

УДК 550:34

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

ВРЕМЕННЫЕ КЛАСТЕРЫ В СЕЙСМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ (НА ПРИМЕРЕ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ)

Аннотация. Исторических сведений о сильных землетрясениях Северного Тянь-Шаня недостаточно для заключений о повторяемости таких событий или об их временной кластеризации. Поэтому рассматриваются палеосейсмологические данные, позволяющие восстановить хронологию древних событий. Установлено, что для получения достоверных выводов, необходимо палеосейсмологическое изучение не только единичных активных разломов в отдельной зоне, но и разломов обширных районов, включающих в себя сейсмические пояса, такие как Северо-Тяньшаньский сейсмический пояс.

Ключевые слова: сильные землетрясения, хронология, Северный Тянь-Шань, временная кластеризация, палеосейсмология, активные разломы.

ТУНДУК ТЯНЬ-ШАНЬДЫН СЕЙСМИКАЛЫК РЕЖИМИНДЕГИ УБАКТЫЛУУ КЛАСТЕРЛЕР (КАТУУ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮН МИСАЛЫНДА)

Кыскача мазмуну Түндүк Тянь-Шанда болгон күчтүү жер титирөөлөр жөнүндөгү тарыхый маалыматтар кластеризация корутундуларга жетишсиз. Ошондуктан мүмкүнчүлүк берген палеосейсмологиялык маалыматтар каралат. Аныкталган корутунду алыш үчүн бирин-серин активдүү жаракалар өзүнчө зонасында палеосейсмологиялык изилдөө гана эмес, бирок кеңири райондордун өзүнө камтыган жаракалардын палеосейсмологиялык изилдөөсү зарыл. Мындай райондор ичине Түндүк Тянь-Шань чон сейсмическалык курлар сыяктуу зоналарды камтыйт.

Негизги сөздөр: күчтүү жер титирөө, хронология, Түндүк Тянь-Шань, убактылуу кластеризация, палеосейсмология, активдүү жаракалар.

THE TEMPORARY CLUSTERS IN SEISMIC REGIME OF NORTH TIEN SHAN (ON EXAMPLE OF STRONG EARTHQUAKES)

Abstract. Historical information about the strong earthquakes of the Northern Tien Shan is not enough for conclusions about the recurrence of such events or their temporary clustering. Therefore, palaeoseismological data, allowing restore the chronology of ancient events, are considered. It has been established that for receiving of reliable conclusions, it is necessary to study of paleoseismology not only individual active faults in a separate zone, but also faults of vast areas including seismic belts, such as the North Tien-Shan seismic belt.

Keywords: strong earthquakes, chronology, Northern Tien Shan, temporal clustering, paleoseismology, active faults.

Как известно, характерной чертой Северного Тянь-Шаня является концентрация очагов сильнейших землетрясений Центральной Азии. Серия сейсмических катастроф началась с Беловодского землетрясения 1885 года с $M=6.9-7.2$ в Чуйской впадине, затем Верненского землетрясения 1887 г. с $M_s=7.3\pm 0.5$, охватившего окрестности г. Алма-Аты (Верного), за которым вскоре последовало Чиликское землетрясение 1889 г. с $M_s=8.3\pm 0.5$. Затем, в 1911 г. произошло сильнейшее Кеминское (Кебинское)

землетрясение с $M_s=8.2\pm 0.3$. По-видимому, завершающим в этой серии было Кемино-Чуйское землетрясение 1938 г. с $M_s=6.9\pm 0.5$. Четыре последних события отражают разрядку напряжений в направлении с востока на запад вдоль Кемино-Чиликской зоны разломов. Первое событие произошло в пределах южного обрамления Чуйской впадины. В целом, все указанные землетрясения произошли в пределах Северо-Тяньшаньского сейсмического пояса, который оконтуривает зону контакта между Тяньшаньским орогеном и стабильной Казахской платформой (рис.1).

