

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ ИМ. О.Ю. ШМИДТА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



На правах рукописи

Стрельников Андрей Андреевич

**ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ПАЛЕО- И ИСТОРИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ  
ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ, СЕВЕРНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ**

Специальность 25.00.03. «Геотектоника и геодинамика»

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель  
д.г.-м.н. Корженков А.М.

Москва – 2022

## Оглавление

Введение .....	4
Глава 1. Описание Иссык-Кульского региона.....	12
1.1. Палеогеографическое и геологическое развитие Иссык-Кульского региона	12
1.2. История изучения сильных землетрясений .....	21
1.3. Методы исследования палеосейсмодислокаций в районах сейсмоактивных разломов .....	22
Глава 2. Очаги сильных исторических и палеоземлетрясений севера Иссык-Кульской впадины.....	26
2.1. Палео- и археосейсмологические исследования западной части Культорского разлома.....	28
2.1.1. Исследование смещенного по разлому мегалита в ур. Чет-Койсуу .....	31
2.1.2. Исследования подводных построек у с. Курское .....	32
2.2. Исследование Культорского разлома и прилежащего участка предгорий хребта Кунгей Ала-Тоо.....	36
2.2.1. Сейсмическая активность вдоль зоны предгорного (адырного) разлома ..	38
2.2.2. Сейсмические деформации археологических памятников .....	42
2.2.3. Образование компенсационных грабенов в тылу надвигов .....	47
2.2.4. Изучение строения уступов с помощью палеосейсмологических траншейных исследований .....	53
2.3. Сейсмодислокации вдоль Аксуйского рампового грабена.....	57
2.3.1. Возраст сейсмогенных подвижек по Аксуйскому разлому по данным датирования разорванных террас.....	57
2.3.2. Разрыв поверхности вдоль Чон-Аксуйского (западного) и Аксуйского (восточного) сегментов Кебинского (Кеминского) землетрясения 1911 г. ....	64
Глава 3. Очаги сильных исторических и палеоземлетрясений юга Иссык-Кульской впадины .....	70
3.1. Ала-Баш-Конур-Оленская впадина и её южное предгорное (адырное) обрамление .....	71
3.1.1. Особенности тектонических движений в Ала-Башской впадине.....	73
3.1.2. Выходы сейсмических очагов на поверхность – сейсмоуступы .....	74
3.1.3. Компенсационный грабен в тылу надвига .....	79
3.1.4. Археосейсмологическое изучение деформации в Ала-Башской крепости.	84

3.1.5. Деформации в средневековых кумбезах .....	87
3.1.6. Калмыкские захоронения.....	89
3.2. Активные структуры юго-востока Иссык-Кульской впадины .....	97
(Южно-Иссык-Кульский разлом).....	97
3.2.1. Оргочорская и Малая Оргочорская антиклинали.....	97
3.2.2. Антиклиналь Бир-Баш.....	101
3.2.3. Антиклинали Сухой Хребет, Ичкетосма и Тосма .....	108
Глава 4. Обсуждение полученных результатов: параметризация землетрясений на территории Иссык-Кульской впадины.....	114
4.1. Очаги древних землетрясений в северной части Иссык-Кульской впадины .....	114
4.1.1. Приуроченность очагов сильных палеоземлетрясений к предгорным (адырным) разломам на примере зоны Культорского краевого активного разлома.....	116
4.1.2. Возраст сейсмоуступов и магнитуда образовавших их землетрясений ...	116
4.1.3. Сейсмическая опасность прибрежных территорий Иссык-Кульской котловины .....	119
4.2. Сейсмическая активность южных предгорных (адырных) разломов .....	123
4.3. Внутривпадинные поднятия восточного борта Иссык-Кульской котловины .....	126
4.4. Кластерное высвобождение сейсмической активности вдоль активных разломов .....	131
4.5. Недооцененная сейсмическая опасность на юге и востоке Иссык-Кульской впадины .....	134
4.5.1. Юго-западная часть Иссык-Кульской котловины.....	134
4.5.2. Восточная часть Иссык-Кульской котловины.....	138
Заключение.....	141
Список литературы .....	142
Статьи на русском языке .....	142
Статьи на английском языке .....	154
Книжные издания.....	160
Картографические материалы .....	162
Электронные ресурсы .....	162
Список работ, опубликованных по теме диссертации:.....	164

## **Введение**

### **Актуальность**

Иссык-Кульская область – территория интенсивного экономического развития, третья по численности населения в Киргизской Республики. Здесь расположено большое количество объектов современного строительства, развивающейся инфраструктуры, ведется ежегодное расширение курортных зон, сельскохозяйственной активности.

