

УДК 551.2/3

РЕЖИМ СИЛЬНЫХ ГОЛОЦЕНОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗОНЫ КУЛЬТОРСКОГО РАЗЛОМА В СЕВЕРНОМ ПРИИССЫККУЛЬЕ (ТЯНЬ-ШАНЬ) ПО ДАННЫМ РАДИОИЗОТОПНОГО ДАТИРОВАНИЯ

© 2023 г. Л. А. Корженкова^{а, *}, А. М. Корженков^{б, **}, В. М. Макеев^{а, ***}, Й. В. Мажейка^{с, ****}, М. В. Родкин^{д, *****}, А. А. Стрельников^{б, *****}, А. Б. Фортуна^{е, *****}

^аИнститут геоэкологии РАН, Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

^бИнститут физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, ул. Большая Грузинская, 10, стр. 1, Москва, 123242 Россия

^сГосударственный научно-исследовательский институт “Центр природных исследований”, ул. Академиос, 2, Вильнюс, LT-08412 Литва

^дИнститут теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, ул. Профсоюзная, 84/32, Москва, 117997 Россия

^еИнститут сейсмологии НАН КР, микрорайон Асанбай, 52/1, Бишкек, 720060 Кыргызстан

*e-mail: korjenkova2404@mail.ru

**e-mail: korzhenkov@ifz.ru

***e-mail: vmakeev@mail.ru

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

*****e-mail: rodkin@mitp.ru

*****e-mail: aas@ifz.ru

*****e-mail: alla-fortuna0@rambler.ru

Поступила в редакцию 19.08.2022 г.

После доработки 24.08.2023 г.

Принята к публикации 04.09.2023 г.

С помощью структурно-геоморфологических и палеосейсмологических методов были исследованы морфоструктуры северного склона хребта Кунгей Ала-Тоо и его южные предгорья (адыры). Анализ данных радиоизотопного датирования (радиоуглеродного и инфракрасного люминесцентного) в пройденных горных выработках показывает латеральную миграцию сильной сейсмической активности вдоль зоны Культорского разлома (Северное Прииссыккулье). Было подтверждено, что современная сильная сейсмическая активность сосредотачивается в адырной зоне и приурочена к адырным разломам. За голоценовое время вдоль разломной зоны произошло, по крайней мере, семь морфогенетических землетрясений. В нашей эре повторяемость морфогенетических землетрясений составляла 200–300 лет. При этом в VII и XV веках вдоль этого дизъюнктива, по всей видимости, имели место сильнейшие сейсмические катастрофы с $M \sim 7.5$ ($I_0 = X$ баллов), во время которых сейсмические очаги выходили на поверхность, образуя сейсмоуступы длиной до 70–80 км.

Ключевые слова: палеосейсмичность, адырные разломы, сейсмоуступы, траншеи, “слепые” разломы, радиоизотопное датирование, Культорский разлом, Иссык-Кульская впадина, хребет Кунгей Ала-Тоо, Тянь-Шань

DOI: 10.31857/S0203030623700311, EDN: XJXGZA

ВВЕДЕНИЕ

Сильная сейсмическая активность севера Иссык-Кульской котловины ни у кого не вызывает сомнения. Именно здесь — вдоль субширотных отрезков рек Чон-Аксуу и Кичи-Аксуу — вышел на поверхность очаг (разрыв) Кебинского землетрясения 1911 г. ($M_s = 8.2$, $I_0 = X-XI$ баллов) (рис. 1). Здесь же сейсмическая сеть зарегистрировала Жаланащ-Тюпское сейсмическое событие в 1978 г. с $M_s = 6.8$, $I_0 = VIII-IX$ баллов и Байсоорунское

землетрясение 1990 г. ($M_s = 6.5$, $I_0 = VIII$ баллов) [Джанузаков и др., 2003]. Если такие сильные — морфогенетические землетрясения произошли только в XX веке, каков сейсмический режим был на этой территории сотни, тысячи лет назад? Использование методов архео- и палеосейсмологии [Archaeoseismology, 1996; Palaeoseismology, 1996 и др.] позволяет дать ответ на поставленный вопрос.

Надо сказать, что последствия сильных древних сейсмических событий в исследованном ре-

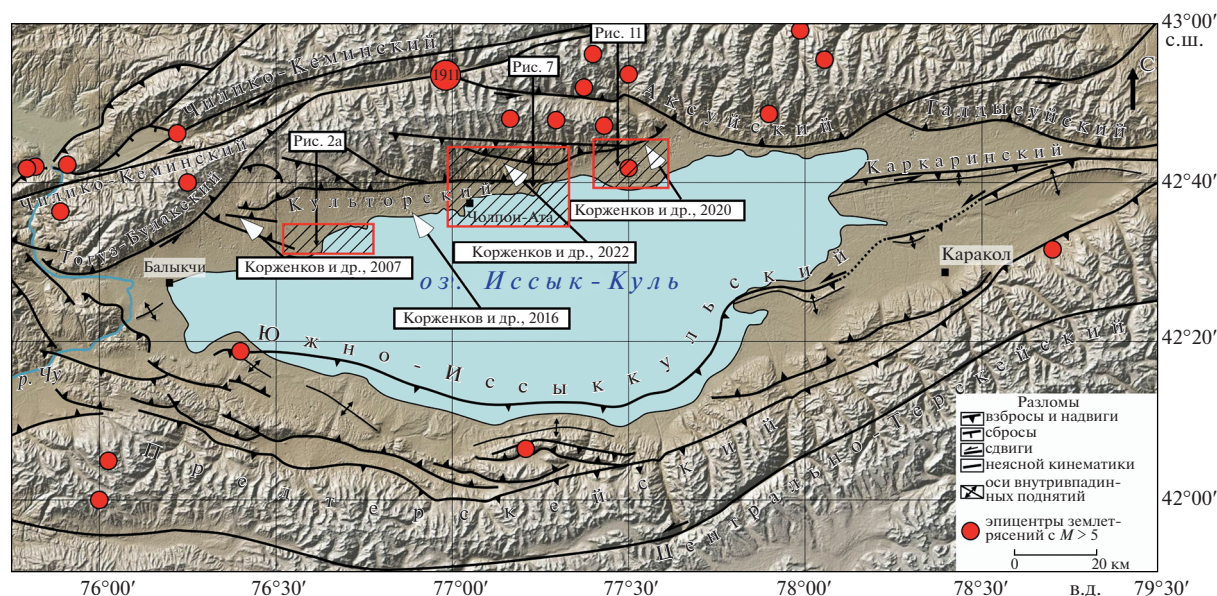


Рис. 1. Основные активные структуры Прииссыккуля (по [Корженков и др., 2019] с изменениями и дополнениями). Оттененный рельеф создан с использованием пакета GeoMapApp (<http://www.geomapp.org>). Стрелки указывают места горных выработок, в прямоугольниках — ссылки на статьи, где находится описание стенок траншей. Заштрихованные прямоугольники — фрагменты геологических карт, используемых в статье.

гионе уже изучались ранее: известны, например, работы Ч.У. Утирова [1978, 1993], которым в процессе работ по Детальному сейсмическому районированию Иссык-Кульской впадины были выделены участки палеосейсмодислокаций. Недостатком этих исследований было использование лишь структурно-геоморфологического метода для выявления следов древних землетрясений, в то время как внутренняя структура сейсмических деформаций и их возраст оставались неизвестными.

Качественный прорыв в местной палеосейсмологии произошел в 1990-х гг. с приходом в регион международных научных групп. Изучение сейсмогенных конволюций в осадках Мертвого моря и перенесение опыта их выявления в Иссык-Кульскую котловину позволило описать аналогичные структуры разжижения и в голоценовых-позднеплейстоценовых отложениях высокогорного озера [Корженков и др., 1999; Bowman et al., 2004a; Поволоцкая и др., 2006]. Исследования сейсмоступов с помощью проходки палеосейсмологических траншей и шурфов дало ключ к пониманию внутренней структуры приповерхностных частей зон сейсмогенерирующих разломов, а также определению возраста сейсмогенных подвижек [Korjenkov et al., 2006a, 2006b; Корженков и др., 2007, 2011, 2015, 2016, 2018, 2020; Абдрахматов и др., 2013; Деев, Корженков, 2016; Deev et al., 2018; Корженкова и др., 2022]. Десятки датировок, полученные с помощью радиоуглеродного и люминесцентного методов, позволяют перейти к изу-

чению режима сильных древних землетрясений в Северном Прииссыккулье. Именно этому вопросу и посвящена данная работа.

МОРФОСТРУКТУРЫ НА СЕВЕРЕ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ

Иссык-Кульская впадина находится в северной части Тянь-Шаньского орогена и является сложным синклинием. На юге котловина имеет тектонический контакт с хребтом Терской Ала-Тоо (антиклинорием) вдоль зоны Предтерской разлома. На севере Иссык-Кульская впадина граничит с хребтом Кунгей Ала-Тоо (также антиклинорием, составленным рядом мегантиклинальных структур) по серии краевых разломов, кулисно подставляющих друг друга: Тогуз-Булакскому, Культорскому, Аксуйскому и Талды-Булакскому (см. рис. 1). Хребты Терской и Кунгей Ала-Тоо сложены преимущественно палеозойскими породами, нарушенными каледонскими и герцинскими складчато-разрывными деформациями. В течении позднего палеозоя, мезозоя и раннего кайнозоя рассматриваемый регион находился в платформенных условиях развития, что выразилось образованием пенепленизированной денудационной поверхности. В начале позднего кайнозоя (в олигоцене) начались интенсивные тектонические движения, которые привели к формированию новейших поднятий и прогибов и образованию разломов. Кульминацией этих дви-

жений явилось формирование горного рельефа и накопление грубообломочной молассы. Иссык-Кульская впадина является конседиментационной, выполненной 5-километровой толщей преимущественно позднекайнозойских накоплений.

Кунгейское обрамление Иссык-Кульской впадины представлено четырьмя новейшими мегантиклинальными структурами, из которых Западно-Кунгейская имеет СВ простирание, Чоктал-Агалаташская – ЗСЗ простирание, а Центрально-Кунгейская и Восточно-Кунгейская мегантиклинали ориентированы широтно [Чедия, Трофимов, 1978]. Три последние мегаструктуры расположены в системе правых кулис. Для всех четырех мегаструктур характерна отчетливая асимметрия: южные крылья (склоны) поднятий относительно пологие, с сохранившимися фрагментами доорогенного пенеплена, северные крылья крутые, короткие, оборванные разломами, по которым взброшены на примыкающую с севера структуру. На крутых крыльях пенеплен не сохранился; на них с различной отчетливостью запечатлена ярусность рельефа, выработанная в процессе спорадических (импульсных) орогенических движений.

В связи с продолжающимся сокращением земной коры между Евразийской и Индийской литосферными плитами, бывшие участки осадконакопления Иссык-Кульской впадины вовлекаются в поднятие и, поэтому, каждый из перечисленных краевых разломов формирует перед собой адырные (предгорные) поднятия, южным ограничением которых являются адырные разломы. Эти дизъюнктивы представляют собой тектонический контакт предгорной зоны, сложенной преимущественно палеогеновыми и неогеновыми породами, и аллювиально-пролювиальными четвертичными отложениями. Эти отложения слагают слегка наклонную равнину, спускающуюся вниз под воды озера.

По всей видимости, значительная часть сокращения земной коры региона приходится теперь на адырные разломы, вдоль которых развита лестница сейсмоуступов. Авторам представляется, что уступы вдоль адырных разломов были сформированы преимущественно импульсными подвижками. В пользу этого утверждения говорят нижеследующие факты: 1) исследованный регион относится к Северо-Тяньшаньской зоне высокой сейсмической активности, характеризующейся сильнейшими историческими сейсмогенными катастрофами, такими как Кебинское (1911 г.) землетрясение с $M > 8$, во время которого формировались сейсмоуступы высотой до 10–12 м [Богданович и др., 1914; Atgowsmith et al., 2016]; 2) эпизентральные области этих землетрясений и окружающие их регионы наделены широким развитием палеосейсмодислокаций, в том числе и значительными сейсмоуступами [Утиров, 1978, 1993; Чедия,

Корженков, 1997; Корженков, 2000; Korjenkov et al., 2004 и др.]; 3) район адырной зоны Прииссык-куля характеризуется высокой скоростью эрозийного вреза и предгорной аккумуляции [Корженков, 1988], т.е., в случае медленных криповых движений обсуждаемые уступы неминуемо должны были быть размыты водами консеквентных водотоков или перекрыты (засыпаны) мощной толщей пролювиально-делювиальных отложений.

Кроме того, имеется ряд характерных признаков, позволяющих отделять сейсмотектонические дислокации от асейсмогенных [Солоненко, 1962, 1973 и др.]. Эти остаточные деформации характеризуются следующими признаками: 1) они приурочены к зонам активизированных в новейшее время разломов или располагаются в пределах активно развивающихся морфоструктур; 2) по простиранию они не согласуются с пластикой рельефа, нарушая разнотипные геоморфологические поверхности; 3) поднятые крылья сейсмогенных разрывов образуют уступы; 4) данные дислокации хорошо сохраняются в рельефе. Рассматриваемые уступы отвечают всем вышеперечисленным признакам, поэтому мы в дальнейшем будем именовать их как сейсмоуступы, а подвижки по адырному разлому, приведшие к их формированию – сейсмогенными.

Проанализируем теперь полученными нами данные по Культорскому разлому Северного Прииссыккуля начиная с запада на восток.

СИЛЬНАЯ ПАЛЕОСЕЙСМИЧНОСТЬ ВДОЛЬ ЗОНЫ КУЛЬТОРСКОГО РАЗЛОМА

Западное окончание зоны Культорского разлома приурочено к бассейну р. Тору-Айгыр (рис. 2). Здесь названная река пропиливает antecedentный участок своей долины в западном переклиналном окончании Чоктал-Агалаташской мегантиклинали, облекаемой на севере и на юге палеогеновыми отложениями коктурпакской свиты, конформно залегающими на древней денудационной поверхности. К югу от этого участка имеются адырные поднятия Ак-Теке и Текрен, являющиеся морфологическим выражением одноименных адырных разломов, ответвлениями главного Культорского разлома (см. рис. 2) [Корженков, 2000; Bowman et al., 2004; Корженков и др., 2007, 2011].

