

УДК 550.34

Абдрахматов К.Е., Омуралиев М., Омуралиева А., Молдобекова С.
*Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан.*

ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В ОБЛАСТИ ПОДГОТОВКИ КАРКЫРА – САРЫДЖАЗСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (2013, К=15,1)

Аннотация: В статье показано, что для оценки сейсмической опасности наиболее информативными сейсмологическими параметрами являются динамическая сегментация зоны активного разлома; последовательность проявления исторических землетрясений и изменение кумулятивной сейсмической энергии в области подготовки землетрясения; последовательность проявления землетрясений и изменение кумулятивной сейсмической энергии в регионе Тянь-Шаня за предыдущий и текущий года. На основе этих параметров определены место, энергия и время ожидаемого землетрясения в долго-, среднесрочном плане, что подтверждено параметрами Каркыра-Сарыджазского землетрясения (январь, 2013), а также прослежена динамика сегментации активного Предвосточно-Терскайского разлома и особенности подготовки данного землетрясения.

Ключевые слова: Последовательность проявления землетрясений, кумулятивная сейсмическая энергия, предел флуктуации, поле плотности сейсмогенных разрывов, динамическая сегментация, энергетический класс, вектор активизации, активная область, период активизации, период затишья, оценка сейсмическая опасность.

КАРКЫРА – САРЫЖАЗ ЖЕР ТИТИРӨӨСҮНҮН (2013, К=15,1) ДАЯРДОО АЙМАГЫНДАГЫ СЕЙСМИКАЛЫК КООПТУУЛУКТУ (КОРКУНУЧТУ) БААЛОО МҮМКҮНЧҮЛҮКТӨРҮ

Кыскача мазмууну: Бул макалада сейсмикалык коркунучтарды баалоодо активдүү жараканын динамикалык сегментациясы; жер титирөө даярдалып жаткан аймакта болгон жер титирөөлөрдүн катары жана сейсмикалык энергиянын суммасынын өзгөрүшү; Тянь-Шанда өткөн жылдардагы жана учурдагы жер титирөөлөрдүн катары жана сейсмикалык энергиянын суммасынын өзгөрүлүшү так маалымат берүүчү сейсмикалык көрсөткүчтөрү экени белгиленген. Ушул көрсөткүчтөрдүн негизинде күтүлгөн жер титирөөнүн болуучу орду, энергиясы жана убактысы узак жана орто планда аныкталган. Булар Каркыра-Сарыжаз жер титирөөнүн (январь, 2013) болгон орду, энергиясы жана убактысы менен ырасталган. Активдүү Предвосточно-Терскай жараканын динамикалык сегментациясы жана бул жер титирөөнүн даярдалган өзгөчөлүктөрү талдалган.

Негизги сөздөр: Жер титирөөлөрдүн болушунун ырааттуулугу, топтолгон (кошулмаланган) сейсмикалык энергия, флуктуациянын чектери, сейсмогендик ажырыктардын тыгыздык талаасы, динамикалык сегменттөө, энергиялык класс, активдештирүүнүн вектору, активдүү облус, сейсмикалык активдештирүүнүн мезгили, сейсмикалык басандоо мезгили, сейсмикалык коркунучту баалоо.

OPPORTUNITIES FOR SEISMIC HAZARD ASSESSMENT IN THE PREPARATION AREA OF THE 2013 $M=15.1$ KARKYRA - SARYDJAZ EARTHQUAKE

Abstract: It is shown in the paper that the most informative seismological parameters for the seismic hazard evaluation are dynamic segmentation of an active fault zone; historical earthquakes' manifestation sequence and cumulative seismic energy's change in an area of earthquake preparation; historical earthquakes' manifestation sequence and cumulative seismic energy's change in the Tien Shan area for the previous year and current year. Place, energy and time of the expected earthquake were determined in the long term and medium term based on these parameters. It was confirmed by the 2013 Karkyra-Sarydjaz earthquake's parameters. Dynamics of the active Predvostochno-Terskey fault's segmentation and features of the earthquake preparation were tracked as well.

Keywords: Sequence of earthquakes' manifestation, cumulative seismic energy, fluctuation limit, field of seismogenic ruptures' density, dynamic segmentation, energy class, vector of seismic activation, active area, seismically active period, seismically calm period, seismic hazard assessment

Каркыра – Сарыджазское землетрясение проявилось 28 января 2013 г. в зоне Предвосточно – Терскейского (ПВТ) активного разлома северо-восточного простирания южного падения. На юго-восточном крыле его образовалось Восточно-Терскейское устойчивое поднятие, а на северо-западном – Иссык-Кульская и Кеген-Текеская впадины. Эти впадины разделены перемычкой - поперечным поднятием северо-западного простирания. Кеген-Текеская впадина в свою очередь разделена на Кегенскую (на севере) и Текесскую (на юге) впадины внутривпадинными инверсионными поднятиями Шоладыр и Басылытау северо-восточного простирания. Главный толчок по данным сейсмологических сетей Кыргызстана и Казахстана имел координаты $\varphi=42^{\circ}35,07'$ с.ш., $\lambda=79^{\circ}38,76'$ в.д., магнитуды $m_p=6,78$, $M_s=5,69$, энергетический класс $K=15,1$, интенсивность $I_0=8$ баллов по шкале MSK-64. Данное землетрясение приурочено к пересечению Восточно-Терскейского и поперечного поднятий, и находится восточнее области Сарыкамьшского землетрясения (1970) в приграничном районе Кыргызской Республики и Республики Казахстан.

