

УДК550.34 (571.53/55)

Джумабаева А. Б.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

ХРОНОЛОГИЯ ПАЛЕОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗОНЕ ИССЫК-АТИНСКОГО РАЗЛОМА (ЧУЙСКАЯ ВПАДИНА, СЕВЕРНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)

Аннотация. Проведён анализ доисторических палеоземлетрясений, выявленных по методу «тренинга» (палеосейсмологическое исследование) в зоне Исык-Атинского разлома. Выявлено, что в зоне Исык-Атинского разлома за последние 5 тыс. лет, возможно, произошло четыре палеоземлетрясения с $6.9 \geq M \leq 7.4$, при этом разлом вспарывался в пределах отдельных сегментах. Такое разделение разлома на сегменты может быть связано с их сейсмической активизацией и указывает сегментированное поведение разлома.

Ключевые слова: палеосейсмология, палеоземлетрясение, «метод тренинг», радиоуглеродный возраст, сегментация, активный разлом.

ИССЫК-АТА ЖАРАҢКАСЫНДАГЫ БАЙЫРКЫ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨР (ЧҮЙ ӨРӨӨНҮ, ТҮНДҮК ТЯНЬ-ШАНЬ)

Кыскача мазмуну. Макалада палеосейсмикалык изилдөөлөрдүн «тренинг ыкмасы» менен топтолгон байыркы жер титирөөлөргө жалпы анализ берилет. Исык-Ата жараңкасы аркылуу акыркы 5 миң жыл ичинде болжол менен төрт күчтүү жер титирөө ($6.9 \geq M \leq 7.4$) катталган жана жараңка айрым гана бөлүктөрүндө кыймылга келген.

Негизги сөздөр: палеосейсмика, байыркы жер титирөө, «тренинг» ыкмасы, радиоуглерод ыкмасы, кыймылдуу жараңкалар.

CHRONOLOGY OF PALEOEARTHQUAKES IN THE ISSYK-ATA FAULT ZONE (CHUI DEPRESSION, NORTHERN TIEN SHAN)

Abstract The analysis of prehistoric paleoearthquakes, identified by the method of "trenching" (paleoseismological study) in the area of the Issyk-Ata fault has been carried out. In total, in the zone of the Issyk-Ata fault over the past 5 thousand years, four earthquakes have occurred with $6.9 \geq M \leq 7.4$, where the fault has ruptured only in certain segments. This division of the fault into segments can be associated with their seismic activation and shows the segmented behavior of the fault.

Keywords: paleoseismology, paleoearthquake, "trenching method", radiocarbon dating, segmentation, active faults.

Первоначальные палеосейсмологические исследования по Чуйской впадине и её горном обрамлении были сосредоточены, в основном, на выявлении и картировании палеосейсмодислокаций на основе геоморфологического признака (анализа форм рельефе) и составлении серии карт палео- и сейсмодислокаций [1-5]. Исследования последних лет связаны с переходом от работ регионального масштаба к локальному, т.е. детальному изучению палеосейсмодислокации в конкретных местах методом тренинга.

Современный метод палеосейсмологии «метод тренинга» представляет комплекс работ, связанных с проходкой канав, интерпретацией разрезов, отбором проб на определение абсолютного возраста. Методика «тренинга» изложена в работе Мак-Калпина [6]. Проходка траншей в зонах активных разломов позволяет получить

необходимую информацию о количестве, возрасте и периодах повторяемости палеоземлетрясений. Ряд работ по этой методике [7-12] способствовало получению новых, интересных результатов по зонам разломов Чуйской впадины и её горного обрамления.

Серия катастрофических землетрясений ($M \geq 6.9$), произошедших в Северном Тянь-Шане в конце XIX - начале XX веках (Беловодское 1885 г.; Верненское 1887 г.; Чиликское 1889 г.; Чон-Кеминское 1911 г.; Кемино-Чуйское 1938 г.) отражают не только сейсмическую опасность данного региона, но и указывают на возможность временной кластеризации сильных землетрясений, как в пределах одного разлома, так и между соседними разломами (рис. 1А). Надо отметить, что подобные явления были описаны для многих внутриконтинентальных областей [13-15].