Нами была детально изучена зона Ак-Текинского адырного разлома [Корженков, 2000; Bowman et al., 2004; Корженков и др., 2007]. Для нашей настоящей статьи особое значение имеют профили № 16–18 пройденные по голоценовой террасе (рис. 3). Сейсмические подвижки по Ак-Текинскому адырному разлому сместили ее на высоту 2.50–4.25 м (в среднем около 3 м). Возраст этой террасы висячем крыле разлома был опре-

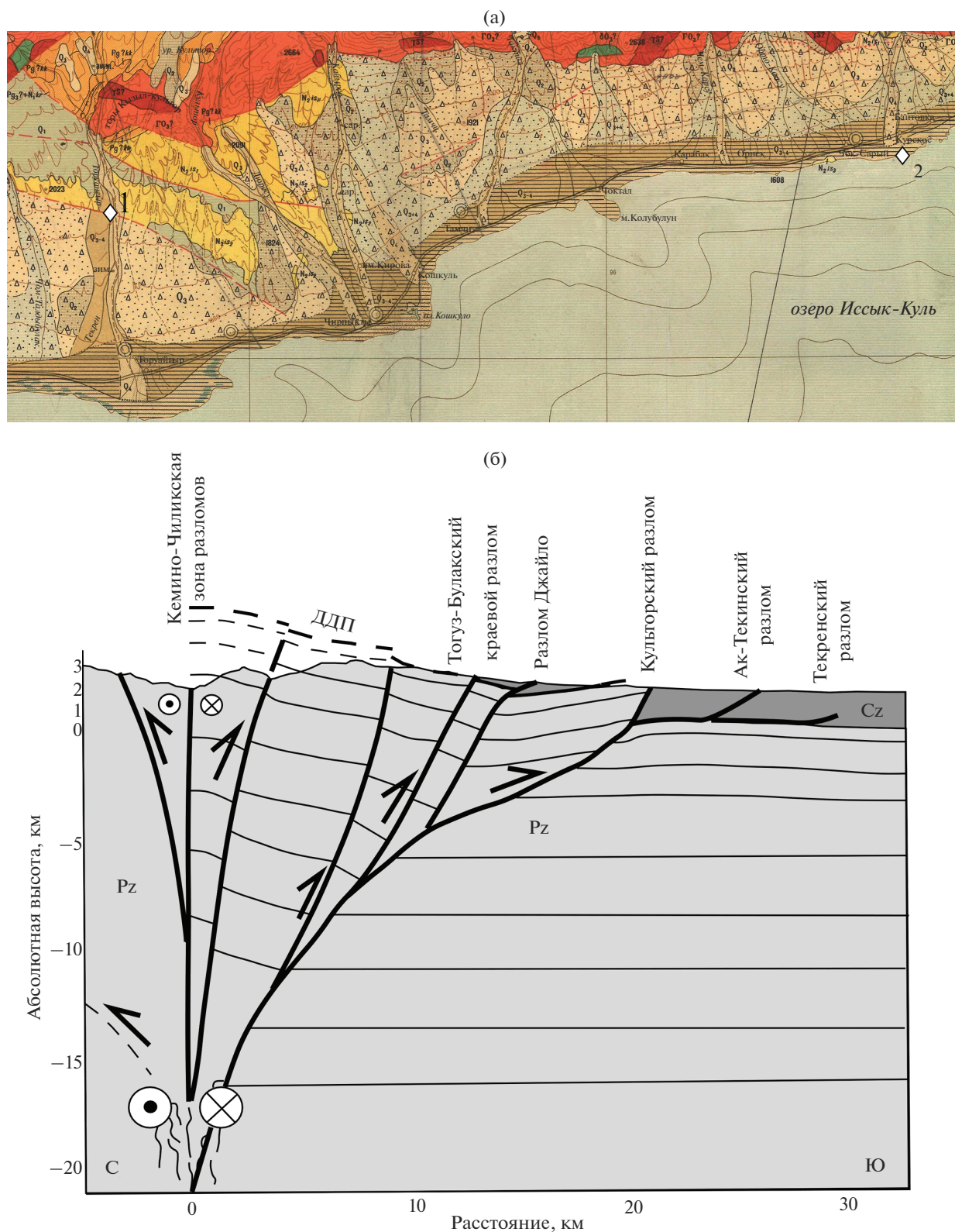


Рис. 2. Фрагмент геологической карты 1 : 200 000 Северо-Западного Прииссыккуля (по [Помазков, 1962] с дополнениями) и сбалансированный разрез по долине реки Торуйгыр.

а — карта (оттенками красного цвета и зеленым цветом показаны палеозойские породы, оранжевый и желтый цвет — палеогеновые и неогеновые отложения соответственно, оттенками серого показаны четвертичные отложения, ромбиками — места наших исследований): 1 — Ак-Текинский разлом, секущий долину реки Торуйгыр, 2 — затопленная крепость эмира Тимура; б — сбалансированный разрез по долине р. Торуйгыр, построенный по [Selander, 2008] с изменениями, показаны только главные структуры.

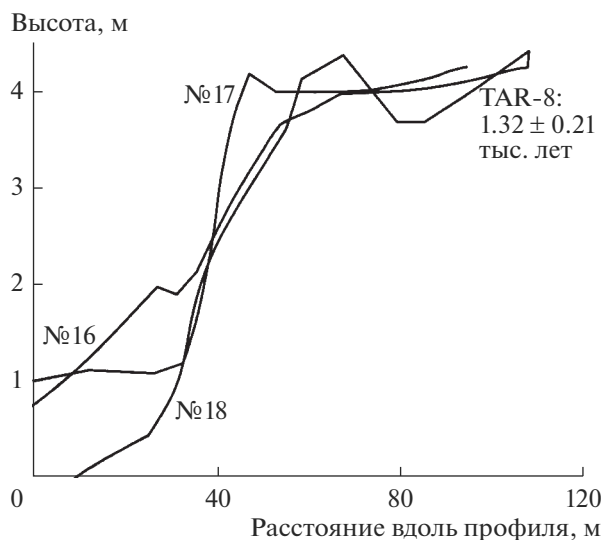


Рис. 3. Сводка нивелирных профилей вдоль голоценовой террасы реки Торуйгыр через Ак-Текинский адырный разлом [Корженков и др., 2007].

делен инфракрасным люминесцентным методом как 1.32 ± 0.21 тыс. лет [Корженков и др., 2007]. Данный возраст означает, что до периода $1320 \pm \pm 210$ лет тому назад отложения вздернутой голоценовой террасы были еще пойменными образованиями. В VII веке н.э. (± 2 века), по-видимому,

произошло очередное сильное землетрясение в зоне Ак-Текинского адырного разлома. Пойменные отложения в висячем крыле разлома были вздернуты на высоту в несколько метров и никогда больше не заливались водами реки Торуйгыр. В разделе “Люминесцентное датирование” [Корженков и др., 2007] мы сообщали, что приводимые датировки являются минимальными определенными возрастами. С учетом погрешности метода это означает, что возраст последнего землетрясения, скорее всего, даже не VII, а возможно VI или даже V век нашей эры. В таком случае, не маркирует ли описываемый сейсмоуступ эпицентральною зону сильного землетрясения, произошедшего в Северо-Западном Прииссыккулье предположительно в 500 г. н.э. (см. рис. 1), о котором у нас имеются очень скудные данные [Джанузаков и др., 2003]?

Как видно из рис. 4, отложения террасы Q_{IV}^I (где были пройдены профили 17, 18) разорваны двумя разрывами. Оба разрыва достигают поверхности террасы. Эти факты означают, что за максимальное смещение на 4.25 м по Ак-Текинскому разлому ответственные два сейсмических события, т.е. в среднем 2.12 м за одно землетрясение. Эти цифры очень резонные: например, во время Суусамырского землетрясения (1992 г., $M = 7.3$) в Северном Тянь-Шане образовались два сейсмоуступа максимальной высотой 2.7 и 1.8 м [Богачкин и др., 1997].

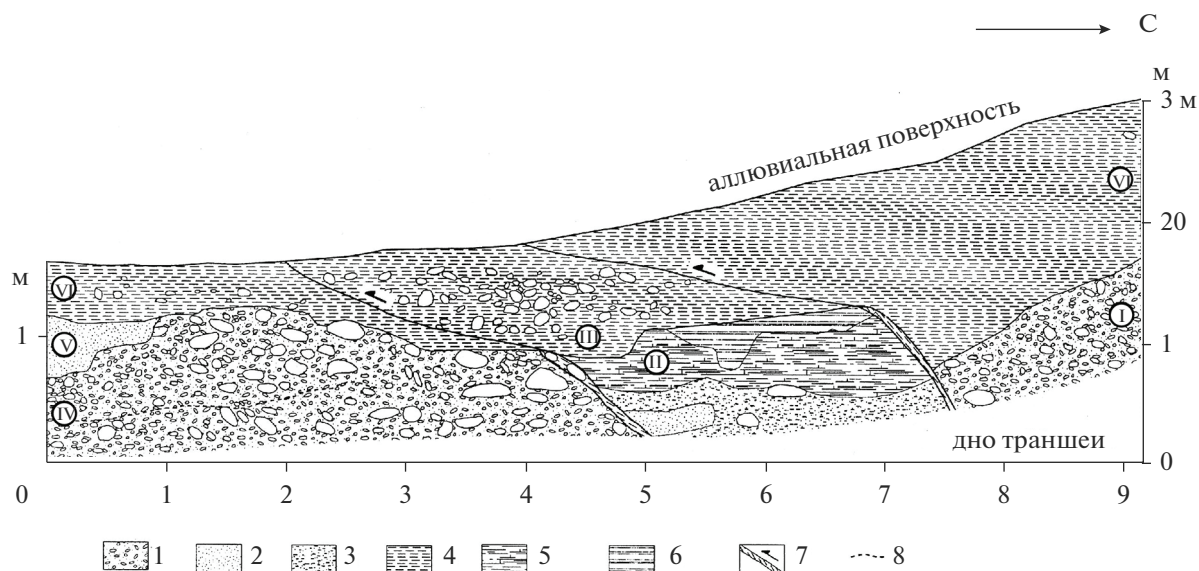


Рис. 4. Детальное изображение зоны Ак-Текинского разлома, вычерченное Б. Щасный (по [Корженков и др., 2007] с изменениями).

1 — галечник; 2 — песок; 3 — суглинок; 4, 5 — глина (4 — коричневая, 5 — белая); 6 — органический материал; 7 — зона разрыва; 8 — ожезненные пропластки породы. I—VI — стратиграфические единицы: I — очень плотный, сцементированный галечник, II — нерегулярное чередование песка, суглинка и глины с включением органического материала. III — глина с большим включением галечного материала — так называемый “коллювиальный клин”, IV — рыхлый галечник, V — линза песка, VI — плотная глина с современной почвой, венчающей слой.

Самый молодой образец из долины Тору-Айгыра был отобран из отложений поднятой высокой поймы (ТАР-8). Он показывает возраст 1.32 ± 0.21 тыс. лет и определяет последнюю геологически зарегистрированную тектоническую подвижку адыров Ак-Теке. Разрыв в отложениях высокой поймы долины р. Тору-Айгыр (см. рис. 4), вдоль линии южного крыла Актекинской антиклинальной складки, указывает на сейсмическую подвижку в историческое время и предполагает, что тектоническая активность вдоль Ак-Текинского разлома продолжается и по сегодняшний день.

Исследования подводных построек у села Курское. Подводные постройки близ с. Курское (см. рис. 2) были известны давно. Так, военный губернатор Семиреченской области генерал-майор Г.А. Колпаковский, посетивший эти места в 1869 г., писал, что "... в одной сажени от берега, на глубине около одного аршина видны следы построек из обожженного кирпича. Трудно понять, какое назначение имели эти постройки, потому что стены, сложенные из кирпича, не замыкают какого-либо пространства, а идут рядами параллельно одна другой на одинаковом, около одного аршина, расстоянии. Теперь видно три стены, идущие в почти перпендикулярном от берега направлении на такое расстояние, что глубина озера не позволяет проследить за ними" [Колпаковский, 1870]. Военный губернатор указывал также на большое количество кирпича, разбросанного вокруг этих стен. У самого же берега под водой лежала каменная баба — балбал.

Академик В.В. Бартольд, будучи еще молодым сотрудником Санкт-Петербургского университета, при посещении Иссык-Кульской котловины в 1894 г. вышеупомянутых построек уже не обнаружил [Бартольд, 1897]. За прошедшие 25 лет имела место значительная регрессия уровня озера — на 4.5 м. В связи с этим часть построек оказалась на берегу и была разобрана местными жителями для своих хозяйственных нужд. Будущий известный востоковед и российский академик обнаружил там лишь кирпичи, лежащие вдоль берега. Тем не менее, ссылаясь на данные Г.А. Колпаковского, В.В. Бартольд высказал предположение, что затопленные озером руины — это остатки крепости, которая давно была известна по некоторым письменным источникам. Так, арабские авторы Ибн-Арабшах в XV в. и Мухаммед-Хайдар в XVI в. [Бартольд, 1897] писали о существовании в северной части акватории озера Иссык-Куль какого-то большого острова с многочисленными укреплениями и жилыми домами. Эти сооружения использовал в XIV в. завоеватель Востока Тимур, который, по одним сведениям, держал на острове в заключении своих пленников, по другим — сам отдыхал здесь после бурных кровавых походов.

Иссык-Кульским археологическим отрядом под руководством Д.Ф. Винника [Винник, 1961] был выявлен значительный песчаный береговой вал — прежний берег озера. Вал вытянут в субширотном направлении и проходит в 400 м севернее нынешней береговой линии. Высота его у пансионата Чайка — 5–8 м, к западу береговой вал постепенно снижается. Ширина вала доходит до 100 и более метров. На его поверхности изредка встречаются фрагменты керамики. Сотрудниками археологического отряда была отрисована длинная (до 1000 м) субмеридиональная подводная отмель (рис. 5), ширина которой у берега составляет 215 м. К югу она сужается, а затем опять расширяется. В связи со значительным 2-метровым падением уровня озера за прошедшие 60 лет, в настоящее время отмель превратилась в длинный полуостров, названный "Змеиным".

Во время работ Иссык-Кульского археологического отряда в 1959 г. [Винник, 1961] на отмели хорошо был виден СВ угол стены, большая же ее часть была перекрыта песком и галькой. Наверх каменной стены выходили концы бревенчатого настила, состоящего из 18 жердей. Длина его составляла 5.2 м, ширина 3.3 м (рис. 6). Толщина каждой жерди 7–15 см. Жерди настила были покрыты толстым слоем коряжника.

Не всплывают жерди потому, что еще до погружения на них был насыпан толстый слой земли и камней. Радиоуглеродным методом было получено более 20 датировок по абсолютному возрасту жердей (работы совместной подводной археологической экспедиции Кыргызско-Российского славянского университета и Географического общества США). Все они укладываются в один возрастной ранг: конец XIV—начало XV в. (устное сообщение В.В. Плоских — соруководителя совместной археологической экспедиции).

Трудно себе представить, что подобные значительные фортификационные (судя по многометровой толщине каменных стен, не типичных для Прииссыккулья) сооружения возводились в воде. Скорее всего, "произошла катастрофа" [Винник, 1961], и все постройки в данном месте оказались под водой. Слой рыхлого грунта и камней постепенно размывался и жерди покрывались слоем коряжника, цементирующего их.

