

УДК 550.34

А бдрахматов К.Е., Джумабаева А.Б.,
Байкулов С., Канаев Н.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ МЕТОДОМ «ТРЕНЧИНГА»

Аннотация: В статье приводятся предварительные результаты изучения активных разломов Чуйской впадины методом проходки траншей («тренчинг»). Установлено, что за последние 5000 лет в изученном районе, включающем Чонкурчакскую впадину и ограниченном долинами рек Аламедин на востоке и Каинды на западе, произошло четыре сильных землетрясения, вызвавших поверхностные нарушения как в зоне Иссык-Атинского, так и в зоне Чонкурчакского разломов. При этом «стабильные» периоды, протяжённостью в несколько тысяч лет сменяются активными периодами, продолжительностью в сотни лет, в течении которых происходят крупные землетрясения.

Ключевые слова: палеосейсмологические исследования, активный разлом, поверхностные нарушения, метод тренчинг, скорость смещения разлома.

«ТРЕНЧИНГ» МЕТОДУ МЕНЕН ЧҮЙ ОЙДУЦУНУН АКТИВДҮҮ ЖАРАҢКАЛАРЫН ИЗИЛДӨӨНҮН АЛДЫН АЛА АЛЫНГАН ЖҪЫЙЫНТЫКТАРЫ

Кыскача мазмуну: Макалада траншея («тренчинг») өткөрүү методу менен Чүй ойдуңунун активдүү жараңкаларын изилдөөнүн алдын ала жыйынтыктары келтирилет. Акыркы 5000 жыл ичинде Чонкурчак ойдуңун камтыган жана чыгышында Аламүдүн жана батышта Кайыңды сууларынын өрөөндөрү менен чектелген изилденген райондо, Ысык-Ата жана, Чонкурчак жараңкасынын зонасындагы сыяктуу эле үстүртөн бузулууларды пайда кылган төрт күчтүү жер титирөө болуп өткөндүгү аныкталды. Мында бир нече миңдеген жылдарга созулган «туруктуу» узактыгындагы мезгилдер, жүздөгөн жылдарга созулган, күчтүү сейсмоокуялар болуп өтө турган активдүү мезгилдер менен алмашылат.

Түйүндүү сөздөр: палеосейсмологиялык изилдөөлөр, кыймылдуу жараңка, тектирчелер, тренчинг ыкмасы, кыймылдуу жараңканын ылдамдыгы.

PRELIMINARY RESULTS OF TRENCHING ON ACTIVE FAULTS OF CHU BASIN

Abstract: Preliminary results of trenching on active faults of Chu basin are shown. It is clear that stable periods with duration a few thousand years changed with active periods with occurrence of strong earthquakes. We discovered that during of last 5000 years at least 4 events with surface rupturing were took place.

Key words: paleoseismic investigation, active fault, surface ruptures, trenching method, rate of fault displacement.

Для оценки скорости позднеплейстоценовых смещений и для целей палеосейсмологического анализа в зоне Иссык-Атинского разлома было пройдено несколько траншей. Одна из таких траншей пройдена вкрест простирания молодого уступа высотой 7.3

м в долине р. Аламедин [1,2]. Предполагается, что в стенках траншеи сохранились следы по меньшей мере двух землетрясений. Одно из них произошло в промежутке между 2830 ± 50 лет и 5100 лет (датировки с возрастом 5130 ± 50 и 5250 ± 60 лет). Другое – между 1850 ± 40 лет и 2830 ± 50 лет, при условии, что слой с возрастом 1850 ± 40 лет действительно является коллювиальным клином, а не верхней почвенной частью толщи суглинка. В противном случае, сейсмическое событие могло произойти после формирования этой толщи, и соответственно возраст события должен быть моложе, чем 1850 ± 40 лет.

Датировка события, маркирующего наиболее древнее событие верхнего обратного уступа и совпадающая с возрастом среднего из обратных уступов в зоне Чонкурчакского разлома [3] весьма близка ко времени проявления (2450 ± 50 до н. э.) наиболее раннего смещения в зоне Иссык-Атинского разлома. Более древнее землетрясение в этом районе произошло, по-видимому, около 5 тыс. лет тому назад и его последствия отражены только в последовательности отложений верхнего из обратных уступов, развитых в Чонкурчакской впадины. Наиболее древнее событие, выявленное в траншее, пройденной в зоне Иссык-Атинского разлома по возрасту явно моложе, чем событие, отражённое в отложениях верхней из дислокаций, развитых в Чонкурчаке.