В этом аспекте изучение зоны Иссык-Атинского разлома, расположенного в непосредственной близости от столицы нашей Республики – г. Бишкек, становится приоритетным. Он отделяет низкие предгорья (адыры) Киргизского хребта от равнинной части Чуйской впадины и протягивается с запада на восток около 150 км (рис. 1). Структурная позиция разлома и его основные параметры неоднократно описывались в работах [2,5,16,17,18,19]. На протяжении его зоны рассматриваются шесть сегментов (А, Б, В, Г, Д, Е), которые выделены по сейсмологическим, поведенческим, структурным и геометрическим признакам, и имеют тенденцию к объединению во время сильных землетрясений [20].

Изучение и датирование следов сейсмогенных подвижек в траншеях зоне Иссык-Атинского разлома, пересекающего конусах выноса рек Сокулук, Джеламыш, Ала-Арча и Аламедин (сегменты А, Б, В), позволили выявить ряд палеоземлетрясений с возможной магнитудой от 6.8 до 7.4 [7-12].

В данной статье детально рассматривается материалы тренчинга, пройденного по сегментам А, Б, В, с точки зрения сопоставления возрастов палеоземлетрясений и выделения предполагаемых одновозрастных сегментов. Следует отметить, что западный сегмент А Иссык-Атинского разлома (между рек Аксуу - Сокулук) был выделен при разрывообразовании Беловодского землетрясения 1885 г. ($M \geq 6.9$). Во время этого землетрясения образовался протяжённый поверхностный разрыв длиной около 22 км, простирающийся вдоль предгорий Кыргызского хребта с вертикальным смещением крыльев до 1.5-2 м [21].

Чтобы выявить следы доисторических землетрясений и уточнить кинематические и возрастные характеристики Беловодского землетрясения, в его эпицентральной зоне были пройдены три траншеи [9,10,11]. Одна из них пройдена в приразломном уступе близ села Асылбаш в долине р. Сокулук (сегмент А) (рис.1В, Т-2). Детальное профилирование уступа показало общее вертикальное смещение 6.3 м. При этом величина смещение Беловодского землетрясение составляет 3.5 м. Скорость смещений крыльев разлома в течение последних 15-21 тыс. лет составляет $0.6-0.9 \pm 0.2-0.3$ мм/год. В стенке траншеи вскрыто сместитель разлома, падающий под углом $\sim 26^\circ$ к югу. Данные по траншее показывают, что в последние 2300-2700 лет произошло два сильных землетрясения, включая Беловодское землетрясение 1885 года, с магнитудой – 6.9-7.5 [9,18].

Другая траншея пройдена нами в том же уступе с участием немецких коллег Потсдамского университета. Абсолютный возраст самого последнего событие находится в интервале $273 \pm 168 - 316 \pm 17$ лет назад, который сопоставим с возрастом Беловодского землетрясение 1885 г. Предпоследнее событие имеет возраст примерно 1900 ± 300 лет назад [10]. Эти результаты хорошо согласуются и уточняют палеосейсмологические исследования Томпсона и др. [9]. Таким образом, данные двух траншей могут свидетельствовать о возникновении здесь предпоследнего палеособытия в интервале $\sim 1600-2700$ лет назад. Интервал повторяемости сегмента А

между предпоследним событием и землетрясением 1885 года составляет около 2.0 тыс. лет.