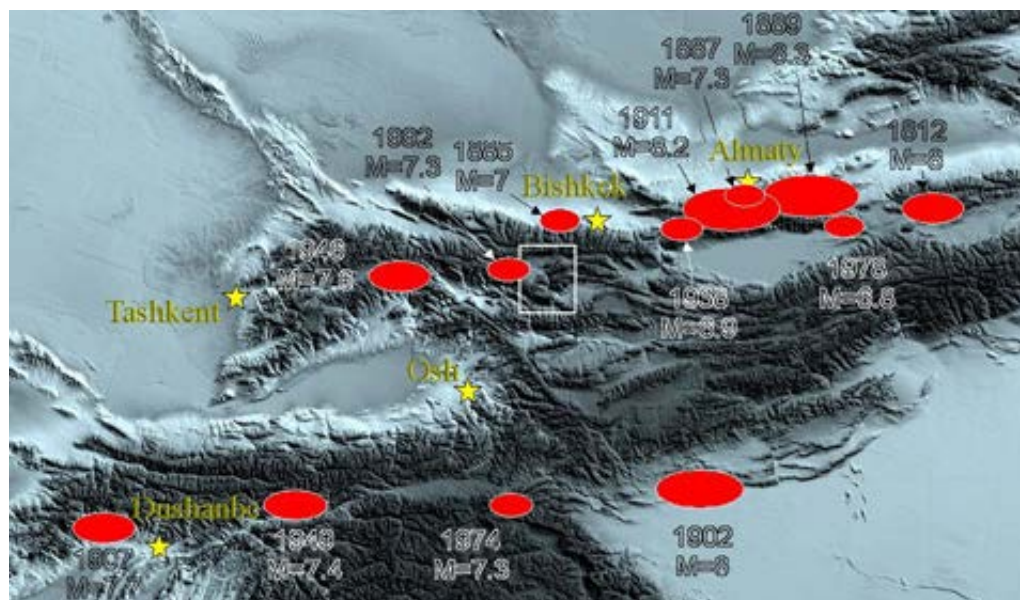


Рисунок 1. Расположение сильных исторических землетрясений Тянь-Шаня.

Однако, исторических сведений о сильных землетрясениях этой зоны недостаточно для достоверных заключений о повторяемости таких событий или об их временной кластеризации. Поэтому обратимся к палеосейсмологическим исследованиям, позволяющим восстановить хронологию древних событий.

Как указывается в детальной монографии «Палеосейсмология» [1] термин «временная кластеризация» широко используется в палеосейсмологической литературе, где он, однако, характеризует два совершенно разных явления. В первом случае он описывает палеоземлетрясения, произошедшие аномально близко во времени на одном разломе (короткие промежутки между событиями), или *одноразломную временную кластеризацию*. Во втором случае этот термин относится к палеоземлетрясениям, произошедшим через короткие промежутки времени в пределах группы разломов. 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 [2,3].

Первые данные, позволяющие пролить свет на временную кластеризацию сильных древних землетрясений, были получены в результате проходки траншеи в долине р.Чон-Аксу (Иссык-Куль) вкрест простирания одного из сегментов, вспоровшегося при Кеминском землетрясении 1911 года [4].

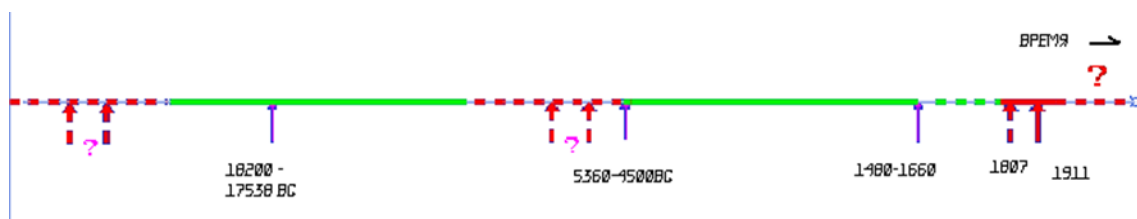


Рисунок 2. Периоды сейсмической активизации и затишья по данным, полученным в траншее. Синие стрелки – датированные события, красные стрелки сплошные – уверенные данные, пунктиром – предполагаемые события [4].

