

УДК 550:34

Абдрахматов К.Е., Мукамбаев А.С., Аширов Б.М.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЯНЬ-ШАНЯ НА ОСНОВЕ ДАНЫХ ОБ АКТИВНЫХ РАЗЛОМАХ

Аннотация. Предполагается, что поведение активных разломов Центральной части Тянь-Шаня укладывается в рамки теории «характерного» землетрясения и что большая часть упругих напряжений в верхней коре реализуется проявлением сейсмических событий со смещением по падению равным 2 – 4 м и магнитудой $M_w = 6.9 - 7.4$.

Ключевые слова: разлом, землетрясение, траншея, смещение.

ТЯНЬ-ШАНДЫН СЕЙСМИКАЛЫК КОРКУНУЧУНА АКТИВДҮҮ ЖАРАҢКАЛАР ЖӨНҮНДӨ МААЛЫМАТТАРДЫН НЕГИЗИНДЕ БАА БЕРҮҮ

Кыскача мазмуну. Борбордук Тянь-Шандын активдүү жаракалардын жүрүм-туруму «характердүү жер титирөө» теориясынын алкагына тиешелүү. Ушул аймакта топтолгон ийкемдүү чыңалуулардын бошолушу катуу, кубаттуулугу $M_w = 6.9 - 7.4$ жеткен жана жер үстүндө 2 – 4 м каптал жаранкалар менен суруттонгон жер титирөөлөр менен аныкталат.

Негизги сөздөр: жер титирөө, жылышып кетүү, жараңка, траншея.

TIEN SHAN SEISMIC HAZARD ASSESSMENT ON THE BASE OF ACTIVE FAULT DATA

Abstract. It is assumed that the behavior of active faults in the Central part of the Tien Shan falls within the framework of the theory of «characteristic» earthquake and that most of the elastic stresses in the upper crust are realized by of seismic events with a dip-slip $\sim 2 - 4$ m and a magnitude $M_w = 6.9 - 7.4$.

Keywords: fault, earthquake, trench, displacement.

Палеосейсмологические данные, полученные нашими исследованиями в разных частях Тянь-Шаня [1, 2, 3, 4, 5, 6] показывают, что здесь происходили сильные сейсмические события со средним интервалом повторяемости 1000 - 5000 лет, приведшие к возникновению поверхностных разрывов со средним смещением 2 - 4 м. Однако, эти данные не отрицают возможности наличия и более слабых и более сильных событий и не включают событий, которые не приводили в появлению сеймотектонических нарушений. Стратиграфические методы, которые использовались для идентификации отдельных землетрясений, не позволяют установить слабые события, или события с коротким интервалом повторяемости. Многие исторические землетрясения на Тянь-Шане не имели поверхностных разрывов или же продуцировали разрывы, которые были намного короче реальной величины очага [7].

Отметим, что несмотря на определённые трудности в расшифровке стратиграфических доказательств землетрясений в траншеях и террасах, имеются палеосейсмические данные и исторические сведения о событиях, приведших к вспарыванию земной поверхности на 2 - 4 м, которые доказывают справедливость

гипотезы «характерных» землетрясений. На рисунке 1 приведена схема, показывающая распределение сильных исторических сейсмических событиях, произошедших за последние несколько столетий.

