

Абдрахматов К.Е.
*Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан*

СОВРЕМЕННЫЕ ДАННЫЕ О ПОВТОРЯЕМОСТИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация. Показано, что интервалы повторения сильных землетрясений, способных образовать поверхностный разрыв, составляют обычно 2-5 тыс. лет, иногда до 10 тыс. лет, что соответствует в среднем низким скоростям смещения (< 1 мм / год) и большим смещениям при каждом событии. Приведены новые данные о скоростях смещения (в мм/год) крыльев активных разломов, расположенных на территории Тянь-Шаня.

Ключевые слова: интервалы повторения, сильные землетрясения, скорости смещения, активные разломы.

ТЯНЬ-ШАНДЫН АЙМАГЫНДАГЫ КҮЧТҮҮ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮН КАЙТАЛАНУУЧУЛУГУ ТУУРАЛУУ ЗАМАНБАП МААЛЫМАТТАР

Кыскача мазмуну. Тяншандагы күчтүү жер титирөөлөрдүн убактылуу аралыгы, адатта 2-5 миң жыл, кээде 10 миң жыл түзөт. Бул орточо төмөн ылдамдыктарга (< 1 мм/жыл) жана чоң жылыштарга туура келет. Тянь-Шань аймагында жайгашкан активдүү жаракалардын канаттарынын жылышуусунун ылдамдыгы жөнүндө жаңы маалыматтар келтирилген.

Негизги сөздөр: кайталануу аралыгы, күчтүү жер титирөөлөр, жылыш ылдамдыгы, активдүү жарака.

MODERN DATA ON THE RECURRENCE OF STRONG EARTHQUAKES IN THE TIAN-SHAN TERRITORY

Abstract. It is shown that the intervals between of strong earthquakes capable of forming a surface rupture are usually 2-5 thousand years, sometimes up to 10 thousand years, which corresponds on average to low displacement rates (< 1 mm/year) and large displacements at each event. New data on the slip rates (in mm/year) of the walls of active faults located in the Tien Shan are presented.

Keywords: recurrence intervals, strong earthquakes, displacement rates, active faults.

Основным недостатком исследований в области изучения новейших разломов на Тянь-Шане до 90-х годов прошлого столетия было отсутствие систематического, целенаправленного описания активных структур, на основе общепринятой методики их выделения и описания. Такая работа стала проводиться с 1989 году в рамках Международной Программы «Литосфера» [1], когда начал осуществляться проект II-2 «Карта крупных активных разломов» под руководством В.Г. Трифонова и М. Мачетта. Этот проект объединил более 70 учёных из 40 стран. По окончании на карте был представлен авторский макет К.Е. Абдрахматова с соавторами по Тянь-Шаню, где на основе существующих в то время неполных данных были приведены основные характеристики активных разломов, касающиеся скорости смещений, кинематики и др. (рисунок 1). Это была первая попытка такого рода, которая положила начало более глубокому изучению активных разломов Тянь-Шаня, как части активной тектоники этого обширного региона.

