УДК 550.3

ПАЛЕОСЕЙСМИЧНОСТЬ ВДОЛЬ АДЫРНЫХ РАЗЛОМОВ (НА ПРИМЕРЕ КОКОНАДЫР-ТЕГЕРЕКСКОГО РАЗЛОМА В ЮГО-ЗАПАДНОМ ПРИИССЫККУЛЬЕ, ТЯНЬ-ШАНЬ)

© 2019 г. А. М. Корженков^{1, 2, *}, С. В. Абдиева^{2, **}, А. С. Гладков^{3, ***}, Е. В. Деев^{4, 5, ****}, Ц. Лю⁶, Й. В. Мажейка^{7, *****}, Е. А. Рогожин¹, М. В. Родкин^{8-10, ******}, А. А. Сорокин¹, И. В. Турова^{4, 5, ******}, А. Б. Фортуна²

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН 123242 Москва, ул. Большая Грузинская, 10 ²Институт коммуникаций и информационных технологий КРСУ Кыргызстан, 720000 Бишкек, ул. Киевская, 44 ³Институт Земной Коры СО РАН 664033 Иркутск, улица Лермонтова, 128 ⁴Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН 630090 Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3 5Геолого-геофизический факультет НГУ 630090 Новосибирск, ул. Пирогова, 1 ⁶Геологический институт Китайского сейсмологического управления Китай, 100029 Пекин, район Чаоян, Хуаяньли, 1 ⁷Nature Research Centre Lithuania, LT-08412 Vilnius, Akademijos str., 2 8 Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики PAH117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32 ⁹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН 693022 Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б ¹⁰Институт проблем нефти и газа РАН 119333 Москва, ул. Губкина, 3 *e-mail: korzhenkov@ifz.ru **e-mail: elma-kg@mail.ru ***e-mail: gladkov@crust.irk.ru *****e-mail: deevev@ngs.ru ******e-mail: irinka.turova@yandex.ru *******e-mail: mazeika@geo.lt *******e-mails: rodkin@mitp.ru, mikhail.rodkin@gmail.com Поступила в редакцию 18.02.2019 г.

Нами была изучена палеосейсмичность вдоль зоны адырного (предгорного) Коконадыр-Тегерекского разлома в ЮЗ Прииссыккулье. Было показано, что хотя сейсмические подвижки продолжаются по зоне тектонического контакта палеозойских пород Коконадыр-Тегерекского поднятия и четвертичных отложений Алабаш-Конуролёнгской впадины, основная часть выходов сейсмогенных разрывов на поверхность смещается на сотни метров к югу от упомянутого адырного разлома. Этот процесс приводит к формированию многоактных сейсмоуступов и компенсационных грабенов в их тыловой части. По данным радиоуглеродного датирования вдоль зоны Коконадыр-Тегерекского разлома имели место четыре сильных голоценовых землетрясения, произошедших во временные интервалы: 1771–1785 гг. н.э., 1440–1515 гг. н.э., а также вероятно в 2310–745 гг. до н.э. и 6400–5300 гг. до н.э. Судя по параметрам разрывов/сейсмоуступов их магнитуда была $M \ge 7$, а сейсмическая интенсивность $I_0 \ge IX$ баллов. Сильная сейсмическая активность вдоль зоны Коконадыр-Тегерекского разлома продолжается, по крайней мере, со среднечетвертичного времени. Свидетельством этому являются поднятые и брошенные долины этого возраста в одноименном поднятии и значительные накопления озерных осадков в северной части Алабаш-Конуролёнгской впадины. Мощная толща осадков связана с таянием ледников на северном склоне хребта Терскей Ала-Тоо, а брошенные долины свидетельствуют о значительном тектоническом подпруживании. Наиболее подходящей моделью, объясняющей формирование адыров (предгорий) в южной части Иссык-Кульской котловины, нам представляется модель выполаживающегося к северу пологопадающего магистрального разлома, которая осложняется обратными взбросами. Все полученные материалы могут быть использованы при построении новой Карты сейсмической опасности Кыргызской Республики.

Ключевые слова: сейсмоуступы, компенсационный грабен, адыры, поддвиги, Иссык-Куль, Тянь-Шань.

DOI: https://doi.org/10.31857/S0203-03062019536-53

ВВЕДЕНИЕ

Горы Тянь-Шаня начали формироваться 30—32 млн лет назад (в позднем олигоцене) в результате коллизии двух литосферных плит: Евроазиатской и Индийской [Molnar, Tapponier, 1975; Чедия, 1986]. Интенсивность тектонических движений, создавших горы, возрастает от начала тектонического этапа к современности. Именно поэтому Тянь-Шань отличается в настоящее время контрастным высокогорным рельефом и сильными землетрясениями.

Иссык-Кульская межгорная впадина располагается в северной части Тянь-Шаньского орогена. С севера котловина обрамляется хребтом Кунгей Ала-Тоо, с юга – хребтом Терскей Ала-Тоо, абсолютные высоты которых превышают 5 тыс. м над уровнем моря (рис. 1). Мощность кайнозойских осадочных образований во впадине достигает 5 тыс. м [Чедия, 1986]. Иссык-Кульская котловина и ее горное обрамление характеризуются интенсивной сейсмической активностью. Эпицентры почти всех известных сильных землетрясений находятся к северу от озерной ванны (см. рис. 1). Наиболее разрушительное из них — это Кебинское землетрясение 3 января 1911 г. с магнитудой $M_s = 8.2$ ($\dot{M}_w = 7.9$) интенсивностью сейсмических колебаний И $I_0 = X - XI$ баллов, которое вызвало образование многочисленных и значительных по размеру и объему сейсмодислокаций [Богданович и др., 1914; Кучай, 1969; Корженков, 2006; Arrowsmith et al., 2016 и др.].



Рис. 1. Топографическая карта Иссык-Кульской котловины.

Прямоугольником отмечен исследованный участок Алабаш-Конгуролёнгской впадине. Кружками показаны эпицентры сильных ($M_s \ge 6.5$) землетрясений, рядом подписан год сейсмического события, по [Джанузаков и др., 2003]. Все эпицентры известных, достаточно сильных землетрясений, при которых сейсмические очаги выходят на поверхность, сосредоточены к северу или к востоку от озерной ванны.

А.А. Никонов [Nikonov, 1988] показал, что для территории Тянь-Шаньского орогена лишь при землетрясениях с $M \ge 6.5$ происходит выход сейсмического очага на поверхность – образование сейсмоуступа. До наших работ в Южном Прииссыккулье [Корженков и др., 2014, 2016, 2018а; Деев и др., 2016; Korzhenkov, Deev, 2017] сейсмоуступы здесь никем не выявлялись, хотя по инструментальным данным в этом регионе происходят, время от времени, землетрясения умеренной силы, но их магнитуда никогда не достигала 6.5 [Джанузаков и др., 2003]. С учетом таких инструментальных данных район исследований на картах сейсмического районирования территории Кыргызской Республики расположен в зоне ожидаемых землетрясений с магнитудой ≤ 6.5 [Абдрахматов и др., 2012]. Наши исследования в Алабаш-Конгуролёнгской впадине позволяют пересмотреть это положение.

