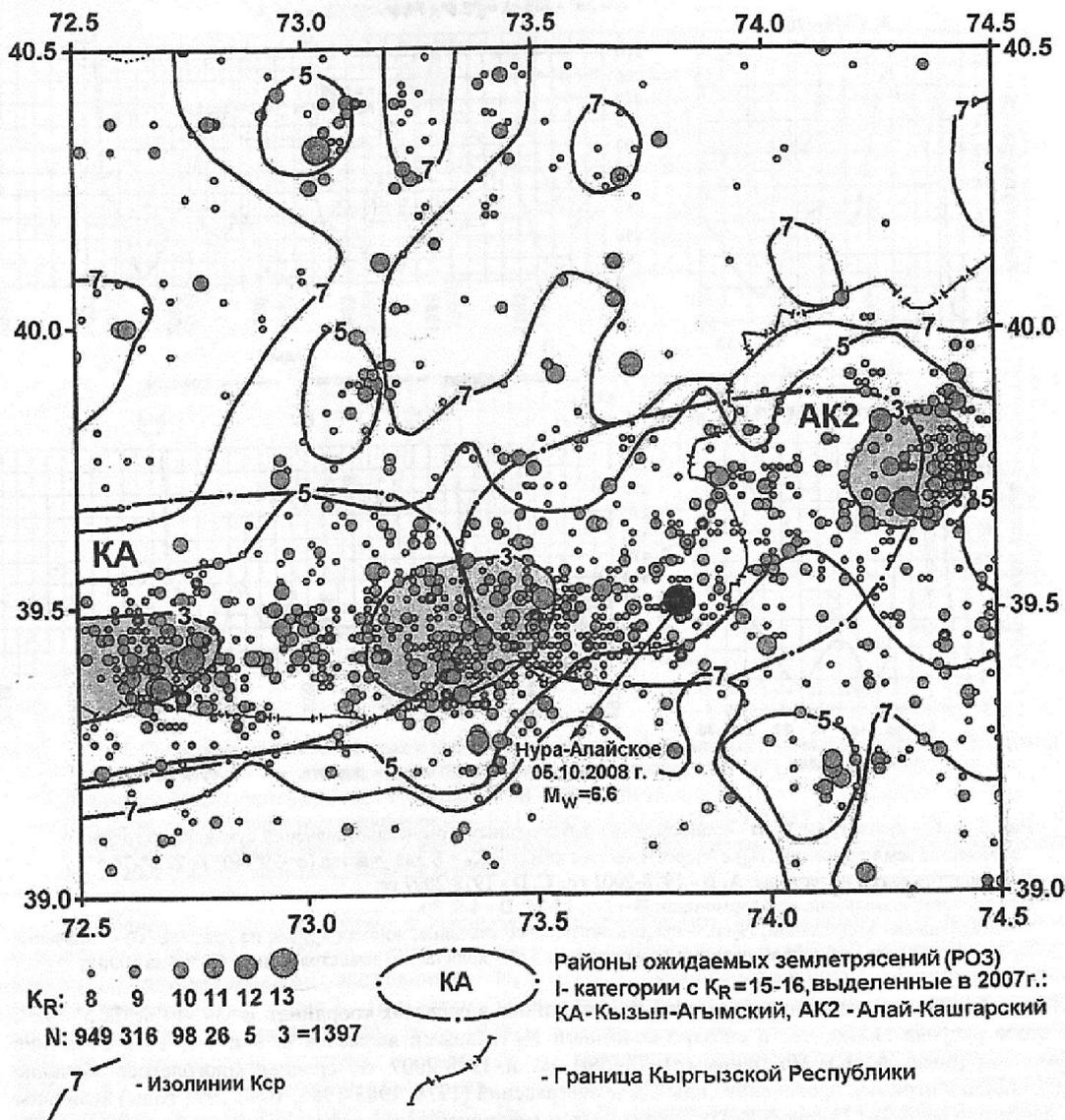


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений и  $K_{sp}$  за 01.01.2001-12.31.2007 гг. района Нура-Алайского землетрясения 05.10.2008 г. с  $M_w=6.6$ .