В последующих сегментах Исык-Атинского разлома - долины рек Джеламыш и брошенной долины р. Ала-Арча (сегмент Б) и Аламедин (сегмент В), пройдены четыре траншеи [7,10,11,12]. Ратунияк и др., [7] проводили детальные палеосейсмологические исследования в долине р. Джеламыш. Пройденная нами траншея близ села Белек расположена около 25 км к северо-востоку от эпицентра Беловодского землетрясения 1885 г. (рис. 1В, место траншеи отмечено белой звездочкой). Здесь имеется хорошо выраженный приразломный уступ длиной около 1 км и высотой 8 м, который пересекает поверхность аллювиально-пролювиального конуса выноса. В стенках траншеи зафиксировано три события - самое древнее событие 10500 ± 1100 лет тому назад, предпоследнее - 5600 ± 1000 лет тому назад и самое последнее событие 630 ± 100 лет тому назад, с периодами повторяемости около 5000 лет. Общее вертикальное смещение составляет 6.8 м. Скорость смещения крыльев разлома в позднеплейстоценовое время (14.6 ± 1.1 тыс. лет) составляет 0.7 ± 0.2 мм/год, палеомагнитуды для последних двух палеоземлетрясений варьируются между $M \geq 6.7-7.4$ (рис. 2) [7].