Полученные данные свидетельствуют о весьма нерегулярном возникновении землетрясений: устойчивые спокойные периоды в течение нескольких тысяч лет, чередуются с периодами, когда несколько событий происходит в пределах нескольких сотен лет (рис.2). В стенке траншеи уверенно выделяются современные события (1911 г., 1807 г.), имеются следы землетрясения, имевшего место в 1400-1660 гг. нашей эры, и событий, происшедших 5360-4500 лет до н.э и 18200-17530 лет до н.э.

При этом необходимо упомянуть, что при Кеминском землетрясении 1911 года в процесс поверхностного разрывообразования были вовлечены не только активные разломы Кеминско-Чиликской зоны, но и разломы смежной зоны – разломы Чон-Аксуйского грабена, который тяготеет к Иссык-кульской впадине. Таким образом, приведенные данные нужно рассматривать как пример многоразломной временной кластеризации событий.

Кстати, по устному сообщению Ангелы Ландграф, в траншее, пройденной в зоне активного разлома, нарушающего левый борт Чон-Кеминской впадины, имеются свидетельства сильного землетрясения, возраст которого находится между 2315 ± 35 и 2965 ± 30 лет до н.э. Возраст события не совпадает ни с одним из предполагаемых периодов повышенной активности, выделенных нами в траншее Аксу. Этот факт свидетельствует о том, что, по всей видимости, указанный сегмент зоны активных разломов вспарывался независимо от соседних сегментов и, в целом, от всей зоны Чилико-Кеминских активных разломов.

Примером многоразломной временной кластеризации событий может быть также кластеризация событий в Кочкорской и Кара-Куджурской впадинах [5]. Данные, полученные в указанных смежных впадинах, указывают на то, что 0.4–1.5 тыс. лет назад в этом районе произошло сильное событие, результаты которого зафиксированы на достаточно обширной территории (рис. 4).

Весьма интересные данные получены в зоне активного Иссык-Атинского разлома в Чуйской впадине (рис. 5), где в течение последних нескольких лет пройдено 5 траншей, расположенных в пределах разных сегментов указанного разлома.