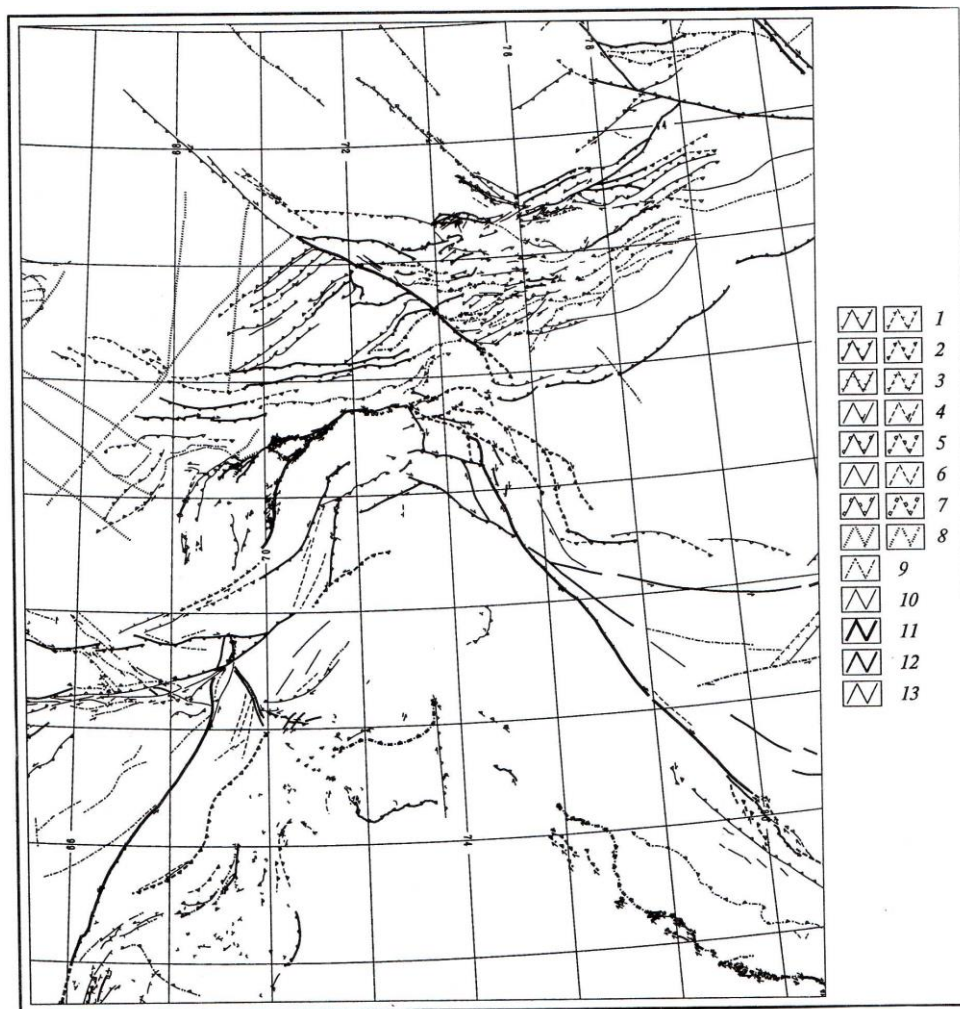


Рисунок 1. Карта активных разломов области взаимодействия Индийской и Евразийской плит (Трифонов, 1999). Составил В. Г. Трифонов по данным К. Е. Абдрахматова, Р. Армийо, К. И. Богдановича, В. С. Буртмана, К. С. Валдия, И. Е. Губина, Денг Килонга, Динг Гуойю, С. А. Захарова, Т. П. Ивановой, Р. С. Йетса, В. К. Кучая, И. Н. Лемзина, Н. В. Лукиной, К. Лю, В. И. Макарова, Т. Наката, А. А. Никонова, С. Ф. Скобелева, А. Л. Строма, П. Таппонье, С. С. Шульца и др. и результатам собственных наблюдений. 1 - 8 – морфология активных разломов (слева достоверных, справа предполагаемых): 1 – сбросы, 2 – надвиги и взбросы, 3 – раздвиги, 4 – сдвиги, 5 – флексуры, 6 – разломы с неизвестным типом смещения, 7 – поверхностные продолжения глубинных сейсмофокальных зон субдукции, 8 – скрытые разломы, выраженные на поверхности лишь косвенными признаками; 9, 10 – возраст последних проявлений активности разломов: 9 – средний плейстоцен, 10 – поздний плейстоцен и голоцен, включая современность (V мм/год); 11- 13 – скорости движений по разломам: 11 – $V > 5$, 12 – $1 < V < 5$, 13- $V < 1$.

В результате начатых детальных исследований было установлено, что внутренние районы Тянь-Шаня характеризуются, хотя и сильными, но весьма редкими сейсмическими катастрофами, разделёнными длительными (тысячи лет) периодами затишья [2, 3, 4]. Позднее к такому выводу пришли некоторые другие исследователи Тянь-Шаня [5]. Однако, эти же авторы впоследствии пришли к выводу о том, что повторяемость сильных землетрясений в некоторых районах может составлять сотни

лет (например, 300 лет в зоне Таласо-Ферганского разлома [6, 7], 1000 лет в Суусамырской впадине [8, 9].

Несмотря на то, что вероятный период повторения сильных землетрясений в определённой зоне должен коррелироваться со скоростью смещения крыльев разломов в этой же зоне, количество публикаций на эту тему продолжает множиться, при отсутствии в них корректных определений скорости смещения крыльев разломов, а также при отсутствии достаточного количества абсолютных датировок, позволяющих определять время палеоземлетрясений, и, соответственно, период повторяемости сильных землетрясений.