На рис. 5 представлена карта эпицентров землетрясений и параметра плотности сейсмогенных разрывов  $K_{sp}$  за 01.01.2001-12.31.2007 гг. В пределах вышеуказанных координат к концу 2007 г. эпицентры землетрясений 8-13 энергетических классов были сконцентрированы на трех площадях с минимальными величинами  $K_{sp} \leq 3$ , между которыми возникли сейсмические «брешы» с  $K_{sp} = 5-7$ . Они были выделены как районы ожидаемых землетрясений (РОЗ), где в 2008-2009 гг. возможны сильные землетрясения  $K_R=15-16$  или  $M_w = 6.0-6.7$  (Мамыров и др., 2007). Впервые участки опасных РОЗ в этом регионе были выделены в 1992 г. (Мамыров и др., 1992). К сожалению в последних публикациях (Омуралиев, 2008), посвященных этому событию, не указаны ранее выполненные прогнозы возможных сейсмokatastroф на территории Южного Кыргызстана (Адрахматов и др., 1999; Мамыров, 2006; Мамыров и др., 1992, 2003, 2007).

Вероятное время ожидаемой сейсмokatastroфы в рассматриваемом районе было локализовано на основе анализа квазипериодичности годового количества слабых толчков 8-го энергетического класса ( $N_g$ ) и  $K_m$  (рис.6-7).