Особую опасность представляет открытое хвостохранилище урановых радиоактивных отходов, расположенное на южном берегу Иссык-Куля в непосредственной близости от береговой зоны и населенных пунктов, подвергающееся разрушению вследствие активных эрозионных процессов. Оно может быть сильно повреждено и разрушено в результате сильных сейсмических колебаний. Кроме того, на южном побережье Иссык-Куля находится действующая военная база Российской Федерации.

Несмотря на наличие современной системы мониторинга и регистрации сейсмических событий остается открытым вопрос о периодизации высокомагнитудных землетрясений. Это необходимо для возможности дальнейшего расчета возможного физического и экономического ущерба, а также готовности к ликвидации последствий сейсмического события. Для получения ответа на данную тему используются научные изыскания из раздела архео- и палеосейсмологии.

### **Степень разработанности темы исследований**

Работа по изучению очагов сильных землетрясений в Иссык-Кульской котловине началась еще в начале XX века: русские ученые из Геолкома приехали на южную окраину Российской Империи весной 1911 г. изучать последствия катастрофического Кебинского (1911,  $M=8.2$ ,  $I_0=10-11$  баллов) землетрясения [Богданович и др., 1914]. Сильные землетрясения: Сарыкамьшское в 1970 г. и Джаланаш-Тюпское в 1978 г. (с  $M\sim 7$  и  $I_0=8-9$  баллов), привлекли внимание



местных сейсмологов [Григоренко и др., 1973; Жаланаш-Тюпское..., 1981]. Изучались и палеоземлетрясения: преимущественно сотрудниками Института сейсмологии Киргизской ССР [Геологические..., 1978; Детальное..., 1993]. Однако в работах, проведенных киргизскими исследователями, отсутствуют сведения о возрасте выявленных сейсмических событий, а также о внутреннем строении сейсмодислокаций.

Текущие выводы об оценке сейсмической опасности юга Иссык-Куля основаны на старых материалах (пример карты ОСР Киргизии 2012 и 2017 гг.). В конкретном случае поднимается вопрос о высокой сейсмичности Южной и Восточной частей Иссык-Кульской впадины.

На данный момент информацию о доисторических землетрясениях получают благодаря палеосейсмологическим и археосейсмологическим исследованиям (Корженков, 2006; Деев и др., 2016б; 2018; Корженков и др., 2011, 2016а,б, 2018а,б, 2019, 2020; Деев, Корженков, 2016; Деев, 2018; Стрельников, Корженков 2020; Thompson et al., 2002; Bowman et al., 2004b; Korjenkov et al., 2003, 2012; Campbell et al., 2013, 2015; Landgraf et al., 2016; Deev et al., 2017; Korzhenkov, Deev, 2017; Korzhenkov 2018, 2019, 2020 et al.).

Выявление сейсмических событий древности позволяет составлять периодизацию повторяемости землетрясений, что дает возможность прогнозировать опасные природные явления на исследуемой территории иногда с точностью до 100 лет. Данная проблема остро стоит при строительстве атомных электростанций, где требуется информация о повторяемости землетрясений за последние 10000 лет.

**Цель работы** состоит в уточнении оценки сейсмической опасности отдельных участков Иссык-Кульской впадины и прилегающих территорий с помощью современных методов палео- и археосейсмологии, а также определении роли предгорных (адырных) разломов и распределения очагов землетрясений во времени.

### **Задачи исследования**

1. Изучить морфоструктуру предгорной зоны хребтов Кунгей- и Терской-Ала-Тоо.
2. Выявить сейсмическую активность предгорных (адырных) разломов.
3. Определить повторяемость сильных палеоземлетрясений вдоль краевых и предгорных (адырных) разломов на территории Иссык-Кульской впадины.
4. Уточнить сейсмическую опасность отдельных участков Иссык-Кульской впадины.

### **Научная новизна**

Регион Иссык-Кульской внутригорной котловины и прилегающих к ней территорий впервые относительно полно изучен с точки зрения современной архео- и палеосейсмологии. Скорректирована оценка сейсмической опасности регионов возможных восьмибалльных землетрясений на юге и востоке впадины до девятибалльного уровня на карте сейсмического районирования территории Киргизской Республики 2011 года. Впервые получены данные о кластеризации землетрясений на севере Иссык-Кульской впадины – периоды активного выделения сейсмической энергии сменяются периодами сейсмического затишья. Отмечена приуроченность очагов сильных палеоземлетрясений не только к магистральным глубинным разломам и ответвляющимся от них краевым разломам, но и к предгорным (адырным) разломам, которые в свою очередь ответвляются от краевых разломов.