Данные по траншее, пройденной в долине р. Сокулук [3], показывают, что в последние 2300-2700 лет в зоне Иссык-Атинского разлома произошло два сильных землетрясения, включая Беловодское 1885 года, с магнитудой 6.9-7.5. Точную дату предыдущих событий невозможно восстановить из-за отсутствия кондиционных данных.

Анализ палеосейсмологических данных (рисунок 1) позволяет предположить, что около 1850-2800 лет назад в Чуйской впадине произошло сильное землетрясение. По всей видимости, возникший при этом поверхностный разрыв объединил два сегмента (А и В, рисунок 2) Иссык-Атинского разлома, выпоровшись на протяжении до 60-75 км. Кроме того, общая протяжённость объединённого сегмента Иссык-Атинского разлома (60-70 км) сопоставима с протяжённостью очаговой зоны Сусамырского землетрясения ($M=7.3$) 1992 года (50-60 км).

Кроме того, имеются следы более древнего события, произошедшего около 5000 лет назад. При этом вспарывание поверхностного разрыва отмечается в пределах Иссык-Атинского разлома (сегмент В, рисунок 2) и в зоне Чонкурчакского разлома, в районе одноимённой впадины. К сожалению, следов этого события в сегменте А не найдено, однако, как указывалось выше, здесь имеются свидетельства ещё, по меньшей мере, двух землетрясений, кроме события, которое датировано возрастом 2300-2700 лет. Имеется большая вероятность того, что одно из них совпадает по возрасту (5000 лет назад) с событием, зафиксированным в траншее, пройденной на сегменте «В». Если это действительно так, то можно констатировать, что сегменты «А» и «В» являются сегментами одного большого отрезка Иссык-Атинского разлома. Запланированная траншея, которую мы намереваемся пройти в пределах сегмента «Б», позволит решить этот вопрос.

Таким образом, за последние 5000 лет в изученном районе, включающем Чонкурчакскую впадину и ограниченном долинами рек Аламедин на востоке и Каинды на западе, произошло четыре сильных землетрясения, вызвавших поверхностные нарушения как в зоне Иссык-Атинского, так и в зоне Чонкурчакского разломов. При этом средняя повторяемость сильных землетрясений с $M=6.09-7.5$ составляет 1250 лет.