Для оценки вероятной сейсмической опасности использованы наиболее информативные, апробированные в пределах Тянь-Шаня параметры [1-8], такие как

- динамическая сегментация зоны активного разлома с определением области и района ожидаемого сильного землетрясения;
- последовательность проявления исторических землетрясений в области подготовки землетрясения с выделением длинных периодов активизации, затишья и определением периода повышенной вероятности (ППВ);
- изменение кумулятивной сейсмической энергии в области подготовки землетрясения с определением величины максимально возможной сейсмической энергии после последнего землетрясения и в период повышенной вероятности;
- последовательность проявления землетрясений Тянь-Шаня за текущий год с выделением коротких (месячных) периодов активизации, затишья и локализацией периода повышенной вероятности (ППВ);
- изменение кумулятивной сейсмической энергии за предыдущий и текущий годы в Тянь-Шане с определением величины максимально возможной сейсмической энергии после последнего землетрясения и в период повышенной вероятности.

Динамическая сегментация зоны активного разлома исследуется на основе анализа распределения землетрясений разного энергетического класса в пространстве и во време-

ни и на основе слежения изменения поля плотности сейсмогенных разрывов – параметра K_{sp} во времени. В пределах Предвосточно-Терской (ПВТ) разлома проявилось в 1970 г. Сарыкамьшское относительно сильное ($K=15$) землетрясение. Следует отметить, что поиски следов палеоземлетрясений в пределах этого разлома пока еще не проведены.

Нами рассмотрено распределение эпицентров землетрясений с $K \geq 8,6$ в интервале времени 1950-2012 гг. в полосах ширинами ± 5 км, $+5 - 10$ км, $+5 - 15$ км, $+5 - 20$ км, $+5 - 25$ км, $+5 - 30$ км вдоль зоны ПВТ разлома, т.е. полосы расширялись в сторону оси Восточно – Терской поднятия. В качестве примера на рисунке 1 приведено распределение эпицентров землетрясений с $K \geq 8,6$ в полосе шириной $+5$ км и $- 20$ км. При этом выделяются активные области (активные сегменты) зоны разлома с относительно большой концентрацией эпицентров землетрясений с $K > 9$: ДжО – Джети-Огузская, СК- Сарыкамьшская, БК - Баскаркыринская. Активные области разделены областями с рассеянными эпицентрами – доменами землетрясений с $K=8-9$. Расстояние между центрами активных областей составляет около 23 км и 26 км, соответственно.

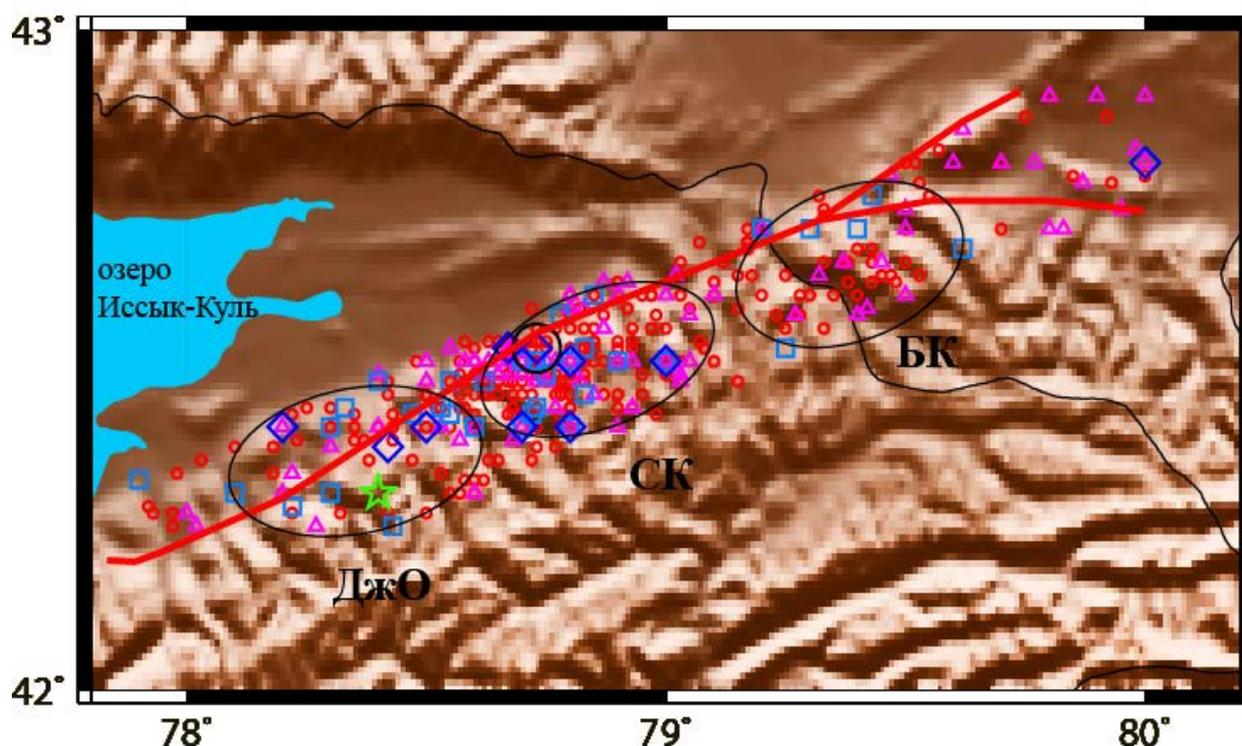


Рис.1. Распределение эпицентров землетрясений с $K \geq 8,6$ за 1950 – 2012 гг. в пределах зоны Предвосточно-Терской активной разлома в полосе шириной $+5$ км и $- 20$ км. Землетрясения с $K = 8-9$ обозначены кружками красного цвета, с $K=9-10$ – треугольниками малинового цвета, с $K=10-11$ – квадратиками голубого цвета, с $K = 11-12$ – ромбиками синего цвета, с $K = 12-13$ – звездочками зеленого цвета, с $K \geq 14$ – большими кружками черного цвета. Линия ПВТ разлома указана красной линией. Активные области (активные сегменты) оконтурены эллипсами черного цвета: ДжО - Джети-Огузская, СК – Сарыкамьшская, БК – Баскаркыринская.