В нашей работе мы использовали стандартные методы исследований, применяемые в палеосейсмологии, полно изложенные в монографии [Paleoseismology, 1996 и др.]. Использование этих научных подходов детально описано во многих исследовательских работах по всему миру, а также в наших собственных статьях и монографиях по Центральной Азии, Ближнему Востоку, Кавказу и Крыму, поэтому нет необходимости еще раз возвращаться к этой теме.

ПОЛУЧЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Особенности четвертичных тектонических движений: поднятые и брошенные долины, тектоническое подпруживание, айсберги/паковые льды

Мы работали на юго-западе Иссык-Кульской котловины, в Алабаш-Конгуролёнгской внутригорной впадине (рис. 2, рис. 3). Она получила свое название отчасти из-за своего удобного положения между горами (конгур(о)лёнг можно перевести с киргизского как "укрытое место", ала баш — "пестрая голова"). Внутривпадинное поднятие Алабаш на западе котловины хорошо известно местным жителям и археологам из-за многочисленных петроглифов различных времен (от андроновской культуры XVII-IX вв. до н.э. – до современности). С юга Алабаш-Конгуролёнгская впадина обрамляется величественным хребтом Терскей Ала-Тоо, а с севера – его предгорьями – горами Тегерек и Коконадыр [Корженков, 1987].

Источником воды в этой долине служат многочисленные горные речки и ручьи, берущие начало от ледников и фирновых полей на северных склонах Терскейского хребта. Когда-то (еще в неогене) все эти водные артерии намывали свои собственные конуса выноса. Последние, соединившись, образовывали пологую, наклонную к северу аллювиально-пролювиальную равнину, простиравшуюся до самого Иссык-Куля [Bowman et al., 2004]. Но в начале четвертичного периода из-за продолжающейся коллизии Индии и Евразии бывшие участки осадконакопления во впадине стали вовлекаться в поднятие, формируя предгорья Терскей Ала-Тоо [Чедия, 1986].

Реки северного склона Терскейского хребта в начале четвертичного периода еще могли прорезать растущие хребты Коконадыр и Тегерек, но из-за интенсивных импульсных подвижек по адырным (предгорным) разломам в настоящее время они собирают все свои воды в двух местах и несут их к Иссык-Кулю через антецедентные участки долин рек Актерека и Аксая (см. рис. 3, рис. 4). Остатки поднятых и брошенных речных русел наблюдаются в разных Коконадыр-Тегерекского местах поднятия (адырного хребта). Наиболее впечатляющая брошенная долина сквозь адырный хребет — перевал Дувана, через который идет региональная дорога на юг: от регионального центра – села Кара-Коо (расположенного на шоссе Балыкчи-Каракол) в Алабаш-Конгуролёнгскую впадину (рис. 5). Еще в среднем плейстоцене здесь протекала горная река, но, в связи с интенсивным тектоническим поднятием хребтов Коконадыр и Тегерек, часть ее бывшего русла (в то время антецедентная долина) превратилась в поднятую и брошенную долину [Макаров, 1977].

Значительный рост Коконадыр-Тегерекского поднятия по одноименному разлому (см. рис. 2) был импульсным. Об этом свидетельствуют вышеупомянутые брошенные долины в водораздельной части поднятия, серия сейсмоуступов вдоль его южного подножия на протяжении 50 км и заболоченное пространство северной части впадины, которая была заполнена озером до середины XX века [Корженков, 1987].

Следует отметить, что такие активные импульсные подвижки по Коконадыр-Тегерекскому разлому, способствовавшие возникновению в котловине тектонически-подпрудного озера, начались достаточно давно. В восточном окончании гор Коконадыр в карьере к северу от села Тогузбулак нами были изучены хорошо сортированные позднечетвертичные(?) озерные отложения (рис. 6). Среди песков с горизонтальной слоистостью были встречены линзы крупнозернистого материала и даже глыбы (дропстоуны), принесенные айсбергами или паковым льдом.

Аналогичный заброшенный карьер вдоль фронта Коконадыр-Тегерекского адырного поднятия имеется также к северу от села Кёксай. Здесь в хорошо отсортированных, чередующихся слоях крупнозернистого песка имеются глыбы



Рис. 2. Геологическая карта (а) на район Алабаш-Конгуролёнгской впадины и ее горного обрамления и разрез (б) по линии А–Б, по [Помазков, 1968] с изменениями и дополнениями.

1 — палеозойские породы, 2 — палеогеновые отложения, 3 — неогеновые отложения, 4 — четвертичные отложения, 5 — акватория озера Иссык-Куль, 6 — активные разломы (*a* — установленные, *б* — предполагаемые, треугольнички на карте показывают направление падения плоскости разлома, 7 — дороги и населенные пункты.

Сокращения на карте: КТР – Коконадыр-Тегерекский разлом, ПТР – Предтерскейский разлом. Вертикальный и горизонтальный масштабы на разрезе одинаковы.

чуждого материала — белого гранита, выходы которого известны лишь на северном склоне Терскей Ала-Тоо (рис. 7а, 7б). В хорошо сортированные, горизонтальнослоистые пески такие глыбы могут быть отложены с помощью плавучего льда.

Подобные карьеры с сортированными песчаными отложениями мощностью в десятки метров свидетельствуют об озерном генезисе осадков. По-видимому, во время деградации последнего оледенения (МИС-2) в конце позднего плейстоцена—голоцене вся Алабаш-Конгуролёнгская впадина была занята тектонически-подпрудным озером, источником воды и осадков для которого были флювиогляциальные потоки от отступающих ледников северного склона хребта Терскей Ала-Тоо. Подобное озеро в упомянутой впадине могло существовать лишь при значительном тектоническом подпоре со стороны Коконадыр-Тегерекского поднятия и высоком

КОРЖЕНКОВ и др.



Рис. 3. Топографическая карта Алабаш-Конгуролёнгской впадины. Размер каждой клетки — 4×4 км. В квадратах латинскими цифрами указаны изученные участки сейсмоуступов.



Рис. 4. Современный антецедентный участок р. Акте- Рис. 5. Понижение в рельефе — ветровая брешь Дува-– водная брешь для большинства речек Алабашрек -Конгуролёнгской впадины. Вид на север к востоку от участка II, см. рис. 3. Фото 1984 г. Здесь и далее фото ми и снежниками. Вид на юг к западу от участка II, А.М. Корженкова.

положении брошенных долин над днищем котловины. Все вышесказанное однозначно свидетельствует об интенсивном тектоническом поднятии Коконадыр-Тегерекского поднятия, заложившегося, по крайней мере, в начале среднего плейстоцена.

Выходы сейсмических очагов на поверхность — сейсмоуступы

Наши работы в Алабаш-Конгурлёнгской впадине начались еще в 1984 г. с изучения региональных морфоструктур, однако они не включали в то время палео- и археосейсмологическое обследование сейсмоактивных разломов, которое



на через Коконадыр-Тегерекское поднятие. На дальнем плане — хребет Терскей Ала-Тоо, покрытый ледникасм. рис. 3.