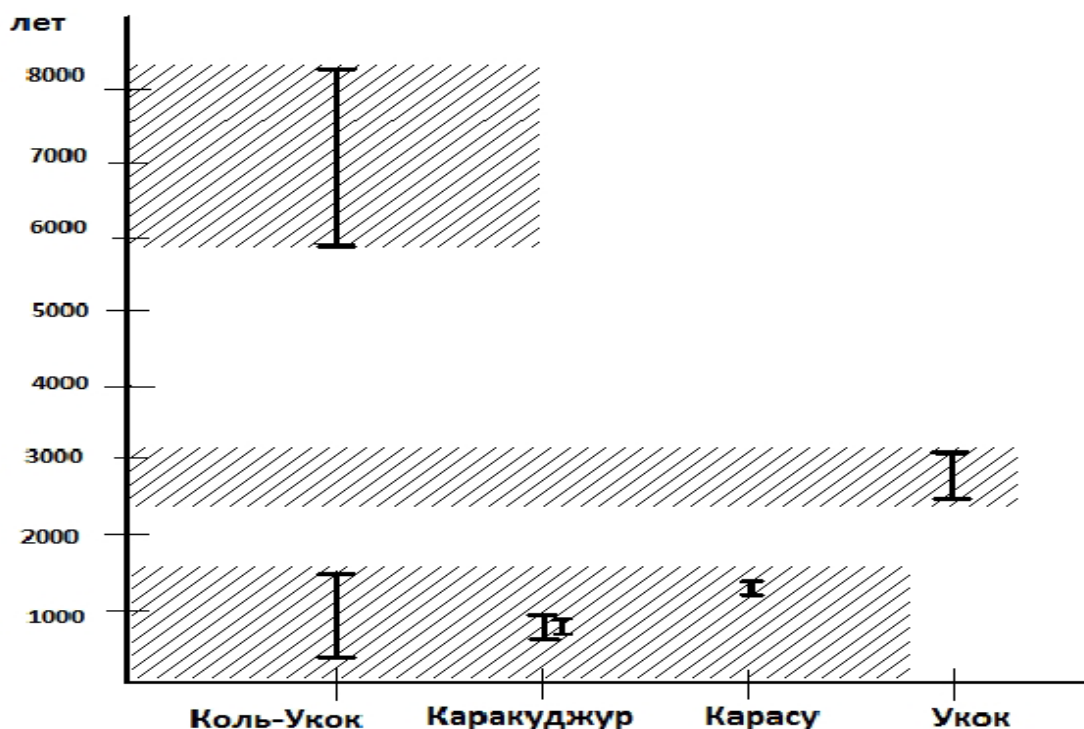


Рисунок 4. Абсолютные датировки предположительных сейсмических событий, имевших место в Кочкорской и Кара-Куджурской впадинах [5].

На первый взгляд, мы видим пример одноразломной временной кластеризации землетрясений. Однако значения возрастов сильных событий, предполагаемых в разных сегментах разлома, имеют значительную дисперсию. Кроме того, нельзя исключать возможность того, что при сильных землетрясениях в процесс поверхностного разломообразования могут вовлекаться разные сегменты одного и того же разлома. При этом нельзя также исключать возможность вовлечения в процесс не только рядом расположенных сегментов, но и сегментов того же разлома, расположенных на значительном отдалении.

Но возникновение в пределах Иссык-Атинского разлома Беловодских землетрясений 1770 и 1885 года с M около 6.5-7.2 свидетельствует о том, что одноразломная временная кластеризация землетрясений здесь возможна.