Обследование развалин у села Курское подводными археологами [Винник, 1961] показало, что подводная отмель, на которой они находятся, в средние века была сушей. В.В. Бартольд [1897] и П.П. Иванов [1957] высказывали предположение о том, что этот остров оказался под водой в результате катастрофического землетрясения. Иссык-Кульским отрядом было произведено разведочное обследование дна озера во многих местах вдоль северного побережья. Однако, в других местах такого обилия остатков средневековых по-

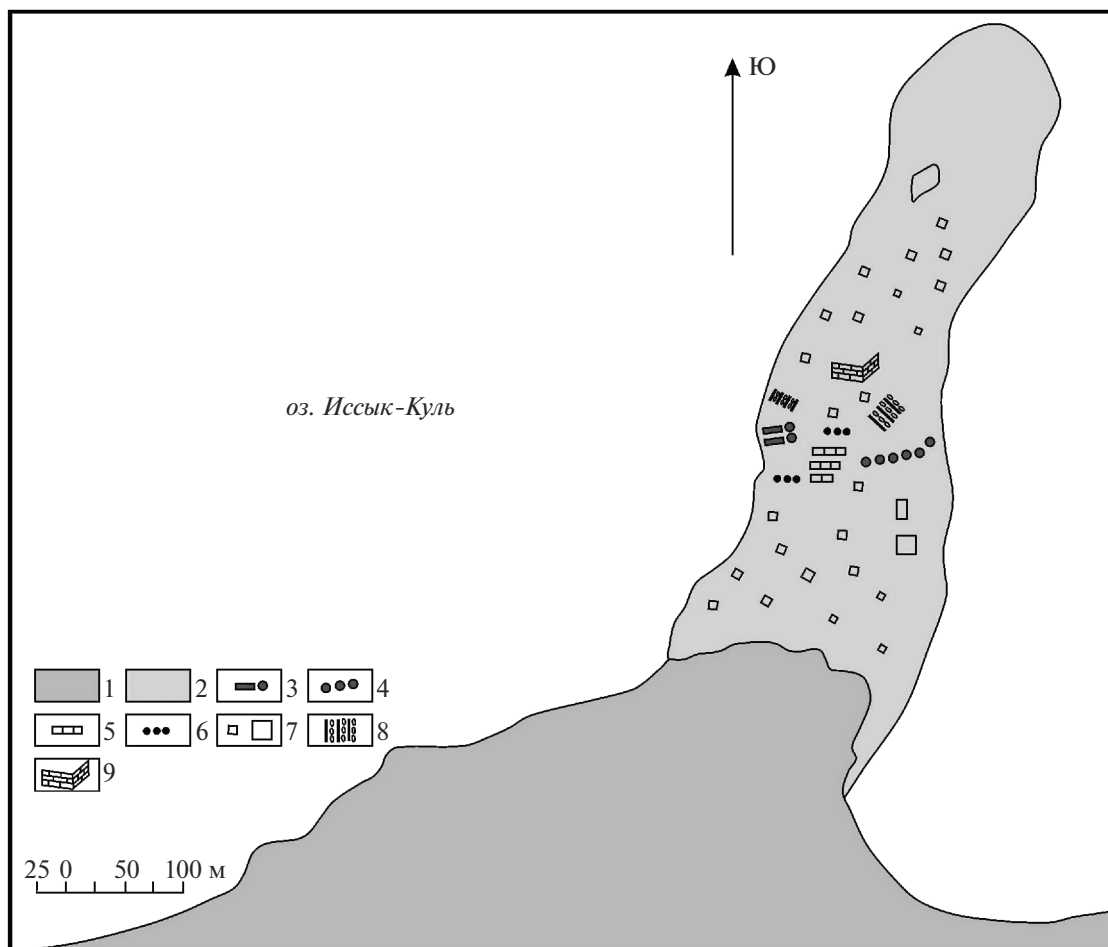


Рис. 5. План подводной отмели, существовавшей в 1959 г. у современного пансионата Чайка (по данным [Винник, 1961] с изменениями).

1 — берег, 2 — подводная отмель, 3 — бревенчатые настилы, 4 — изгородь, 5 — остатки стен, 6 — фундаменты стен, 7 — группы разбросанных кирпичей, 8 — каменные вымостки, 9 — постройка.

строек, как это было зафиксировано в районе села Курское, им обнаружить не удалось. Таким образом, работы отряда подтверждают точку зрения В.В. Бартольда и П.П. Иванова.

П.П. Иванов [1957] совершенно справедливо указывает, что опускание Змеиного полуострова было катастрофическим — во время одного из сильных землетрясений. Он соглашается с В.В. Бартольдом [1897] и Л.С. Бергом [1904], которые указывали, что опускания дна было быстрым, иначе жители успели бы унести с собой многочисленную утварь и ценные вещи, находимые в настоящее время под водой и выбрасываемые на берег. Под водой, а также на берегу находят и большое количество человеческих скелетов и костей.

Археолог приводит материалы об опусканиях береговой полосы во время сильных землетрясений конца XIX—начала XX вв. Так, при Верненском землетрясении 1887 г. на северном берегу озера, около станции Чолпон-Ата “близстоящий

берег Иссык-Куля, на протяжении сотен сажен, опустился ниже своего прежнего уровня и погрузился под воду” [Туркестанские ведомости, 1887; Берг, 1904]. При Чиликском землетрясении 1889 г. также было отмечено, что в некоторых местах берег понизился и уменьшился, а уровень воды повысился [Зеланд, 1891; Бартольд, 1897; Берг, 1904 и др.]. В подтверждение вышесказанного свидетельствуют уже упоминавшиеся факты значительных опусканий береговой зоны, имевших место при Кебинской катастрофе 1911 г. ($M = 7.9$, $I = X-XI$ баллов) [Богданович и др., 1914].

Выше приведены случаи опускания береговой полосы при удаленных землетрясениях. Что же будет с побережьем озера, если сильное землетрясение произойдет на расстоянии лишь в 5–7 км к северу от береговой линии?! Таким образом, опускание Змеиного полуострова/острова под воду можно считать доказанным. Когда же произошло это событие?

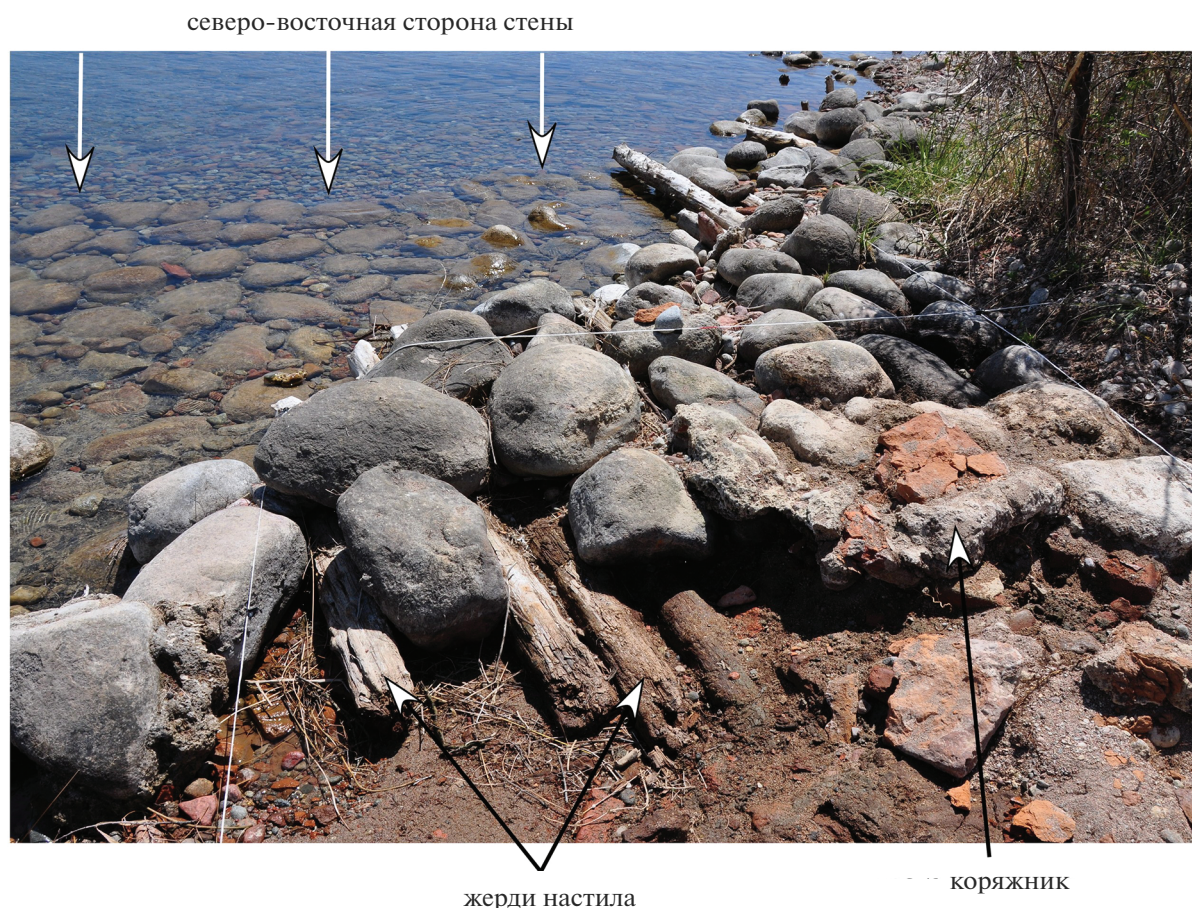


Рис. 6. Фотография 2014 г. восточной стены на отмели близ современного пансионата Чайка, обнаруженной отрядом Д.Ф. Винника в 1959 г. [1961]. Вид на северо-восток. Видна 2-метровая веревочная разметка современного археологического раскопа совместной экспедиции Кыргызско-Российского славянского университета и Американского географического общества.

Мы уже указывали, что имеется значительное количество радиоуглеродных датировок, полученных командой Американского географического общества по бревенчатым настилам на Змеином полуострове. Все они укладываются во временной интервал конец XIV—начало XV веков н.э. Таким образом, землетрясение произошло позднее. Литературные и архивные материалы по археологии Иссык-Кульской впадины [Иванов, 1957; Биосферная ..., 2002] указывают на 2 периода заселения городов в котловине X—XII и XIII—XIV (изредка до XV) веков н.э. В XVII—XVIII в. здесь проходят *калмыки*, а с конца XVIII в. начинается современная *киргизская* история заселения этого края. “Немым” остается лишь XVI в. Эра *моголов* уже закончилась, а *калмыки* еще не пришли. Ни до, ни после этого времени в скудной исторической литературе по исследованному региону информации о сильных землетрясениях не встречается. Можно предположить, что сильное землетрясение, произошедшее в конце XV или

начале XVI вв. н.э. (или их серия), поставило “жирный крест” на остатках земледельческой цивилизации Прииссыккулья. Оно полностью разрушило политическую, административную и военную структуру региона, что позволило племенам *калмыков* пройти описываемый регион как нож через масло, практически не встречая серьезного сопротивления местных жителей.

ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МЕЖДУРЕЧЬЕ ЧОЛПОН-АТА—КОРУМДЫ

В целом можно говорить об общей — северной асимметрии (вергентности) Культорской новейшей мегантиклинали: ее северное крыло более короткое и оборванное по зоне Чилико-Кеминских разломов, в то время как южное — более длинное и пологое сохранившее значительные фрагменты доороженного пенеплена. На пенеплене, выработанном на палеозойских породах, конформно залегает

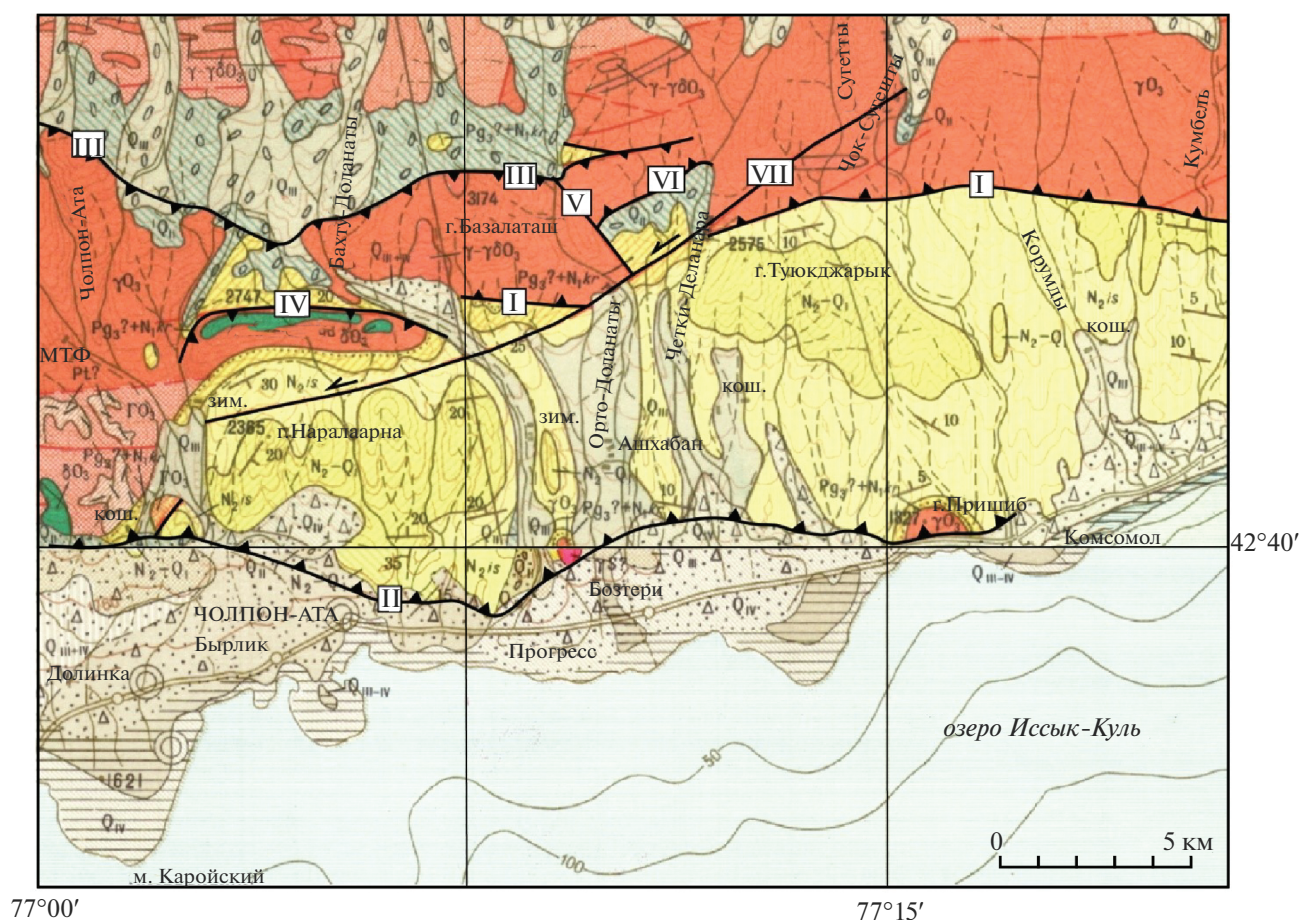


Рис. 7. Фрагменты двух геологических карт 1 : 200 000 (по [Турчинский, 1970; Захаров, Чабдаров, 1975] с дополнениями и изменениями).