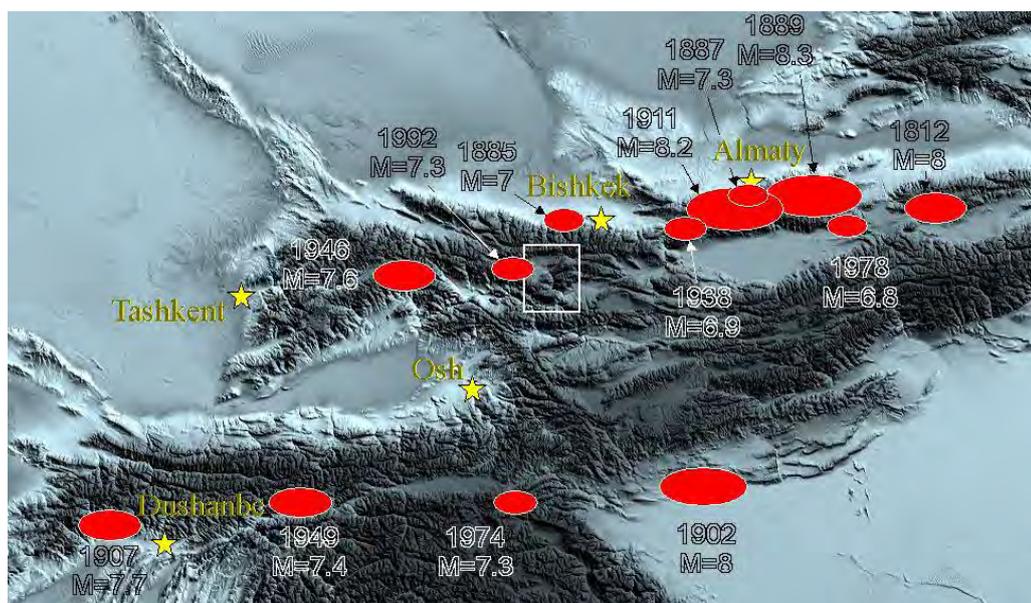


Рисунок 1. Сильнейшие исторические землетрясения Тянь-Шаня. Цифрами обозначены моментная магнитуда и год возникновения землетрясения.

В траншее, пройденной в долине р. Сокулук (Чуйская впадина) в зоне Иссык-Атинского разлома, имеются детальные свидетельства поверхностных смещений при Беловодском землетрясении (1885 г.), при котором возник поверхностный разрыв протяжённостью около 21 км [8] (Игнатъев, 1886). Смещение по падению, измеренное в траншее, составляет 3.5 м [1]. Магнитуда этого землетрясения, оценённая по его интенсивности сотрясений [9], составляет 6.9 ± 0.5 .

В соседней долине (р. Джеламыш) другая траншея, пройденная в зоне того разлома, показала смещения в 3 - 4 м при обнаружении очагов, по меньшей мере, трёх землетрясениях, имевших место 10.5 ± 1.1 тыс. лет назад, $\sim 5.6 \pm 1.0$ тыс. лет назад и $\sim 630 \pm 100$ лет назад [5].

При Суусамырском землетрясении 1992 года с $M=7.3$ общая длина поверхностных сейсмотектонических разрывов не превышала 4 км, в то время как распределение афтершоков показывает, что область очага землетрясения имела ширину около 23 км и протяжённость около 50 км при угле падения разлома около 50° к югу [10]. Максимальное смещение, измеренное на восточном сегменте, составляло 4.2 м, а на трёх отрезках западного сегмента колебалось от 1.8 до 0.8 м [7].

Новейшие исследования, проведённые в зоне Алматинского разлома (Илийская впадина), показали [4], что среднее вертикальное смещение при сильнейших землетрясениях, имевших место в зоне указанного разлома составляли около 3 м.

В Атбашинской впадине, в зоне Ойнакджарского разлома, в стенках траншеи имеются свидетельства, по меньшей мере, двух землетрясений и даже, возможно, 3 или 4 землетрясений в течение последних 10000 лет. Реконструкция разрывов предполагает, как минимум, 2-3-метровое смещение при каждом событии. Среднее смещение при каждом событии, если рассматривать 2 или 4 землетрясения равно 4.5 м или 2.3 м соответственно [1].

Таким образом, практически на всех активных разломах, изученных нами в течение последних 15 - 20 лет, среднее смещение при отдельном землетрясении составляло 2 - 4 метра. По аналогии с современным Суусамырским землетрясением 1992 года можно предполагать, что событие с $M = 7.3$ возникало на каждом из упомянутых разломов.