### **Применяемые методы**

В исследовании использованы традиционные методы палео- и археосейсмологии.

Использование космических снимков является неотъемлемой частью исследования, т.к. позволяет обнаружить интересующие природные объекты еще на подготовительном этапе работ, однако важным элементом настоящей работы

стало использование аэрофотосъемки с помощью беспилотного летательного аппарата (квадрокоптера DJI PHANTOM 3 PROFESSIONAL). Такого рода работы быстро входят в практику различных геолого-геофизических исследований (Алешин и др., 2019а, б, в).

Выполнены траншейные исследования разломных уступов. При этом выполнено послойное описание стенок траншей с фиксацией фациальных характеристик отложений, взаимоотношений слоев; выявление сейсмогенного разрыва, определение типа и амплитуды смещения по нему, коллювиальных клиньев. Выполнены отборы проб на  $^{14}\text{C}$  определение возраста отложений.

Определение  $^{14}\text{C}$  возраста образцов палеопочвы и гумусированной супеси выполнено в Радиоизотопной лаборатории Государственного научно-исследовательского института «Центр природных исследований» (Вильнюс, Литва). Калиброванные возраста рассчитаны с использованием программы OxCal 4.3 (BronkRamsey, 2001; BronkRamsey et al., 2010) и калибровочной кривой IntCal2013 (Reimer et al., 2013).

При характеристике геологического строения территории использованы геологические карты масштаба 1:200 000 (Чабдаров и др., 1961; Шендерович, Макаров, 1965; Турчинский, 1970). В пределах естественных обнажений исследованы неоген-четвертичные отложения, слагающие внутривпадинные поднятия.

Оценка магнитуд палеоземлетрясений проводилась на основе эмпирических зависимостей между ними и параметрами сейсмогенных разрывов (Wells, Coppersmith, 1994). Гранулометрия вовлеченных в сейсмическое разжижение осадков и типы сейсмиков позволили с учетом данных из (Rodríguez-Pascua et al., 2000; Bezerraetal., 2005; Papathanassiouetal., 2005; Deevetal., 2019) оценить параметры землетрясений, при которых сформировались эти вторичные деформации.

### **Объекты исследования**

В результате предварительной оценки и изучения территории по литературным источникам, а также работы с картографическими материалами и данными космической и аэрофотосъемки были выбраны для исследования следующие объекты:

5. Внутригорная Ала-Баш Конур-Оленгская впадина, ограниченная с юга хребтом Терскей-Ала-Тоо и с севера горами Дувана, и районы возле сел Каджи-Сай и Тосор в зоне активных Предтерскейского и Южно-Иссык-Кульского разломов.

6. Участки на северном побережье Прииссыкуля, ограниченные курортно-жилой зоной (село Чырпыкты, село Тамчы, село Чон-Сары-Ой, город Чолпон-Ата, село Бостери, село Григорьевка, село Семёновка, село Ананьево, село Орто-Орюктю) с юга и горной системой хребта Кунгей-Ала-Тоо с севера, в зоне активных Культорского и Аксуйского разломов.

7. Районы вдоль восточного побережья Иссык-Куля, ограниченные курортно-жилой зоной (село Тюп, село Михайловка, село Боз-Булун, село Бёрю-Баш, село Джети-Огуз, село Ак-Дёбё, село Боз-Бешик, село Чон-Кызыл-Суу) с запада и сочленением хребтов Терскей- и Кунгей-Ала-Тоо на востоке (село Тасма, село Кош-Дёбё, село Чон-Кызыл-Суу), в зоне активных Каркаринского и Южно-Иссык-Кульского разломов.

### **Защищаемые положения:**

**Первое защищаемое положение:** режим проявления сильных палеоземлетрясений северной части Иссык-Кульской котловины выражается в виде периодов сейсмической активизации (3–5 сильных землетрясений за 1000–1500 лет), сменяющейся периодами сейсмического затишья (в 2000 лет).

**Второе защищаемое положение:** очаги сильных палеоземлетрясений приурочены не только к магистральным глубинным разломам и ответвляющимся от них краевым разломам, но и к предгорным (адырным) разломам, которые в свою очередь ответвляются от краевых разломов.

**Третье защищаемое положение:** предгорные (адырные) разломы южной и восточной части Иссык-Кульской впадины генерируют сильные землетрясения магнитудой  $M \geq 7$  и возможной интенсивностью  $I_0 = 9$  и выше баллов.