проводилось уже в 2013-2018 гг. [Деев и др., 2016; Корженков и др., 2018а]. Нам удалось выявить выходы на поверхность активных разломов, которые отражались в рельефе в виде сейсмоуступов (эскарпов – рис. 8, рис. 9), разрушивших археологические памятники позднего голоцена.

Мы попытались выявить расположение сейсмоуступов, параметры и возраст сильных палеоземлетрясений в западной части впадины [Деев и др., 2016] – к югу от гор Коконадыр (участок I, см. рис. 3). В северном борту западной части впадины выявлен широтный сейсмоуступ (выход сейсмического очага на поверхность) протяженностью 2.3 км и высотой до 4-6 м, нарушающий



(б)





Рис. 6. Озерные отложения в карьере к северу от села Тогуз-Булак.

а – общий вид песчаного карьера к югу от Коконадыр-Тегерекского разлома (показан стрелками), вид на север; б – линза крупнозернистого песка и дресвы (оконтурена пунктирной линией) в окружении сортированного средне- и мелкозернистого слоистого песка, в линзе имеется также обломок выветрелого светлого гранита, подобные линзы – свидетельства либо айсбергового разноса, либо переноса паковым льдом отложений в мерзлом состоянии; в – отдельная гранитная глыба в переслаивающихся песках Тогузбулакского карьера, доставка ее от источника сноса в хребте Терскей Ала-Тоо к горам Коконадыр-Тегерек возможно лишь с помощью плавучего льда.

позднеплейстоцен-голоценовые конусы выноса (см. рис. 8а). Ниже по склону зафиксированы фрагменты второго и третьего сейсмоуступов длиною в первые сотни метров.

В западной стенке сухого сая, прорезающего сейсмоуступы в месте их сочленения, описан разрез [Деев и др., 2016], в котором в стратиграфической последовательности вскрыт следующий набор пролювиальных слоев (рис. 10).

Слой 1. Серый щебень с отдельными валунами. Мощность более 0.45 м.

Слой 2. Линза серого крупногрубозернистого песка протяженностью около 2.6 м и мощностью до 0.2 м. Из песка отобраны раковины гастро-

под. ¹⁴С возраст раковин, определенный AMS методом, составил 7550 \pm 40 л. н. (Роz-66205), калиброванный возраст — 8400—8340 л. н.

Слой 3. Линза серого щебнедресвяника протяженностью 2.3 м и мощностью до 0.16 м. Щебень преимущественно крупный (> 5 см).

Слой 4. Линза серого щебнедресвяника протяженностью около 1.7 м и мощностью до 0.4 м. Щебень преимущественно мелкий (< 5 см). Залегание слоев 1–4 нарушено разломом F1, имеющим взбросовую кинематику и падающим на север под углом 40°. Амплитуда смещения составляет 0.5 м. Слои 1–4 и нарушающий их взброс срезаются слоями 5–7.

(б)





Рис. 7. Заброшенный карьер у южного подножья Коконадыр-Тегерекского поднятия к северу от села Кёксай. В хорошо отсортированных горизонтально переслаивающихся слоях песка и дресвы залегает глыба белого гранита, принесенная сюда айсбергом или паковым льдом с хребта Терскей Ала-Тоо.

а – общий вид карьера и адырное поднятие на заднем плане; б – фрагмент карьера, вид на СВ.



Рис. 8. Сейсмоуступы вдоль южного подножия Коконадыр-Тегерекского поднятия.

а — уступ вдоль подножия гор Тегерек (вид на запад, молодые люди стоят на тыловом шве и бровке уступа, к востоку от участка I, см. рис. 3); б — сейсмоуступ вдоль южного подножия гор Дувана, в центральной части Алабаш-Конгурлёнгской впадины, дама в шляпе стоит у тылового шва уступа, двое мужчин — у бровки, вид на запад, участок II, см. рис. 3; в — горст(-антиклиналь?), выраженный с обеих сторон уступом в первые метры, 1.5 км севернее села Кёксай, вид на ЮЗ + поднятое крыло разлома — опущенное (здесь и далее: жирные черные линии проведены по подножью сейсмоуступов, стрелки также показывают выходы активных разломов на поверхность, участок III, см. рис. 3); г — сейсмоуступ в восточной части Алабаш-Конгуролёнгской впадины к северу от села Темирканат, идущий вдоль зоны Коконадыр-Тегерекского адырного разлома, вид на север, участок IV, см. рис. 3.



Рис. 9. Схематические внемасштабные зарисовки зоны предгорного надвига. От главной надвиговой плоскости на севере (показана двойной жирной линией), разделяющей палеозойские породы гор Коконадыр-Тегерекского поднятия и четвертичные отложения Алабаш-Конгуролёнгской впадины, ответвляются новые дополнительные плоскости (показаны пунктиром), которые рвут пролювиальные (четвертичные) отложения слившихся конусов выноса гор Тегерек, Дувана, Коконадыр, Акбакши с образованием сейсмоуступов.

а – участок I, см. рис. 3; б – участок II, см. рис. 3; в – участок III, см. рис. 3; г – участок IV, см. рис. 3.

Слой 5. Выклинивающаяся к центральной части разреза линза серого гравийного дресвяника. Мощность до 0.2 м.

Слой 6. Линза серого средне-, крупнозернистого песка протяженностью 2.4 м и мощностью до 0.1 м. Из песка отобраны раковины гастропод. ¹⁴С возраст раковин, определенный AMS методом, составил 6465 \pm 35 л. н. (Poz-66204), калиброванный возраст – 7400–7320 л. н.

Слой 7. Крупный щебень с многочисленными отломами и валунами в серовато-белой супеси. Мощность до 0.9 м. Залегание слоев 1–7 нарушено разломом F2, имеющим взбросовую кинематику и падающим на север под углом 20–50°. Амплитуда смещения составляет 0.4 м. В результате поднятия северного крыла разлома слой 7 частично эродирован. Слой 7 и нарушающий его целостность взброс F2 перекрываются слоем 8.

Слой 8. Современная бедная гумусом горная почва. Мощность до 0.2 м.

Таким образом, в разрезе обнаружены два взброса, соответствующие двум различным палеоземлетрясениям: более древнему — F1 и более молодому — F2. Кинематика смещений указывает на то, что северный борт Алабаш-Конгуролёнской впадины надвигается на ее осадочное выполнение. Возраст землетрясения, сформировавшего подвижку по плоскости F1, находится в диапазоне 7300-8400 л. н.

Второй взброс, с которым связано морфологическое оформление уступов, имеет более



Рис. 10. Разрез западной стенки сухого сая, рассекающего сейсмогенный уступ в северном борту Алабаш-Конгуролёнской впадины, по [Деев и др., 2016], участок I на рис. 3.

1-7 – пролювиальные слои: 1 – наиболее крупные валуны, отломы и глыбы, 2 – отломы, 3 – валуны, 4 – щебень (*a* – крупный, *б* – мелкий), 5 – дресва, 6 – гравий, 7 – песок; 8 – супесь; 9 – современная бедная гумусом горная почва; 10 – разломы.