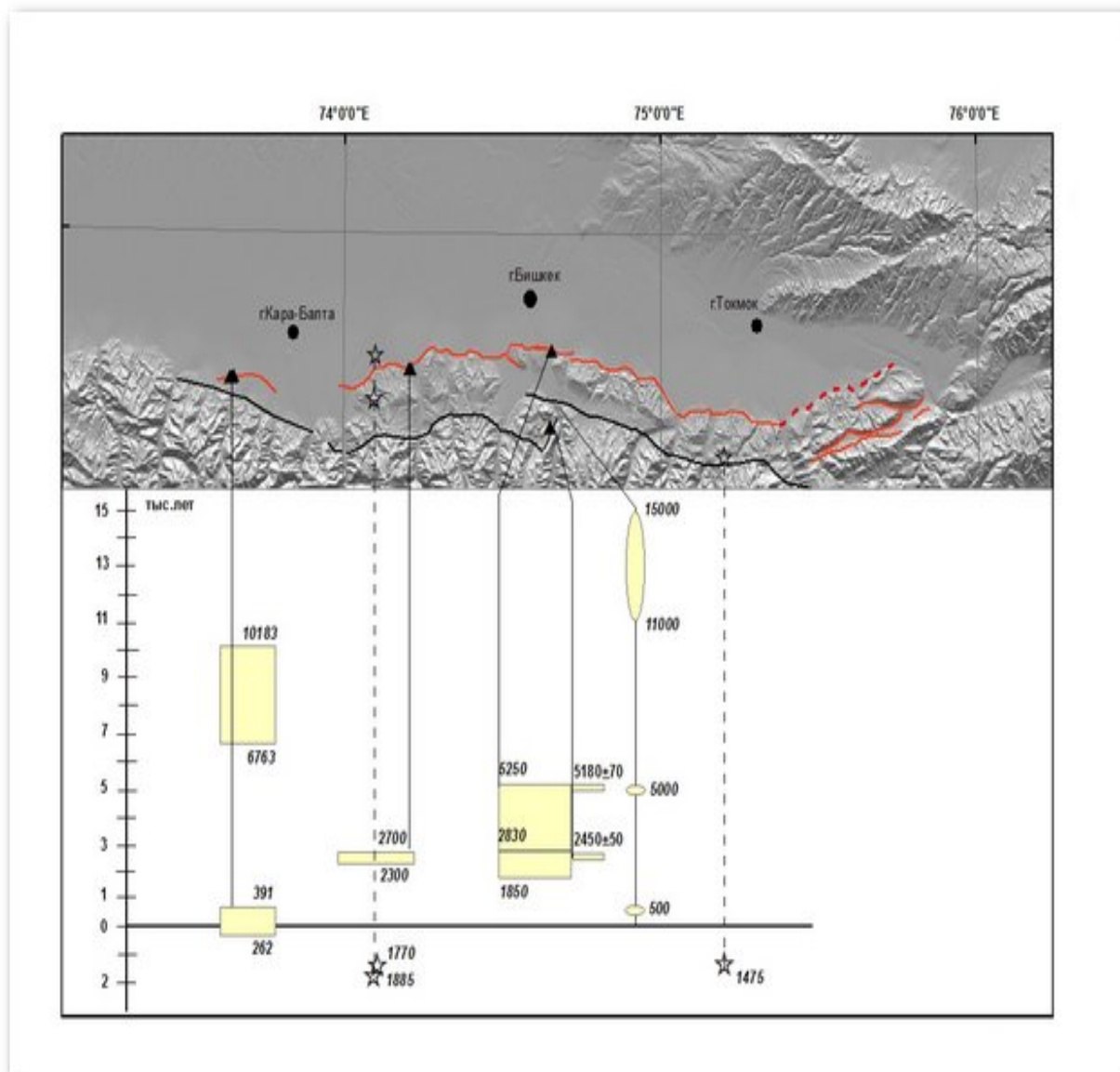


Рисунок 1. Пространственно-временная диаграмма активных разломов Чуйской впадины. Оценки возрастов крупнейших землетрясений. Вверху – карта активных разломов. Вертикальными линиями обозначено расположение траншей, где отобраны образцы на абсолютный возраст, при этом верхний конец линии указывает на точное местоположение траншеи. Вертикальными штриховыми линиями показаны эпицентральные зоны современных землетрясений. На вертикальной оси отложен возраст в тыс. лет назад. Вертикальные размеры каждого прямоугольника соответствуют допустимым пределам возраста события, цифры рядом с прямоугольником – пределы возраста. Горизонтальные размеры соответствуют длине каждого сегмента, в пределах которого пройдена траншея. Эллипсами показан возраст событий, выявленный в траншее, пройденной в пределах Чонкурчакского разлома в одноимённой впадине. Подчеркнём, что две траншеи пройдены в пределах Чонкурчакского разлома и две в пределах Иссык-Атинского разлома. Прямоугольники на осевой линии внизу-исторические сильные землетрясения: Беловодские (1770 и 1885 гг.) и Баласагынское (1475 г.). Эллипс–возраст крупного оползня в долине р. Аламедин, вблизи от траншеи в Чонкурчакской впадине [3].