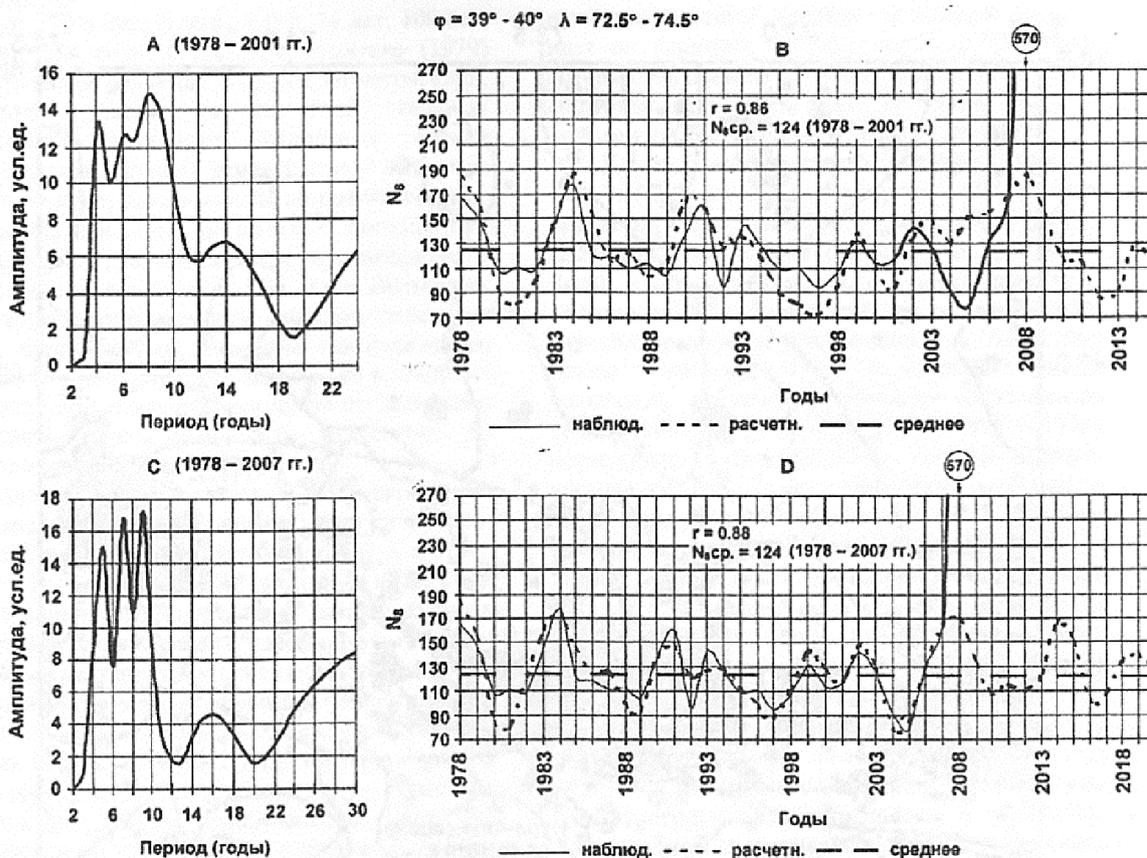


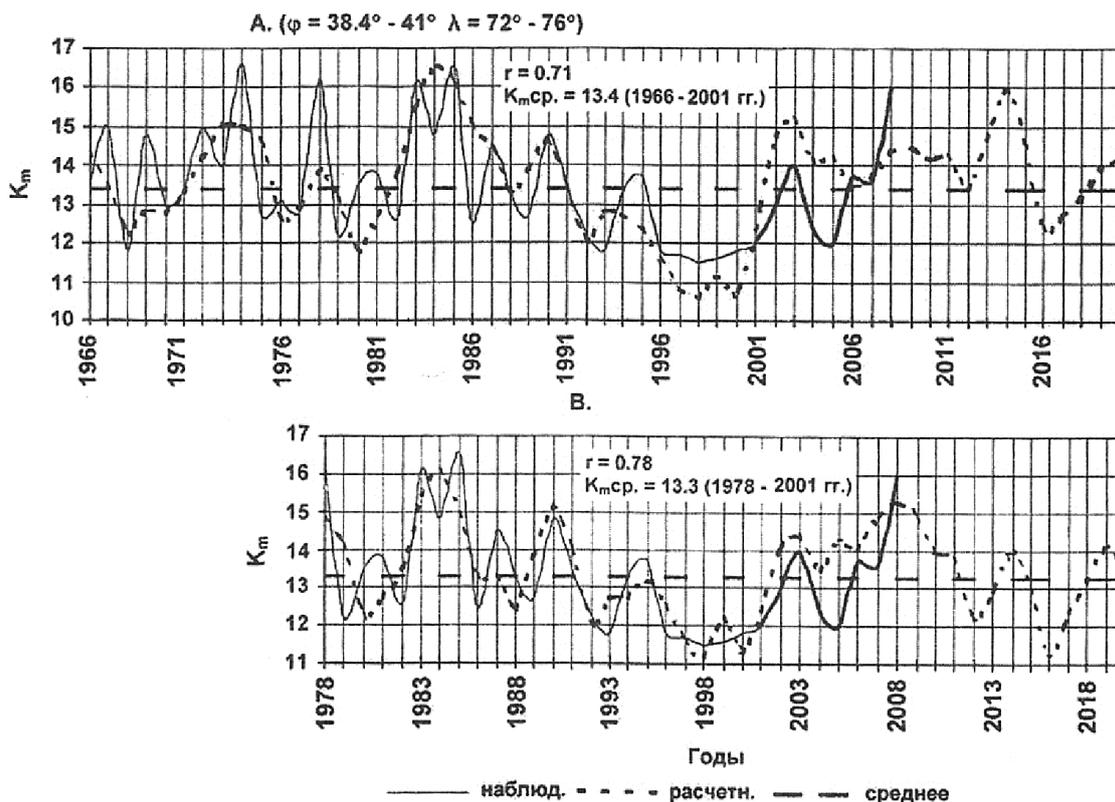
Рис. 6. А,С - амплитуды; В,Д - сопоставление наблюдаемых и расчетных значений суммарного годового количества землетрясений ( $N_8$ ) с энергетическим классом  $K_R=8$  для участка ( $\varphi = 39^\circ-40^\circ \lambda=72.5^\circ-74.5^\circ$ ).

Для расчетов взяты интервалы: А, В - 1978-2001 гг., С, Д - 1978-2007 гг.

При расчетах использовались гармоники: В - 3-9,15-24; Д - 4-9, 30.

$r$  - коэффициент корреляции;  $N_{ср.}$  - среднее многолетнее значение; жирная кривая на графике (В) – значения  $N_8$  за 2001-2008 гг., не использованные при расчетах; 570 - количество землетрясений с  $K_R=8$  за 2008 г.