Магнитуда палеоземлетрясений часто оценивается путём сравнения параметров поверхностных деформаций, возникающих при исторических землетрясениях с известной магнитудой с дислокациями, которые как предполагается, возникли при событиях прошлого [11]. Приложение таких эмпирических зависимостей к данным, полученным нами в Центральном Тянь-Шане проблематично по ряду причин. Во-первых, хотя данные представленные выше могут оценивать смещение при палеоземлетрясениях, регрессионные зависимости магнитуда – смещение, обычно используемые для взбросов [11], не являются достоверными (значимыми) на 95% - доверительном уровне [12]. Во-вторых, замеры обычно делаются только в одном месте. Однако, как показано ранее [13], величина смещения обычно варьирует вдоль разрывов и требуется несколько измерений, для того чтобы иметь хорошую точность эмпирических зависимостей. Поэтому, хотя зависимости между длиной поверхностного разрыва и магнитудой могут быть значимыми, ощущается недостаток данных по длине поверхностных разрывов палеособытий. Хотя перерывы в трассе разлома, изменения в ориентации разлома и пересечения активных складок и разломов могут быть потенциальными барьерами, препятствующими распространению разрывов, практика показывает, что оценки величины палеоземлетрясений, основанные на геологических или геометрических сегментах плохо обоснованы [14].

Тем не менее, учитывая приведённые замечания, отметим, что из эмпирических регрессий [12] следует, что среднее смещение 2 - 4 м совпадает с землетрясением с $M_w = 7.2 - 7.4$, а максимальное смещение 2 - 4 м с землетрясением с $M_w = 6.9 - 7.1$. Предварительные данные показывают, что при палеосейсмических исследованиях обычно отбираются места, где смещение близко к среднему или максимальному, и где основные особенности и параметры событий сохранились.

Для того, чтобы оценить повторяемость сильных землетрясений в Центральном Тянь-Шане, мы принимаем, что поведение активных разломов этой территории укладывается в рамки теории «характерного» землетрясения и что большая часть упругих напряжений в верхней коре реализуется проявлением событий со смещением по падению равным 2 - 4 м и магнитудой $M_w = 6.9 - 7.4$. Мы не рассматриваем более сильные события и ограничиваем анализ разломами, показанными на рисунке 2. Эмпирическая зависимость между длиной разлома и моментной магнитудой [12] предполагает, что землетрясение с $M_w = 6.9-7.4$ продуцирует поверхностный разрыв длиной 49 - 65 км. Указанная зависимость предполагает, что землетрясение с $M_w = 7.3$ продуцирует разрыв протяжённостью в 61 км, что близко к размерам очага Суусамырского землетрясения (1992 г.) [10].