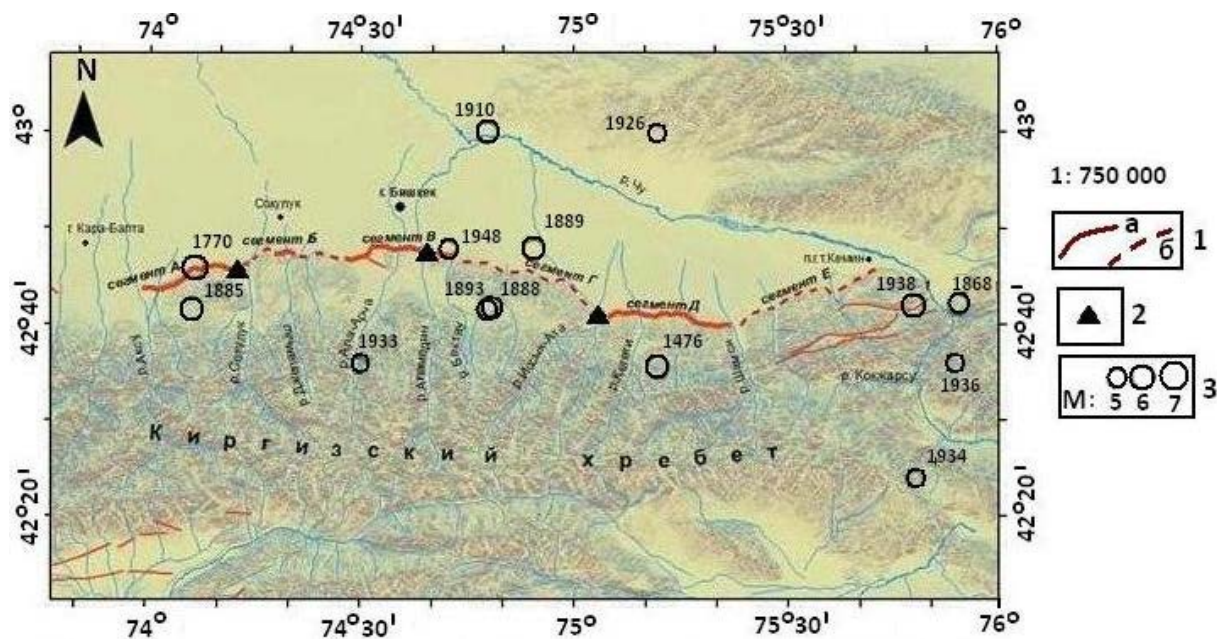


Рисунок 2. Сегментация Иссyk-Атинского разлома - южная часть Чуйской впадины. 1 – разломы: а - выраженные в рельефе в виде уступа, б - предполагаемые (без уступа); 2 – место расположения траншей; 3 – очаг сильного землетрясения (М - магнитуда).

Обращает на себя внимание отсутствие следов разрушительных землетрясений в период между 5000 лет назад и 11000 лет назад. Это может свидетельствовать как о потере данных о землетрясениях в это время, в связи с небольшой глубиной траншеи, так и о временной кластеризации событий с высокой магнитудой, связанных с зоной разлома. Кроме того, намечается определённый тренд в направлении с востока на запад: отсутствие событий с возрастом древнее 5-6 тыс. лет назад сменяется проявлением землетрясения с возрастом 6-10 тыс. лет назад в районе с. Панфиловка.

Что касается территории, расположенной восточнее долины р. Аламедин, то здесь пока не имеется данных, позволяющих судить о палеосейсмологии этого района. Если принимать во внимание, что аллювиальный покров голоценовой террасы в долине р. Иссyk-Ата не затронут смещениями, то можно предположить, что в последние 5-7 тыс. лет в зоне Иссyk-Атинского разлома сильных землетрясений с поверхностными смещениями не происходило.

Приведённые нами данные (рисунок 1), показывают, что существует определённая «временная кластеризация» сильных землетрясений в пограничной зоне между Чуйской впадиной и Киргизском хребтом.

Как указывает МакКалпин [4] термин «временная кластеризация» широко используется в палеосейсмологической литературе, где он, однако, характеризует два совершенно разных явления. В первом случае он описывает палеоземлетрясения, произошедшие на одном разломе аномально близко во времени (короткие промежутки между событиями), или *одноразломную временную кластеризацию*. Хотя порог повторяемости для выделения кластера редко определяется количественно, большинство исследователей субъективно определяют кластеры, если они образуют вторую, более кратковременную моду на гистограмме периодов повторяемости, или если интервалы времени для этого между событиями значительно короче (среднее -2σ), чем средняя повторяемость для этого разлома. Будучи свойственным только одиночному разлому, этот феномен может быть следствием действия либо внутренних, либо внешних факторов.

Во втором случае этот термин относится к палеоземлетрясениям, произошедшим через короткие промежутки времени в пределах группы разломов [4]. Это – *многоразломная временная кластеризация*, которая может иметь место, даже если повторяемость на каждом разломе в данной группе идеально периодична, при условии, что фазы в развитии разломов не совпадают. Таким образом, кластеры не являются следствием нерегулярной повторяемости по любому из разломов (как следствие внутренних причин), а возникают в результате некоторого взаимодействия между разломами (внешние причины). Если каждый разлом в группе имеет разные средние значения повторяемости и их дисперсию, в этой группе также проявляется кластеризация, но кластеры будут менее чёткими, чем в группе идеально периодических (но несинфазных) разломов. Многоразломная кластеризация проявляется в серии характерных землетрясений, разрывающих смежные сегменты разломов в течение короткого периода времени, за которыми следуют более продолжительные периоды покоя [5,6].

На одном разломе изменчивая повторяемость может быть вызвана либо внутренними, либо внешними механизмами [4]. Внутренние причины, предложенные в публикациях, включают постепенное нагружение точек на плоскости разлома (выступов) и «переключение режима» [7].