Изучение пространственно-временного распределения землетрясений в зоне ПВТ за период 1950-2012 гг. показало (рисунок 2), что в распределении землетрясений с $K > 9$ выделяются активные участки активных областей и вероятные векторы активизации, направленные с юго-запада на северо-восток вдоль зоны разлома. Скорость вектора активизации составляет около 1,4 км/год. Соответственно, можно предположить, что район ожидаемого землетрясения находится в пределах Баскаркыринской активной области.

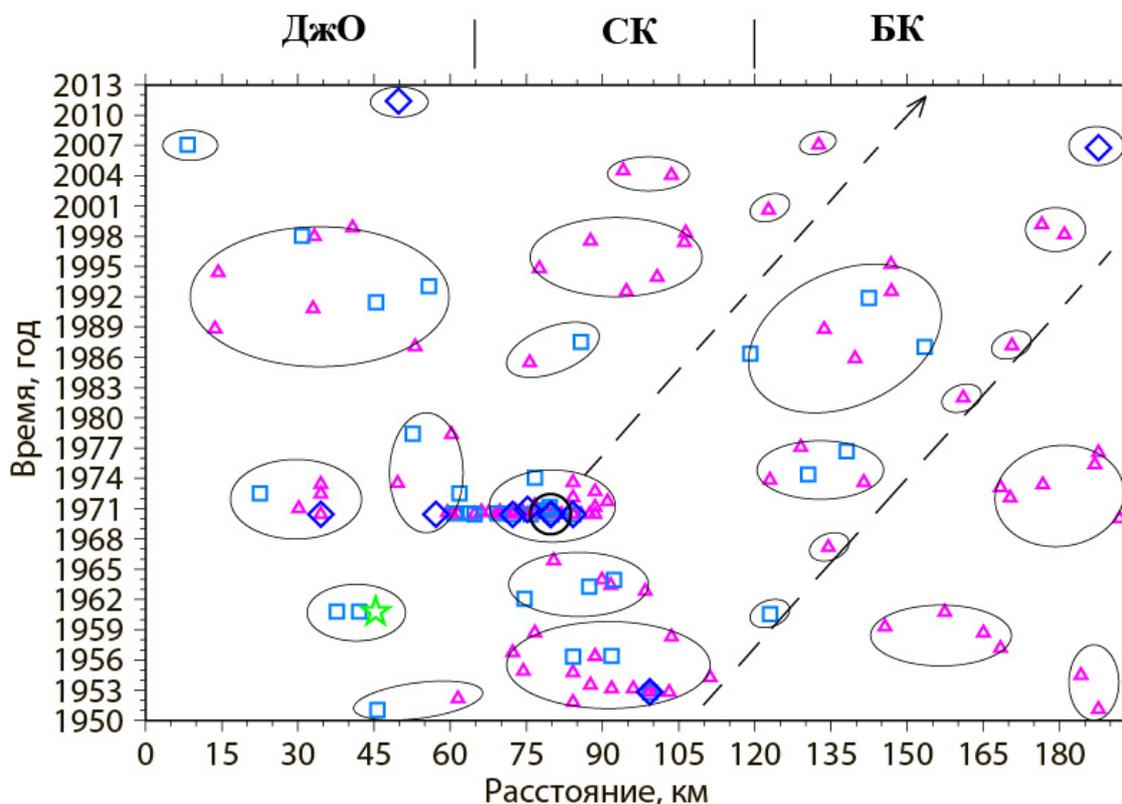


Рис.2. Пространственно - временное распределение землетрясений с $K > 9$ вдоль зоны Предвосточно-Терской разлома за период с 1950 г. по 2012 г. Ось абсцисс – расстояние от юго-западного конца, км; ось ординат – годы возникновения землетрясений. Пунктирными прямыми линиями указаны вероятные траектории векторов активизации зоны ПВТ разлома. Эллипсами околтурены активные участки активных областей зоны разлома. Землетрясения с $K=9-10$ – треугольниками малинового цвета, с $K=10-11$ – квадратиками голубого цвета, с $K = 11-12$ – ромбиками синего цвета, с $K = 12-13$ – звездочками зеленого цвета, с $K \geq 14$ – большими кружками черного цвета.

Рассмотрим изменение поля плотности сейсмогенных разрывов зоны ПВТ разлома западнее Сарыкамышского землетрясения за 2006-2008 гг., 2006-2009 гг., 2006-2010 гг., 2006 – 2011 гг., 2006- 2012 гг. (рисунок 3). В пределах сегмента разлома между долготами $78,75^\circ - 79,50^\circ$ проявилась аномальная область с малыми значениями $K_{ср}$ - относительно большой плотностью сейсмогенных разрывов. Западнее и восточнее от аномальной области выделялись межаномальные области с относительно малой плотностью сейсмогенных разрывов. Аномальная область представляет собой активный сегмент разлома, межаномальная область - своеобразный барьер между сегментами. Западная межаномальная область находилась в области Сарыкамышского землетрясения, а восточная межаномальная область - в пределах верховья долины р. Каркыра. Восточная межаномальная область в свою очередь сменяется на востоке мозаикой аномальных областей. Из них наиболее активной была область с центром $\varphi=42,5^\circ$, $\lambda=79,75^\circ$. Соответственно вероятное место ожидаемого землетрясения и его афтершоков должно находиться в межаномальной области в пределах меридиана $\lambda=79,6^\circ$ восточнее области Сарыкамышского землетрясения на расстоянии около 60 км. Данная межаномальная область с 2011 г. начала интенсивно изменяться, т.е. барьер подвергался разрушению.