молодой возраст. В разрезе он перекрыт только современной почвой. О возрасте землетрясения позволяют судить деформации археологических памятников на поверхности пролювиальных конусов [Деев и др., 2016].

Мы прошли траншеей также фронтальную зону сейсмоуступа в СЗ части впадины (рис. 11) - к югу от гор Дувана (участок II, см. рис. 3). Слои, слагающие сейсмический эскарп, представляют собой различные фации пролювиальных, аллювиальных и субаэральных обстановок. В нижней части разреза залегают коричневые, массивные, плотные и влажные глины, видимой мощностью до 60 см. Этот слой – отложения текущей поблизости, в нескольких десятках метрах к югу, речки Карасу. В этом месте тектонически подпруженная Карасу имеет медленное течение и сильно меандрирует, поэтому отлагает тонкий осадочный материал. Выше располагается слой крупнозернистых песков с супесчаным заполнителем и включением гравия. Встречающиеся в слое обломки палеозойских пород "висят" в заполнителе. Мощность этого слоя – 50 см. Это селевые отложения, снесенные временными водотоками вниз с гор Дувана. Третий слой – плотные массивные лессовидные суглинки мощностью 90 см. В этом слое во фрагментах палеопочвы были отобраны две пробы (KOD-1 (Vs-FTMC-25-1), KOD-3 (Vs-FTMC-25-3)), имеющие калиброванный возраст 1270–1305 и 1440–1515 гг. н.э. Верх разреза представлен рыхлой темно-коричневой супесчаной горной почвой. Ее мощность – до 50 см.

Уступ высотой 1.5 м обязан своим происхождением двум сейсмогенным подвижкам. Это хорошо видно на рис. 11. Так, разрыв III рвет слой глины и надвигает ее к югу на слой песка и супесей. Общая величина этой первой подвижки, измеренная в траншее, составляет около 1 м. Это первое сейсмическое событие, оно имело место еще до отложения вышезалегающего слоя лессовидных суглинков, где мы обнаружили небольшие прослои палеопочвы с калиброванным возрастом 1270–1305 и 1440–1515 гг. н.э. К этому событию, вероятно, относится и открытие трещин (II) в лежачем крыле сейсмоуступа, в которые провалилась часть материала вышележащих песков и супесей.

Большинство выявленных разрывов сейсмоуступа у подножия гор Дувана (I, IV–VII) относятся ко второму землетрясению. Подтверждается это тем, что они прорывают все толщи в разрезе, вплоть до современного почвенного слоя. Смещения по большинству плоскостей небольшие – несколько сантиметров, однако по разрыву I произошла главная – 1-метровая подвижка при последнем землетрясении. Это так называемая цветковая структура, образующаяся при формировании сдвигов: от одного магистрального разрыва на глубине вверх по разрезу рас-



Рис. 11. Исследование сейсмодислокаций у южного подножия гор Дувана. Пройденная траншея через фронтальную часть сейсмоуступа, восточная стенка, участок II, см. рис. 3.

1 — современная почва и палеопочвы, 2 — глины, 3 — крупнозернистые пески с супесчанным заполнителем и включением гравия, 4 — супеси, 5 — массивные лессовидные суглинки, 6 — паттум, 7 — разрывы, 8 — направление смещения по разрывам, 9 — неокатанный гранитный щебень, 10 — места отбора проб на радиоуглеродный анализ, в прямоугольниках указан их калиброванный возраст.

крывается серия разрывов меньшего масштаба или трещин. Ранее мы обнаружили аналогичную одномоментную сейсмогенную подвижку (хоть и меньшего масштаба) в стене средневековой Караханидской крепости в селе Тоссор, в южной части Иссык-Кульской впадины [Корженков и др., 2016], а также при траншейных исследованиях на юге Иссык-Кульской впадины, в зоне Южно-Тегерекского разлома [Korzhenkov, Deev, 2017].

Нам удалось определить ее возраст (разумеется, в пределах ошибки измерений и расчетов радиоуглеродного метода) — 1725—1785 гг. н.э. При последнем землетрясении близ разрывной плоскости IV образовалось понижение — "карман", куда ссыпался органический материал (горная почва), который мы использовали для датирования (KOD-2 (Vs-FTMC-25-2)). Этот объем пород и был захоронен вышележащими почвенными отложениями. Необходимо учитывать, что вышележащий почвенный слой мог "загрязнить" нашу пробу углеродом, поэтому упомянутую датировку следует считать минимальной.

Ранее по историческим материалам нам удалось определить, что возраст последнего землетрясения по описываемому активному разлому имел место во временном промежутке 1771 г. (возвращение калмыков в Джунгарию) – XIX в. (время ремонта древних кумбезов – надмогильных памятников в Алабаш-Конуролёнгской впадине) [Корженков и др., 2018а]. Радиоуглеродный возраст позволил сузить эту "вилку" всего лишь до 14 лет. Итак, последнее землетрясение в Алабаш-Конуролёнгской впадине по Коконадыр-Тегерекскому разлому произошло в промежутке 1771 г. (возвращение калмыков в Джунгарию) и 1785 г. (верхний возраст радиоуглеродной пробы в почвенном "кармане"), т.е., в конце XVIII века.

Сложный ансамбль сейсмоуступов отмечен нами в СВ части Алабаш-Конуролёнгской впадины к северу от главной дороги, идущей на восток по долине между селами Тогузбулак и Кёксай (участок III, см. рис. 3, рис. 8в). Один уступ тянется сюда от гор Кюнгей и проходит на расстоянии в 700 м от северного горного фронта (от собственно зоны адырного Коконадыр-Тегерекского разлома). Высота эскарпа достигает здесь 5 м, а протяженность около 3 км. Далее к востоку уступ приближается к горсту, образованному двумя сейсмоуступами (см рис. 8в, рис. 9в). Южный эскарп, образующий горст – взброс, он по своей кинематике совпадает с адырным разломом, а северный уступ горста – это поддвиговая структура. Высота обоих эскарпов – 3.5 м. Азимут простирания северного уступа – 270°, в то время как простирание горного фронта здесь 250°. Далее к востоку эта структура приближается к горам и сливается с адырным разломом.

К югу от бровки северного сейсмоуступа проходит цепочка курганов, судя по их морфологии, — сако-усуньского времени. Один из курганов деформирован в своей северной части. Эта часть опустилась вниз во фронте эскарпа. Таким образом, возраст сейсмогенной формы рельефа — не древнее 2.0–2.5 тыс. лет.

Восточная часть Алабаш-Конуролёнгской впадины также демонстрирует проявления сильной сейсмической активности. Так, в сотне метрах к югу от горного фронта – Коконалыр-Тегереского поднятия, представленного здесь горами Акбакши, к северу от села Темирканат (участок IV, см. рис. 3, рис. 8г, рис. 9г) параллельно одноименному адырному разлому проходит молодой сейсмогенный разрыв, образующий сейсмоуступ или два уступа, отстоящие друг от друга на несколько десятков метров. Эти уступы вздергивают слившиеся конусы выноса, образуя субгоризонтальные площадки, на которых в настоящее время построены кошары или ведется сельскохозяйственная деятельность. Высота уступов от 2 до 4 м. Эти эскарпы кулисно подставляют друг друга и к западу и к востоку сливаются с адырным Коконадыр-Тегерекским разломом.