Оттенками красного цвета показаны палеозойские гранитоиды, желтого — неогеновые породы, серого — четвертичные отложения. Черные линии — активные разломы, берг-штрихи показывают направление падения сместителя, стрелка — латеральное смещение по разлому.

I–VII — названия разломов: I — краевой Культорский взбросо-надвиг, II — адырный Культорский взбросо-надвиг, III — Бозалаташский подвиг, IV — Акалаташский подвиг, V — Западно-Тегерекский взбросо-сдвиг, VI — Северо-Тегерекский взбросо-сдвиг, VII — Южно-Тегерекский сдвиг.

толща кайнозойских накоплений. Однако это лишь общая картина, оба крыла мегантиклинали разбиты большим количеством разнотипных дизъюнктивов, часто косо секущих субширотную мегантиклиналь (рис. 7). Косые разломы свидетельствуют о значительной сдвиговой компоненте тектонических движений, сформировавших Культорскую мегантиклиналь. В общем названную мегаскладку в разрезе можно представить как “цветочную” структуру, тектонический шов — “стебель” которой глубоко погружается в земную кору и от которого в обе стороны к поверхности земли расходятся “лепестки” — разломы.

Главными разломами исследованной территории являются Культорские краевой и адырный разломы (I и II, см. рис. 7). Это классические разломы, по первому из которых происходит надвигание к югу палеозойских пород (преимуще-

ственно гранитоидов) на кайнозойские отложения Иссyk-Кульской впадины. Культорский адырный разлом это надвиг отложений палеоген—неогена также к югу на четвертичные накопления котловины. Падение обоих сместителей северное. Однако здесь не все так просто. Между описываемыми дизъюнктивами имеются другие разрывы, которые интерпретируются как обратные надвиги или подвиги, плоскость которых падает на юг (Бозалаташский — III и Акалаташский — IV). Есть и разрывы со значительной сдвиговой компонентой, это — Тегерекские разломы (V, VI, VII, см. рис. 7), которые образуют любопытный двухсторонний рамповый грабен (рис. 8). Несомненно, что эти подвиги и сдвиги являются ярким свидетельством интенсивного субмеридионального неотектонического сжатия, кото-

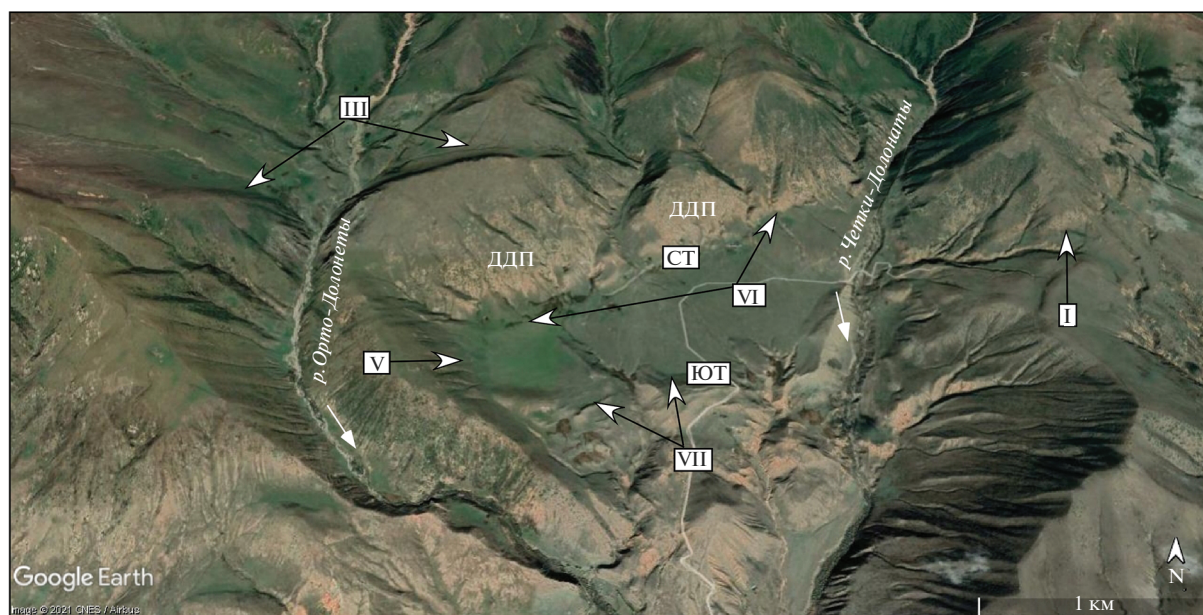


Рис. 8. Космический снимок с указанием разломов, создавших Тегерекский рамповый грабен в междуречье Орто-Долонаты и Четки-Долонаты [Корженкова и др., 2022]. I, III, V–VII – разломы: I – Культорский краевой, III – Бозалаташский, V – Западно-Тегерекский, VI – Северо-Тегерекский, VII – Южно-Тегерекский. СТ, ЮТ – наши палеосейсмологические траншеи (СТ – северная, ЮТ – южная); ДДП – сохранившиеся фрагменты древней денудационной поверхности на южном крыле Бозалаташской горст-антиклинали.

рое кроме надвигообразования приводит и к транспрессии.

Сейсмичность Тегерекского рампового грабена. Очень интересным структурным объектом, вдоль которого отмечается современная сейсмичность, является Тегерекский рамповый грабен (см. рис. 8) [Корженкова и др., 2022]. В его южной части подвижки происходят по Южно-Тегерекскому адырному поддвигу: нижняя часть склоны движется к северу – против сил гравитации. Здесь сформировался небольшой загораживающий (барьерный) хребет, рост которого виден не только по перепаду в рельефе, но и по вертикальной деформации русла древнего арыка. Арык был выкопан для орошения сельскохозяйственных угодий к югу от хребта: ирригационный канал огибал это препятствие с востока. Однако, в связи с сейсмогенной подвижкой, нижняя часть арыка была вздернута, и вода не смогла больше течь вниз. Люди вырыли еще один арык выше упомянутого, но и “новый” арык сейчас сух.

Нами была пройдена траншея вкострости простирающаяся Южно-Тегерекского разлома (рис. 9). GPS-координаты ее северного окончания: $h = 2292$ м над у.м., $N = 42^{\circ}44'04.5''$, $E = 77^{\circ}10'58.7''$, точность определения координат ± 4 м. Азимут простирающейся траншеи – 3° , максимальная глубина – 4.5 м, ширина – 1.5 м, длина – 12 м. В стенках траншеи выявлены рыхлые, разные по генезису и

гранулометрии четвертичные отложения (сверху вниз):

- 1) темно-коричневая современная суглинистая гумусированная почва мощностью до 60 см,
- 2) коричневая супесь с прослоями крупнозернистого песка максимальной мощностью до 120 см,
- 3) темно-коричневая суглинистая гумусированная палеопочва мощностью до 40 см,
- 4) серовато-коричневые дресвяно-щебнистые отложения мощностью до 50 см,
- 5) красноватая супесь с прослоями крупнозернистого песка мощностью до 35 см,
- 6) светло-коричневая супесь с прослоями песка мощностью до 95 см,
- 7) светло-коричневый–коричневый суглинок мощностью до 70 см, встречающийся иногда в виде линз в супеси (6),
- 8) серые дресвяно-галечные отложения с обломками (до 20 см) коренных палеозойских пород средней окатанности. Видимая мощность до 120 см.

Описанный разрез дислоцирован тремя разрывами-взбросами, самый древний из которых – южный (I, см. рис. 9). Он рвет слои, начиная от дресвяно-гравийных отложений (8) до палеопочвы (3). Это взбросовая структура с углом наклона на юг до 50° . Здесь можно определить вертикальную подвижку по разрыву, например, по смещению

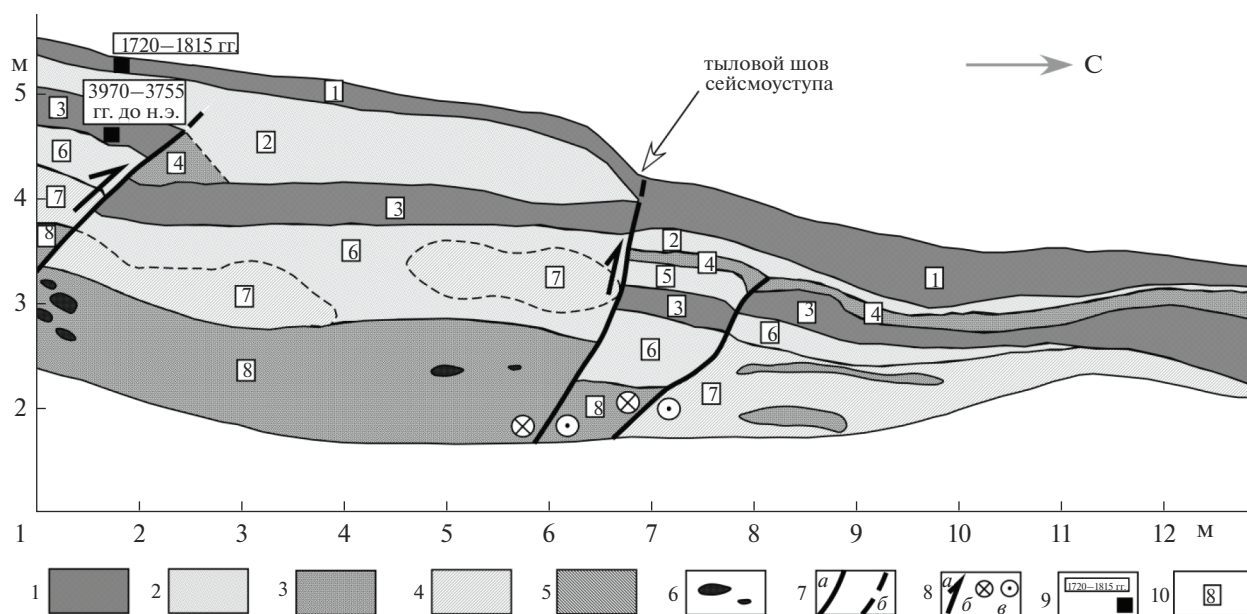


Рис. 9. Документация западной стенки южной траншеи в Тегерском грабене, пройденной через Южно-Тегерский подвиг [Корженкова и др., 2022].

1 – современные и палеопочвы, 2 – супеси, 3 – щебень и гравий, 4 – лессовидный суглинок, 5 – паттумы (“мусорные” отложения, пролювий), 6 – валуны и глыбы, 7 – разрывы (а – установленные, б – предполагаемые), 8 – знаки смещений по разрыву (а – вертикальное, б – от зрителя, в – к зрителю), 9 – места отбора проб для радиоуглеродного анализа, 10 – номер слоя, выявленный в траншее и описанный в тексте статьи.

упомянутой палеопочвы, составляющему 70 см. Хотя нижележащие слои смещены на другую – меньшую: 50, 60 см величину, что, скорее всего, также является свидетельством наличия сдвиговой компоненты подвижки по описываемому дизъюнктиву. Важно отметить наличие коллювиального клина в лежащем крыле северного разрыва, представленного в нижней части дресвяно-щебнистыми отложениями (4), перекрываемые супесью (2).

Следующая по возрасту заложения – южная разрывная плоскость взбросового типа (III, см. рис. 9). Она смещает слои от дресвяно-гравийных отложений (8) до лессовидного суглинка (4). Этот взброс имеет падение на юг под углом около 60°. Важно отметить, что мощности и положение смещаемых южной плоскостью слоев рыхлых отложений отличаются по обе стороны от разрыва, что, скорее всего, говорит о значительной сдвиговой составляющей подвижек по данному нарушению. Это же обстоятельство не позволяет определить вертикальную составляющую подвижки по рассматриваемому взбросу.

Самый молодой в описываемом разрезе палеосейсмологической траншеи – средний разрыв (II, см. рис. 9). По нему дислоцированы все отложения, выявленные в горной выработке. Кроме того, к этому дизъюнктиву приурочен перегиб в рельефе склона загораживающего хребта – молодой сейсмоуступ высотой 60 см. В своей верхней

части средний разрыв имеет небольшой наклон на юг (80°), выполаживающийся к низу до 65°. Это также взброс, хотя вертикальную подвижку по нему трудно вычислить в связи с разной мощностью и положением слоев по обе стороны от дизъюнктива, что является очередным свидетельством сдвиговых подвижек по каждому из разрывов зоны Южно-Тегерского адырного разлома. Важно отметить увеличение мощности слоя современной почвы в лежащем крыле среднего разрыва (коллювиальный клин?), хотя здесь может иметь место сдвигание слоев современной и палеопочвы, разделенных слоем супеси в висячем крыле.

Еще с советских времен исследователи указывали на значительные фрагменты доорогенного пепла, сохранившегося на южных крыльях антиклинальных складок основания, в том числе на новейшем поднятии Культорской мегантиклинали [Уткина, 1978]. Последователям С.С. Шульца [Шульц, 1948] совершенно очевидно, что складчатые деформации фундамента имеют здесь северную вергентность: их северные крылья короткие, крутые и разорванные по разломам, а южные – длинные и пологие маркируются доорогенной денудационной поверхностью. Здесь могут быть разрывы, но незначительные. Так считалось ранее, это были пионерские мелкомасштабные работы.