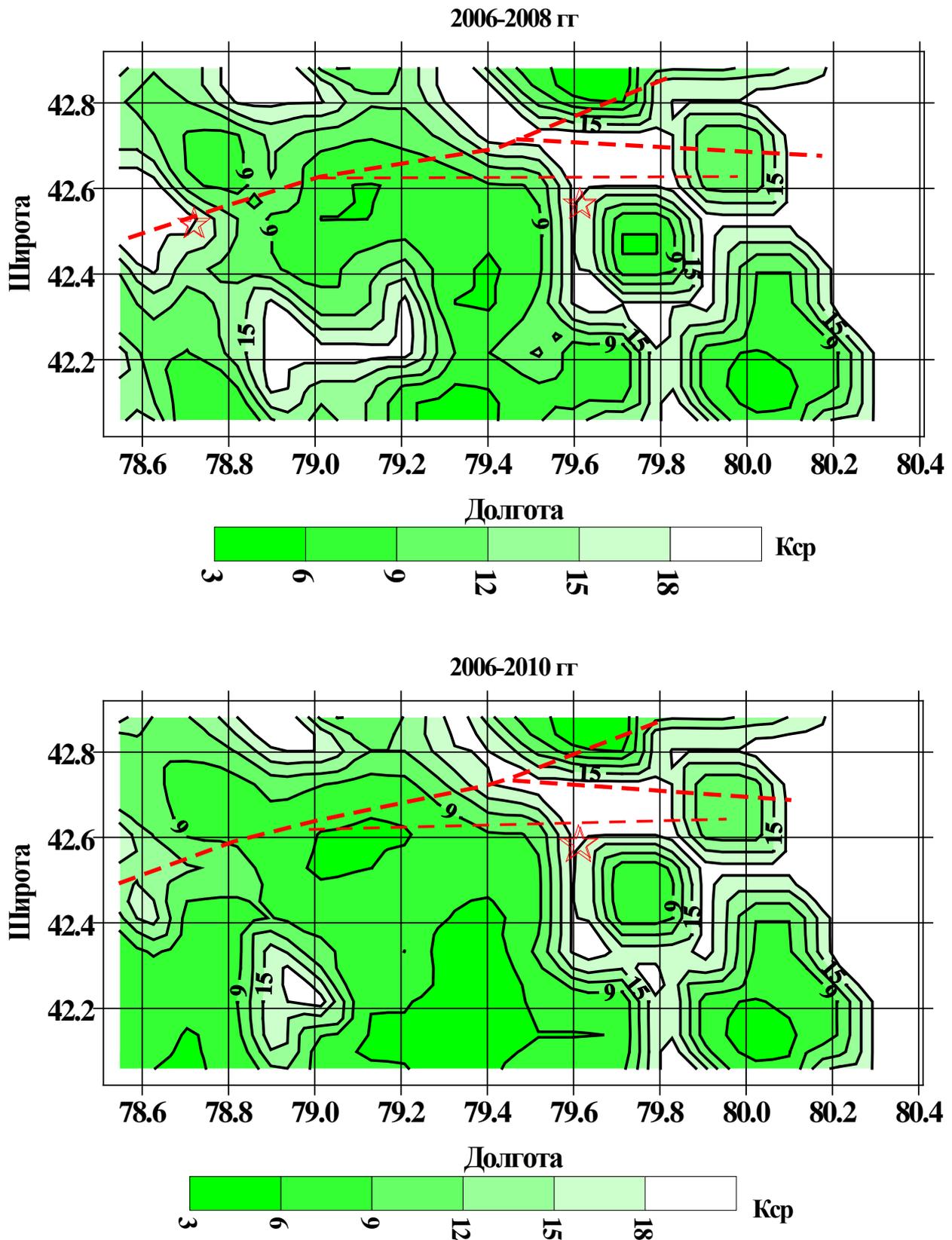


Рис.3. Изменение поля плотности сейсмогенных разрывов- Кср на крыльях Предвосточно-Терсекейского разлома в периодах 2006-2008 гг, 2006-2010 гг. Пунктирными линиями показаны линии Предвосточно-Терсекейского разлома и его ветви; изолиниями – поле Кср; звездочками - эпицентры Сарыкамьшского землетрясения (на западе) и ожидаемого землетрясения (на востоке).