На рис. 6 показаны изменения величины  $N_8$  для района в пределах координат ( $\varphi=39^\circ-40^\circ \lambda=72.5^\circ-74.5^\circ$ ). Из этого рисунка видно, что в спектре колебаний  $N_8$  главными являются 8, 9 и 4-7, 14 и 24-летние гармоники (рис.6 А, С). По данным 1978-2001 гг. и 1978-2007 гг. среднее многолетнее значение  $N_{ср.}=124$ , а в периоды проявления сильных землетрясений (1978, 1983-1985, 1990-1991 годы) величины  $N_8$  достигали  $N_8=150-175$  (рис.6 В, Д). По расчетным величинам слабых толчков на основе данных 1978-2001 гг. ожидался рост  $N_8$  с 2004 г. с пиком в 2008 г. ( $N_8=190$ ). В действительности, минимум  $N_8$  наблюдался в 2003-2005 гг. с  $N_8=81-127$ . Рост  $N_8$  начался в 2006 г. ( $N_8=34$ ), а в 2007 г. величина  $N_8$  составила 166, что близко совпадает с  $N_8$  периодов проявления сильных землетрясений (рис.6 В), т. е. в 2008-2009 гг. в рассматриваемом регионе в пределах РОЗ, показанных на рис.5, следовало ожидать возникновения сильного землетрясения.



**Рис. 7.** Сопоставление наблюдаемых и расчетных значений максимальных годовых энергетических классов землетрясений ( $K_m$ ) участка ( $\varphi=38.4^\circ-41^\circ$   $\lambda=72^\circ-76^\circ$ ). Для расчетов взяты интервалы: **А** - 1966-2001 гг., **В** - 1978-2001 гг. При расчетах использовались гармоники: **А** - 3-11, 14-15, 18, 23, 36; **В** - 3-9, 13-15, 24.  $r$  - коэффициент корреляции;  $K_{m, \text{ср.}}$  - среднеегодулетние значения; жирная кривая - наблюдаемые значения  $K_m$  за 2002-2008 гг., не использованные при расчетах.

Изменения  $K_m$  для территории в пределах координат  $\varphi = 38.4^\circ-41^\circ$   $\lambda=72^\circ-76^\circ$ , куда входит участок с рассмотренными колебаниями  $N_8$  (рис.6) приведены на рис.7. При этом по временным рядам  $K_m$  за 1966-2001 гг. и 1978-2001 гг. была сделана попытка прогноза до 2020 г., а так же сравнение расчетных и наблюдаемых  $K_m$  за 2002-2008 гг. (рис.7). Из представленных данных следует, что по прогнозным предположениям в 2002-2008 гг. увеличение  $K_m$  в данном районе (после минимума в 1996-2001 гг. с  $K_m=11-12$ ) ожидалось в 2002- 2005 гг. с пиком в 2003 г. с  $K_m=14-15$ , затем новая фаза снижения  $K_m$  до 13 в 2005-2006 и, новый рост  $K_m$  в 2007-2010 гг. с максимумом  $K_m= 15.5$  в 2008 г., который подтвердился в 2008 г. сейсмо- катастрофой в с. Нура Алайского района Ошской области. На основании полученных данных по вероятному месту, силе и ожидаемой магнитуде сильного землетрясения с 2007 г. авторами этой работы были даны практические рекомендации Департаменту мониторинга Министерства чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики (Мамыров и др., 2007).

**Обсуждение полученных результатов.** Приведенные результаты этой работы подтверждают, что в сейсмическом режиме всего Тянь-

Шаня и его отдельных регионов наблюдается квазипериодичность, количественные параметры которой можно представить в виде взаимодействия короткопериодных и длинно- периодных тектонофизических процессов. Для ежегодного количества слабых землетрясений 8-10 энергетических классов ( $K_R=8-10$ ) и сильных сейсмокатастроф с  $K_R>15$  характерно три группы колебаний: 1-короткопериодные с максимальными амплитудами с периодами от 3-х до 11-12 лет с пиковыми амплитудами для 7-8-летних гармоник; 2-среднепериодные 16-24-летние составляющие с незначительными амплитудами; 3-длиннопериодные 32-34-летние и 62-72-летние с высокими амплитудами. Подобная периодичность сейсмического режима различных регионов указана во многих работах (Рикитак, 1979; Сытинский, 1998; Соболев и др, 2003; Абдрахматов и др., 1999; Мамыров и др, 1992, 2003, 2007, 2009; Курскеев и др, 2006; Чипизубов, 2008). К примеру, по Рикитак (1979) особый интерес представляет вопрос о периодичности землетрясений. Аки (Рикитак, 1979) отмечает следующие периодичности, предложенные различными исследователями: 42 мин., 1 сут., 14.8 сут., 29.6 сут., 6 мес., 1 год, 11 лет, 100 лет, 240 лет, 284 года и т.д. По Рикитак (1979)