### **Личный вклад автора**

В период с 2016 по 2019 гг. автором под руководством д.г.-м.н. А.М. Корженкова были проведены полевые и камеральные исследования Иссык-Кульской внутривпадинной котловины и прилегающих территорий. Соискателем проводилась подготовка научно-исследовательских экспедиций, включающая в себя обработку космических и аэрофотоснимков, обработку картографических материалов и поиск информации в литературных источниках с целью идентификации объектов исследования, а также техническую организацию научно-исследовательских работ. В период полевых исследований автор занимался геоморфологическим анализом рельефа, аэрофотосъемкой исследуемых участков, траншейными исследованиями, отбором проб для определения радиоуглеродного возраста. В заключительных камеральных этапах соискатель выполнял обработку полученных данных за периоды подготовительных и полевых работ, включая создание графических и картографических материалов, детальное описание исследуемых траншей и интерпретацию полученных данных, а также написание научных статей и их частей по завершению исследования.

### **Апробация результатов исследований**

Всего за период создания диссертационной работы автором лично (прим. прежняя фамилия Сорокин, далее, после смены – Стрельников) и в составе научно-исследовательской группы были опубликованы 20 работ: 7 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по специальности 25.00.03 – «Геотектоника и геодинамика»: из них 6 статей в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных WoS. Также 4 статьи опубликованы непосредственно в журналах Национальной академии наук

Киргизской республики. Промежуточные результаты исследований представлены на 9 конференциях, в том числе на VII Международном симпозиуме «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов, 2017» (Бишкек, Киргизия), «Научной конференции молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН 2018, 2019, 2020» (г. Москва), «Sixth International Colloquium on Historical earthquakes & paleoseismology studies their contribution to the knowledge of the long-term seismic activity and to seismic hazard assessment, 2018» (Хан-Сюр-Лессе, Бельгия), Втором Международном симпозиуме, посвященном 75-летию НАН КР, 2018, Бишкек, Киргизия, «XXI Научно-практической Щукинской конференции с международным участием, 2018» (г. Москва), «Пятой тектонофизической конференции в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле, 2020» (г. Москва), «VIII Щукинских чтениях: рельеф и природопользование, 2020» (г. Москва).

### **Объем и структура диссертации**

Диссертация общим объемом 167 страниц состоит из введения, 4 глав и заключения. Она включает 68 рисунков, 3 таблицы, 2 формулы. Библиография содержит 177 источников.

### **Благодарности**

Выражаю особую благодарность научному руководителю д.г.-м.н. А.М. Корженкову. Также выражаю благодарность за научно-техническую консультацию д.г.-м.н. Ф.Л. Яковлеву и к.г.-н. С.В. Абдиевой. Выражается благодарность д.г.-м.н. Е.А. Рогожину, Н.Ш. Ажиканову, Н. Глаголевой, к.г.-м.н. А.С. Гладкову, д.г.-м.н. А.В. Дееву, Е.Ю. Лобовой, к.и.н. Д.В. Лужанскому, PhD Й.В. Мажейке, д.ф.-м.н. М.В. Родкину, И.Г. Сорокиной, С.С. Стрельниковой, А.Б. Фортуне и А.С. Юдахина за помощь в полевых исследованиях и обсуждение полученных результатов.

**Финансирование**

1. Работа выполнена при финансовой поддержке ИФЗ РАН по государственным программам лаборатории палеосейсмологии и палеогеодинамики.

2. 19-55-53017 ГФЕН\_а Активная складчатость и сильные, связанные со складками землетрясения на Тянь-Шане и Большом Кавказе.

## **Глава 1. Описание Иссык-Кульского региона**

В первой части данной главы охарактеризованы палеогеографическое и геологическое развитие Иссык-Кульского региона на протяжении мезозой-кайнозойского времени. Во второй части представлен обзор исследований по сейсмичности и сейморайонированию, включая последние данные по исторической сейсмичности. В третьей части представлен обзор методов с постановкой задачи работы и обоснованием выбора методов.

### **1.1. Палеогеографическое и геологическое развитие Иссык-Кульского региона**

В настоящее время Иссык-Кульская межгорная впадина (рисунок 1.1.) представляет собой крупный неотектонический рамповый грабен-синклинорий, вытянутый в субширотном направлении и образованный на месте погружения консолидированного докембрийско-палеозойского фундамента (до – 4.5 км) [Геологические..., 1978; Королев, 1956].

Протяженность впадины – до 260 км при наибольшей ширине в центральной части – 75–80 км. Значительная часть территории занята солонатоводным озером (общая площадь акватории 6236 км<sup>2</sup>) [Воскресенская, 2007]. Максимальная глубина озера (до 668 м) приурочена к ложбине, расположенной на меридиане с. Бостери. С севера впадина оконтурена системой поднятий Кунгей-Ала-Тоо, с юга – Терскей-Ала-Тоо (рисунок 1.1.).