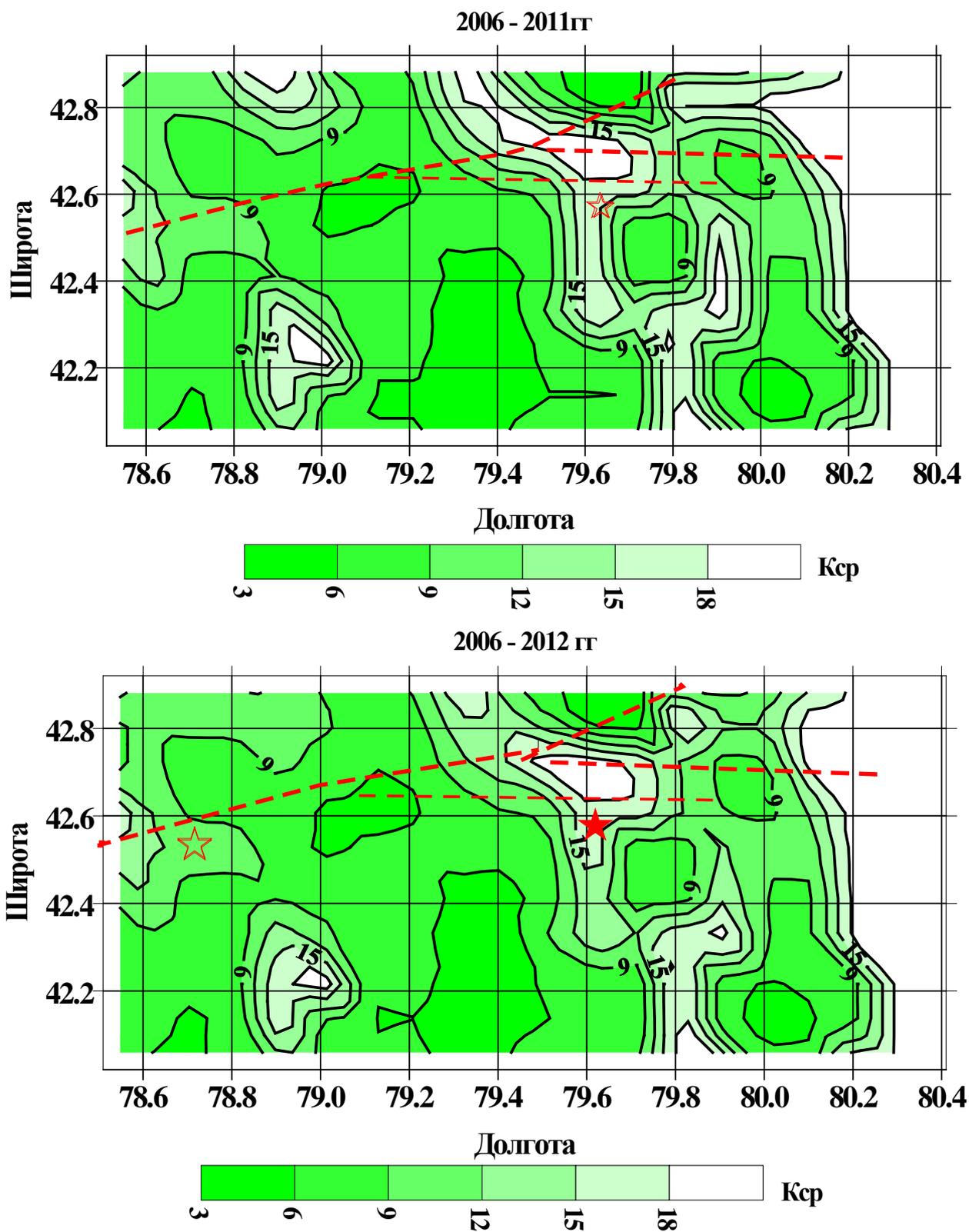


Рис.3. (продолжение) Изменение поля плотности сейсмогенных разрывов- Кср на крыльях Предвосточно-Терсекейского разлома в периодах 2006-2011 гг, 2006-2012 гг. Пунктирными линиями показаны линии Предвосточно-Терсекейского разлома и его ветвей; изолиниями – поле Кср; звездочками - эпицентры Сарыкамышского землетрясения (на западе) и ожидаемого землетрясения (на востоке).

Последовательность проявления исторических землетрясений в области подготовки ожидаемого землетрясения рассмотрена в квадрате $\varphi = 42^\circ-43^\circ$ с.ш., $\lambda = 78^\circ40' - 80^\circ10'$ в.д. за период с 1950 г. по 2012 г. (рисунок 4).

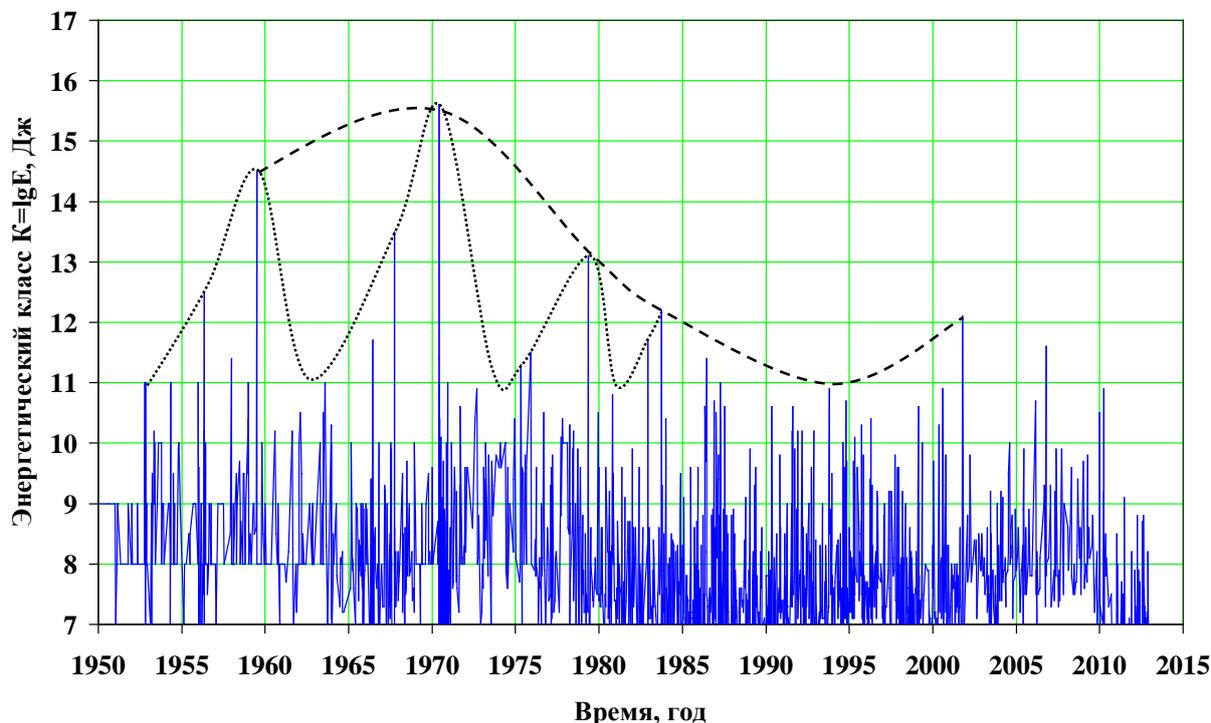


Рис.4. Последовательность проявления землетрясений с $K > 7$ и цикличность периодов активизации за период 1950-2012 гг. в квадрате $\varphi = 42^\circ - 43^\circ$ с.ш., $\lambda = 78^\circ40' - 80^\circ10'$ в.д.