статистическое изучение сильных землетрясений, возможно, позволяет с известной степенью приближения установить вероятный период повторяемости сильных землетрясений в определенном регионе. Такие работы по оценки сейсмологической опасности, несомненно, полезны при планировании гражданского и промышленного строительства, сооружения ГЭС и т.д. Возможно, что период повторяемости сильных землетрясений, происходящих в районе тихоокеанского побережья Японии, может колебаться в широких пределах, хотя, по-видимому, было бы возможно установить этот период с точностью до десятилетий (Рикитакэ, 1979).

Многими исследователями были рассмотрены зависимости сейсмичности Земли от процессов на Солнце, в межпланетной среде и в атмосфере. В частности, Сытинским (1998) при исследовании периодичности вышеуказанных процессов использовались глобальные и региональные характеристики сейсмичности - годовые значения числа катастрофических землетрясений ( $N$ ) и суммарная энергия землетрясений ( $E_s$ ). Анализ показал, что  $E_s$  по Гуттенбергу-Рихтеру очень сильно меняется от года к году - более чем на порядок. Общая сейсмичность Земли не равномерна во времени. Эта тенденция, прежде всего, определяется 11-летним циклом солнечной активности. Высокая сейсмичность с вероятностью 0.999 наблюдается в 1-й, 3-й и 6-й годы после максимума солнечной активности на основе такой квазипериодичности были предсказаны максимумы сейсмичности Земли: 1963-1964, 1968-1969, 1974-1976, 1985, 1990, 1995 гг., т.е. практически все фазы роста сейсмичности за этот период. При рассмотрении сейсмичности Земли в связи с процессами на Солнце и в межпланетной среде обнаруживается несомненная упорядоченность процесса во времени, по крайней мере для катастрофических землетрясений (Сытинский, 1998).

Анализ характера изменений энергии сейсмических процессов Земли, выполненный Чипизубовым (2008), показал, что при различных количественных расчетах временных рядов (спектральном, автокорреляционном) выделяются 3-летняя (2,7 года), 5-летняя (4, 6 лет), 9-летняя (7-11 лет) и полувекковая (31-46 лет) гармоники.

Периодограммы различных реализаций сейсмического процесса показывают, что в ходе высвобождения энергии сильными ( $M_w > 7.0$ ) землетрясениями (годовые значения) отчетливо проявляются гармоники с периодами 2.75, 4.4, 6.7 и 45.5 года. Статистически значимы на 75%-ном уровне только всплески на периодах 4.4, 6.7 и 31 год. На периодограмме временного ряда, подвергнутого низкочастотной фильтрации, наиболее мощный процесс выделения энергии идет на периодах в 46-31, 6.5. и 5.7-5.4 года, которые значимы на 95%-ном уровне значимости. Подоб-

ные результаты были получены многими другими исследователями (Чипизубов, 2008).

Для тектонофизических условий Северного Тянь-Шаня вопросы ритмичности сейсмических процессов были подробно рассмотрены в работе казахских сейсмологов (Курскеев и др., 2006). Были изучены взаимосвязи лунных приливов, ротационным режимом Земли с режимом сейсмичности региона и установлено, что 18.6-летние циклы склонения Луны и 11-летние циклы солнечной активности вызвали активизацию сейсмичности в 1989-1990 и 2003-2005 гг. При исследовании спектрального состава сейсмического режима Земли, Азиатского материка и Тянь-Шаня были выделены: 40, 16 и 9-летние (земной шар); 50 и 8-летние (Азия); 66, 11 и 7.5-летние гармоники для землетрясений Тянь-Шаня с  $K_T > 12.6$ . К сожалению в этой работе не указано или было пропущено Суусамырское землетрясение 1992 г. с  $M_w = 7.2$ , наиболее крупное после Газлийской сейсмокатастрофы 1984 г. с  $M_w = 7.0$  (Уфимцев и др., 2009), относящееся к периоду активизации сейсмических процессов 1983-1985 гг. Вместе с тем, приведенные результаты глобальных, региональных и локальных исследований показывают, что в изменениях сейсмического режима существуют устойчивые гармонические составляющие, по амплитуде и периоду совпадающие с аналогичными колебаниями характерными для флуктуаций годового количества слабых толчков и разрушительных землетрясений на территории всего Тянь-Шаня и Кыргызской Республики.