В строении домезозойского фундамента Иссык-Кульской впадины и ее горного обрамления участвуют глубокометаморфизованные палеопротерозойские комплексы и осадочно-вулканогенные образования верхнего докембрия-палеозоя, прорванные интрузиями разных стадий развития.



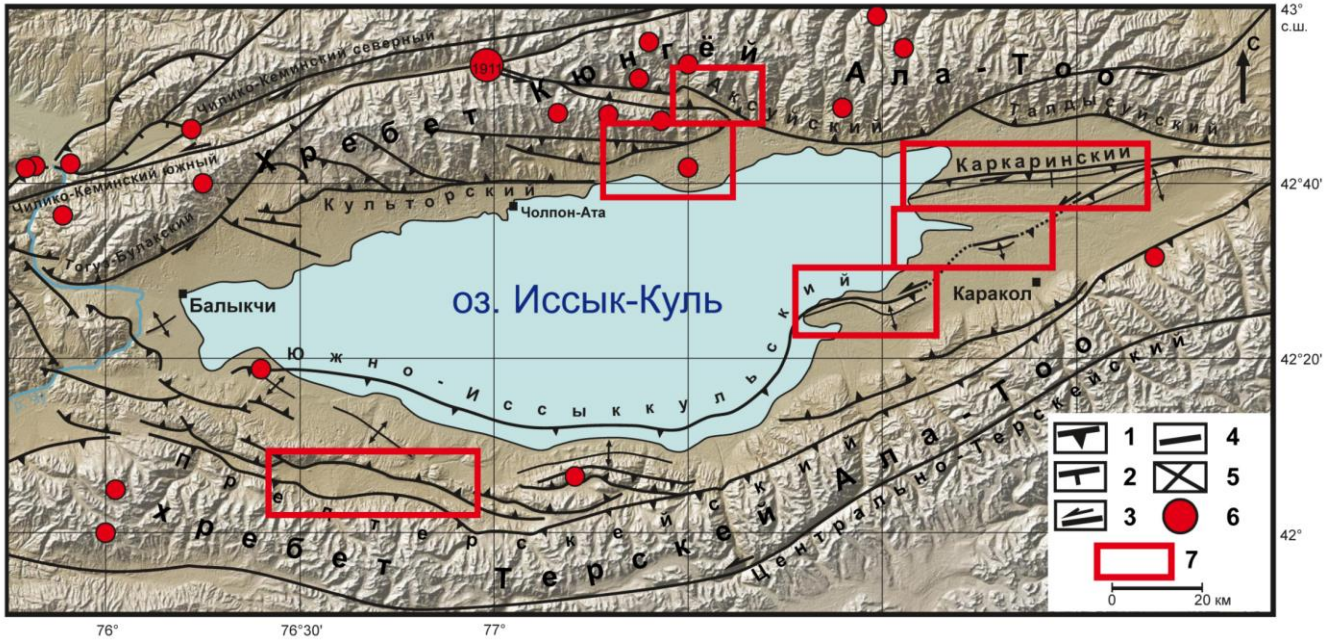


Рисунок 1.1. Основные активные структуры Прииссыккуля (Корженков, ..., Стрельников, и др., 2016) 1–4 – разломы: 1 – взбросы и надвиги; 2 – сбросы, 3 – сдвиги; 4 – неясной кинематики; 5 – оси внутривпадинных поднятий; 6 – эпицентры землетрясений с  $M > 5$ ; 7 – участки исследовательских работ (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников и др. 2020)

Основными структурными элементами палеозойского яруса являются: Иссык-Кульский срединный массив, Кеминская и Киргизско-Терская каледонские складчатые зоны, раннепалеозойские и эпикаледонские наложенные прогибы. Они разграничены разрывными нарушениями различного ранга [Тектоническая..., 1987].

Борта Иссык-Кульской впадины (хребты) сложены протерозойскими и палеозойскими глубоко-метаморфизованными, осадочными и магматическими породами, быстро погружающимися на значительную глубину (-4.5 км) и уступающими место более молодым образованиям – покровная часть (чехол).

Отложения покрова, заполняющие впадину, разделяются на два комплекса: континентально-терригенный, соответствующий платформенному этапу развития региона в мезозое и палеогене, и (также континентально-терригенный) молассовый, образованный в новейшем орогеническом этапе на протяжении

позднего олигоцена, неогена и четвертичного времени [Геологические..., 1978; Шульц, 1954].