В последнее время в пределах Тянь-Шаня и Джунгарии мы провели детальные палеосейсмологические исследования и считаем необходимым опубликовать сводку публикаций, анализ которых приводит к корректным выводам о периоде повторяемости сильных землетрясений в пределах указанных регионов.

СЕВЕРНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ, ЧУЙСКАЯ ВПАДИНА

Долина р. Сокулук

Топографические профили и данные тренчинга [10], полученные на уступе высотой 6 метров, показывают, что два землетрясения с одинаковым смещением в 3.5 м имели место в течение последних 2300-2700 лет. Вертикальное смещение террасы QШ2 и террасы Q41 свидетельствуют о четырёх событиях с одинаковой величиной смещения в течение последних 15 - 21 тыс. лет. Хотя интервал повторяемости между предпоследним событием и современным землетрясением 1885 года, обновившем древний уступ, составляет около 2.5 тыс. лет, но средний интервал для четырёх событий составляет 3.8 - 5.2 тыс. лет.

Долина р. Джеламыш

Траншея, пройденная в долине р. Джеламыш [11], показала наличие трёх палеоземлетрясений: $\sim 630 \pm 95$ лет назад, $\sim 5.6 \pm 1.0$ тыс. лет назад и 10.5 ± 1.1 тыс лет назад. При этом в этой траншее не обнаружено следов Беловодского землетрясения 1885 года. Средняя повторяемость сильных землетрясений здесь составляет примерно 5 тыс. лет.

С. Панфиловское

Исследователи [12] прошли три траншеи в зоне Чонкурчакского разлома возле села Панфиловское. Установлено, что наиболее современное землетрясение произошло между 1.6 – 5.8 тыс. лет назад, вероятнее всего около 3.6 ± 1.3 тыс. лет назад. Предыдущее событие произошло между ~ 5.8 – 14.8 тыс. лет назад, вероятнее всего 8.9 ± 1.9 тыс. лет назад. Таким образом, повторяемость сильных событий здесь превышает 5 тыс. лет.

Долина р. Аламедин

Критическое рассмотрение данных о траншее [13], пройденной в долине р. Аламедин [14], позволяет говорить о двух землетрясениях. Одно из них произошло в промежутке между 2830 ± 50 лет и 5200 лет назад (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 назад 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 может быть моложе, чем 1850 ± 40 лет назад. Средняя повторяемость сильных землетрясений здесь составляет 3-4 тыс. лет.

СРЕДИННЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ**Долина р. Каракуджур**

Судя по данным [15], здесь произошло два события в течение последних ~2.3 тыс. лет с наиболее современной активностью разлома до 1.43 ± 0.13 тыс. лет назад, хотя надо подчеркнуть, что последние датировки могут переоценить настоящий возраст отложений, перекрывающих коллювиальный клин.

Кочкорская впадина

В траншее, пройденной на пологой поверхности позднечетвертичного конуса выноса, установлено [16], что, по меньшей мере, 3 и, вероятно, 4 землетрясения (если все землетрясения были одинаковыми и сравнимыми с наиболее близким к нам) возникало в прошлые 60 тыс. лет со времени отложения смещённого конуса выноса. При этом, по меньшей мере, 2 землетрясения произошло в последние 10 тыс. лет.

Нарынская впадина

Судя по датировкам, полученным в траншее, пройденной в зоне Нуратооского разлома (собственные данные), отделяющего палеозойские накопления Нуратоо от кайнозойских осадков Нарынской впадины (долина р. Калмак-Ашу), установлено, что последняя подвижка по разрыву произошла здесь не ранее, чем в 3454 ± 986 лет тому назад (что соответствует диапазону между 2426 и 454 гг. до н.э.), а предшествующая – в интервале между этой датой и 18680 ± 5711 лет тому назад (после 22377 – 10955 гг. до н.э.).

Подвижки по Центрально - Нарынскому разлому в районе слияния р. Нарын и Малый Нарын имели место (собственные данные), скорее всего, в интервале от 4.3 ± 0.2 до 1.7 ± 0.1 тысячи лет назад (2486 г. до н.э. – 214 г. н.э.). При этом, судя по характеру деформаций, в траншее за этот период времени произошло несколько подвижек по разлому на этом участке.