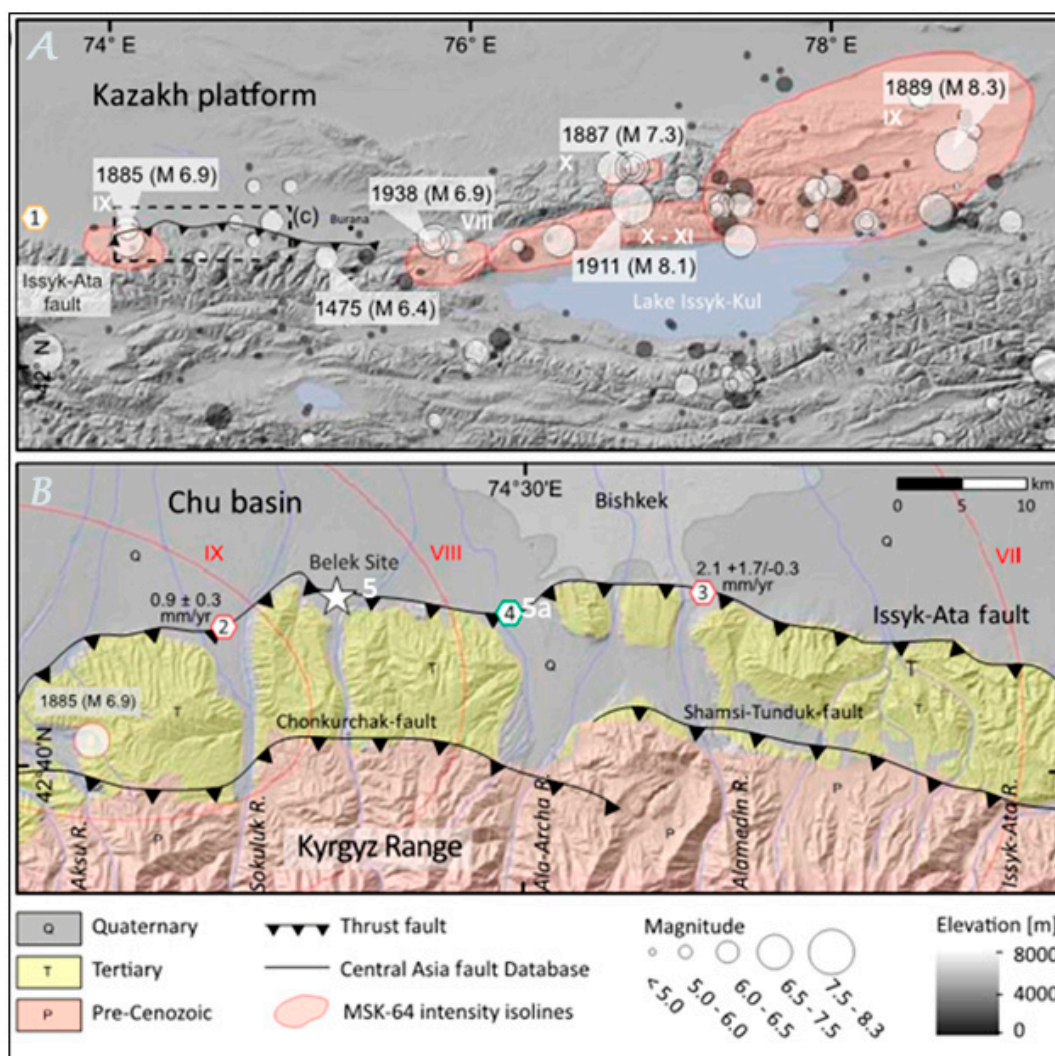


Рисунок 1. А-Территория Северного Тянь-Шаня (SRTM) [7]. Сильные исторические землетрясения $M > 6.0$ (белые точки) по каталогу [22]. Следует отметить, что серии сильных землетрясений в конце XIX и начале XX века рассредоточены именно к северной части Тянь-Шанского орогена.

Обзорный вид исследованного района охватывает центральные части Кыргызского хребта и предгорных частей Чуйской впадины. Представлены основные разломы: (Иссык-Атинский, Чонкурчакский, Шамси-Тюндюкский); изосейст Беловодского землетрясения 1885г. (красные изолинии); долины рек –Аксуу, Сокулук, Ала-Арча, Аламедин (синие линии); место расположения траншей (белая звёздочка) по данным [7]; 2 -[9]; 3 -[11];4 - [10]; 5-5а -[12].

Интересно, что следов Беловодского землетрясения 1885 года (т.е. его время), которые зафиксированы в предыдущих траншеях, здесь не обнаружено. Это может свидетельствовать в пользу того, что эти сегменты деформируются (работают) независимо друг от друга. Однако, при сильных палеоземлетрясениях с большими магнитудами они могли объединяться.

В том же сегменте Б (вблизи пос. Джал) Ратунияк и др. в 2017 вскрыли ещё одну траншею Т-4. Она расположена 13 км к востоку от траншеи Белек. В разрезе траншеи датировано единственное событие, возраст которого 685 ± 30 лет назад (рис.1, Т-4) [10]. Датировка этого палеособытия сопоставима с возрастом самого последнего палеоземлетрясения в стенке траншеи Белек - сегмент Б (630 ± 100 лет назад). Таким образом, во втором сегменте произошло не менее четырёх разрывообразующих событий, из которых самое последнее событие зафиксировано в обеих траншеях.