Мезозойские отложения имеют весьма ограниченное распространение: узколокальные по площади выходы в южной и восточной частях впадины (долины рек Каджи-Сай, Согутты, Джеты-Огуз, Джергез, Джергалан). Они приурочены к одностороннему грабену, сформировавшемуся вдоль Предтерсейского краевого разлома в заключительную стадию мезозойского тектогенеза [Геологические..., 1978]. Представлены песчано-глинистой толщей пестроцветной окраски с прослоями углей; мощность от 100–150 м до 405 м. В них собраны многочисленные палеорастительные остатки [Генкина, 1966; Турутанова-Кетова, 1931]. По времени формирования данные накопления относятся к позднему триасу (норийский и рэтский ярусы) и ранней юре (лейас) [Геология..., 1972].

Меловые отложения на территории Иссык-Кульской впадины не обнаружены, но ряд геологов нижние горизонты чонкурчакской и коктурпакской (сулутерекской) свит, которые, в основном, сформировались в палеогеновое время, относят к позднемеловым накоплениям (табл. 1.1) [Геологические..., 1978; Григина, Фортуна, 1981; Детальное..., 1993; Корженков, Фортуна, 2002; Сикстель, 1934; Фортуна, Лемзин, 1988; Шульц, 1954]. Палеоген-неогеновые отложения на дневной поверхности образуют разрозненные выходы, из которых довольно значительные находятся в Южном Прииссыккулье и на востоке впадины [Фортуна и др., 2010; 2011]. Они хорошо обнажены или вскрыты многочисленными скважинами глубокого бурения; залегают в основном на палеозойском фундаменте, редко – на нижнемезозойских породах (рисунок 1.2. – 1.3.). Для их стратификации было предложено несколько схем, каждая из которых «опирается» на свой стратотип, находящийся в разных районах депрессии (табл. 1.1.).

Таблица 1.1. Схемы стратиграфии кайнозойских отложений Иссык-Кульской впадины

Верхний Мел		Палеогеновая			Неогеновая					Q	Система													
		Палеоцен	Эоцен	Олигоцен	Миоцен			Плиоцен			Q <sub>1</sub>	Отдел												
					нижний	средний	верхний	нижний	средний	поздний		Подотдел												
Киргизский красноцветный комплекс					Тяньшанский орогенический комплекс					Юго-восточная часть			С.С.Шульц, [1954]											
Джеты-огузская свита Чонкур-чакская свита					Джуукинская свита Согутинская свита					Шарпылдакская свита			Южная часть			К.Д. Помазков, [1962]								
Коктурпакская свита					Киргизская свита с двумя подсвитами					Иссык-кульская свита с тремя подсвитами			Четв. отложен.			Геология СССР т. XXV, Киргизская ССР [1972]								
Коктурпакская свита					Согутинская свита					Джуукинская свита			Шарпылдакская свита			Западная часть			Восточная часть					
Чонкурчакская свита					Киргизская свита с двумя подсвитами					Иссык-кульская свита с тремя подсвитами			Шарпылдакская свита			Джеты-огузский разрез			Согутинский разрез			Тору-айгырский разрез		
Сулутерекская свита					Джетыогузская свита с двумя подсвитами					Джуукинская свита			Шарпылдакская свита			В.М. Язовский, [1978, 1979]								
					Шамсинская свита с двумя подсвитами					Согутинская свита			Иссык-кульская свита с двумя подсвитами											
					Иссык-кульская свита с двумя подсвитами					Чуйская свита с двумя подсвитами														