С 1956 г. наступил период активизации. В 1959 г. наблюдалось экстремальное значение энергетического класса $K=14,5$, а в 1970 г. – пиковое значение $K=15,6$, т.е. период подъема активизации сопровождался Сарыкамышским землетрясением. После наблюдался спад активизации, в 1979 г. и 1983 г. отмечались экстремальные значения энергетического класса $K=13,1$ и $12,2$, соответственно. На фоне периода активизации проявились периоды относительного понижения сейсмичности. С 1984 г. по 2001 г. проявилось затишье. С 2001 г. снова наступил период активизации с проявлением землетрясения с $K=12,1$, который мог выражать вероятность ожидаемого сильного землетрясения в долгосрочном плане.

Время и энергию ожидаемого землетрясения можно определить на основе графика **изменения кумулятивной сейсмической энергии** за 1950-2012 гг. и за 1971-2012 гг. в квадрате $\varphi = 42^\circ - 43^\circ$ с.ш., $\lambda = 78^\circ40' - 80^\circ10'$ в.д. (рисунок 5).

График кумулятивной сейсмической энергии неровный. За период 1950-2012 гг. имеет линейный тренд:

$$E_{\text{кум}} = (0,5209t - 995,03) * 10^{14}, \text{ Дж.}$$

В 2012 г. значение $E_{\text{кум}}=43,54 \times 10^{14}$ Дж. Верхний и нижний пределы флуктуации очерчиваются парой параллельных прямых. Верхняя прямая линия выражается формулой:

$$E = (0,5209t - 983,05) * 10^{14}, \text{ Дж.}$$

Разница между верхним пределом (верхней линией) и суммарным количеством энергии в данное время представляла максимальную энергию, которая может высвободиться при землетрясениях в определенное будущее время. Такая разница в конце 2012 г. составляла около $(65,5-43,5) * 10^{14}$ Дж, т.е. $2 * 10^{15}$ Дж и представляла собой вероятную величину энергии ожидаемого сильного землетрясения. На графике кумулятивной сейсмической энергии после Сарыкамышского землетрясения за 1971-2012 гг. достаточно четко выделяется пе-

риод затишья с 1984 г. до 2001 г. с накоплением дефицита высвобождаемой сейсмической энергии, и период активизации с 2001 г., т.е. периода подготовки ожидаемого землетрясения в течение уже около 12 лет.

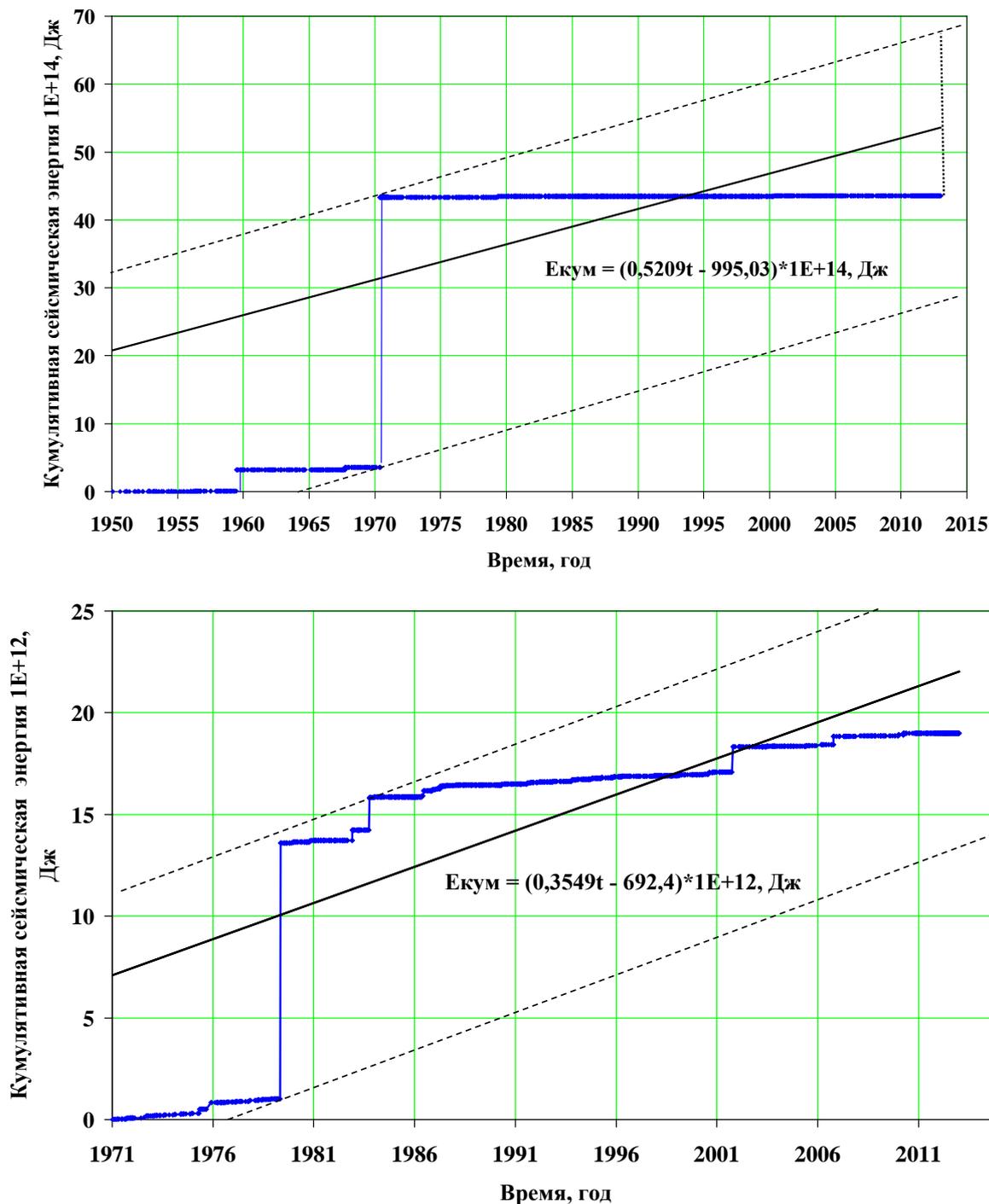


Рис.5. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобождаемая при землетрясениях с $K > 7$ в квадрате $\varphi = 42^\circ - 43^\circ$ с.ш., $\lambda = 78^\circ 40' - 80^\circ 10'$ в.д.