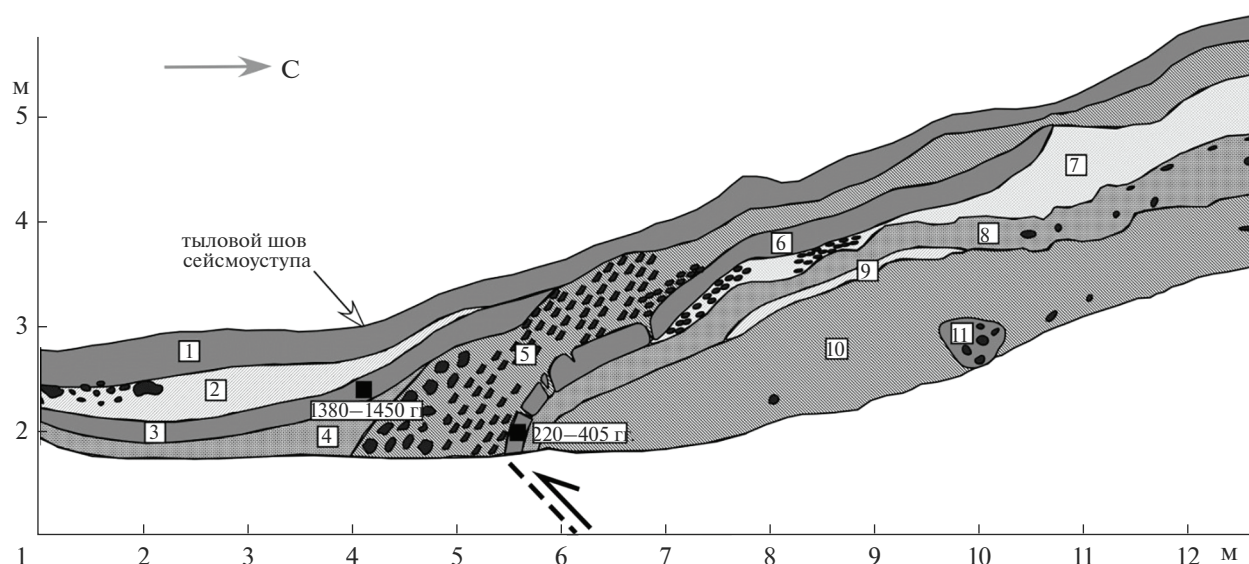


Рис. 10. Документация западной стенки траншеи, пройденной через Северо-Тегерекский адырный разлом, по [Корженкова и др., 2022]. Флексурная деформация палеопочвы (6) свидетельствует о “слепом” характере верхней части разломной зоны.

Условные обозначения см. рис. 9.

Использование структурно-геоморфологического метода показало частое наличие сейсмоактивного разлома на границе сопряжения поднятия (хребет) и впадины, в том числе и на пологом длинном крыле положительных пликативных структур. Так, опытному взгляду геоморфолога и палеосейсмолога по южному подножию Бозалаташской антиклинали в Тегерекском рамповом грабене видна вытянутая линия заболоченных понижений, сменяющихся выше уступами. При этом видно также, что это не единая — одиночная линия разрыва, а несколько параллельных линий — уступов, то есть эти формы рельефа трассируют зону разрывов. Наиболее хорошо это выражено на участке, где из Бозалаташского поднятия воды безымянного ручья выходят в Тегерекский грабен. Здесь висячем крыле разлома виден набор — лестница флювиогляциальных и аллювиальных террас, вздернутых по дизъюнктиву на различную высоту. Измерения высот и горизонтальных смещений разновозрастных террас в этом месте показали, что горизонтальная компонента подвижек по разлому в 3 раза больше вертикальной.

Вкрест простирания Северо-Тегерекского разлома нами была вырыта палеосейсмологическая траншея (рис. 10). GPS-координаты южной части горной выработки: $h = 2357$ м, $N = 42^\circ 44' 36.3''$, $E = 77^\circ 10' 53.1''$, точность определения координат ± 4 м. Азимут простирания траншеи — 150° , максимальная глубина — 2 м, средняя ширина — 1.5 м. Была задокументирована западная стенка выработки. Траншея пройдена вдоль вздернутого пролювиального конуса выноса, где мы рассчитыва-

ли увидеть многочисленные напластования, деформированные в разной степени в зависимости от их возраста. Состав отложений в горной выработке напоминал тот, что был встречен нами в южной траншее, разве что гранулометрический состав отложений стал более грубым.

Кровля разреза — это современная серая супесчаная горная почва (1) мощностью до 45 см. Она залегает на массивном слое суглинков того же цвета (2) толщиной 40 см, в котором встречаются прослой супесей и песков, а также полуокатанные обломки коренных — палеозойских пород размером до 30 см. Ниже описанного слоя залегает палеопочва (3) мощностью 20 см коричнево-серого цвета на супесчаном субстрате. Этот слой органики подстилается серыми дресвяными отложениями (4) видимой мощностью до 40 см. Еще ниже по разрезу располагается пролювиальный слой паттумов (“мусорная толща”) (5), гранулометрический размер слагающих отложений которого резко возрастает с севера на юг — от крупнозернистых песков до щебнисто-гравийный обломков мощностью до 120 см. Происхождение этих отложений связывается с селом. Под этими отложениями установлена еще одна серовато-коричневая палеопочва (6) на суглинистом субстрате мощностью до 30 см. Ниже ее залегает слой супесей (7) мощностью до 70 см, который южнее замещается линзами щебня и гравия. Еще ниже расположены дресвяные отложения (8), напоминающие разрушенный в крошку крупнозернистый гранит, мощностью до 60 см. В северной части слоя встречаются щебнистые обломки. Ни-

же располагается маломощная — до 10 см линза суглинков (9). Далее вниз до днища траншеи наблюдается слой серых паттумов (10) — пролювиальных отложений мощностью до 110 см, включающий отдельные полуокатанные обломки коренных пород, а также овоид гумусового материала неясного генезиса (11 — палеопочва?) размером 40×60 см с большим количеством полуокатанных галек.

В стенке северной траншеи (см. рис. 10) отсутствуют разрывные нарушения, кроме отдельных нитевидных трещин без смещения или с незначительным смещением. Тем не менее, здесь установлен ряд сейсмогенных пликативных деформаций: сейсмогенный разрыв не дошел до поверхности, но был близок к ней. Наиболее эффектно выглядит изгиб нижней палеопочвы (6): в северной части слой имеет наклон $15\text{--}20^\circ$, в то время как на юге палеопочва приобретает субвертикальное залегание и разбивается на отдельные блоки. Аналогичный, но меньший по амплитуде тектонический изгиб имеет и средняя палеопочва (3): в своей северной части наклон слоя 30° , а в южной $3\text{--}5^\circ$. Современная почва (1) также деформирована: в северной части ее наклон составляет $10\text{--}15^\circ$, в то время как в северной — $2\text{--}3^\circ$. Именно в современной почве хорошо выражен тыловой шов современного сейсмоуступа. Необходимо отметить и образование так называемых коллювиальных клиньев у подножия палео-уступов: ими являются слои 4, 5 после первого сейсмического события и слой 2 после второго землетрясения. Коллювиальный клин после третьего — последнего сейсмического события пока только формируется: он виден в увеличении мощности слоя современной почвы в южном направлении.

По всем рассмотренным дизъюнктивам имеются доказательства неоднократных и частых сейсмогенных подвижек. Об этом свидетельствуют, прежде всего, данные структурной геоморфологии: практически в каждой зоне разломов имеется один-два или целая лестница сейсмоуступов. Наиболее нагляден в этом отношении Северо-Тегерекский разлом, вдоль которого в висячем крыле наблюдаются несколько вздернутых голоценовых и позднеплейстоценовых аллювиально-пролювиальных и флювиогляциальных поверхностей. Долговременный режим проявления сильных землетрясений вдоль адырных разломов подтверждается также палеосейсмологическими данными — документацией траншей, пройденных вкрест простирающихся дизъюнктивов. Обе пройденные и проанализированные нами траншеи через Южно-Тегерекский и Северо-Тегерекский адырные разломы “показали” проявление по крайней мере 3 сильных сейсмических событий по каждому дизъюнктиву (см. рис. 9, 10).

Для датирования этих сейсмических событий нами были отобраны пробы в стенках упомянутых траншей (см. рис. 9, 10). Для радиоуглеродного анализа отбирались пробы палеопочв (TGR-1-3) и в том числе из основания современной почвы (TGR-4). После обработки были получены следующие результаты (табл. 1).

Полученные радиоуглеродные датировки позволяют восстановить картину подвижек по разломным зонам, ограничивающим Тегерекский рамповый грабен, во времени и пространстве. Начнем с Южно-Тегерекского адырного разлома (см. рис. 9). Наиболее древней разрывной плоскостью, выявленной в стенке траншеи, является II-я. Его надвиговый (поддвиговый) характер здесь не вызывает сомнения: взбрасываются все слои в южном крыле дизъюнктива. Этот разрыв также смещает палеопочву (3) по вертикали на величину 70 см. Мощный слой (2) в северном крыле разрыва II возможно является коллювиальным клином древнего сейсмоуступа. Максимальный возраст первого сейсмического события определяется по абсолютной датировке пробы Vs-3100 (3970—3755 гг. до н.э.).

Разрыв III (см. рис. 9) активизировался во вторую очередь. Этот дизъюнктив деформирует и загужает в слое (4) серовато-коричневых дресвяно-щебнистых отложений. Важно, что разрывная плоскость смещает палеопочву (3), возраст которой составляет 3970—3755 гг. до н.э. (проба Vs-3100). Следовательно подвижка по данному дизъюнктиву имела место после перекрытия слоя палеопочвы в IV тысячелетии до н.э. Не очень понятна кинематика движений по разрыву III. Судя по наклону его плоскости на юг, это должен быть обратный надвиг — поддвиг, как и его “собратья” — разрывы I и II. Однако в стенке траншеи мы видим устойчивое опускание слоев в южном крыле разрыва III, что может рассматриваться в качестве сброса. Мы бы не стали давать однозначный ответ на вопрос направления вертикальной компоненты тектонической подвижки по дизъюнктиву III, так как выше нами было указано на значительную латеральную компоненту тектонических движений по Тегерекским разломам, которая может превышать вертикальную в 3 раза. Таким образом, несколько смещений по разрыву III могут привести в стороны на значительное расстояние смежные когда-то участки одного слоя на разных крыльях разлома и привести кажущемуся эффекту сбрасывания южного крыла.

Последняя подвижка по произошла по I разрыву, относящемуся к Южно-Тегерекскому разлому (см. рис. 9). Его плоскость смещения внедряется в современную почву. Ее мощный слой в северном — лежащем в крыле дизъюнктива возможно является коллювиальным клином последнего сейсмического события. Кроме того, к разрыву I приурочен и тыловой шов современного сейсмо-

Таблица 1. Результаты радиоуглеродного датирования проб из палеосейсмологических траншей, пройденных через зону Культорского разлома

№ пробы	Индекс лаборатории	Полевой номер пробы	^{14}C возраст, годы ($\pm 1\sigma$)	Калиброванный возраст*, годы для 68.2 и 95.4% вероятностей
1	FTMC-AR90-1	KDB-1	1890 ± 40	68.2% вероятность <u>60–170 AD (62.9%)*</u> 190–210 AD (5.2%) 95.4% вероятность 20–230 AD (95.4%)
2	FTMC-AR90-2	KDB-2	472 ± 45	68.2% вероятность <u>1410–1460 AD (68.2%)*</u> 95.4% вероятность 1320–1350 AD (3.8%) 1390–1520 AD (89.8%) 1600–1620 AD (1.9%)
3	FTMC-AR90-3	KDB-3	1688 ± 40	68.2% вероятность 260–280 AD (7.4%) <u>320–410 AD (60.8%)*</u> 95.4% вероятность 240–430 AD (95.4%)
4	FTMC-AR90-4	GRG-1	2117 ± 50	68.2% вероятность <u>210–50 BC (68.2%)*</u> 95.4% вероятность 360–280 BC (13.2%) 240–1 BC (82.2%)
5	FTMC-AR90-5	GRG-2	837 ± 40	68.2% вероятность <u>1160–1250 AD (68.2%)*</u> 95.4% вероятность 1050–1090 AD (5.3%) 1120–1140 AD (0.6%) 1150–1270 AD (89.5%)
6	FTMC-AR90-6	GRG-3	1495 ± 40	68.2% вероятность <u>530–620 AD (68.2%)*</u> 95.4% вероятность 430–500 AD (15.2%) 520–650 AD (80.2%)
7	FTMC-FC63-1	TGR-1	1764 ± 40	68.2% вероятность 240–265 гг. (16.0%) 275–350 гг. (52.3%) 95.4% вероятность <u>220–405 гг. (95.4%)*</u>
8	Vs-3101	TGR-2	540 ± 50	68.2% вероятность 1325–1355 гг. (23.9%) 1390–1435 гг. (44.4%) 95.4% вероятность 1300–1370 гг. (39.1%) <u>1380–1450 гг. (56.4%)*</u>

Таблица 1. Окончание

№ пробы	Индекс лаборатории	Полевой номер пробы	^{14}C возраст, годы ($\pm 1\sigma$)	Калиброванный возраст*, годы для 68.2 и 95.4% вероятностей
9	Vs-3100	TGR-3	5066 ± 50	68.2% вероятность 3950–3895 гг. до н.э. (25.7%) 3880–3800 гг. до н.э. (42.5%) 95.4% вероятность 3970–3755 гг. до н.э. (91.9%) 3745–3710 гг. до н.э. (3.6%)
10	Vs-3102	TGR-4	230 ± 50	68.2% вероятность 1635–1685 гг. (27.8%) 1735–1805 гг. (33.6%) 1925–... гг. (6.9%) 95.4% вероятность 1510–1595 гг. (12.2%) 1615–1700 гг. (32.3%) 1720–1815 гг. (37.5%) 1835–1885 гг. (3.7%) 1910 AD–... (9.7%)

Примечание. Оценка возраста выполнена в Радиоуглеродной лаборатории ГНИ “Исследовательский центр природы”, Вильнюс, Литва; способ определения — ^{14}C : LSC; дата проведения анализа — 23.12.2021–30.01.2022; дата составления протокола — 31.01.2022; * — программное обеспечение для калибровки — OxCal 4.4 [Bronk, 2008]; ** — калибровочная кривая — IntCal2020 [Reimer et al., 2013].

уступа 60 см высоты. Мы предполагаем, что минимальным возрастом этого события является возраст нашей пробы Vs-3102 (1720–1815 гг.), когда после образования сейсмоуступа наступила стабилизация склона в висячем крыле разрыва и началось формирование современной горной почвы.

Несмотря на то, что в северной траншее, прошедшей через зону Северо-Тегерекского адырного разлома (см. рис. 10), не выявлены сейсмогенные разрывы, флексурная деформация слоев палеопочв и современной почвы свидетельствует о близости дизъюнктива и “слепом” характере подвижки по разлому. Тем не менее, используя радиоуглеродные датировки, можно расшифровать историю сильных сейсмических событий, имевших место вдоль упомянутой разломной зоны.

Первое сейсмическое событие произошло в интервале 3970–3755 гг. до н.э. и было приурочено к Южно-Тегерекскому разлому. Это событие выразилось образованием сейсмоуступа и разрыва почвенного покрова, датированного пробой Vs-3100. Палеопочва (6, см. рис. 10) в зоне Северо-Тегерекского разлома, разумеется, образовывалась в спокойных тектонических условиях. Время ее сильной деформации и захоронения отвечает возрасту нашей пробы FTMC-FC63-1: 220–405 гг. или возрасту второго выявленного нами землетрясения в Тегерекском рамповом грабене. Вторая палеопочва (3, см. рис. 10) имеет возраст и время ее захоронения 1380–1450 гг. (проба Vs-3101). Это также и возраст третьего сей-

смического события. Слой палеопочвы (3) сохранился лишь в лежащем крыле дизъюнктива, захороненный массивным слоем суглинков, в котором встречаются прослои супесей и песков (2). В висячем крыле эта палеопочва не сохранилась, будучи размытая эрозионными агентами. Современная горная почва облекает сейсмоуступ высотой в 2.0–2.2 м. Судя по его прекрасной морфологической выраженности, возраст последнего сейсмического события составляет всего лишь две–три сотни лет назад.