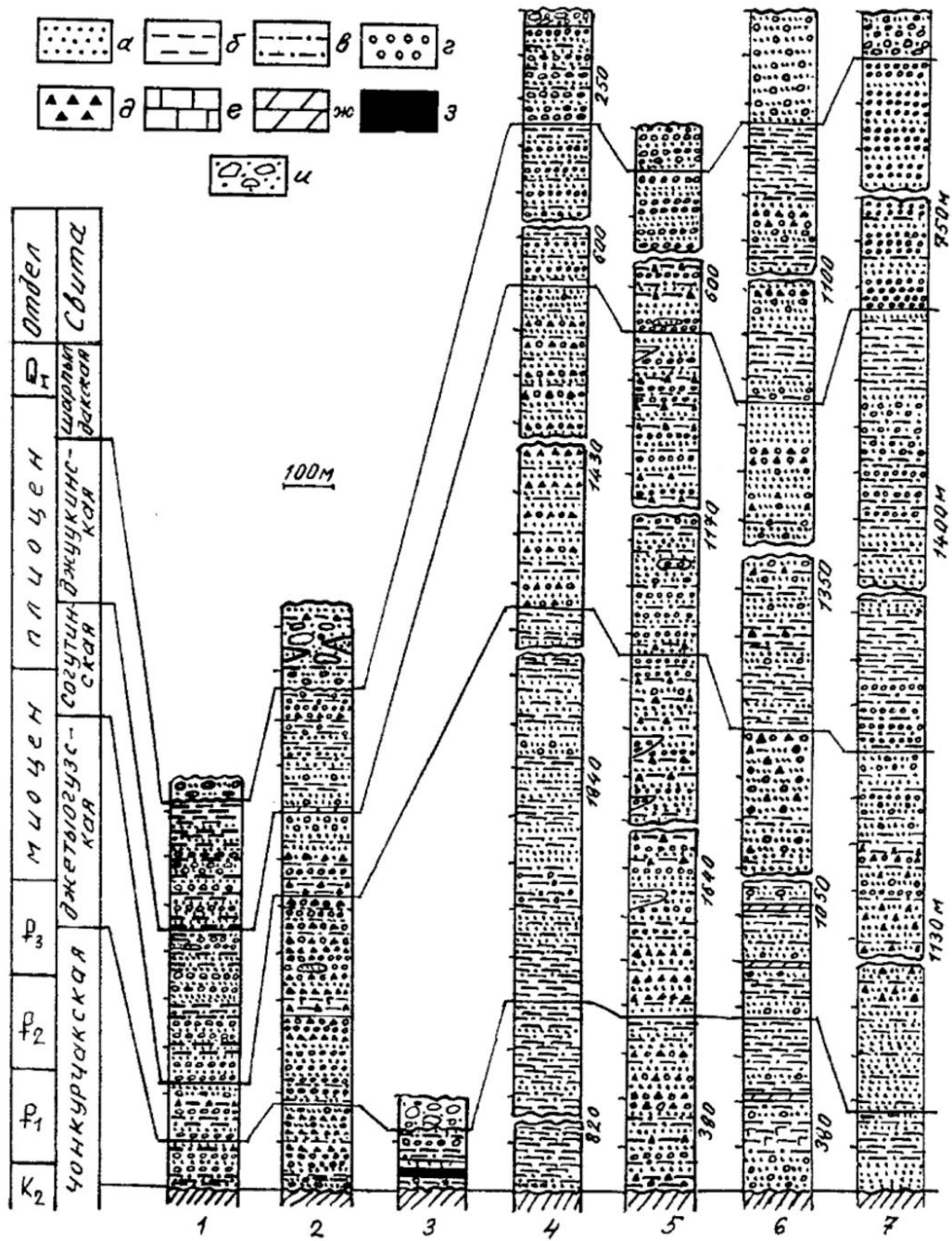


Рисунок 1.2. Разрезы палеоген-неогеновых отложений Иссык-Кульской впадины. (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018). 1 – горы Кызыл-Чоку, 2 – долина р. Сугетты, 3 – долина р. Бугумюз, 4 – скважина Шалба, 5 – долина р. Джеты-Огуз, 6 – скважина Тосма-1, 7 – скважина Ново-Вознесенка. Условные обозначения: а – песчаники, б – глины, в – алевролиты, г – гравелиты, д – брекчии, е – известняки, ж – мергели, з – базальты, и – валунно-галечные отложения



Рисунок 1.3. Карта выходов палеоген-неогеновых отложений на территории Иссык-Кульской впадины (масштаб 1:200000). Составители: В.М.Язовский, А.Б.Фортуна. 1– сулутеркская свита (K2 – Pg2), 2 – чонкурчакская свита (K2 – Pg3), 3 – шамсинская свита (Pg3 – N1), 4 – джетыгогузская свита (Pg33 – N1), 5 – чуйская свита (N2), 6 – согутинская свита (N21), 7 – джуукинская свита (N22), 8 – шарпылдакская свита (N23 – QI), 9 – домезозойские отложения, 10 – базальты, 11 – разрывные нарушения

Формирование поздне меловых-палеогеновых отложений происходило в условиях начавшейся в это время высотной дифференциации эпигерцинского щита, в результате которой стали закладываться синклинальные мульды и антиклинальные поднятия. Последние выступали в рельефе в виде широтно вытянутых увалистых возвышенностей высотой до 600–700 м [Трофимов, 1994]. Тектонические движения происходили на фоне платформенного развития региона.