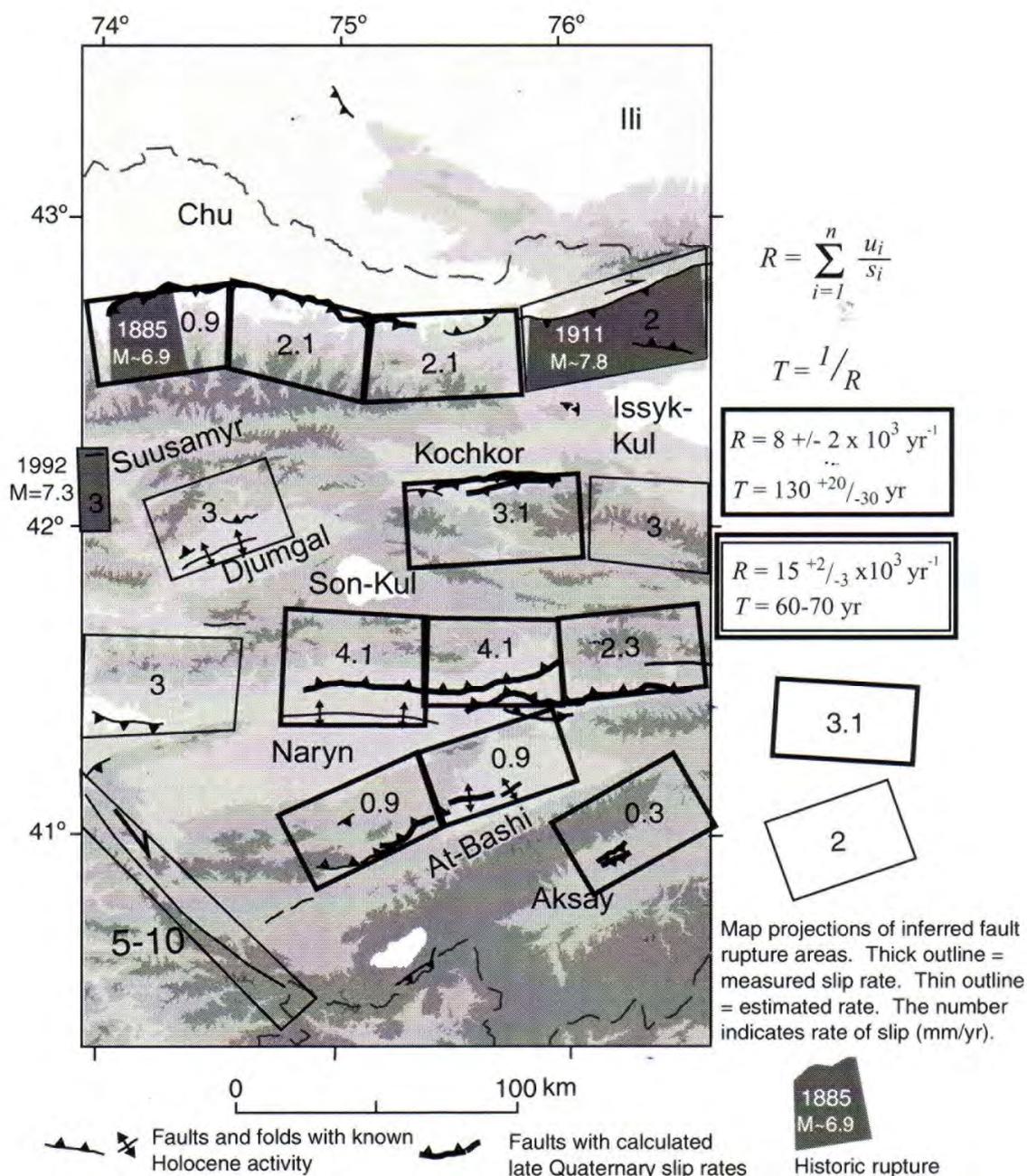


Рисунок 2. Карта, показывающая области разломов, которые гипотетически могут быть активизированы при сильных землетрясениях (см. текст). Прямоугольники с толстыми линиями маркируют области детально изученных разломов. Цифры внутри прямоугольников показывают величину скорости смещения, u . Цифры внутри прямоугольников, ограниченных тонкой линией, показывают оценённую скорость смещений разломов, не изученных в данной работе. Скорость смещений по Таласо-Ферганскому разлому предполагается 5-10 мм/год, согласно [15]. Землетрясения на каждом сегменте разлома предполагаются способными продуцировать смещения в 2 - 4 м. Сумма отношений u/d для каждого источника вспарывания обеспечивает величину повторения R сильных землетрясений в регионе. Предполагаемые области вспарывания и магнитуда землетрясений, происшедших в 1885, 1911 и 1992 годах, которые лежат в пределах этой

карты, показаны серыми прямоугольниками. Анализ предполагает интервал повторяемости $T = 100-150$ лет для разломов, изученных нами (толстые линии) и $T = 60 - 70$ лет для всех источников, показанных на карте.

Мы разделили активные разломы, закартированные нами в пределах Центрального Тянь-Шаня на 16 сегментов длиной 50 - 65 км (рисунок 2) и предположили, что каждый сегмент может вспарываться независимо. Для более протяжённых разломов мы выбирали границы сегментов, основываясь на расстояниях от концов разлома или базируясь на изменениях в структурном стиле. Обозначим скорость смещения каждого сегмента как u . Для сегментов с измеренной скоростью вероятность распределения скорости - U . Для других сегментов мы предполагаем величину u , основанную на скорости смещения по простиранию $u \pm 1\text{мм}$ неопределённости (рисунок 2). Для сегментов Таласо-Ферганского разлома мы предполагаем скорость в 5-10 мм/год [15]. Вдоль каждого из n разломов мы предполагаем, что все смещение возникает при землетрясениях со смещениями s : $2\text{ м} < s < 4\text{ м}$. Повторяемость землетрясений R равна:

$$R = \sum u_i - S_i$$

Интервал повторения T равен $1/R$. Расчёты показывают, что события с $M_w = 6.9-7.4$ возникают каждые 60 - 70 лет в пределах изученной области. Исторически три землетрясения с поверхностными разрывами произошли здесь с 1885 года, но таких сильных событий не было в 19 столетии. Следовательно, на первый взгляд, указанный интервал повторяемости сравним с историческими данными. Однако необходимо иметь в виду, что в плохо населённых районах исторические записи обычно короче и менее полные, чем записи в наиболее плотно населённых районах.