Таким образом, во второй половине голоцена установлено 3 сильных морфогенетических события по Южно-Тегерекскому разлому и 3 сильных землетрясения по Северо-Тегерекскому разлому. Максимальные возрасты первых трех событий: 3970–3755 гг. до н.э., 220–405 гг. и 1380–1450 гг. Минимальный возраст последнего события составляет 1720–1815 гг. Осталось неясным: происходила ли сейсмическая активизация одновременно на обоих бортах Тегерекского рампового грабена или разломы проявляли свою активность независимо друг от друга.

ДАТИРОВКА ДРЕВНИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ВОСТОЧНОМ ОКОНЧАНИИ КУЛЬТОРСКОГО АДЫРНОГО РАЗЛОМА

В связи с продолжающимся сокращением земной коры между Евразийской и Индийской литосферными плитами бывшие участки осадконакопления Иссык-Кульской впадины ныне вовле-

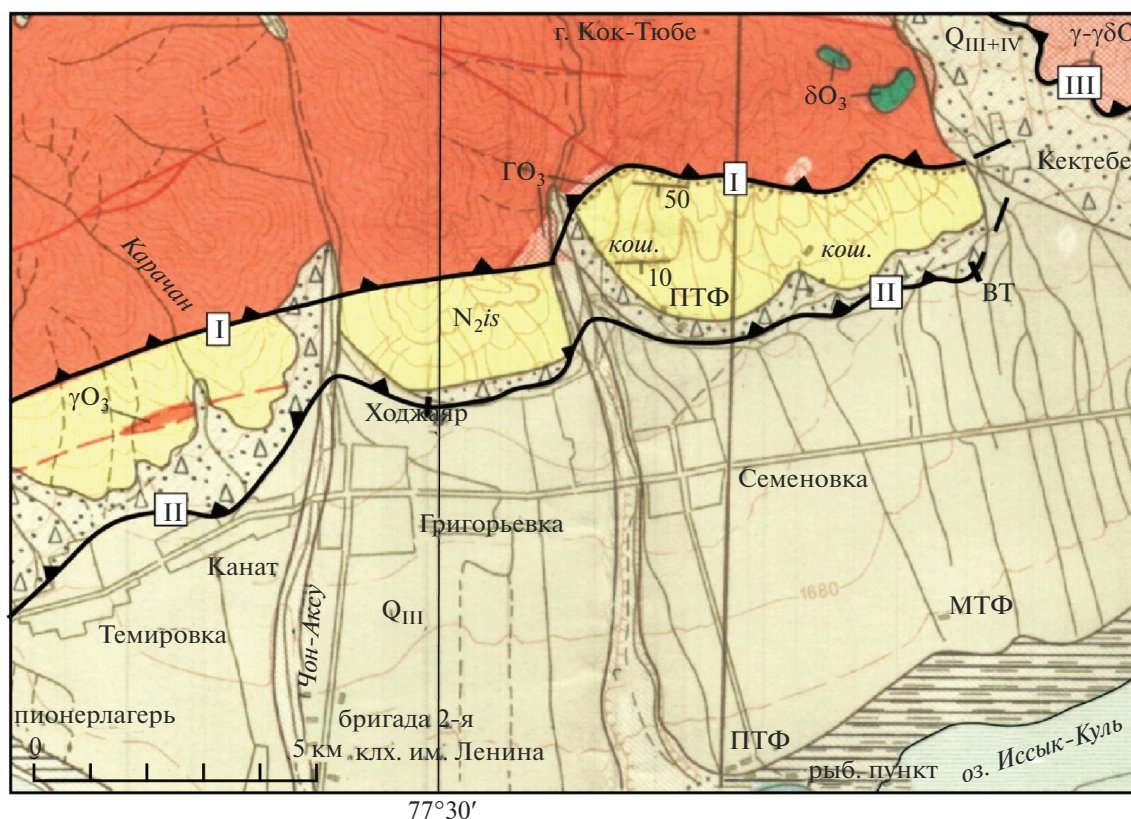


Рис. 11. Фрагмент геологической карты масштаба 1 : 200000 (по [Захаров, Чабдаров, 1975] с дополнениями и изменениями).

Красным цветом показаны ордовикские гранитоиды, желтым — неогеновые отложения, серым — четвертичные образования. Черные жирные линии — главные активные взбросо-надвиги: I — Культорский краевой разлом, II — Культорский адырный разлом, III — Аксуйский краевой разлом. Берг-штрихи указывают направления падения плоскостей разломов. Места наших палеосейсмологических исследований: ЗТ — западная траншея, ВТ — восточная траншея.

каются в поднятие, формируя предгорья — адыры вдоль горных фронтов, обрамляющих Иссык-Кульскую котловину [Корженков, 2000, 2006]. Не является исключением и территория к югу от Культорского краевого разлома. Здесь в поднятие вовлечены отложения позднекайнозойской молассы, которая заполняла Иссык-Кульскую впадину с начала процесса горообразования (рис. 11). В эрозионных обнажениях вдоль речных долин, спускающихся с хребта Кунгей Ала-Тоо и прорезающих адыры можно наблюдать дислоцированные неогеновые песчаники, аргиллиты и мелко-обломочные конгломераты и брекчии [Фортуна, 1993]. Их выход на дневную поверхность объясняется не только латеральным давлением надвигающегося к югу хребта, сложенного палеозойскими скальными образованиями, но и задирием неогеновых отложений по зоне Культорского адырного разлома, расположенного к югу от краевого дизъюнктива.

Для количественной оценки повторяемости сильных землетрясений необходимы данные по абсолютному датированию деформированных осад-

ков, получаемые из палеосейсмологических траншей, пройденных вкрест простирания разломных зон. Мы прошли две такие траншеи.

Первая или восточная траншея пройдена через самую южную плоскость адырного разлома в полукилометре западнее р. Тегерменты (в полукилометре западнее окраины села Кёк-Дёбе) (рис. 12). Азимут простирания траншеи — 121° . Координаты северного конца горной выработки по GPS-приемнику: $h = 1717$ м, $N = 42^\circ 45' 47.7''$, $E = 77^\circ 37' 06.7''$, точность определения координат ± 4 м. Длина траншеи составила 16 м, максимальная глубина — 2.5 м, ширина — до 2 м.

Строение восточной, субмеридиональной по простиранию траншеи оказалось сравнительно простым. И в висячих, и в лежащих крыльях разрыва основным типом отложений оказался массивный лессовидный суглинок без какой-либо видимой слоистости (см. рис. 12). Его видимая мощность в обоих крыльях разрыва достигает 2 м. Зона сейсмогенного разрыва, выраженного очень пологим надвигом, мощностью в первые десятки сантиметров выполнена перемешанным гравием

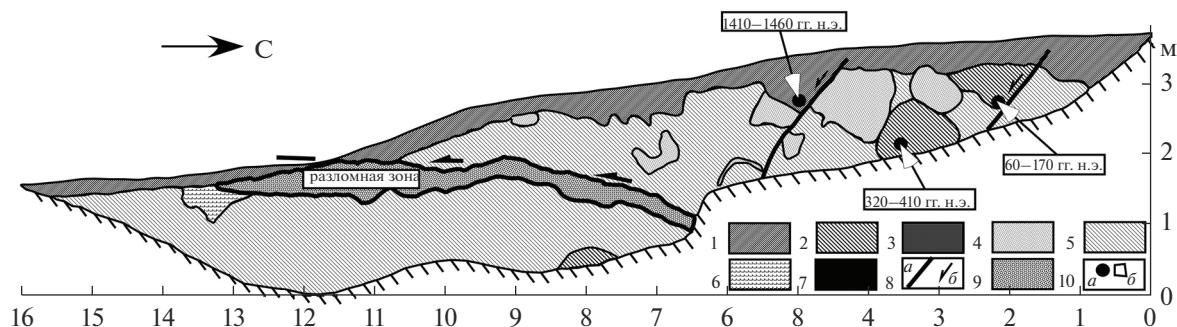


Рис. 12. Палеосейсмологическая траншея, пройденная через самый южный сейсмоуступ Культорского адырного разлома, западнее села Кёк-Дёбе [Корженков и др., 2020]. Разрез западной стенки.

1 – современная почва, 2 – красноватая палеопочва, 3 – каштановая палеопочва, 4 – супеси, 5 – лессовидные суглинки, 6 – щебне-древянные отложения, 7 – черная палеопочва, 8 – сейсмогенные разрывы (а – плоскости, б – направление смещения), 9 – рыхлые отложения (гранулы, дресва), заполняющие разломную зону, 10 – места отбора проб (а – на радиоуглеродный анализ, б – керамика). Место траншеи см. рис. 11.

и дресвой с заполнителем из крупнозернистого песка. Странно было видеть эти сравнительно грубозернистые отложения, зажатые лессовидным суглинком. По-видимому, он был “затащен” по разлому из более древних отложений, слагающих адырные поднятия, возможно из перетертых позднечетвертичных флювиогляциальных отложений. Трудно определить общую величину вертикального смещения по надвигу, так как у нас нет каких-то реперных отметок для проведения этой оценки. Однако у нас имеется вертикальная компонента сейсмоустапа – 1.25 м и углы наклона надвиговой плоскости: 20° в месте выхода плоскости разлома над дном траншеи и 0° в ее южной – козырьковой части.

Интересным представляется строение висячего крыла разломной зоны. С первого взгляда в стенке траншеи видны странные округлые, овоидные тела различных цветов и состава (см. рис. 12). Это прежде всего красноватые куски палеопочвы, оторванные от своего первоначального местоположения и вовлеченные в надвиговое движение. По всей видимости округлая форма этих блоков палеопочвы, а также изолированных овоидов светло-серых супесей объясняется неоднократным перемещением всего материала в висячем крыле, что привело к вращательным движениям и окатыванию изначально неровных фрагментов отложений.

Видны вторичные сбросовые плоскости в тылу надвига (см. рис. 12). Смещения по этим плоскостям величиною до 1 м привели к образованию “карманов”, в которых оказались отложения красноватой палео-почвы и современной серо-коричневой суглинистой почвы. Углы наклонов этих сбросовых плоскостей составляет 55° – 60° .

Лежачее крыло сейсмоустапа гораздо более простое по своему строению. Оно сложено упомянутым выше массивным желтоватым лессо-

видным суглинком. В его нижней части (над дном траншеи) видна верхняя часть окатыша из красной палеопочвы и линза, сложенная галечными слойками – галька в серой супеси, перед фронтом надвига (см. рис. 12). Описанная линза, по всей видимости, – это отложения небольшого временного водотока, протекавшего параллельно фронту адыров до образования изученного сейсмоустапа.

Вторая, западная палеосейсмологическая траншея, пройдена нами через самый южный сейсмоуступ зоны Культорского адырного разлома к востоку от р. Чон-Аксуу. GPS-координаты ее северного окончания: $h = 1773$ м, $N = 42^\circ 44' 2.7''$, $E = 77^\circ 29' 48.5''$, точность определения координат ± 5 м. Траншея имеет простираение 4° , ее длина – 21 м, глубина – до 2.5 м (рис. 13). Эта траншея имеет схожести и отличия от описанной выше траншеи. Здесь также в строении обоих крыльев разломной зоны принимает участие желтоватый массивный лессовидный суглинок, не имеющий какой-то видимой стратификации. Здесь также присутствуют окатыши из рыхлых пород или их фрагменты, но уже в обоих крыльях надвига; также имеются фрагменты красноватой палео-почвы, однако вместо светло-серой супеси, отмеченной в стенках восточной траншеи, здесь появляются овоиды каштановой палеопочвы. Новыми являются вытянутые линзы черной палеопочвы в нижней части разреза траншеи. Здесь же появляются также небольшие полуокатанные обломки палеозойских пород и фрагменты керамики.

Сейсмоуступ небольшой, его высота составляет всего 0.5 м. Возможно, что его размер несколько уменьшен в широкой корытообразной долине сухого ручья (сая) из-за эрозионной деятельности. Тем не менее, уступ хорошо выражен в рельефе (см. рис. 13). Плоскость разрыва, создавшего сейсмогенную форму рельефа, имеет угол в 25° в

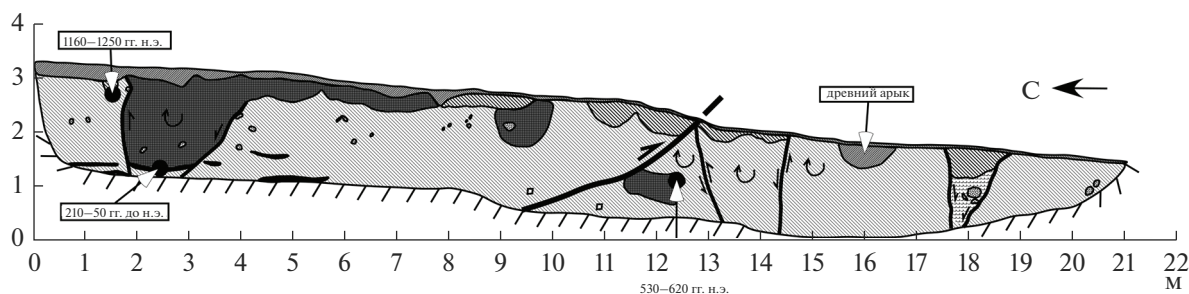


Рис. 13. Палеосейсмологическая траншея, пройденная через самый южный из сейсмоуступов Культорского адырного разлома к востоку от р. Чон-Аксу (по [Корженков и др., 2020] с изменениями). Документация восточной стенки. Условные обозначения см. рис. 12.

своей нижней видимой части. Кверху наклон плоскости возрастает до 40° (см. рис. 13). В этой траншее также невозможно оценить амплитуду подвижки по надвигу из-за отсутствия надежного репера, смещенного во время землетрясения. Надвиговые смещение по главной плоскости разлома подтверждается заворачиванием (волочением) вверх южной части слоя черной почвы.

Условия сжатия, возникшие при землетрясении во фронте сейсмоуступа, также привели к तोрошению блоков грунта в лежащем крыле разломной зоны. Из-за сильных колебаний грунта здесь образовались взброс и взрез (см. рис. 13), которые разделили крыло на блоки, южные крылья которых вследствие давления с севера поднялись вверх на величину от нескольких сантиметров до первые десятков сантиметров. Подобные систематические смещение привели к небольшому вращению всех образовавшихся блоков против часовой стрелки. Кроме описанных структур в лежащем крыле разлома имеется и грабен, выполненный серыми галечными отложениями аллювиального генезиса. Сверху эти отложения перекрыты палеопочвой красного цвета (см. рис. 13).