«Переключение режима» представляет собой внутреннее преобразование (самоупорядочение) разлома, при котором сейсмическая реакция систем длинных разломов с многочисленными швами чередуется в виде периодов высокой сейсмической активности, включающих кластеры крупных событий, и периодов низкой активности, в течение которых происходят только небольшие и средней величины землетрясения. Если последние ниже порога образования поверхностного разрыва, то они проявятся в хронологии палеоземлетрясений в виде асейсмических «брешей» [8]. Некоторые исследователи [7] предположили, что сложные разломы с многочисленными швами более склонны к самоупорядочению и демонстрируют неравномерную повторяемость.

Внешние причины изменчивости повторяемости на одном разломе включают возрастание и уменьшение коровой нагрузки, а также возможное влияние соседних разломов (передача напряжений). Коровая нагрузка оказывает влияние на разломы со смещением по падению, где происходят вертикальные подвижки. Согласно моделированию, в активно расширяющихся регионах временные кластеры возникают в результате изменений в нагрузке в верхней части коры в течение циклов оледенения – межледниковья [9].

Образование многоразломных временных кластеров предположительно связано с некоторыми типами передачи напряжений между разломами или их сегментам. В попытке разделить причины аperiodической повторяемости и кластеризации Кумамото и Хамада [10] изучили 23 последовательности палеоземлетрясений в Японии. Их детальные исследования не выявили отчётливых взаимоотношений между аperiodичностью сейсмогенерирующих разломов и следующими параметрами: тип разлома, длина поверхностных разрывов, активность разлома или период повторяемости. Однако они наблюдали слабую положительную корреляцию между аperiodичностью и числом активных разломов в пределах района радиусом 30 км вокруг данного разлома. Такая корреляция предполагает, что время возникновения характерных землетрясений на разломе находится под влиянием таких событий на соседнем разломах, которые, в свою очередь, нерегулярны. Чем больше имеется соседних разломов, которые влияют на рассматриваемый разлом, тем более неравномерной становится повторяемость на данном разломе. Это исключение косвенно свидетельствует о том, что передача напряжения является важным контролирующим фактором в отношении времени возникновения больших (высокомагнитудных) землетрясений [11].

Если принимать во внимание, что рассматриваемый Иссык-Атинский разлом - это единая линия, которая ограничивает предгорья, втянутые в поднятие Киргизского хребта в четвертичное время, то следуя геологическим признакам, эта линия может быть выделена в

виде единого сегмента. Следовательно, при оценке сейсмической опасности по геологическим данным, можно предполагать максимальную магнитуду возможных в этой зоне землетрясений, исходя из общей длины разлома – 150-160 км. Тогда максимальная магнитуда события должна быть чуть меньше магнитуды Кеминского землетрясения 1911 года, равная 8.3, при котором общая длина поверхностного разрыва, возникшего в результате этого события, составляла более 200 км.

Как показано выше, имеются признаки, свидетельствующие о том, что Иссык-Атинский разлом является структурой, образованной в результате слияния отдельных сегментов. Например, при Беловодском землетрясении 1885 года, на поверхности образовался разрыв, который протягивался вдоль низких предгорий, начиная от долины р. Сокулук к западу на протяжении около 20 верст (21.3 км) [12]. Этот участок разлома может называться «сейсмогенерирующим сегментом» или «очаговым сегментом» [4]. Поводом для применения этого термина является тот факт, что в траншее обнаружены свидетельства многократной приуроченности к разрыву палеосеймотектонических дислокаций.

Судя по описанию В. И. Игнатьева [12], при указанном землетрясении поверхностных смещений в зоне разлома (вдоль предгорий) в районе долины р. Аламедин или в долине р. Джеламыш не обнаружено. Таким образом, необходимо признать, что землетрясение с магнитудой 6.9 породило поверхностный разрыв протяжённостью всего в 22км! При этом эмпирическая зависимость между длиной разлома и моментной магнитудой [13] предполагает, что землетрясение с $M=6.9-7.4$ продуцирует поверхностный разрыв длиной 49-65 км.