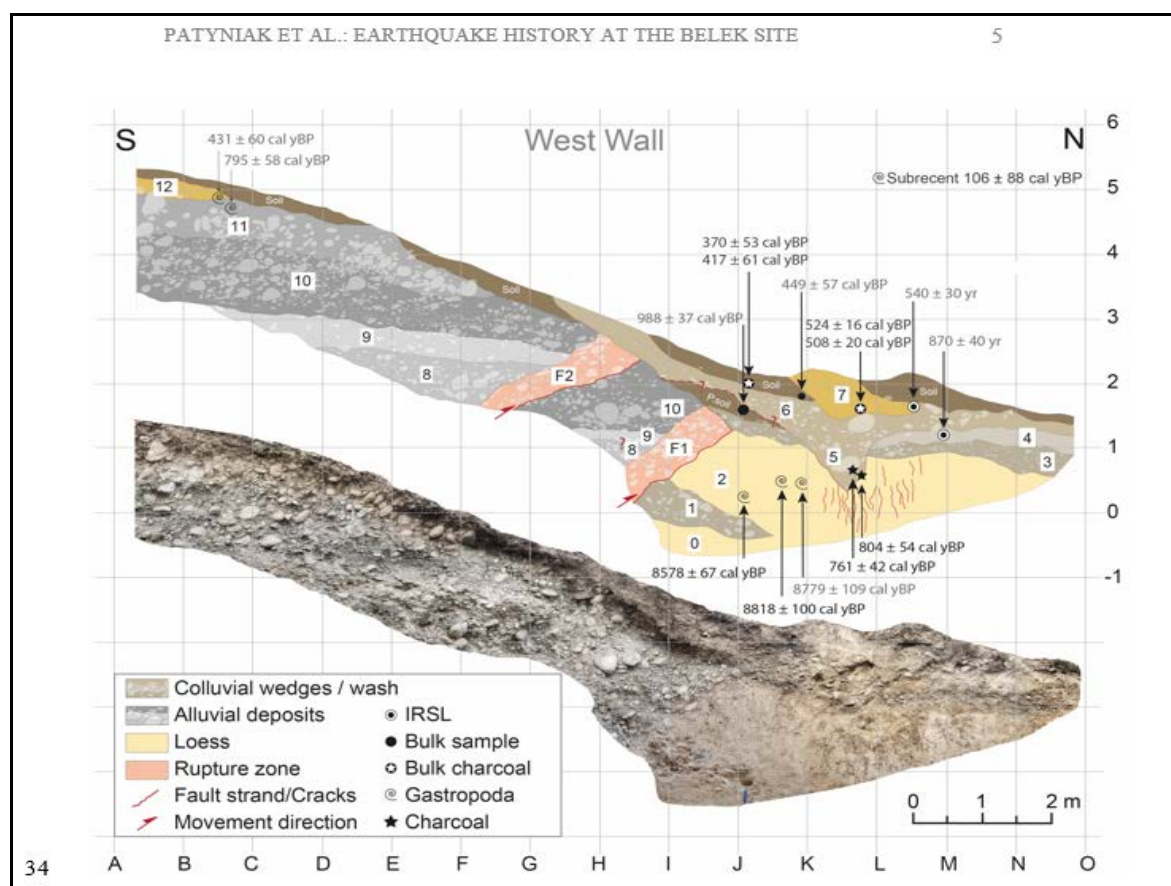


Рисунок 2. Стратиграфическая интерпретация и построенная 2D фотомозаика западной стенки траншеи Белек (белая звёздочка, см. рис.1), пройденной в долине реки Джыламыш [7]. Аллювиальные и коллювиальные отложения (пачки 8-11) висячего крыла взброшены на плотную лессовидную суглинку (пачка 2) лежащего крыла разлома. На стенке траншеи проявлено не менее трёх

событий по двум плоскостям разлома (F_1 и F_2), падающих под углом 42° Ю. Лежачее крыло разлома представлено снесенными с уступа коллювиальными отложениями и залегающими между ними материалами размыва верхних слоёв в поднятом крыле (пачки 1-7) и косейсмическими зияющими трещинами. Абсолютные возраста получены методами радиоуглеродной (^{14}C), инфракрасной стимуляции люминесценции (IRSL), уран-ториевой метод (U и Th). Калиброванные возраста рассчитаны с использованием программного обеспечения OxCal 4.2 [23] и калибровочной кривой IntCal2013 [24]. Более детальное описание смотрите в статье *Patyniaketal, 2017* [7].

Для определения протяжённости деформаций, связанных с Беловодским землетрясением, на рассматриваемом сегменте Б были пройдены еще две траншеи (с группой российских учёных) [12]. Первой канавой (Т-5) вскрыт взбросовый уступ, обращённый к северу (вблизи конечной остановки общественного транспорта в пос. Кызыл-Туу). Вторая канава (Т-5а) располагается в 11 км к востоку от первой (на окраине пос. Джал — одного из юго-западных пригородов Бишкека) и вскрывает нижнюю ступень сейсмогенного уступа (рис.1В). Из двух канав датируются одно палеособытие в интервале cal BC 887–cal BC 1533 с магнитудой не менее 7.1. Минимальная протяжённость очага сейсмособытия составляет 32 км, амплитуда взброса — 3.8 м. Авторы делают вывод, что Беловодскому землетрясению 1885 г. с $M = 7.0$ с наиболее близким к нему очагом предшествовало палеоземлетрясение, произошедшее около 3250 л.н. (cal BC 887–cal BC 1533) [12].