При этом среди короткопериодных гармоник, выделенных в сейсмическом режиме Японии, континентальной Азии и Тянь-Шаня, наиболее устойчивыми являются 7-9 и 11-12 летние высокоамплитудные колебания. Следовательно, полученные нами результаты о вероятных изменениях сейсмического режима территории республики на предстоящие 10-15 лет являются вполне обоснованными и приемлемыми для прогнозных построений. Как подчеркивают Соболев и Пономарев (2003), накопление все более длинных временных рядов различных прогнозных параметров создает основу для нового взгляда на структуру геофизических полей. Сегодня можно утверждать, что сложный характер вариаций наблюдаемых геофизических полей отражает основные свойства реальной геологической среды - ее блоковое и иерархическое строение, способность накапливать и перераспределять поступающую энергию, нелинейность. Наряду с детерминированными компонентами эти вариации носят нерегулярный и случайный характер, что может быть связано с двумя основными механизмами. В первом случае стохастичность обусловлена независимостью большого количества влияющих факторов. Во втором случае она возникает вследствие открытости системы, активности литосферы и

нелинейности геофизических процессов. Выяснение роли этих механизмов в формировании и эволюции геофизических полей имеет принципиальное значение для понимания пространственно-временной связи их аномалий с процессами подготовки землетрясений (Соболев и др., 2003).

#### Выводы

1. Динамика сейсмических процессов в земной коре всего Тянь-Шаня и отдельных его регионов подобна динамике нелинейных систем, основным принципом которой является периодическое чередование взрыва сейсмической активности, увеличение интенсивности тектонофизических процессов и их затухания. К периодам максимальных градиентов деформаций земной коры горноскладчатой системы приурочены пространственно-временные проявления сейсмической активности. Сильные землетрясения предваряются резким увеличением слабых толчков в зоне подготовки очага.

2. По данным анализа квазипериодичности значений максимального энергетического класса за 1882-2001 гг. и годового количества слабых толчков за 1950-2001 гг. выделяются устойчивые гармонические составляющие с периодами от 3-х до 11-12 лет и 32-38-летние с максимальными амплитудами, взаимодействие которых приводит к сложным изменениям сейсмического режима Тянь-Шаня.

3. Очередная фаза активизации сейсмических процессов на территории Кыргызстана, начавшаяся в 2003 г., закончилась в 2009 г. и очередное повышение уровня сейсмической опасности, вероятно, следует ожидать с конца 2010 г. с пиком в 2011-2016 гг.

По комплексу прогнозных сейсмических параметров в 2007 г. был дан прогноз ожидаемого сильного землетрясения в 2008-2009 гг. в Алайском районе Ошской области, который подтвердился Нура-Алайской сейсмокатастрофой 5 октября 2008 г.

Работа выполнена в рамках исследований по проекту МНТЦ KR-1668.

#### Литература:

1. Абдрахматов К.Е., Мамыров Э., Маханькова В.А., Поволоцкая Н.Э., Тупчий Ю.Г. Прогноз активизации сейсмичности, оползневых процессов и атмосферных осадков на территории Южного Кыргызстана на основе анализа их квазипериодичности // Наука и новые технологии, № 4, 1999, с. 58-64.
2. Bufé C.G., Varnes D.J. Predictive modelling of the seismic cycle of the greater San Francisco Bay region // J.Geophys. Res., v.98, 1993, pp.9871-9883.
3. Грин В.П., Ильясов Б.И., Ким Н.И., Лопатина Т.А., Меджитова З.А. Некоторые результаты прогностических исследований на Фрунзенском полигоне // Физические процессы в очагах землетрясений. Москва: Наука, 1980, с. 14-26.