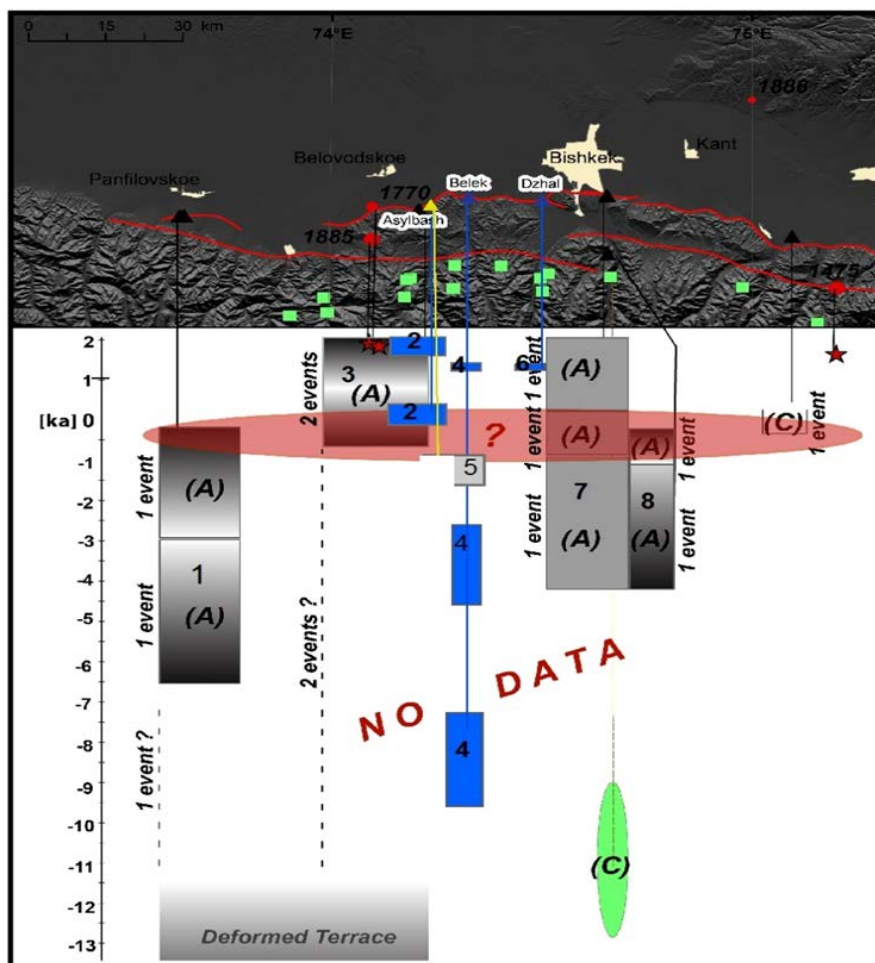


Рисунок 5. Пространственно-временная диаграмма древних событий в пределах Иссyk-Атинского разлома, Чуйская впадина. Вверху – карта активных разломов. Вертикальными линиями обозначено расположение траншей, где отобраны образцы на абсолютный возраст, при этом верхний конец линии и чёрный треугольник указывает на точное местоположение траншеи. На вертикальной оси отложен возраст в тыс. лет назад. Вертикальные размеры каждого прямоугольника соответствуют допустимым пределам возраста события, области сгущения цвета соответствуют наиболее вероятному возрасту события. Горизонтальные размеры соответствуют длине каждого сегмента, в пределах которого пройдена траншея. Цифры внутри серых прямоугольников – местоположение траншеи и источник: 1 – с. Полтавка (траншея пройдена [6, 7]), 2 – с. Асылбаш (траншея пройдена [6, 7]), 3 – с. Асылбаш (траншея пройдена [8]), 4 – с. Белек (траншея пройдена [9]), 7 – долина р. Аламедин (траншея пройдена [10]), 8 – впадина Чонкурчак (траншея пройдена [11]). Красные звёздочки – исторические сильные землетрясения: Беловодские 1770 г. и 1885 г. и Баласагынское 1475 г. Зелёный эллипс – возраст крупного оползня в долине р. Аламедин, вблизи от траншеи в Чонкурчакской впадине [12].

Наконец, следует упомянуть публикации [13,14], в которых предполагается, что в пределах *Северного Тянь-Шаня* могут быть выделены кластеры сильных землетрясений с возрастом 14–13 тыс. лет назад, 8 тыс. лет назад, 4–3 тыс. лет назад и 11–12 столетия нашей эры, разделённые периодами 4–5 тыс. лет. Отметим сразу, что эти «кластеры» выделены на основе исследований, проведённых только в пределах

Иссык-Кульской впадины. Естественно, данные, описанные выше для Чуйской впадины, в анализе не приведены. А эти данные указывают на то, что, например, в пределах только одного сегмента Иссык-Атинского разлома (с. Белек) произошло несколько сильных землетрясений с возрастом 10.5 ± 1.1 тыс. лет назад, 5.6 ± 1.0 тыс. лет назад и 630 ± 100 лет назад [9]. Отметим, что ни одно из приведённых событий не укладывается в рамки описанных выше кластеров. Не находит места в этих кластерах также сильное землетрясение, произошедшее в Кочкорско-Каракуджурском сегменте 0.4–1.5 тыс. лет назад [5]. Не находят места также события, выделенные нами в траншее, пройденной в долине р. Чон-Аксу (Иссык-Кульская впадина), происшедшие в 1400–1660 гг. нашей эры и 5360–4500 лет до н.э (см. выше). И наконец, в рамки выделенных упомянутых выше кластеров не укладываются исторические события, имевшие место в пределах Северного Тянь-Шаня в 250 г.н.э., 500 г.н.э. и Баласагунское землетрясение 1475 года [15].

Таким образом, приведённые выше примеры показывает, что проблема выделения кластеров в сейсмическом режиме Северного Тянь-Шаня ещё далека от своего решения. Как указывается в [1], образование многоразломных временных кластеров предположительно связано с некоторыми типами передачи напряжений между разломами или их сегментами. 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 [16]. Это исключение косвенно свидетельствует о том, что передача напряжения является важным контролирующим фактором в отношении времени возникновения больших (высокомагнитудных) землетрясений [17]. Поэтому необходимо палеосейсмологическое изучение не только единичных активных разломов в отдельной зоне, но и разломов обширных районов, включающих в себя сейсмические пояса, такие как Северо-Тяньшаньский сейсмический пояс.