Локализацию времени ожидаемого землетрясения в среднесрочном плане можно проводить на основе слежения последовательности проявления землетрясений на большой территории, в частности, в Тянь-Шане и прилегающих районах Казахского щита, Тарима, Памира - в квадрате $\varphi = 39^\circ - 44^\circ$ с.ш., $\lambda = 69^\circ - 81^\circ$ в.д., с начала 2012 г. (рисунок 6).

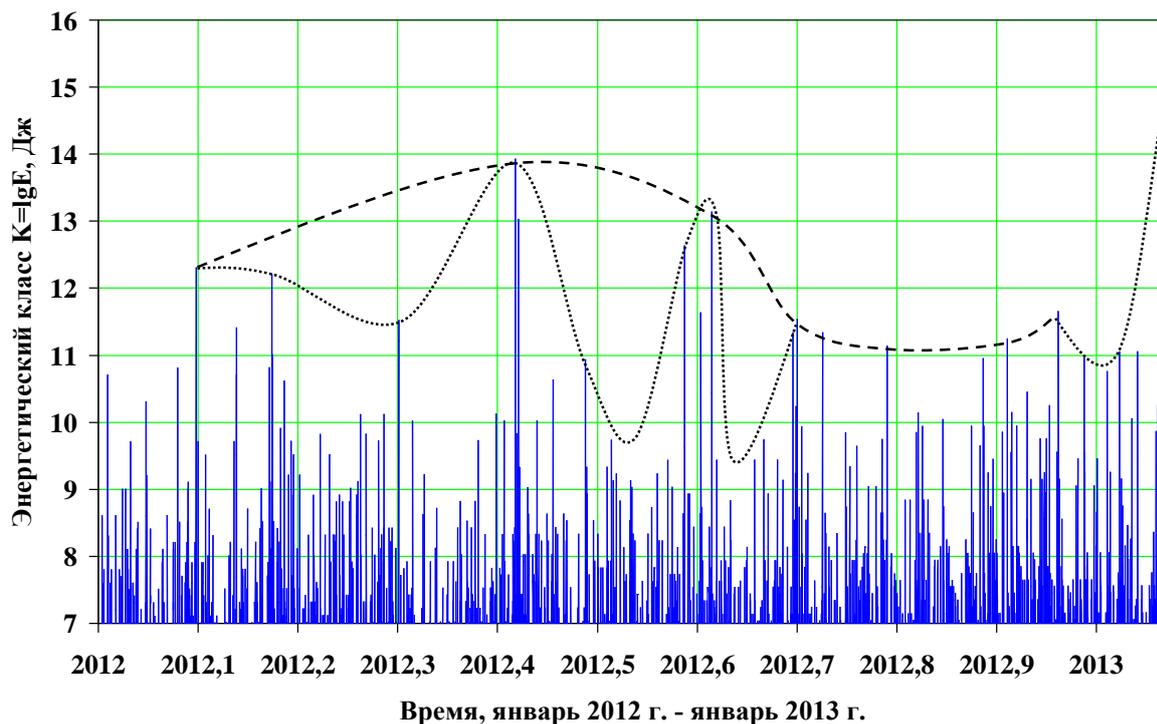


Рис.6. Последовательность проявления землетрясений с $K > 7$ и цикличность периодов сейсмической активизации Тянь-Шаня и прилегающих районов Казахстанского щита, Тарима, Памира в квадрате $\varphi = 39^\circ - 44^\circ$ с.ш., $\lambda = 69^\circ - 81^\circ$ в.д. за период с января 2012 г.

С 5 февраля наступил период активизации, проявилось землетрясение с $K=12,3$. 30 мая активизация достигла максимума и проявилось землетрясение с $K=13,9$. Далее наблюдался спад активизации, 11 августа и 9 сентября проявились землетрясения с $K=13,1$ и $11,5$, соответственно. На фоне периода активизации отмечались периоды понижения сейсмичности. Экстремальные значения энергетического класса повторялись через 3 месяца, 2 месяца и один месяц. В сентябре наступил период затишья с продолжительностью по 15 декабря. С 16 декабря снова отмечался период активизации с проявлением землетрясения с $K=11,6$. Следовательно, время повышенной вероятности ожидаемого землетрясения составляло около 1-3 месяцев. На рисунке 7 приведен график кумулятивной сейсмической энергии, высвобожденной при землетрясениях с $K > 7$ Тянь-Шаня и прилегающих районов Казахстанского щита, Тарима, Памира в квадрате $\varphi = 39^\circ - 44^\circ$ с.ш., $\lambda = 69^\circ - 81^\circ$ в.д. с января 2012 г. График неровно-ступенчатый имеет линейный тренд:

$$E_{\text{кум}} = (0,0042t - 0,1609) * 10^{14}, \text{ Дж.}$$

Верхний и нижний пределы флуктуации очерчиваются парой прямых линий. Значение суммарной сейсмической энергии в конце 2012 г. составляет $E_{\text{кум}} = 1,13 * 10^{14}$ Дж. Верхняя линия выражается формулой:

$$E_{\text{кум}} = (0,0042t + 0,3024) * 10^{14}, \text{ Дж,}$$

а нижняя линия – формулой:

$$E_{\text{кум}} = (0,0042t - 0,587) * 10^{14}, \text{ Дж.}$$

Разница между верхней линией и суммарной энергией в конце 2012 г. составляет около $(1,84 - 1,13) * 10^{14} = 0,706 * 10^{14}$ Дж, что представляет собой максимальную энергию возможного землетрясения в начале января 2013 г. Можно оценить максимальное время ожидания,

если рассмотреть разницу времени от последнего момента высвобождения энергии до нижней прямой по линии параллельной оси времени. В данном случае вероятное максимальное время ожидания – до начала февраля 2013 г.