4. Джанузаков К.Д. Землетрясения Киргизии и сейсмическое районирование ее территории. Фрунзе: Изд. Кирг. ССР, 1964, 118с.
5. Джанузаков К.Д., Чедия О.К., Абдрахматов К.Е., Турдукулов А.Т. Карта сейсмического районирования Кыргызской Республики. Бишкек: Илим, 1996, 24с.
6. Kanamori H. Earthquake Prediction: An Overview. In book: International Handbook of Earthquake Seismology, part B, Academic Press, 2003, pp. 1205-1216.
7. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Особенности неравновесных процессов в открытых диссипативных средах. В кн.: Проблемы геофизики XXI века. Москва: Наука, кн. 1, 2003, с.37-65.
8. Курскеев А.К., Белослюдов О.М., Жданович А.Р., Серазетдинова Б.З., Степанов Б.С., Узбеков Н.Б. Сейсмическая опасность орогенов Казахстана. Алматы: Эверо, 2006, 294 с.
9. Мамыров Э., М.Омуралиев, О.Орозакунуов. Опыт исследований по долгосрочному прогнозу сильных землетрясений в сейсмоактивных зонах Южного Кыргызстана. Бишкек: КыргННИИИТИ, 1992, 21 с.
10. Мамыров Э., Омуралиев М., Кан М.В., Тупчий Ю.Г., Маханькова В.А., Поволоцкая Н.Э. Анализ квазипериодичности сейсмических и деформационных процессов в пределах Северного Тянь-Шаня // Тр. Всероссийского совещания «Напряженное состояние литосферы, ее деформации и сейсмичность». Новосибирск: СО РАН «Гео», 2003, с. 370-372.
11. Мамыров Э. Геохимические и тектонофизические исследования: достижения и проблемы в области прогноза землетрясений на территории Кыргызской Республики // Известия НАН КР, №1, 2006, с.24-34.
12. Мамыров Э., Маханькова В.А., Гребенникова В.В. Отчет НИР по проекту: «Оценка сейсмической опасности территории Южного Кыргызстана». Бишкек: ИС НАН КР, 2007, 41 с.
13. Мамыров Э., Корженков А.М., Орлова Л.А., Погребной В.Н., Раст Д., Стром А.Л., Фортуна А.Б., Бобровский А.В., Гребенникова В.В., Маханькова В.А., Нурманбетов К. Геодинамика Таласо-Ферганского разлома Тянь-Шаня и стихийные бедствия на территории Центральной Азии. Бишкек: Дом печати Арашан, 2009, 230 с.
14. Омуралиев М.О. Сейсмичность Тянь-Шаня, Северного Памира и землетрясение Нура // Известия НАН КР, №4, 2008, с.30-36.
15. Рикитак Т. Предсказание землетрясений. Москва: Мир, 1979, 388с. (Пер.с англ.)
16. Ромашкова Л.Л. Кособокое В.Г. Динамика сейсмической активности до и после сильнейших землетрясений Мира, 1985-2000. //Вычислительная сейсмология, вып. 32, 2001, с. 162-189.
17. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. Москва: Наука, 2003, 270с.
18. Sykes L.R., Jaume S.C. Seismic activity on neighboring faults as a long-term precursor to large earthquakes in the San Francisco Bay area //Nature, v. 348, 1990, pp. 595- 599.
19. Сытинский А.Д. Зависимость сейсмичности Земли от процессов на Солнце, в межпланетной среде и атмосфере. //Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Москва: Научный мир, т.2,1998, с.70-72.

20. Тимашев С.Ф. О базовых принципах «нового диалога с Природой». В кн.: Проблемы геофизики XXI века. Москва: Наука, кн.1, 2003, с.104-139.
21. Уфимцев Г.Ф., Корженков А.М., Мамыров Э.М. Очерки рельефа и морфотектоники Тянь-Шаня. Новосибирск: Академ. Изд-во «Гео», 2009, 129 с.
22. Чипизубов А.В. Реконструкция и прогноз изменений сейсмичности Земли. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2008, 240 с.

**Рецензент: к.ф.-м.н. Муралиев А.М.**

---