В центральном сегменте В Иссык-Атинского разлома (с группой Чедия и др., 2000) пройдена другая траншея (рис. 1В, Т-3). Она расположена на правом борту долины р. Аламедин возле села Кок-Джар, где приразломный уступ, высотой 7 м, пересекает позднеплейстоценовую поверхность террасы. Учитывая неясности в выделении основных стратиграфических единиц и положении образцов, отобранных для абсолютного датирования, позволяет говорить только о двух палеоземлетрясениях. Одно из них произошло в промежутке между 2830 ± 50 и 5130 ± 50 лет тому назад (датировки с возрастом 5130 ± 50 и 5250 ± 60 лет). Другое – между 1850 ± 40 и 2830 ± 50 лет тому назад [11,14].

В пределах того же уступа, примерно в 40 метрах западнее от вышеописанной траншеи, пройдена еще одна траншея. В этой траншее имеются свидетельства, по меньшей мере, двух сейсмических событий со средним смещением 3-4 м. Здесь отсутствует датировки, поэтому определить абсолютный возраст землетрясений не удалось [13].

Иссык-Атинский разлом является многосегментным (А, Б, В). При детальном исследовании в траншеях (рис. 1-Б), прошедших в этих сегментах, было определено, что в разрезах траншей сегмента А наблюдаются следы двух сейсмособытий, одно произошло ~ 3 тыс. лет назад, второе - Беловодское землетрясения 1885 г. В траншеях, прошедших через сегменты Б и В, зафиксированы следы не менее 3-х событий, произошедших за последние ~ 5 тыс. лет, которые отражают единовременное вспарывание данных сегментов.

Выводы

1. Результаты вышеописанных палеосейсмологических исследований по методу «тренинга» показывают следующее: 1) траншеи пройдены поперек уступов высотой до 7-8 м, которые пересекают позднеплейстоцен-голоценовые поверхности, датируемые в пределах 14-21 тыс. лет; 2) плоскости разлома на стенках траншей падают под углом от 18 до 42° к югу и представляют пологие надвиги и взбросы; 3) величина смещений по падению разлома достигает до 10 м, при этом единовременная

подвижка - до 2 м; 4) скорости позднеплейстоценовых смещений по падению разлома варьируется от 0.6 до 0.9 мм/год; 5) в стенках траншей фиксируются от 1 до 3-х событий с магнитудой от 6.7 до 7.4.

2. Проходки траншей в приразломных уступах позволили выделить не менее четырёх разрывообразующих палеоземлетрясений (M от 6.8 до 7.4). При этом разлом вспарывался только в определённых сегментах. Такая сегментация отражена сейсмической активизацией и указывает на сегментированное поведение разлома.

3. Период повторяемости палеоземлетрясений с $M=6.8-7.4$ в конкретном сегменте (А и Б) составляет от 2000 до 5000 лет.

4. Анализ абсолютных возрастов палеоземлетрясений, полученных методом тренчинга, позволяет расширить и дополнить каталог сильных землетрясений на территории Кыргызстана.