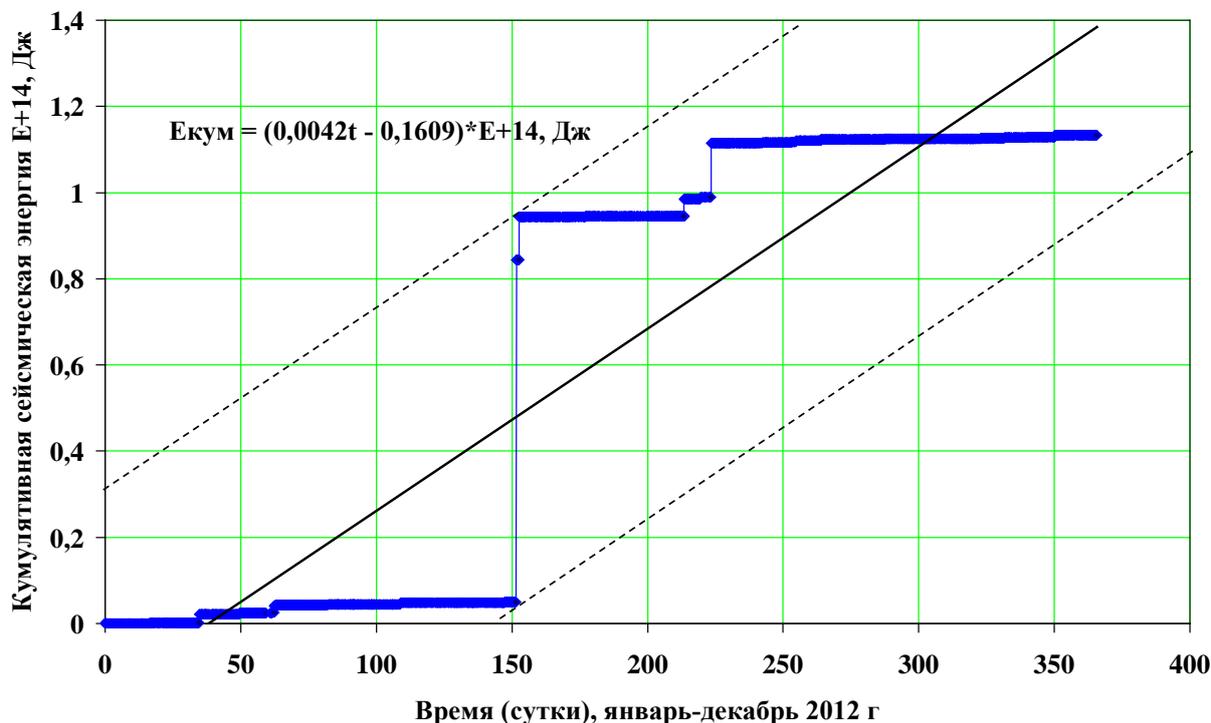


Рис.7. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с $K > 7$ Тянь-Шаня и прилегающих районов Казахстанского щита, Тарима, Памира в квадрате $\varphi = 39^\circ - 44^\circ$ с.ш., $\lambda = 69^\circ - 81^\circ$ в.д. с января 2012 г.

Заключение

1. Вышеперечисленные сейсмологические параметры дали возможность достаточно точно определить вероятную силу, место, время ожидаемого землетрясения в долгосрочном и среднесрочном планах, которые подтверждены Каркыра-Сарыджазским землетрясением (30 января 2013 г.). Прослежены особенности динамической сегментации Предвосточно-Терской активной разлома и особенности подготовки Каркыра-Сарыджазского землетрясения;
2. Разработана методика последовательной оценки долго- и среднесрочной сейсмической опасности. Полученные результаты могут быть основой для предупреждения сейсмической чрезвычайной ситуации и для принятия превентивных мер с целью уменьшения последствий сильного землетрясения.

Литература

1. Абдрахматов К.Е., Омуралиев М., Омуралиева А., Молдобекова С. Возможность предупреждения сейсмических чрезвычайных ситуаций на примере Каннского землетрясения 2011 г. Баткенской области Кыргызстана. //Известия НАН КР, 2012. - №4. -С. 80-82.
2. Омуралиев М., Омуралиева А., Молдобекова С. Динамическая сегментация активных разломов и модель развития очага землетрясения Тянь-Шаня. //Сборник материалов четвертого международного симпозиума 15-20 июня 2008 г. «Геодинамика внутриконтинентальных разломов».

- тинентальных орогенов и геоэкологические проблемы». Москва-Бишкек, 2009.- С. 446-452.
3. Омуралиев М., Омуралиева А., Першина Е.В. Модель подготовки землетрясения и модель очага. Кыргызпатент, Авторское свидетельство №2033.
 4. Омуралиев М., Омуралиева А., Ачакеев Э.А. Масштабный закон периодичности проявления и повторяемости землетрясений. Кыргызпатент, Авторское свидетельство №2037.
 5. Омуралиев М., Омуралиева А. Сегментация и сейсмическая опасность зоны Таласо-Ферганского разлома Тянь-Шаня. //Наука и новые технологии, 2012.- №3.- С.70-83.
 6. Омуралиев М., Омуралиева А., Ачакеев Э.А. Последовательность проявления исторических землетрясений Средней Азии. //Известия Вузов, 2012.- №3.- С.49-57.
 7. Омуралиев М., Омуралиева А., Ачакеев Э.А. Динамика сейсмичности и сейсмогенных разрывов Западного и Центрального блоков Тянь-Шаня. //Наука и новые технологии, 2012.- №4.- С.56-63.
 8. Омуралиев М., Омуралиева А., Ачакеев Э.А. Последовательность землетрясений и динамика сейсмогенных разрывов Кыргызской части Тянь-Шаня и прилегающих районов Тарима, Памира и Казахстанского щита. //Наука и новые технологии, 2012.- №4.- С.69-74.