Если принять, что возникший на поверхности разрыв является действительным отражением устойчивого сегмента, то тогда возникает определённое противоречие между предполагаемой длиной сегмента (22 км) и замерах смещений в траншее, пройденной в долине р. Сокулук (1.5 м при одном событии). Согласно данным [13] разрывы длиной 22 км могут иметь среднюю величину подвижки всего 0.5 м, что намного меньше по сравнению с наблюдаемыми значениями. Сегмент Б, расположенный в центральной части Иссык-Атинского разлома, протяжённостью всего 25 км, требует разрыва, протяжённостью не менее 50-65 км, для того, чтобы продуцировать среднее смещение в 2.4-2.9 м, замеренное в траншее, пройденной в долине р. Аламедин [3].

Однако тот факт, что исторические землетрясения имели протяжённость поверхностных разрывов около 22-25 км, вовсе не означает, что более ранние палеоземлетрясения не могли охватывать и смежные сегменты. Если эти события могли приводить к одновременному вспарыванию и соседних сегментов (или одного из них), то тогда разрыв мог иметь длину 50-80 км. Разрывы такой длины сопровождаются средним смещением 1.7 м, что намного ближе к высоте уступа, наблюдаемого в долине р. Сокулук.

Таким образом, необходимо проведение дополнительных исследований (тренинг) в районах, где предполагаются границы сегментов, с тем, чтобы уточнить возможность совместного вспарывания соседних сегментов.

Приведённые выше данные свидетельствуют о том, что для понимания сеймотектонических процессов в зоне Иссык-Атинского разлома, необходимо детальное изучение всего ансамбля активных разломов, расположенных в широкой полосе Северо-Тянь-Шаньского сейсмического пояса, поскольку такие подвижные зоны как Кемино-Чиликская зона активных разломов могут влиять на сейсмические характеристики соседних сегментов.

Литература

1. Chediya O.K., Abdrakhmatov K.E., Lemzin I.N., Mihel G. and Mikhailev V. Isikata, North Tien Shan Fault in the Holocene // Journal of Earthquake Prediction Research, 2000.-vol. 8. –P. 379–386.
2. Michel G.W., Reigber Ch. and Angermann D. EOS, 1997. – vol. 78.
3. Абдрахматов К.Е., Томпсон С., Уилдон Р. Активная тектоника Тянь-Шаня. – Бишкек, Илим. 2007. С.70.
4. Палеосейсмология. Коллектив авторов под ред. Джеймса П. Мак Калпина: 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, 400с.
5. Bell, J. W., Caskey, S. J., Ramelli, A. R., and Guerrieri, L. (2004). Pattern and rates of faulting in the Central Nevada seismic belt, and paleoseismic evidence for prior beltlike behavior. Bull. Seis. Soc. Am. 94(4)
6. Gomez, J. B., and Pacheco, A. F. (2004). The minimalist model of characteristic earthquakes as a useful tool for description of the recurrence of large earthquakes. Bull. Seis. Soc. Am. 94(5), 1960–1967.
7. Amit, R., Zilberman, E., Enzel, Y., and Porat, N. (2002). Paleoseismic evidence for time dependency of seismic response on a fault system in the southern Arava Valley, Dead Sea rift, Israel. Geol. Soc. Am. Bull. 114(2), 192-206.
8. Hartleb, R. D., Dolan, J. F., Kozaci, O., Akyus, H. S., and Seitz, G. G. (2006). A 2500-yr-long paleoseismologic record of large, infrequent earthquakes on the North Anatolian fault at Cukurcimen, Turkey. Geol. Soc. Am. Bull. 118 (7-8), 823-840.
9. Hampel, A., and Hetzel, R. (2006). Response of normal faults to glacial–interglacial fluctuations of ice and water masses on earth’s surface. J. Geophys. Res. 111, paper B06406 (doi: 10.1029/2005JB004124) 13 p.
10. Kumamoto, T., and Hamada, Y. (2005). Examination of aperiodicity parameters for the Brownian Passage Time model using intraplate paleoearthquake data in Japan. Active Fault Res. 25, 9–22.
11. Steacy, S., Gombert, J., and Cocco, M. (2005). Introduction to special section: Stress transfer, earthquake triggering, and time-dependent seismic hazard. J. Geophys. Res. 110, (doi: paper B05S01 10.1029/2005JB003692) 12 p.
12. Игнатъев И.В. Землетрясение в Токмакском уезде в 1885 году // Изв. РГО, 1886, т. XXII, вып. 2. С.156-164.
13. Wells D.L., Coppersmith K.J. Empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement // Bull. Seismol. Soc. Am.- 1994. – V. 84. -P. 974-1002.

Рецензент: к. г.-м.н. А.Б. Фортуна.