Последняя подвижка по Центрально-Нарынскому разлому на западной окраине г. Нарын (собственные данные), произошла в интервале между 5.4 ± 1 и 1.2 ± 0.3 тыс. лет назад. Калиброванные данные, полученные с использованием программы OxCal ver. 4.2, позволяют считать, что это событие с вероятностью 95.4% произошло между 4448 - 3994 годами до н.э. и 170 - 1389 годами н.э.

Данные, полученные в долине р. Кажырты [10] позволяют считать, что максимальный средний интервал повторяемости землетрясений составляет здесь 2000-2400 лет. Если уступ на террасе Q43 был сформирован двумя событиями с величиной смещения в 1.9 м, то около 13 таких характерных событий деформировали террасу QШ2 со средним интервалом повторяемости около 1100 лет.

Атбашинская впадина (хребет Ойнакджар)

Пройденная в уступе высотой 6 метров траншея [10] имеет свидетельства, по меньшей мере, двух землетрясений. Наиболее близкое к нам событие произошло в течение последних 3600 лет.

Алайская впадина

Проведённые группой авторов [17] палеосейсмологические исследования в зоне Памирского фронтального надвига свидетельствуют о том, что в течение последних 10 тыс. лет здесь произошло, по меньшей мере, 6 сильных землетрясений с проявлением сеймотектонических деформаций: 954 ± 82 ; 1461 ± 22 ; 1994 ± 158 ; 3870 ± 97 ; 5247 ± 461 и 9294 ± 1883 лет назад. Наблюдается некоторое уменьшение периода повторяемости по мере приближения к современности, но ближе к началу голоцена

средняя повторяемость составляет 2-5 тыс. лет. Кратковременная скорость смещения в зоне разлома составляет около 10 мм/год, но долговременная скорость составляет 1-2 мм/год.

Таласо-Ферганский разлом (ТФР)

Проведённые исследования позволили предшественникам авторам предположить, что в XIV-XVII веках смещения в зоне ТФР вызвали серию сильных землетрясений с косейсмическими сдвиговыми смещениями в несколько метров [7, 8, 18]. Более того, некоторые исследователи утверждают, что повторяемость сильных землетрясений, вызывающих поверхностные нарушения в зоне ТФР, составляет 300 лет [7, 8]. Однако, исследования, проведённые позже, позволяют этим же исследователям [10] прийти к выводу, что траншея, пройденная вдоль южной части сегмента Саты (см. рисунок 1), показала свидетельства единственного поверхностного разрыва моложе 2600 лет до н.э. Несмотря на плотный каталог радиоуглеродных дат, эти опубликованные исследования не показывают стратиграфических отношений между датированными четвертичными образованиями и зонами разломов.

Палеосейсмологическая траншея, пройденная на сегменте Кылдау [20] позволила нам установить, что скорость сдвиговых смещений крыльев разлома составляет от 2.2 до 6.3 мм / год. Кроме того, мы установили, что, по крайней мере, два разрушительных землетрясения (и, возможно, третье) произошли за последние 3800 лет. Мы обнаружили, что сегмент Кылдау не активизировался с проявлением на поверхности, по крайней мере, с 420 лет до н.э. (возможно, в течение последних 2700 лет).

КАЗАХСТАН

Кегенская впадина

На разломе Саты мы закартировали [21] разлом с историческим землетрясением магнитудой > 8.0 , со смещением крыльев до 10 м, и предположили интервал повторения $> 5, 6$ тыс. лет (а возможно, и намного больше).

На разломе Торайгыр мы нашли [21] свидетельства разрыва доисторического землетрясения, которое породило поверхностное смещение на 3 м, но опять же, предпоследнее землетрясение скорее всего произошло перед максимумом последнего оледенения, имевшем место 26.5 — 19 тыс. лет назад.

Джунгария

На южном фронте Джунгарского Алатау [22] закартировали уступы у села Коныролен с вертикальными смещения $\approx 2-3$ м в самом последнем событии, которое датируется > 3 тыс. лет назад, также с предпоследним событием, которое вероятно, произошло до максимума последнего оледенения. Здесь указанные авторы предполагают интервал повторения сильных землетрясений 5-8 тыс. лет.

Далее на север в районе Джунгарского сдвига [22] нашли два события на Лепсинском разломе, одно примерно 400 лет назад, а другое > 5 тыс. лет назад, предполагающие интервал повторения больше/равно 5 тыс. лет. Они также оценивают магнитуду события в 7.5 – 8.2 для самого последнего события, со смещением 6.0 – 14.7 м.