Литература

1. Утиров Ч. Сейсмодислокации и остаточные деформации горных пород. // Опыт комплексного сейсмического районирования на примере Чуйской впадины.- Фрунзе: Илим,1975. – С.109-122
2. Абдрахматов К.Е. Четвертичная тектоника Чуйской впадины. – Фрунзе: Илим, 1988. -120с.
3. Омуралиев М.О., Чаримов Т.А. Сейсмодислокации и сейсмоопасность западной части Северной Киргизии. // Известия АН Киргизской ССР, №4, 1990, С.83-87.
4. Чаримов Т.А. Палеосейсмодислокации в бассейнах рек Карабалта, Аксу и Шамси // Известия АН КР. Физ.тех. и горно-геол. науки,-1991.- №3, С.121-133.
5. Корженков А.М. Сейсмогеология Тянь-Шаня.- Бишкек: Илим, 2006.- 290 с.
6. 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.- 400 с.
7. Patyniak, A. Landgraf, A. Dzhumabaeva, K. E. Abdrakhmatov, S. Rosenwinkel, O. Korup, F. Preusser, J. Fohlmeister, JR. 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. DOI:<https://doi.org/10.1785/0120170083>
8. Landgraf A., Dzhumabaeva A., K. E. Abdrakhmatov, M. R. Strecker, E. A. Macaulay, J. R. Arrowsmith, H. Sudhaus, F. Preusser, G. Rugel, and S. Merchel (2016). Repeated large-magnitude earthquakes in a tectonically active, low-strain continental interior: The Northern Tien Shan, Kyrgyzstan, J. Geophys. Res. 121, no. 5, pp. 3888–3910.
9. Thompson S. C., R. J. Weldon, C. M. Rubin, K. Abdrakhmatov, P. Molnar, and G. W. Berger (2002). Late Quaternary slip rates across the central Tien Shan, Kyrgyzstan, Central Asia, J. Geophys. Res. 107, pp. 1978-2002.
10. Landgraf A., Patyniak M., Dzhumabaeva A., Abdrakhmatov K., Arrowsmith J R., Korup O., Strecker M. R. Earthquake history of the western Issyk-Ata Fault, Central Tien Shan, North Kyrgyzstan /8th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (PATA), 13 – 16 November, 2017, New Zealand
11. 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.
12. Smekalin, O. P., V. S. Imaev, A. M. Korzhenkov, and A. V. Chipizubov (2016). Paleoseismological investigations in the pleistoseismal zone of the 1885 Belovodskoe earthquake, North Tien Shan, Seism.Instrum. 52, pp. 279–289.

13. Zhang Guomin and Li Li. On the group features of strong earthquake preparation and occurrence and their correlation //Journal of Earthquake Prediction Research, 1998.- vol. 7. N.3 –P.279–288.
14. Stein S., M. Liu, E. Calais, and Q. Li (2009). Mid-continent earthquakes as a complex system, Seismol. Res. Lett. 80, pp. 551–553.
15. Liu M., S. Stein, and H. Wang (2011). 2000 years of migrating earthquakes in North China: How earthquakes in midcontinents differ from those at plate boundaries, Lithosphere 3, 128–132.
16. Геология кайнозоя Чуйской впадины и её горного обрамления. – Л.: Наука, 1976.
17. Чедия, О. К. Морфоструктуры новейший тектогенез Тянь-Шаня. // - Фрунзе: Илим, 1986. – 316 с.
18. Абдрахматов К.Е., Томпсон С., Уилдон Р. Активная тектоника Тянь-Шаня. – Бишкек, Илим. 2007. С.70.
19. Omuraliev M., Omuralieva A. Late genozoic tectonics of the Tien-Shan. Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek, 2004, 166p.
20. Абдрахматов К.Е., Джумабаева А.Б. Сегментация Иссык-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань). // Вестник Института сейсмологии НАН КР.- 2014. - №1.- С. 24-30.
21. Игнатъев И.В. Землетрясение в Токмакском уезде в 1885 г. // Изв. Импер. Русск. геогр. о-ва. – 1886. – Т. 22. – Вып. 2. – С. 150–164.
22. Kalmatieva, Z. A., A. V. Mikolaichuk, B. D. Moldobekov, A. V. Meleshko, M. M. Jantaev, A. V. Zubovich, and H. B. Havenith (2009). Atlas of Earthquakes in Kyrgyzstan, Cent.-Asian Inst. Appl. Geosci. U. N. Int. Strategy Disaster Reduct. Secr. Off. Cent. Asia, Bishkek, Kyrgyzstan, 75 pp.
23. Bronk Ramsey, C. (2013), OxCal 4.2, Web Interface Build No. 78, Oxford Univ., Oxford, U. K.
24. Reimer, P. J., E. Bard, A. Bayliss, J. W. Beck, P. G. Blackwell, C. Bronk Ramsey, C. E. Buck, H. Cheng, R. L. Edwards, M. Friedrich, et al. (2013). IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50000 years cal BP, Radiocarbon 55, no. 4, pp. 1869–1887.

Рецензент: канд.г.-мин. наук Фортуна А.Б.