В тыловой части висячего крыла также образовались условия растяжения, приведшие к образованию грабенообразного кармана, заполненного палеопочвой. Продолжившееся движение всей надвиговой части, направленное в сторону оси Иссык-Кульской котловины, привело к вращению блока каштановой палео-почвы.

После документации стенок траншей мы приступили к поискам органических остатков, которые бы позволили нам продатировать отложения, описанные в стенках горных выработок. К сожалению, массивный лесс не содержит каких-либо органических остатков. С целью датирования нам пришлось отобрать значительное количество почвенного материала.

Наиболее информативной в этом смысле оказалась восточная траншея. Мы писали уже о карманах, образовавшихся в тылу зоны надвига (см. рис. 12). В один из таких карманов при землетря-

сении угодило значительное количество современной почвы. Радиоуглеродное датирование пробы современной темно-коричневой суглинистой почвы с глубины 80 см, дало калиброванную дату 1410–1460 гг. н.э. (FTMC-AR90-2) (см. табл. 1). По-видимому, это и есть минимальный возраст образования сейсмоуступа. Возраст этой пробы совпадает с оценкой сильного землетрясения, выявленного нами ранее, следы которого были найдены в западной части зоны Культорского разлома [Корженков и др., 2016a].

В восточной стенке мы отобрали две пробы на определения абсолютного возраста из красноватой палеопочвы, которые дали калиброванные даты 60–170 гг. н.э. (FTMC-AR90-1) и 320–410 гг. н.э. (FTMC-AR90-3) (см. табл. 1). Первая проба отобрана в кармане возле сбросовой плоскости. По аналогии с предыдущим случаем, мы предполагаем, что возраст палеопочвы отражает минимальный возраст палеоземлетрясения – 60–170 гг. н.э. Присутствие в разрезе блоков красноватой почвы говорит о том, что и после указанного древнего землетрясения имели место последующие сейсмические подвижки, которые дефрагментировали слой красноватой палеопочвы. Это событие произошло позднее 320–410 гг. н.э.

Западная траншея дает нам калиброванный возраст отложения черной палеопочвы 210–50 гг. до н.э. (FTMC-AR90-4). Выше черной почвы в лежащем крыле лежит блок каштановой палеопочвы, возраст которой 530–620 гг. н.э. (FTMC-AR90-6). В висячем крыле каштановая палеопочва выполняет грабен. Поэтому ее возраст может быть минимальным возрастом одного из исторических землетрясений. Еще одна датировка пробы из этой траншеи, отобранная в красноватой палеопочве, имеет калиброванный возраст 1160–1250 гг. н.э. (FTMC-AR90-5). Этот фрагмент красноватой почвы также лежит в “кармане” и мог быть захоронен во время сильного землетрясения прошлого.

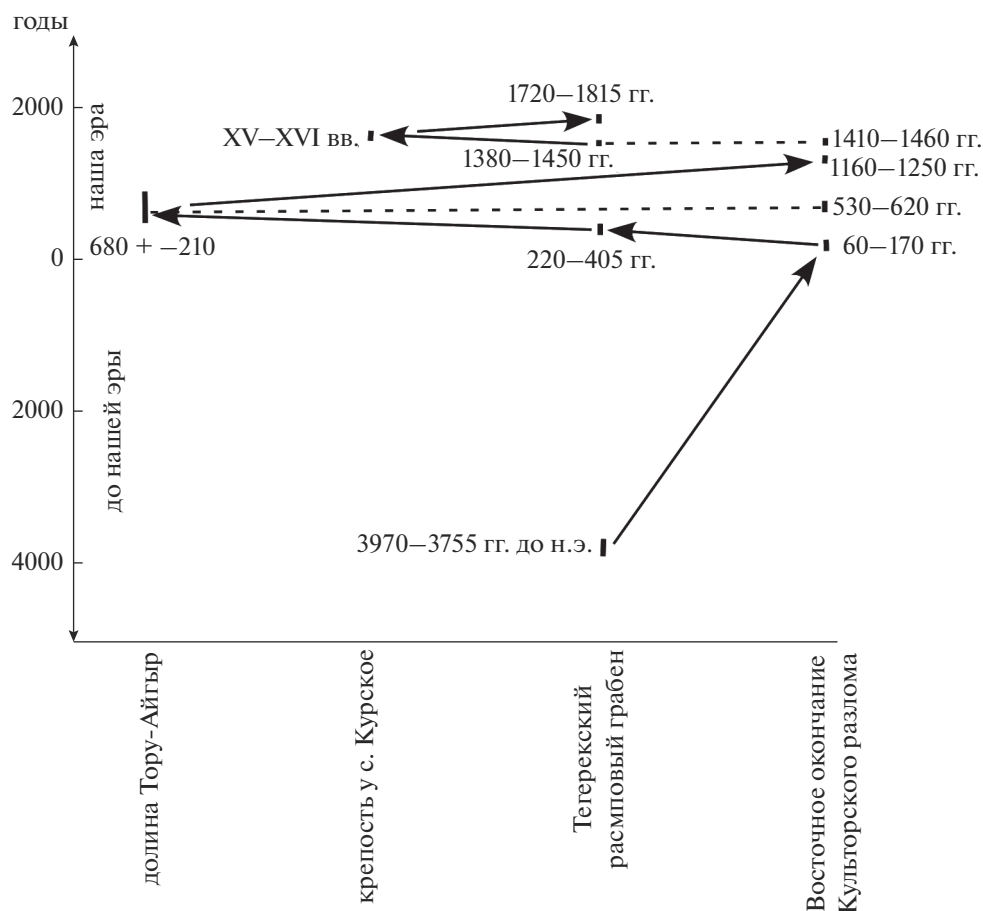


Рис. 14. Схематическая корреляция сильных землетрясений вдоль зоны Культорского разлома в Северном Прииссык-кулье по данным работ [Корженков и др., 2007, 2016, 2020; Корженкова и др., 2022].

Итак, у нас имеются радиоуглеродные датировки, которые могут быть минимальными возрастными сильных землетрясений по Культорскому адырному разлому: 60–170 гг. н.э., 530–620 гг. н.э., 1160–1250 гг. н.э., 1410–1460 гг. н.э. Временная разница между датами (повторяемость сильных землетрясения по разлому) составляет 200–600 лет. Эти данные хорошо согласуются с материалами по повторяемости сильных сейсмических событий по Аксуйскому краевому разлому [Корженков и др., 2018], также отделяющему Иссык-Кульскую котловину от хребта Кунгей Ала-Тоо и подставляющему Культорский разлом к востоку. Вопрос может вызвать отсутствие одновозрастных датировок в траншеях, находящихся на расстоянии 20 км друг от друга. Здесь может быть два объяснения.

1) Органические остатки, которые могли быть использованы для датирования тех или иных землетрясений, сохранились в одной траншее, но уничтожены эрозионными агентами в другой.

2) Траншеи прошли различные сегменты (участки) Культорского разлома, ведущие себя

по-разному в тектоническом и сейсмологическом отношении. Тут также нет ничего удивительного: объединенная 200-км зона Чилико-Кеминского и Аксуйского разломов, активизировавшихся во время землетрясения 1911 г. ($M_s = 8.2$, $I_0 = X-XI$), по характеру своего структурного проявления была разделена нами на 14 участков (сегментов) [Agrow-Smith et al., 2016].

РЕЖИМ СИЛЬНЫХ ГОЛОЦЕНОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВДОЛЬ ЗОНЫ КУЛЬТОРСКОГО РАЗЛОМА

Итак, нами были изучены 4 участка сейсмодислокаций на западном окончании, в северо-западной части, в северо-восточной части и на восточном окончании Культорского разлома. Все эти участки относятся к зоне влияния Культорского краевого разлома, ограничивающего Иссык-Кульскую впадину от хребта Кунгей Ала-Тоо. Необходимо отметить, что в условиях горного рельефа и интенсивных эрозионных процессов найти подходящий материал для радиоуглеродного анализа (кость, дерево, уголь, почву, бога-

тую гумусом) в естественном обнажении или палеосейсмологической траншее весьма не просто. Именно поэтому свodka по обширным территориям с использованием данных по абсолютному возрасту является событием для геологической общественности, к материалам этой сводки часто прибегает большое количество специалистов.

Мы свели имеющиеся у нас 10 радиоуглеродных и 1 люминесцентную датировки в таблицу (см. табл. 1) и рассчитали по ним возрасты сейсмических событий в голоцене, которые вынесли на график (рис. 14). Всего нам удалось выявить 7 сильных землетрясений.

Первое сейсмическое событие произошло в 3970–3755 гг. до н.э. по Южно-Тегерекскому разлому, выражением чего стало образование сейсмоуступа и разрыва почвенного покрова, датированного пробой Vs-3100 [Корженкова и др., 2022].

В стенке палеосейсмологической траншеи, пройденной близ села Кёк-Дёбе [Корженков и др., 2020], в кармане возле сбросовой плоскости из красноватой палеопочвы была отобрана проба на определения абсолютного возраста, которая дала калиброванную дату 60–170 гг. н.э. (FTMC-AR90-1) (см. табл. 1). Поэтому, мы предполагаем, что возраст палеопочвы отражает минимальный возраст 2-го палеоземлетрясения – 60–170 гг. н.э.

Палеопочва (6, см. рис. 10) над Северо-Тегерекским разломом разумеется образовывалась в спокойных тектонических условиях [Корженкова и др., 2022]. Время ее сильной деформации и захоронения – возраст нашей пробы FTMC-FC63-1: 220–405 гг. Это и есть возраст третьего, выявленного нами землетрясения по зоне Культорского разлома.

В стенке траншеи близ села Семеновка в лежащем крыле разрыва расположен блок каштановой палеопочвы, возраст которой 530–620 гг. н.э. (FTMC-AR90-6) [Корженков и др., 2020]. Эта палеопочва выполняет грабен, поэтому ее возраст является минимальным возрастом 4-го исторического землетрясения. Возможно, что длина разрыва от описываемого землетрясения была весьма значительной (80 км). Об этом свидетельствует люминесцентная датировка TAR-8, проба для которой отобрана на западном окончании зоны Культорского разлома. Здесь, сейсмические подвижки по Южно-Актекинскому адырному разлому сместили голоценовую террасу на высоту 2.50–4.25 м. Возраст этой террасы висячем крыле разлома был определен инфракрасным люминесцентным методом как 1.32 ± 0.21 тыс. лет [Корженков и др., 2007]. Последний возраст означает, что до периода 1320 ± 210 лет тому назад отложения вздернутой голоценовой террасы были еще пойменными образованиями. В VII веке н.э. (± 2 века) произошло очередное сильное зем-

летрясение в зоне Южно-Актекинського адырного разлома. Пойменные отложения висячем крыле разлома были вздернуты на высоту в несколько метров и никогда больше уже не заливались водами р. Тору-Айгыр.

Еще одна датировка из траншеи близ села Семеновка – из пробы, отобранной в красноватой палеопочве, имеет калиброванный возраст 1160–1250 гг. н.э. (FTMC-AR90-5) [Корженков и др., 2020]. Этот фрагмент красноватой почвы также лежит в “кармане” и был захоронен во время 5-го сильного землетрясения.

Мы писали о “карманах”, образовавшихся в тылу зоны надвига в траншее близ села Кёк-Дёбе (см. рис. 12) [Корженков и др., 2020]. В один из таких карманов при землетрясении угодило значительное количество современной почвы. Радиоуглеродное датирование пробы современной темно-коричневой суглинистой почвы с глубины 80 см, дало калиброванную дату 1410–1460 гг. н.э. (FTMC-AR90-2) (см. табл. 1). Это и есть минимальный возраст образования сейсмоуступа и 6-го сильного землетрясения вдоль зоны Культорского разлома. Важно отметить, что вторая палеопочва (3, см. рис. 10) в северной траншее в Тегерекском грабене имеет аналогичный возраст в пределах ошибки радиоуглеродного метода: время ее захоронения – 1380–1450 гг. (проба Vs-3101) [Корженкова и др., 2022]. Это также и возраст 6-го сейсмического события. Слой палеопочвы (3) сохранился лишь в лежащем крыле разлома, погребенный подмассивным слоем суглинков с прослоями супесей и песков (2). Висячем крыле эта палеопочва не сохранилась, будучи размытая эрозийными агентами. Кроме того, возраст 6-го сейсмического события совпадает с радиоуглеродными датировками (конец XIV–начало XV вв.), которые были получены американским и киргизскими археологами для затопленной водами Иссык-Куля средневековой крепости эмира Тимура на п-ове Змеиный [Корженков и др., 2016], расположенной к западу от исследованного нами региона. Если это так, то длина сейсмогенного разрыва также была весьма протяженной – 70 км.

Последняя подвижка по Южно-Тегерекскому разлому [Корженкова и др., 2022] произошла по I разрыву (см. рис. 9): его плоскость внедряется в современную почву и ее мощный слой в северном – лежащем крыле дизъюнктива является колювильным клином последнего – 7-го сейсмического события. Кроме того к разрыву I приурочен и тыловой шов современного сейсмоуступа 60 см высоты. Мы предполагаем, что минимальным возрастом этого события является возраст нашей пробы Vs-3102 (1720–1815 гг.), когда после образования сейсмоуступа наступила стабилизация склона висячем крыле разрыва и началось формирование современной горной почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью структурно-геоморфологических и палеосейсмологических методов были исследованы морфоструктуры северного склона хребта Кунгей Ала-Тоо и его южные предгорья (адыры). Анализ данных радиоизотопного датирования (радиоуглеродного и инфракрасного люминесцентного) в пройденных горных выработках показывает миграцию сильной сейсмической активности вдоль зоны Культорского разлома (Северное Прииссыккулье). Было подтверждено, что современная сильная сейсмическая активность сосредотачивается в адырной зоне и приурочена к адырным разломам. В голоцене вдоль разломной зоны произошло, по крайней мере, семь морфогенетических землетрясений. В нашей эре повторяемость морфогенетических землетрясений составляла 200–300 лет. При этом в VII и XV веках вдоль Культорского дизъюнктива, по всей видимости, имели место сильнейшие сейсмические катастрофы с $M \sim 7.5$ ($I_0 = X$ баллов), во время которых сейсмические очаги выходили на поверхность, образуя сейсмоуступы длиной 70–80 км. Последующие палеосейсмологические исследования в Иссык-Кульской котловине дополняют и уточняют вышеизложенную схему миграции сильной сейсмичности на севере впадины.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят А.Р. Агатову, Д. Баумана, Е.В. Девя, А.С. Кичуткина, Д.В. Лужанского, Ц. Лю, Э. Мамырова, М.Ю. Меньшикова, И.Э. Поволоцкую, Н. Порат, Е.А. Рогожину, С.Н. Родину, А.Ю. Старикову, И.В. Турову, М.Т. Усманову, Т.А. Чаримову, Д. Шена, Б. Шасный, А.С. Юдахина за помощь во время полевых и камеральных работ.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования проводились в рамках государственной программы исследований лаборатории № 304 Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН на 2019–2021 гг. “Уточнение оценки сейсмической опасности для тектонически активных Крымско-Кавказского и Тянь-Шаньского горных поясов и относительно стабильных территорий Восточно-Европейской платформы и Балтийского щита по палеосейсмологическим и геодинамическим данным”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. 2013. № 1. С. 3–9.