Компенсационный грабен в тылу надвига

В 2016—2017 гг. в Алабаш-Конгуролёнгской впадине нам удалось выявить и изучить необычное субширотное понижение в наклонной пролювиальной равнине, образованной слившимися конусами выноса с гор Дувана (см. рис. 96, рис. 12). Полевые исследования показали: это сложный, ступенчатый грабен, находящийся в тылу современного активного надвига, выраженного в рельефе сейсмоуступом.

В центральной части грабена нами была пройдена траншея длиною 20 м и глубиною до 1.5 м. Ее стенки сложены чередующимися различными пролювиальными фациями. Внизу залегают паттумы серого цвета с обломками гранитоидов видимой мощностью 65 см, которые вверх по разрезу приобретают коричневый цвет. Выше — линза крупнозернистого гравийного песка (мощность до 20 см) и снова паттумная толща (мощностью до 30 см), но теперь красноватого цвета и снова крупнозернистые пески с гранулами (мощность 15 см), венчает которые бедная сероцветная горная почва. Ее мощность 15–20 см.

В слое серых паттумов нами были отобраны пробы (ALAB-3 (Vs-2766) и ALAB-4 (Vs-2768)) на 14 С датирование, которые имеют калиброванный возраст 760–1020 гг. н.э. — 860–1155 гг. н.э. Расположенные выше красноватые паттумы более молодые — их возраст 1520–1595 гг. н.э. согласно калиброванному возрасту пробы (ALAB-2 (Vs-2765)), в них отобранной.

В траншее отмечен ряд разрывов. Это сбросовые плоскости, имеющие ступенчатый характер. Важно отметить, что особенности осадконакопления в самом грабене и во вмещающем его пролювиальном шлейфе различны. Это говорит о том, что сначала – до периода времени 760–1020–860–1155 гг. нашей эры имело место сравнительно спокойное отложение пролювиальных фаций: тектонический режим территории был спокойный. Затем – в XVI веке н.э. (1520–1595 гг.) произошло образование грабена, который стал быстро заполняться селевыми отложениями.

Возрастная интерпретация образования грабена, изложенная по данным картирования стенки траншеи в восточной части структуры, подтверждается материалами документации западной стенки шурфа, пройденного в днище грабена в его западной части (рис. 13). Шурф имеет глубину 2.6 м и довольно простое строение: под слоем сероцветной горной почвы мощностью до 60 см залегают две пролювиальные – паттумные толщи мощностью 1.6 м, различающиеся лишь по цвету. Под ними имеется маломощная палеопочва (0.2 м), также подстилаемая светло-коричневым пролювием. Низ современной почвы имеет калиброванный возраст 1480-1685 гг. ALAB-6 (Vs-RAD-2-2016-2), что совпадает в пределах ошибки радиоуглеродного метода с датой 1520-1595 гг. из траншеи.

Компенсационные сбросы в тылу надвигов — известное явление при сильных землетрясениях на Тянь-Шане. Так, например, при Суусамырском землетрясении 1992 г. (M = 7.3, $I_0 = IX-X$ баллов) в тылу восточного сейсмогенного разрыва, вышедшего на поверхность в виде надвига, образовалось характерное понижение — грабен [Ghose et al., 1997].

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ. ВОЗРАСТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И СТРУКТУРНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ИХ ОЧАГОВ

Возраст последнего землетрясения в Алабаш-Конуролёнгской впадине определен: это конец XVIII века. Мы уже писали выше, что, судя по строению сейсмоуступа и компенсационного грабена к югу от гор Дувана, вдоль исследованной зоны Коконадыр-Тегерекского разлома, было еще одно – более древнее сейсмическое событие. Его возраст может быть определен по пробе КОD-3 (Vs-FTMC-25-3), имеющей калиброванный возраст 1440–1515 гг. н.э. Это фрагмент палеопочвы, попавшей в "структурный карман", образованный когда-то разрывами VI и VII в стенке сейсмоуступа (см. рис. 11). Эта датировка коррелируется с возрастом пробы ALAB-2 (Vs-2765) 1520–1595 гг. н.э. – нача-

ВУЛКАНОЛОГИЯ И СЕЙСМОЛОГИЯ № 5 2019

лом интенсивного заполнения образовавшегося компенсационного грабена позади сейсмоуступа. Еще одна датировка — 1480—1685 гг. ALAB-6 (Vs-RAD-2-2016-2), полученная из шурфа, также в хорошем соответствии с вышеприведенными возрастами. Это возраст нижней части современной почвы, начавшей свое образование на мощной толще пролювия, накопившегося в компенсационном грабене. Временной интервал между последним и предшествующим землетрясениями составил 200–250 лет, что сопоставимо с интервалами между землетрясениями вдоль Ак-Суйского разлома на севере Иссык-Кульской котловины [Корженков и др., 20186].

Возможно, с оговорками, предполагать еще одно землетрясение, следы которого остались в шурфе, пройденном в компенсационном грабене. Его минимальный калиброван-





а – космический снимок, на котором виден след хвоста огромного дракона длиною около 1 км (показан стрелками), участок II, см. рис. 3. Вверху (на севере) – горы Дувана, составляющие Коконадыр-Тегерекского адырного поднятия. Внизу (на юге) – меандры р. Карасу. Жирная черная линия – Коконадыр-Тегерекский адырный разлом, черная линия к северу от нее – правый взбросо-сдвиг (черные стрелки показывают направление смещения), другая черная линия к югу – сейсмоуступ. + – взброшенное крыло разлома, - – опущенное крыло, су – траншея, пройденная через сейсмоуступ (см. рис. 11), кг – траншея, пройденная через центральную часть компенсационного грабена (см. рис. 12в), ш – шурф, пройденный в компенсационной грабене (см. рис. 13); б – фотография грабена в его западной части, вид на ЗЮЗ, днище грабена показано стрелками, пунктирная линия – исходная поверхность пролювиального конуса выноса; в – траншея, пройденная через центральную часть компенсационного грабена к югу от гор Дувана, восточная стенка, условные обозначения см. рис. 11. ный возраст определяется по пробе ALAB-5 (Vs-RAD-2-2016-1) - 2310-745 гг. до н.э. Проба взята из маломощной и бедной палеопочвы в упоминавшемся шурфе, которая характеризует краткий период спокойного - тонкозернистого осадконакопления на пролювиальной толше, выполняющей низ компенсационного грабена. Палеопочва могла накопиться на поверхности конуса выноса, а затем опустилась вместе с подстилающими и перекрывающими паттумами. Наличие палеопочвы говорит о том. что землетрясение, сформировавшее основную морфологию уступа и компенсационный грабен, произошло не ранее 2310-745 гг. до н.э. Если наши предположения верны, то здесь интервал между 2-м и 3-м землетрясениями составляет более 2 000 лет. Что ж, и это возможно и ти-



Рис. 13. Шурф в западной части компенсационного грабена, западная стенка, участок II, см. рис 3. Условные обозначения см. рис. 11.