Таким образом, интервалы повторения сильных землетрясений, способных образовать поверхностный разрыв, в зонах отдельных разломов, составляют обычно 3-5, иногда до 10 тыс. лет, что соответствует низким скоростям смещения (< 1 мм / год) и большим смещениям при каждом событии. Инструментальные сейсмические записи

охватывают только последнее столетие, поэтому охватывают лишь очень малую часть сейсмического цикла.

На рисунке 2 приведена сводка современных данных о скорости смещения крыльев разломов в позднем плейстоцене-голоцене в пределах территории, расположенной северо-восточнее Таласо-Ферганского разлома. Интересно, что в зоне сочленения Тяньшаньского орогена с Казахским щитом, скорости смещения не так высоки, как можно было бы предполагать (0.3 – 2.2 мм/год). Зато повышенными скоростями обладают разломы, которые тяготеют к центральным частям орогена (3, 2-4 мм/год – активные разломы Каракуджурской впадины, $2.9 \pm 1.6 - 0.7$ мм/год – Акчопский разлом в Кочкорской впадине, 3.3 ± 0.1 мм/год – безымянный разлом в западной части Алабуга-Нарынской впадины). Максимальный уровень скоростей смещений наблюдается в юго-восточной части Иссык-Кульской впадины – 6 ± 4 мм/год и в Кегенской впадине – в зоне сочленения впадины с Терскейским хребтом – $3.5 \pm 1.7 - 0.4$ мм/год. Довольно высокими скоростями обладают активные разломы Арпинской впадины (2 – 6 мм/год), которые, по всей видимости, являются окончанием Таласо-Ферганского разлома, крылья которого смещаются правосторонне со скоростью 2.2 – 6.3 мм/год.