Бартольд В.В. Отчет о поездке в Среднюю Азию с научной целью в 1893–1894 годах. СПб., 1897.

Берг Л.С. Озеро Иссык-Куль // Землеведение. 1904. Т. 11. Кн. 1–2.

Биосферная территория Иссык-Куль: Культурно-исторические памятники. Бишкек, 2002. 80 с.

Богачкин Б.М., Корженков А.М., Мамыров Э., Нечаев Ю.В., Омуралиев М., Петросян А.Э., Плетнев К.Г., Рогожин Е.А., Чаримов Т.А. Структура очага Сусамырского землетрясения 1992 г. на основании анализа его геологических и сейсмологических проявлений // Физика Земли. 1997. № 11. С. 3–18.

Богданович К.И., Карк И.М., Корольков Б.Я., Мушкетов Д.И. Землетрясение в северных цепях Тянь-Шаня 22 декабря 1911 г. (4 января 1911 г.). СПб., 1914. 256 с. (Тр. Геол. комитета. Нов. сер. Вып. 89).

Винник Д.Ф. Работы Иссык-Кульского археологического отряда в 1959 г. // Изв. АН КиргССР. Сер. общественных наук. 1961. Т. III. Вып. 3. С. 83–102.

Деев Е.В., Корженков А.М. Палеосейсмологические исследования в эпицентральной зоне Кеминского землетрясения 1911 г. в Северном Тянь-Шане // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 2. С. 421–430.

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

Захаров И.Л., Чабдаров Н.М. Геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000. Лист К-43-ХП. М.: Госгеолтехиздат, 1975.

Зеланд Н. С берегов Иссык-Куля // Туркестан. ведомости. 1891. № 35–36.

Иванов П.П. Материалы по археологии котловины Иссык-Куля // Тр. Института истории АН КиргССР. Вып. III. Фрунзе, 1957.

Колпаковский А. О древних постройках, найденных на озере Иссык-Куль // Изв. РГО. 1870. Т. VI. Отд. 2.

Корженков А.М. Особенности строения и формирования морфоструктур Северо-Восточного Тянь-Шаня / Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Фрунзе: Изд-во ФПТИ, 1988. 21 с.

Корженков А.М., Бауман Д., Омуралиев М., Хасельтон К. Следы древних сильных землетрясений в отложениях озера Иссык-Куль // Изв. РГО. 1999. Т. 131. Вып. 4. С. 48–55.

Корженков А.М. Тектоника кайнозоя и сейсмичность северо-западной части Иссык-Кульской впадины (Тянь-Шань) // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 7. С. 971–982.

Корженков А.М. Сейсмогеология Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов). Бишкек: Илим, 2006. 290 с.

Корженков А.М., Поволоцкая И.Э., Мамыров Э. Морфологическое выражение четвертичной деформации в северо-западных предгорьях Иссык-Кульской впадины Тянь-Шаня // Геотектоника. 2007. № 6. С. 53–72.

Корженков А.М., Абдиева С.В., Вахрамеева П.С., Джумабаева А.Б., Мамыров Э., Морозова Е.А., Орлова Л.А., Фортуна А.Б. Сильные исторические землетрясения на северо-западе Иссык-Кульской впадины (Северный Тянь-Шань) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 9. С. 1276–1286.

Корженков А.М., Абдиева С.В., Фортуна А.Б., Чаримов Т.А., Юдахин А.С. Сейсмически мобилизованные

- морены в Тянь-Шане // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 10. С. 1871–1881.
- Корженков А.М., Деев Е.В., Лужанский Д.В., Абдиева С.В., Агатова А.Р., Мажейка И.В., Меньшиков М., Рогожин Е.А., Родина С.Н., Родкин М.В., Сорокин А.А., Фортуна А.Б., Чаримов Т.А., Шен Д., Юдахин А.С. Сильное средневековое землетрясение в Северном Прииссыккулье (Тянь-Шань): Результаты палеосейсмологических и археосейсмологических исследований // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15. № 4. С. 43–63.
- Корженков А.М., Абдиева С.В., Агатова А.Р., Арроусмит Р., Бауман Д., Вахрамеева А.С., Гладков А.С., Гуральник Б., Деев Е.В., Джумабаева А.Б., Казмер М., Керимбаева Д.П.С., Кольченко В., Кросби К., Лобова (Казанцева) Е.Ю., Лужанский Д.В., Мажейка И.В., Мамыров Э., Меньшиков М.Ю., Морозова Е.А., Муралиев А.М., Нурманбетов К., Орлова Л.А., Павлис Т.Л., Поволоцкая И.Э., Порат Н., Рогожин Е.А., Родина С.Н., Родкин М.В., Сорокин А.А., Табалдиев К., Турова И.В., Усманов С.Ф., Фортуна А.Б., Чаримов Т.А., Шен Д., Юдахин А.С. Сильные исторические и палеоземлетрясения Прииссыккуля и их положение в структуре Северного Тянь-Шаня / Отв. ред. А.В. Николаев. М.: ИФЗ РАН, 2018. 174 с.
- Корженков А.М., Абдиева С.В., Гладков А.С., Деев Е.В., Лю Ц., Мажейка И.В., Рогожин Е.А., Родкин М.В., Сорокин А.А., Турова И.В., Фортуна А.Б. Палеосейсмичность вдоль адырных разломов (на примере Коконадыр-Тегерекского разлома в Юго-Западном Прииссыккулье, Тянь-Шань) // Вулканология и сейсмология. 2019. № 5. С. 36–53.
- Корженков А.М., Стрельников А.А., Деев Е.В., Корженкова Л.А., Лю Ц., Мажейка И.В., Рогожин Е.А., Родина С.Н., Турова И.В., Усманова М.Т., Фортуна А.Б. Адырные разломы – генераторы сильных землетрясений в Иссык-Кульской котловине (на примере зоны Культурского разлома) // Вопросы инженерной сейсмологии. 2020. Т. 47. № 2. С. 19–40.
- Корженкова Л.А., Корженков А.М., Стрельников А.А., Старикова А.Ю., Кичуткин А.С., Макеев В.М., Мажейка И.В., Фортуна А.Б. Сильные землетрясения на южном склоне хр. Кунгей-Ала-Тоо Северного Тянь-Шаня и их структурное положение в земной коре // Геофизические процессы и биосфера. 2022. Т. 21. № 1.
- Поволоцкая И.Э., Корженков А., Мамыров Э.М. Следы сильных землетрясений в озерных осадках Кок-Мойнокской впадины (Северный Тянь-Шань) // Геология и геофизика. 2006. № 10. С. 1024–1035.
- Помазков К.Д. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Сер. Северо-Тянь-Шаньская. 1968. Лист К-43-XVII.
- Турчинский В.П. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Сер. Северо-Тянь-Шаньская. Лист К-43-XVIII. Л.: Картофабрика ВАГТ, 1970. 1 л.
- Солоненко В.П. Определение эпицентральных зон землетрясений по геологическим признакам // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1962. № 11. С. 57–71.
- Солоненко В.П. Палеосейсмология // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1973. № 9. С. 3–16.
- Туркестанские ведомости. 1887. № 31.
- Утиров Ч.У. Сейсмодислокации // Геологические основы сейсмического районирования Иссык-Кульской впадины (Северный Тянь-Шань) / Под ред. К.Е. Калмурзаева. Фрунзе: Илим, 1978. С. 91–111.
- Утиров Ч.У. Сейсмодислокации и палеосейсмодислокации // Детальное сейсмическое районирование Иссык-Кульской впадины / Под ред. К.Е. Абдрахматова. Бишкек: Илим, 1993. С. 113–125.
- Уткина Н.Г. Основные черты геоморфологического строения области // Геологические основы сейсмического районирования Иссык-Кульской впадины (Северный Тянь-Шань) / Под ред. К.Е. Калмурзаева. Фрунзе: Илим, 1978. С. 52–57.
- Фортуна А.Б. Мезозойские и палеоген-неогеновые отложения // Детальное сейсмическое районирование Иссык-Кульской впадины / Под ред. К.Е. Абдрахматова. Бишкек: Илим, 1993. С. 11–15.
- Чедия О.К., Корженков А.М. О долговременном сохранении в рельефе следов древних сейсмических катастроф (на примере Чилико-Кеминской сейсмогенерирующей зоны Северного Тянь-Шаня) // Геоморфология. 1997. № 3. С. 88–98.
- Чедия О.К., Трофимов А.К. Новейшая тектоника // Геологические основы сейсмического районирования Иссык-Кульской впадины (Северный Тянь-Шань) / Отв. ред. К.Е. Калмурзаев. Фрунзе: Илим, 1978. С. 66–76.
- Шульц С.С. Анализ новейшей тектоники и рельеф Тянь-Шаня. М.: Географиз, 1948. 222 с.
- Archaeoseismology / Eds S. Stiros, R.E. Jones. British School at Athens; Fitch Laboratory Occasional Papers, 1996. 268 p.
- Arrowsmith J.R., Crosby C.J., Korzhenkov A.M., Mamyrov E., Povolotskaya I., Guralnik B., Landgraf A. Surface rupture of the 1911 Kebin (Chon–Kemin) earthquake, Northern Tien Shan, Kyrgyzstan / Eds A. Landgraf, S. Kuebler, E. Hintersberger, S. Stein // Seismicity, Fault Rupture and Earthquake Hazards in Slowly Deforming Regions // Geological Society, London, Special Publications. 2016. V. 432. 21 p.
- Bowman D., Korjenkov A.M., Porat N. Late-Pleistocene seismites from Lake Issyk-Kul, the Tien Shan range, Kyrgyzstan // Sedimentary Geology. 2004a. V. 163. P. 211–228.
- Bowman D., Korjenkov A., Porat N., Czassny B. Morphological response through competing of thrusting and erosion, at basin foothills, the northern Tien Shan, Kyrgyzstan // Geomorphology. 2004b. V. 63. P. 1–24.
- Bronk R.C. Deposition models for chronological records // Quaternary Science Reviews. 2008. V. 27(1–2). P. 42–60.
- Deev E., Korzhenkov A., Turova I., Pavlis T.L., Luzhanskii D., Mажейка J., Abdieva S., Yudakhin A. Large ancient earthquakes in the Western Issyk-Kul basin (Kyrgyzstan, Northern Tien Shan) // J. Asian Earth Sci. 2018. V. 166. P. 48–65.
- Korjenkov A.M., Arrowsmith J.R., Crosby C., Mamyrov E., Orlova L.A., Povolotskaya I.E., Tabaldiev K. Seismogenic destruction of the Kamenka medieval fortress, Northern Issyk-Kul region, Tien Shan (Kyrgyzstan) // J. Seismol. 2006a. № 10. P. 431–442.
- Korjenkov A.M., Kovalenko V.A., Usmanov S.F. Long-term preservation of paleoseismic deformations as a tool for revealing of ancient seismic catastrophes (on example of Chon-Kemin Valley, Kyrgyzstan) / Ed. M.F. Buchroithner // Proceedings of the 7th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography. Bishkek, Kyrgyzstan, July 2002. Dresden: Kartographische Bausteine, Band 23, 2004. P. 137–153.

Korjenkov A.M., Michajljow W., Wetzel H.-U., Abdybashev U., Povolotskaya I.E. Field excursion guidebook: International training course "Seismology and seismic hazard assessment". Bischkek, Potsdam: GFZ-ZAIAG, 2006b. 112 p. Paleoseismology / Ed. J. McCalpin (2nd edition) // International Geophysics. V. 95. N. Y.: Academic Press, 2009. 629 p. ISBN: 9780123735768

Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hafflidason H., Hajdas I.,

HatleC., Heaton T.J., Hoffman D.L., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M., van der Plicht J. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50000 years cal BP // Radiocarbon. 2013. V. 62. № 4. P. 725–757.

Selander J. Inherited strike-slip faults as an origin for basement-cored uplifts: example of the Kungey and Zailiskey ranges, northern Tien Shan // M.S. Thesis. North Carolina: University, Chapel Hill, 2008. 73 p.

Regime of Strong Holocene Earthquakes of the Kultor Fault Zone in the Northern Issyk-Kul Lake Region (Tien Shan) According to Radiocarbon Dating Data

L. A. Korzhenkova^{1, *}, A. M. Korzhenkov^{2, **}, V. M. Makeev^{1, ***}, J. V. Mazeika^{3, ****}, M. V. Rodkin^{4, *****}, A. A. Strelnikov^{2, *****}, and A. B. Fortuna^{5, *****}

¹Institute of Geoecology RAS, Ulansky lane, 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia

²Shmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Bolshaya Gruzinskaya str., 10, bld. 1, Moscow, 123242 Russia

³State Research Institute "Center of Nature Research", Akademijos str., 2, Vilnius, LT-08412 Lithuania

⁴Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics RAS, Profsoyuznaya str., 84/32, Moscow, 117997 Russia

⁵Institute of Seismology NAS KR, Asanbay Micro-region 52/1, Bishkek, 720060 Kyrgyzstan

*e-mail: korjenkova2404@mail.ru

**e-mail: korzhenkov@ifz.ru

***e-mail: vmakeev@mail.ru

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

*****e-mail: rodkin@mitp.ru

*****e-mail: aas@ifz.ru

*****e-mail: alla-fortuna0@rambler.ru

Morphostructures of the northern slope of the Kungey Ala-Too Range and its southern foothills (adyrs) were studied with use of tectonic geomorphology and paleoseismology methods. Radioisotope (radiocarbon and luminescence) dating data analysis in dug trenches demonstrates the lateral migration of the strong seismic activity along the Kultor Fault zone (northern Issyk-Kul Lake region). It was confirmed that the strong recent seismic activity is concentrated in the adyr zone and located along adyr faults. At least 7 morphogenic earthquakes occurred along the fault zone during Holocene. During common era the reoccurrence of morphogenic earthquakes was 200–300 years. The strongest seismic catastrophes with $M \sim 7.5$ ($I_0 = X$) have been apparently occurred in VII and XV centuries along the disjunctive. During this event the seismic sources reached the surface forming the fault scarps with lengths up to 70–80 km.

Keywords: palaeo-seismicity, adyr faults, fault scarps, trenches, "blind" faults, radioisotope dating, Kultor fault, Issyk-Kul depression, Kungey Ala-Too Range, the Tien Shan