пично для разломов Иссык-Кульской впадины. Так, всплески сейсмической активности по упоминавшемуся уже Ак-Суйскому разлому длительностью 1000–1500 лет разделяет период затишья в 2000 лет [Корженков и др., 20186].

Таковой представляется нам история землетрясений в ЮЗ части зоны Коконадыр-Тегерекского разлома. Но у нас есть возрастные датировки и для сейсмоуступа в западной части этой разломной зоны. Там в расчистке сухого ручья нами были обнаружены два взброса, соответствующие двум различным палеоземлетрясениям: более древнему — F1 и более молодому - F2. Возраст землетрясения, сформировавшего подвижку по плоскости F1, находится в диапазоне 7300-8400 л. н. Следует отметить, что радиоуглеродный возраст, определенный по раковинам, имеет значительное удревление по сравнению с датировками из этого же слоя, определенными по органике почвенных горизонтов или органическим включениям, таким как уголек, косточка или кусочек древесины. Для достоверного пользования данными по раковинам моллюсков необходимо провести калибровку с современными раковинами на участке раскопа. К сожалению, нами подобный отбор современных раковин и последующая калибровка проведены не были.

Второй взброс, с которым связано морфологическое оформление уступов, имеет существенно более молодой возраст. В разрезе он перекрыт только современной почвой и соответствует, поэтому, землетрясению XVIII века.

До сего момента мы обсуждали сейсмическую активность вдоль сейсмоуступов, образовавшихся в голоценовое время к югу от собственно тектонического контакта палеозойских пород, слагающих Коконадыр-Тегерекское поднятие, и четвертичных отложений, выполняющих Алабаш-Конуролёнгскую впадину. Возникает вопрос, является ли сама эта тектоническая граница сейсмически активной?

Мы пересекли вышеназванный контакт впадины и ее горного обрамления на южном склоне гор Дувана в месте, где старая грунтовая автомобильная дорога спускается с одноименного перевала к ЮВ в высокогорную долину. Сухой сай (ручей) образовал здесь узкое ущелье - свою антицедентную долину в коренных породах хребта – красных гранитах. В 5 м к югу от выходов коренных пород в промоине в рыхлых современных отложениях видна взбросовая разломная плоскость (рис. 14). По ней крупнообломочные пролювиальные и коллювиальные отложения взброшены на более тонкие слоистые разности (сверху-вниз): крупнозернистый песок с гравием (мощностью 25 см), среднезернистый песок (35 см), дресва (10 см). Видимая мощность грубых отложений над днищем сухого сая — 70 см. По-видимому, это отложения первой надпойменной террасы сухого бассейна.

В лежачем крыле разлома в песках видны сколовые разрывы со смещением до 5 см. Подобные небольшие разрывы встречаются в тонких осадках и вниз по течению. Их наклон и структурное положение совпадают с плоскостью главного надвига.

Аналогичная картина наблюдается и к востоку от описанного участка. Здесь в 8.5 м от выходов коренных пород в зоне Коконадыр-Тегерекского разлома в эрозионном врезе в пролювиальных отложениях конуса выноса наблюдается молодой разрыв (рис. 15). В висячем крыле дизъюнктива залегают селевые отложения с едва намечающейся слоистостью и большим количеством обломков коренных пород, висящих в цементе. Описанные отложения надвинуты на флювиогляциальную толщу переслаивающихся хорошо сортированных слоев дресвы, крупнозернистых песков, супесей, суглинков с включениями небольших неокатанных обломков. Видимая мощность обеих толщ — 2 м. Обсуждаемый разрыв не прорывает современную бедную серую горную почву, формирующуюся на рыхлых супесях. Таким образом, последние подвижки по разрыву имели место сотни лет назад.

На описываемом участке один из мощных конусов выноса в горах Кюнгей вздернут на несколько десятков метров и значительно прорезан оврагами (см. рис. 15б). Подобный рельеф является следствием быстрого воздымания горной гряды.

(a)





Рис. 14. Зона Коконадыр-Тегерекского разлома в районе спуска старой автомобильной дороги из урочища Дувана вниз – к ЮВ, в Алабаш-Конуролёнгскую впадину, участок II, см. рис. 3.

а – близкий вид разлома в расчистке на правом (западном) склоне долины сухого сая: надвигание грубообломочных пролювиальных отложений (с севера) на сортированные пески и дресву; б – прорисовка зоны разлома, показанной на рис. 14а, грубые пролювиально-коллювиальные отложения (d) взброшены на более тонкие разности: крупнозернистый песок с гравием (а), среднезернистый песок (b), дресва (с); в – зона Коконадыр-Тегерекского разлома показана белыми стрелками, черные стрелки маркируют одну из право-сдвиговых зон, смещающих Коконадыр-Тегереское поднятие, вид на ССЗ.





Рис. 15. Зона Коконадыр-Тегерекского разлома в районе заброшенного песчаного карьера к северу от села Кёксай, участок III, см. рис. 3.

а – надвигание коллювиально-деллювиальных отложений (на севере) на сортированные, переслаивающиеся толщу песков и дресвы, восточная стенка сухого сая, вид на ВСВ; б – общий вид горного фронта Коконадыр-Тегерекского поднятия, белыми стрелками показана зоны одноименного разлома: черные стрелки показывают вздернутые отложения песчаного карьера, стрелка с кругом – обнажение на рис. 15а), вид на ССВ. В точке наблюдения видно разделение горного фронта на севере на две горные цепи. Одна из них с горой Беркут (2418 м) имеет субширотное простирание. Другая цепь – горы Акбакши подставляет первую, замещает ее, становится восточным продолжением Алабаш-Конуролёнгской впадины, простираясь в ВЮВ направлении. Между описываемыми горными цепями имеется по-видимому (лево-?) сдвиговая структура, по которой горы Беркут смещаются к западу.

Параметры сейсмоуступов позволяют оценить магнитуды землетрясений XVIII и XV–XVI веков. С этой целью мы использовали соотношения, выведенные А.А. Никоновым для горных районов Средней Азии [Nikonov, 1989]:

$$M = 7.09 + 0.79 \text{ lgD},$$

где D — величина смещения (м) по разрыву (в обоих случаях по 1 м для ЮЗ части Алабаш-Конуроленгской впадины, участок II, см. рис. 3). Таким образом, M = 7.1.

Если использовать формулу А.А. Никонова [Nikonov, 1989] для определения магнитуды землетрясения по длине единичного разрыва:

$$M = 7.26 + 0.32$$
 lgl,

где 1 — длина единичного разрыва (км) (возьмем наш сейсмоуступ на участке III с его 3 км). Таким образом, M = 7.4.