Литература

1. 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, – 400с.
2. 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).
3. 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.
4. Абдрахматов К.Е., Стром А.Л., Дельво Д., Хавенит Х.В., Виттори Е. Временная кластеризация сильных землетрясений Северного Тянь-Шаня. *Вестник Института сейсмологии НАН КР*, №1, 2013, с. 3-9.
5. Джумабаева А.Б. Сейсмогенные разрывы Кочкорской впадины. *Известия НАН КР*, 2012, № 3, с.41-44.
6. Landgraf A., Dzhumabaeva A., Abdrakhmatov K. E., Strecker M. R., Macaulay E. A., Arrowsmith J R., Sudhaus H., Preusser F., Rugel G., and Merchel S. (2016) Repeated large-magnitude earthquakes in a tectonically active, low-strain continental interior:

- The Northern Tien Shan, Kyrgyzstan. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121(5). Pp. 3888-3910.
7. Landgraf A., Patyniak M., Dzhumabaeva A., Abdrakhmatov K., Arrowsmith J. R., Korup O., Strecker M.R. (2017). Earthquake history of the western Issyk-Ata fault, Central Tien Shan, North Kyrgyzstan. 8-th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (PATA), 13-16 November 2017, New Zealand.
 8. Thompson S.C., Weldon R.J., Rubin C.M., Abdrakhmatov K.E., Molnar P. and Berger G.W. Late Quaternary slip rates across the central Tien Shan, Kyrgyzstan, Central Asia // *Journal of Geophysical Research*. 2002. vol. 107. – No. B9, 2203, doi: 10.1029/2001JB000596. P. ETG 7, p. 132.
 9. Patyniak M., Landgraf A., Dzhumabaeva A., Abdrakhmatov K., Rosenwinkel S., Korup O., Preusser F., Fohlmeister J., Arowsmith J.R., Strecker M.R. (2017). Paleoseismic Record of Three Holocene Earthquakes Rupturing the Issyk-Ata Fault near Bishkek, North Tien Shan, Kyrgyzstan. *Bull.Seismol. Soc. Am.*107. no 6. Pp. 2721-2737.
 10. Chediya O.K., Abdrakhmatov K.E., Lemzin I.N., Michel G. & Mikhailev V., 2000. Issyk Ata, North Tien Shan Fault in the Holocene. *Journal of Earthquake Prediction Research*, 8, p. 379–386.
 11. Абдрахматов К.Е., Стром А.Л., Корженков А.М., Ормуков Ч., Дыйканалиева Ж., Поволоцкая И.Э. Обратные уступы Чонкурчакской впадины и оценка сейсмической опасности. // *Геодинамика и геоэкология высокогорных регионов в XXI веке: Мат. 3-го Межд. симп. 30 октября – 6 ноября 2005 г. - Бишкек, 2006.*
 12. Katia Sanhueza-Pino, Oliver Korup, Ralf Hetzel, Henry Munack, Johannes T. Weidinger, Stuart Dunning, Cholponbek Ormukov, Peter W. Kubik. Glacial advances constrained by ¹⁰Be exposure dating of bedrock landslides, Kyrgyz Tien Shan.//*Quaternary Research* 76 (2011), pp. 295–304.
 13. Deev E.V., Korzhenkov A.M. Paleoseismological studies in the epicentral area of the 1911 Kemin earthquake (Northern Tien Shan) // *Russian Geology and Geophysics*. – 2016в. – Т. 57. – № 2. – С. 337-343.
 14. E. Deev, A. Korzhenkov, I. Turova, T. L. Pavlis, D. Luzhanskii, J. Mažeika, S. Abdieva, A. Yudakhin. Large ancient earthquakes in the western Issyk-Kul basin (Kyrgyzstan, Northern Tien Shan).//*Jornal of Asian Earth Science*, 166, (2018), pp.46-65.
 15. Джанузаков К.Д., Омуралиев М.О., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня. // Бишкек, Илим, 2003, 215 с.
 16. 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, pp. 9–22.
 17. Steacy S., Gomberg 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.

Рецензент: канд. г.-мин. наук Омуралиев М.О.