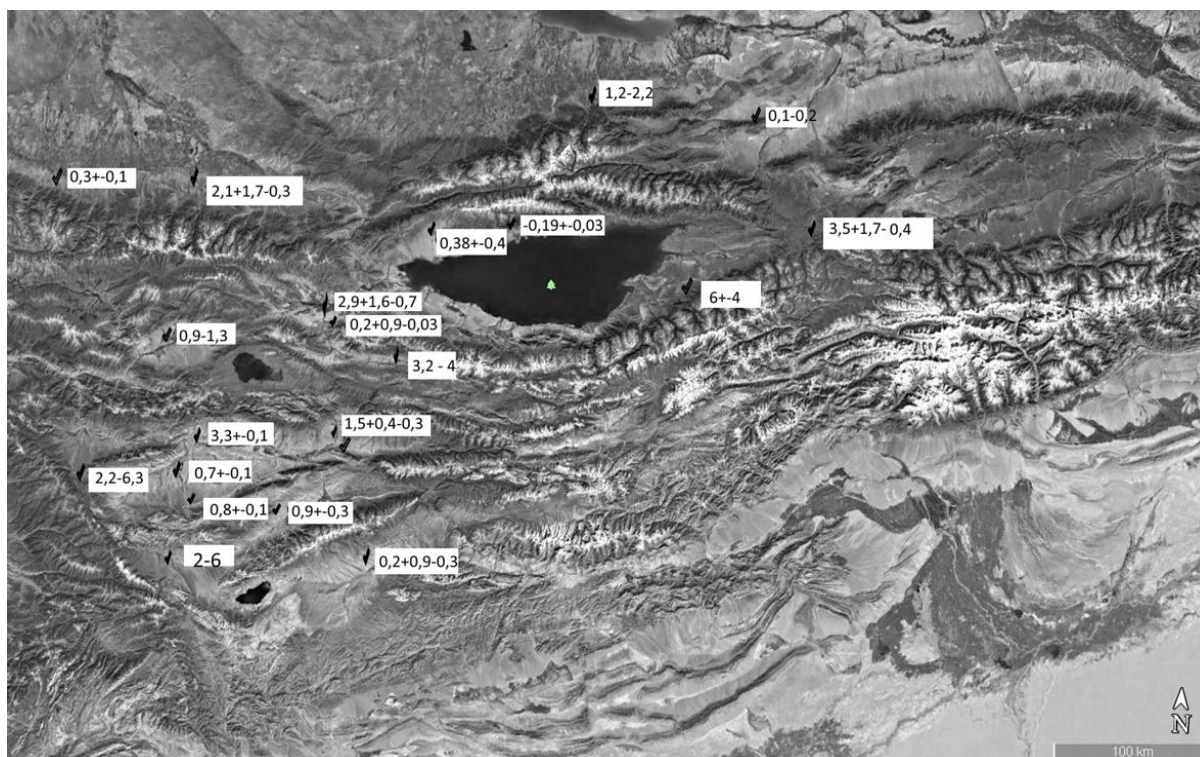


Рисунок 2. Скорость смещения (в мм/год) крыльев активных разломов, расположенных на территории Тянь-Шаня, северо-восточнее Таласо-Ферганского разлома в позднем плейстоцене-голоцене по данным К.Е. Абдрахматова, R.Weldon, S.Thompson, R. Burgette, G. E. Campbell, R. T. Walker, K., D. Mackenzie, M. Rizza, M. Patyniak, A. Landgraf, A. Dzhumabaeva, J. R. Arrowsmith, M. R. Strecker, Cording W.и многих других.

Скорость сокращения земной коры на Тянь-Шане по данным GPS составляет примерно 20 мм/год [23]. Сейсмические моменты землетрясений предполагают скорость сокращения равную в среднем 10 ± 3 мм/год [24]. Поэтому высокая скорость сокращения подразумевает либо значительную часть асейсмического крипа на Тянь-

Шане, либо наличие дефицита сейсмического смещения в 20 веке, что может свидетельствовать об увеличении риска возникновения сильного землетрясения в пределах этого региона. Очевидное из данных GPS [23] однородное накопление напряжений на Тянь-Шане показывает, что риск возникновения такого события не ограничивается только северной или южной окраиной орогена, а может возникнуть в пределах любого крупного разлома в пределах горной системы.

К сожалению, длинные интервалы повторения сильных землетрясений близки к временному масштабу изменения ландшафта, который может существенно изменяться в пределах 10 - 20 тыс. лет. Таким образом, несмотря на отличную сохранность окружающей среды за счёт относительно низких скоростей эрозии, низких скоростей смещения и длительных интервалов повторения сильных землетрясений могут привести к пропускам признаков активных разломов на поверхности, даже при наличии детальных полевых и дистанционных наблюдений – это следует учитывать при составлении карт активных разломов по всему региону.

Литература

1. Inter-Union Commission on the Lithosphere Task group: World map of active faults // Bull. INQUA Neotect. Commiss.1990, n.13.p.39-41.
2. Абдрахматов К.Е., Лемзин И.Н. Активные разломы Алабуга – Нарынской впадины. В кн.: Тянь-Шань в новейшем этапе геологического развития. Фрунзе, Илим, 1989, с. 78-90
3. Абдрахматов К.Е., Лемзин И.Н. Палеосейсмичность Центрального Тянь-Шаня // Изв. АН Кирг. ССР, № 4, 1990
4. Абдрахматов К.Е. Тектонические движения позднего плейстоцена и голоцена территории Кыргызской Республики. Автореф. дис. доктора геол - мин. наук. Бишкек, Илим, 1995, 35с.
5. Чедия О.К., Корженков А.М. О долговременном сохранении геоморфологических следов древних сейсмических катастроф// Геоморфология, 1997, №3, с.88-89
6. Чедия О.К., Михель Г., Михайлев В.Н. О темпах голоценовых тектонических движений и о попытке определения длительности периодов сейсмического затишья в Среднем Тянь-Шане // Изв. НАН КР, 1997, №1, с. 13-17
7. Корженков А.М. Сейсмогеология Тянь-Шаня. Бишкек, Илим, 2006, 290с.
8. Э.Мамыров, А.М.Корженков, Л.А.Орлова, В.Н.Раст, А.Л.Стром, А.Б.Фортуна, А.В.Бобровский, ВВ. Гребенникова, В.А.Маханькова, К.Нурманбетов. Геодинамика Таласо-Ферганского разлома Тянь-Шаня и стихийные бедствия на территории Центральной Азии. Бишкек, 2009, 230с.
9. Абдиева С. В., Корженков А. М. Активные разломы Суусамырской впадины, Северный Тянь-Шань., Наука и новые технологии, №1, 2012, с.34-46.
10. Абдрахматов К.Е., Р.Уилдон, С.Томпсон. Активная тектоника Тянь-Шаня Бишкек, Илим, 2007, 71с.
11. 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.DOI: <https://doi.org/10.1785/0120170083>
12. Landgraf A., Dzhumabaeva A., Abdrakhmatov K.E., Strecker M.R., Macaulay E.A., Arrowsmith JR, Sudhaus H., Preusser H., Rugel G., and Mershel S. Repeated large-magnitude earthquakes in a tectonically active, low- strain continental interior. The Northern Tien Shan, Kyrgyzstan, Kyrgyzstan, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 121(5), 2015JB012714.