Однако, если мы предположим, что сейсмогенный разрыв активизировался однажды на протяжении всего Коконадыр-Тегерекского адырного разлома, то по формуле А.А. Никонова [Nikonov, 1989]:



Рис. 16. Модель выполаживающегося к северу магистрального разлома, объясняющая особенности новейших структур Южного Приссыккулья, по [Burgette, 2008] с изменениями и дополнениями.

$$M = 6.61 + 0.55 \, \text{lgL},$$

где L — длина (км) зоны разрыва на поверхности (в нашем случае 50 км). Таким образом, M = 7.5.

Согласно шкале MSK-64, интенсивность (I_0) землетрясений при таких магнитудах могла составлять 9–10 баллов.

Если использовать формулу Д.Л. Уэллса и К. Дж. Копперсмита [Wells, Coppersmith, 1994] и рассматривать одноактное смещение по разрыву на участке II в 1 м, то имеем:

$$M = 6.93 + 0.82 \text{ lgAD},$$

где AD — среднее смещение (м), таким образом M = 6.9.

Если учитывать коэффициенты корреляции только для разломов взбросово-надвиговой кинематики Уэллсом и Копперсмитом [Wells, Coppersmith, 1994], то получим:

M = 6.64 + 0.13 lg AD, таким образом M = 6.6.
Однако, мы указывали уже ранее [Корженков, 2006], что формулы Д.Л. Уэллса и К. Дж. Копперсмита [Wells, Coppersmith, 1994]
дают систематическое занижение значений магнитуд для Тянь-Шаня, если подставлять в них параметры современных сильных землетрясений

региона, зафиксированных и параметризован-

ных цифровой сетью сейсмических станций. Как и в других местах Тянь-Шаня и Прииссыккулья, тектонические движения по адырным разломам перешли от собственно зоны контакта палеозойских пород предгорного хребта и четвертичных отложений внутригорной впадины вглубь тектонической депрессии. Здесь происходят те же процессы – распространение подъема на прилегающие впадины, что и для структур первого порядка, только в меньшем масштабе [Корженков и др., 2016; Korzhenkov, Deev, 2017]. В связи с продолжающимся сокращением земной коры Тянь-Шаня, бывшие территории впадин (участки осадконакопления) превращаются в поднятия и начинают служить источником денудации [Корженков, 1987].

Чтобы понять структурное положение выявленных нами землетрясений, обратимся к строению земной коры в юго-западной части Прииссыккулья (см. рис. 2б). Наиболее подходящая модель (хотя и гипотетическая), объясняющая формирование здесь адыров (предгорий), — модель выполаживающегося к северу пологопадающего разлома [Burgette, 2008], которая осложняется обратными взбросами. Несмотря на кажущееся различие новейших структур в разных районах Южного Прииссыкулья, теперь все их особенности и механизмы формирования могут быть объяснены одной этой моделью (рис. 16). При этом необходимо признать наличие единой зоны Предтерскейского

ВУЛКАНОЛОГИЯ И СЕЙСМОЛОГИЯ № 5 2019

разлома, который не краевой в классическом понимании этого термина, но долгоживущий. На протяжении новейшего этапа он разделяет структуры, различающиеся режимами движений. Таким образом, источниками сильных землетрясений в этом районе **могут быть** местные адырные разломы II порядка — составляющие (оперяющие) главного Предтерскейского магистрального разлома.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами была изучена палеосейсмичность вдоль зоны адырного Коконадыр-Тегерекского разлома в ЮЗ Прииссыккулье. Было показано, что хотя сейсмические подвижки продолжаются по зоне тектонического контакта палеозойских пород Коконадыр-Тегерекского поднятия и четвертичных отложений Алабаш-Конуролёнгской впадины, основная часть выхода сейсмогенных разрывов на поверхность смещается на сотни метров к югу от упомянутого адырного разлома, приводя к формированию многоактных сейсмоуступов и компенсационных грабенов в их тыловой части.

По данным радиоуглеродного датирования вдоль зоны Коконадыр-Тегерекского разлома имели место четыре сильных голоценовых землетрясения, произошедшие во временные интервалы: 1771–1785 гг. н.э., 1440–1515 гг. н.э., а также вероятно в 2310–745 гг. до н.э. и в 6400–5300 гг. до н.э. Судя по параметрам разрывов/сейсмоуступов, их магнитуда была $M \ge 7$, а сейсмическая интенсивность $I_0 \ge IX$ баллов.

Сильная сейсмическая активность вдоль зоны Коконадыр-Тегерекского разлома продолжается, по крайней мере, со среднечетвертичного времени, о чем свидетельствуют брошенные долины этого возраста в одноименном поднятии и значительные накопления озерных осадков, связанных с таянием ледников, на северном склоне хребта Терскей Ала-Тоо в северной части Алаба-Конуролёнгской впадины, свидетельствующие о значительном тектоническом подпруживании.

Наиболее подходящей моделью, объясняющей формирование адыров (предгорий) в южной части Иссык-Кульской котловины, нам представляется модель выполаживающегося к северу пологопадающего магистрального разлома, которая осложняется обратными взбросами.

Все полученные материалы могут быть использованы при уточнении новой Карты сейсмической опасности Кыргызской Республики.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Проведенные исследования были выполнены при поддержке госпрограммы исследований

ВУЛКАНОЛОГИЯ И СЕЙСМОЛОГИЯ № 5 2019

ИФЗ РАН, проектов РФФИ № 17-05-00351_а, № 18-55-41005 Узб_т, № 19-55-53017 ГФЕН_а, МНТЦ № G-2153.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абдрахматов К.Е., Джанузаков К.Д., Фролова А.Г., Погребной В.Н. Карта сейсмического районирования территории Кыргызской Республики (Объяснительная записка). Бишкек: Илим, 2012. 51 с.

Богданович К.И., Карк И.М., Корольков Б.Я., Мушкетов Д.И. Землетрясение в северных цепях Тянь-Шаня 22 декабря 1910 г. (4 января 1911 г.) // Тр. Геол. комитета. Новая серия. Вып. 89. СПб., 1914.

Деев Е.В., Турова И.В., Корженков А.М. и др. Результаты палеосейсмологических и археосейсмологических исследований в западной части Алабаш-Конуроленской внутригорной впадины (Южное Прииссыккулье, Кыргызстан) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 7. С. 1381-1392.

Джанузаков К., Омуралиев М., Омуралиева А. и др. Сильные землетрясения Тянь-Шаня в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов стран Центральной Азии. Бишкек: Илим, 2003. 216 с.

Корженков А.М. Особенности строения и формирования морфоструктур на юг-западе Иссык-Кульской впадины // Изв. АН Киргиз. ССР. 1987. № 2. С. 54-59.

Корженков А.М. Сейсмогеология Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов). Бишкек: Илим, 2006. 289 с.

Корженков А.М., Абдиева С.В., Мажейка Й. и др. О неизвестных сильных голоценовых землетрясениях на юге Иссык-Кульской котловины, Тянь-Шань // Вопросы инженерной сейсмологии. 2014. Т. 41. № 2. С. 30-40.

Корженков А.М., Кольченко В.А., Лужанский Д.В. и др. Археосейсмологические исследования и структурная позиция средневековых землетрясений на юге Иссык-Кульской впадины (Тянь-Шань) // Физика Земли. 2016. № 2. С. 71-86.