Литература

1. Абдрахматов К.Е., С. Томпсон, Р. Уилдон. Активная тектоника Тянь-Шаня. Бишкек, Илим, 2007, 72 с.
2. Абдрахматов К.Е. Тектонические движения позднего плейстоцена и голоцена территории Кыргызской Республики. Автореф. дис....доктора геол - мин. наук., Бишкек, Илим, 1995, 35с.
3. Абдрахматов К.Е., Томсон С., Уилдон Р., Дельво Д., Клеркс Ж. Активные разломы Тянь-Шаня. // Наука и новые технологии. №2, 2001, Бишкек.
4. Grützner C., Walker R. T., Abdrakhmatov K. E., Mukambaev A., Elliott A. J. & Elliott J. R. Active tectonics around Almaty and along the Zailisky Alatau range front. Tectonics, 36. (2017), <https://doi.org/10.1002/2017TC00465>.
5. M. Patyniak, A. Landgraf, A. Dzhumabaeva, K.E. Abdrakhmatov S. Rosenwinkel, O. Korup, F. Preusser, J. Fohlmeister, J. R. Arrowsmith, M. R. Strecker. Paleoseismic Record of Three Holocene Earthquakes Rupturing the Issyk-Ata Fault near Bishkek, North Kyrgyzstan. Bulletin of the Seismological Society of America (2017) 107 (6): 2721-2737.
6. Campbell G.E., Walker R.T., Abdrakhmatov K.E., Jackson J.A., Elliot J.R., Mackenzie D., Middleton T. and Schwenninger J.L. 2015. Great earthquakes in low-strain-rate continental interiors: an example from SE Kazakhstan, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 120(8), 5507-5534.
7. Ghose S., Mellors R. J., Korjenkov A.M., Hamburger M.W., Pavlis T.L., Pavlis G.L., Omuraliev M., Mamyrov E. and Muraliev A.R., 1997. The $M (sub s) = 7.3$ 1992 Suusamyr, Kyrgyzstan, earthquake in the Tien Shan; 2, Aftershock focal mechanisms and

- surface deformation: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 87, no. 1, p. 23-38.
8. Игнатъев И.В. Землетрясение в Токмакском уезде в 1885 году // Изв. РГО, 1886, т. XXII, вып. 2.
 9. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М., Наука, 1977, 536 с.
 10. Mellors R. J., Vernon F. L., Pavlis G. L., Abers G. A., Hamburger M. W., Ghose S. and Piasov B., 1997, The M (sub s) = 7.3 1992 Suusamyр, Kyrgyzstan, earthquake: 1. Constraints on fault geometry and source parameters based on aftershocks and body-wave modeling: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 87, no. 1, p. 11-22.
 11. Никонов А. А. Голоценовые и современные движения земной коры М., Наука, 1977, 240 с.
 12. Wells D.L. and Coppersmith K. J, 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement: Bulletin of the Seismological Society of America, v.84, no.4. p. 974-1002.
 13. Стром А.А. Сопоставление параметров современных и палеосейсмических дислокаций. Физика Земли, 1993, №9 с. 38-4
 14. Палеосейсмология. Коллектив авторов под ред. Джеймса П. МакКалпина: в 2-х томах. Том 2. Пер. с англ. И. А. Басов, И. Ю. Лободенко, А. Л. Стром; предисл. к рус. изд. и науч. ред. А. Л. Стром. – М.; Научный мир, 2011. – 400 с.
 15. Трифионов В.Г. Неотектоника Евразии, М., Научный мир, 1999, 252 с.

Рецензент: к. г.-мин. наук, М. О. Омуралиев