13. Chedia O.K., Abdrakhmatov K.E., Lemzin I.N., Mihel G. Mihalev V. Issyk-Ata Northern Tien Shan fault in the Holocene \ \ Jornal of earthquake prediction Research – 2000-Val. 8-р 379-386
14. Абдрахматов К.Е. Некоторые неточности в определении сейсмоопасности Иссyk-Атинского разлома. Вестник Института сейсмологии НАН КР, №1(13), 2019, с.13-18.
15. G. E. Campbell, R. T. Walker, K. Abdrakhmatov, S. Carolin, A.S. Carr, J. R. Elliott J. Jackson, D. Mackenzie, M. Rizza, A. Rodes. Rapid Late-Quaternary slip, repeated prehistoric earthquake rupture, and widespread land-sliding associated with the Karakudzhur thrust, central Kyrgyz Tien Shan. 2019, Tectonics 38(1) DOI: 10.1029/2018TC005433
16. Джумабаева А.Б. Сейсмогенные разрывы Кочкорской впадины. Известия НАН КР, 2012, № 3, с. 41 – 44.
17. M. Patyniak, A. Landgraf, A. Dzhumabaeva, A. M. Williams, S. Baikulov, K. E. Abdrakhmatov, J. R. Arrowsmith, M. R. Strecker. Seismic Behavior Along a Fault Segment in an Active Continental Collision Zone: New Paleoseismic and Structural Data of the Pamir Frontal Thrust in the Alai Valley, Kyrgyzstan, Central Asia. EGU2020: Sharing Geoscience Online Session: TS7.5 | D1287 | EGU2020-4599, Central Asian Tectonics –Pamir, Tian Shan and Tibet from Paleozoic to Present 07 May, 2020
18. Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии, М., Научный мир, 1999, 252с.
19. Tibaldi A., Corazzato C., Rust D., Bonali F.L, Pasquaere Mariotto., Korjenkov A. et. al., Tectonic and gravity induced deformation along the active Talaso-Fergana fault, Tien Shan, Kyrgyzstan, Tectonophysics, 657, 38-62.
20. M.Rizza, K. Abdrakhmatov R. Walker, B. Braucher, V. Guillou, A.S. Carr, G. Campbell, J. Jackson, G. Aumaitre, D.L. Bourles, and K. Keddadouche Rate slip from multiple quaternary dating methods and paleoseismic investigations along the Talas – Fergana fault: tectonic implication for the Tien Shan Range; Tectonics, 38, 2477-2505, 2019
21. K. E. Abdrakhmatov, Walker R., Campbell G, A.S. Carr, Elliott A., C. Hilleman, J. Hollingsworth, A. Landgraf, Mackenzie D., Mukanbaev A., M. Rizza and R.A. Sloan Multisegment rupture in the 11 July 1889 Chilik earthquake (Mw 8.0–8.3), Kazakh Tien Shan, interpreted from remote sensing, field survey, and paleoseismic trenching. J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, doi:10.1002/ 2015JB012763
22. G. E. Campbell, R. T. Walker, K. Abdrakhmatov, J. Jackson, J. R. Elliot, D. Mackenzie, D. Middleton and J.L. Schwenniger (2015), Great earthquakes in low strain rate continental interiors; an example from SE Kazakhstan, J. Geophys. Res, Solid Earth? 120, 5507-5534/
23. K. E. Abdrakhmatov, Hager, B. H., Hamburger, M.W., Herring, T.A. et. al. Relatively recent construction of the Tien Shan inferred from GPS measurements of present-day crustal deformation rates; Nature, № 384: 1996. USA.
24. Molnar P. and Deng Oidong, J. Geophys. Res. Solid Earth 89, 6203 – 6227, 1984.

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