Корженков А.М., Абдиева С.В., Рогожин Е.А., Сорокин А.А. Неизвестное сильное землетрясение в Иссык-Кульской котловине // Природа. 2018а. № 3. С. 24-35.

Корженков А.М., Эрроусмит Р., Кросби К. и др. Сильные палеоземлетрясения вдоль Аксуйского краевого разлома по материалам датирования смещенного террасового комплекса реки Чон-Аксуу, Северный Тянь-Шань // Физика Земли. 2018б. № 2. С. 64-80.

Кучай В.К. Результаты повторного обследования остаточных деформаций в плейстосействой области Кебинского землетрясения // Геология и геофизика. 1969. № 8. С. 101-108.

Макаров В.И. Новейшая тектоническая структура Центрального Тянь-Шаня. М.: Наука, 1977. 176 с.

Помазков К.Д. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Северо-Тянь-Шаньская. К-43-XVII. Министерство геологии СССР. Л.: Картфабрика ВАГТ, 1968. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1986. 286 с.

Arrowsmith J.R., Crosby C.J., Korzhenkov A.M. et al. Surface rupture of the 1911 Kebin (Chon-Kemin) earthquake, Northern Tien Shan, Kyrgyzstan. Seismicity, Fault Rupture and Earthquake Hazards in Slowly Deforming Regions / Eds A. Landgraf, S. Kuebler, E. Hintersberger, S. Stein // Geological Society, Special Publications. London, 2016. V. 432. P. 1-21.

Bowman D., Korjenkov A., Porat N., Czassny B. Morphological response through competing of thrusting and erosion, at basin foothills, the northern Tien Shan, Kyrghyzstan // Geomorphology. 2004. V. 63. P. 1-24.

Burgette R.J. Uplift in Response to Tectonic Convergence: The Kyrgyz Tien Shan and Cascadia Subduction Zone (Ph.D. thesis). Corvallis: University of Oregon, USA, 2008. 127 p.

Ghose S., Mellors R.J., Korjenkov A.M. et al. The $M_S = 7.3$ 1992 Suusamyr, Kyrgyzstan, earthquake in the

Tien-Shan: 2. Aftershock Focal Mechanisms and Surface Deformation // Bull. Seism. Soc. Amer. 1997. V. 87. P. 23-28.

Korzhenkov A.M., Deev E.V. Underestimated seismic hazard in the south of the Issyk-Kul Lake region (Northern Tien Shan) // Geod. Geodyn. 2017. V. 8. Iss. 3. P. 169-180.

Molnar P., Tapponier P. Cenozoic Tectonics of Asia: Effects of a continental collision // Science. 1975. V. 189. P. 419-426.

Nikonov A.A. Reconstruction of the main parameters of old large earthquakes in Soviet Central Asia using the paleoseismogeological method // Tectonophysics. 1988. V. 147. \mathbb{N}_{2} 3-4. P. 297-312.

Paleoseismology / Ed. J.P. McCalpin. San Diego: Academic Press, 1996. 588 p.

Wells D.L., Coppersmith K.J. New emprical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1994. V. 84. Iss. 4. P. 974-1002.

PALEOSEISMICITY ALONG ADYR FAULTS (ON EXAMPLE OF KOKONADYR-TEGEREK FAULT IN SOUTH-WESTERN ISSYK-KUL LAKE REGION, TIEN SHAN)

A. M. Korzhenkov^{1, 2, *}, S. V. Abdieva^{2, **}, A. S. Gladkov^{3, ***}, E. V. Deev^{4, 5, ****}, Ts. Liu⁶,

J. V. Mazeika^{7, ******}, E. A. Rogozhin¹, M. V. Rodkin^{8-10, *******}, A. A. Sorokin¹,

I. V. Turova^{4, 5, *****}, A. B. Fortuna²

¹O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS,

Bol'shaya Gruzinskaya str. 10, Moscow, 123242 Russia

²Institute of Communications and Information Technologies KRSU,

Kievskaya str. 44, Bishkek, 720000 Kyrgyzstan

³Institute of the Earth Crusts SB RAS, Lermontova str. 128, Irkutsk, 664033 Russia

⁴A.A. Trofimuk Institute of the Oil-Gas Geology and Geophysics SB RAS,

Academician Koptyug Ave. 3, Novosibirsk, 630090 Russia

⁵Geological and Geographical Department NSU,

Pirogova str. 1, Novosibirsk, 630090 Russia

⁶Geological Institute of China Seismological Survey,

Khuayan'li, 1, Beijing, Chaoyan Region, 100029 China

⁷Nature Research Centre, Akademijos str. 2, Vilnius, LT-08412 Lithuania

⁸Institute of Theory of the Earthquake Forecast and Mathematical Geophysics RAS,

Profsoyuznaya str. 84/32, Moscow, 117997 Russia

⁹Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS,

Nauki str. 1B, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022 Russia

¹⁰Institute of Problems of the Oil and Gas RAS, Gubkina str. 3, Moscow, 119333 Russia

*e-mail: korzhenkov@ifz.ru

**e-mail: elma-kg@mail.ru

***e-mail: gladkov@crust.irk.ru

****e-mail: deevev@ngs.ru

*****e-mail: irinka.turova@yandex.ru

******e-mail: mazeika@geo.lt

******e-mails: rodkin@mitp.ru, mikhail.rodkin@gmail.com

Received February 18, 2019

We have studied paleoseismicity along a zone of the Kokonadyr-Tegerek adyr (foothill) fault in SW Issyk-Kul Lake region. It was shown that, although seismic movements continue along a zone of the tectonic contact of Paleozoic rocks of the Kokonadyr-Tegerek uplift and Quaternary deposits of the Alabash-Konurolyong depression, main number of appearance of seismogenic ruptures in the surface shift southward on hundreds of meters from the advr fault mentioned above. This process leads to a formation of multiple fault scarps and compensation grabens in their back parts. According to data of radiocarbon dating along the Kokonadyr-Tegerek fault zone there were 4 strong Holocene earthquakes occurred during time intervals: 1771–1785 AD, 1440–1515 AD, and also possibly in 2310–745 BC and 640-5300 BC. Judging by parameters of the fault scarps their magnitudes were $M \ge 7$, and seismic intensity $I_0 \ge IX$. Strong seismic activity along the Kokonadyr-Tegerek fault zone continues at least from Mid-Pleistocene. Evidences of this statement are uplifted and abandoned river valley of that time in the uplift with the same name as well as significant accumulation of the lacustrine sediments in northern part of the Alabash-Konurolyong depression. Large thickness of the sediments is tied with glaciers melting in the northern slope of the Terskey Ala-Too Range, and abandoned valleys testify on significant tectonic damming. Most proper model explaining formation of the adyrs (foothills) in the southern part of the Issyk-Kul Depression is a model of a gently dipping main fault flattening out northward, which is complicated by the underthrusts. All obtained data can be used at compilation of a new Map of Seismic Hazard of Kyrgyz Republic.

Key words: Fault scarps, compensation graben, adyrs, underthrusts, Issyk-Kul, Tien Shan.