В северном и юго-западном обрамлении впадины в основании мел-палеогеновых разрезов (сулутеркская, коктурпакская свиты) почти повсеместно присутствует слой (6–10 м) светло-серых или кремовых известняков; выше залегают красноцветные средне-мелкозернистые песчаники, глинистые паттумы, перекрытые более грубыми песчано-глинистыми загипсованными отложениями; мощность от 20–30 м до 100–120 м [Вертунов, 1969; Фортуна, Джумабаева, 2011]. Окраска пород, их состав и текстурно-структурные особенности свидетельствуют

о том, что они являются продуктом переотложенной мезозойской коры выветривания, источником сноса которой служили мелкосопочные возвышенности, окружавшие впадину (зачатки современных горных сооружений). На отдельных участках (Торуайгыр, Бугумюз, Тоссор) вблизи разломов глубокого заложения встречаются покровы базальтов мощностью от 1–2 м до 30 м – долины рек Туруайгыр и Бугумюз [Лемзин, Фортуна, 2006; Sobel, Arnaud, 2000]. Возраст вулканических пород колеблется от 52 до  $56 \pm 3$  млн. лет [Габуня и др., 1975, Крылов, 1960; Симонов и др., 2005; Thomas et al., 1993]. В отложениях свит обнаружены остатки палеофауны [Дмитриева и Несмеянов, 1982; Жуков, 1970; Несмеянов и др., 1977; Тарасов, 1964; Erfurt et al., 1999] и выделены спорово-пыльцевые комплексы [Григина, Фортуна, 1981; Fortuna, Erfurt, 2006], позволяющие датировать вмещающие породы как поздний мел – эоцен.

В южном и восточном обрамлении впадины аналоги коктурпакской (сулутерекской) свиты выделены в чонкурчакскую свиту, сформировавшуюся в конце доорогенного и начальную стадию орогенного этапов. Она сложена красноцветными глинистыми песчаниками и глинами с примесью щебня, гравелитов и конгломератов; мощность от 5 м до 600–700 м. Базальные горизонты представлены белесыми и розоватыми известковистыми конгломератами мощностью до 25 м. Возраст чонкурчакской свиты (поздний мел – ранний олигоцен) обосновывается её стратиграфическим положением и спорово-пыльцевыми комплексами [Григина, Фортуна, 1981].

Олигоцен-плиоценовые молассовые отложения – тяньшаньский орогенический комплекс – подразделяются на два подкомплекса, которые сформировались в стадию эпиплатформенного орогенеза. Нижний подкомплекс охватывает позднеолигоценное-миоценовое время. Его отложения повсеместно представлены красно-бурыми и бурыми ритмично переслаивающимися массивными горизонтами из мелко- и среднеобломочных брекчий и гравелитов. На северном, западном и юго-западном бортах впадины эти отложения объединены в киргизскую (шамсинскую) свиту, мощностью от 50–60 м до 1500 м;



на южном и юго-восточном – в джетыгузскую свиту, мощностью до 1600 м [Геологические..., 1978; Ибрагимов, Талипов, 1965]. Возраст свит определяется их стратиграфическим положением, фаунистическими находками и спорово-пыльцевыми данными [Дмитриева, Несмеянов, 1982; Рябинин, 1927; Турбин и др., 1972; Фортуна, 1971].

Верхний подкомплекс сформировался в плиоценовое время, породы его имеют буровато-палевую, палевую окраску, переходящую в верхней части разреза в палево-серую. Состав отложений: мелкоземистый материал, пролювиально-аллювиального и озерно-дельтового генезиса (переслаивающиеся средне- и мелкозернистые песчаники, алевролиты, аргиллиты; мощность от 600 м до 1700 м.). Толща подкомплекса стратифицирована на чуйскую, согутинскую, джуукинскую и иссык-кульскую свиты, формировавшимися в разных частях впадины (табл. 3.1.). В отложениях свиты собраны фаунистические, растительные макро- и микропалеоостатки плиоценового возраста [Азыкова, 1970; Беляева, Курдюков, 1963; Дмитриева, Несмеянов, 1982; Кузнецов и др., 1964; Сикстель, 1934; Стрельцов, Степанов, 1979]. Возраст верхних горизонтов джуукинской свиты по данным термолюминесцентного анализа равен 1.5–2.0 млн. лет [Разрез..., 1971].

В связи с орогеническими движениями, начавшимися в олигоценное время и продолжавшимися в миоцене, впадина начала интенсивно прогибаться и заполняться материалом, сносимым с растущих хребтов. Плиоценовая эпоха отметилась новым вертикальным ростом поднятий и прогрессирующим прогибанием ложи впадины – формируется водный бассейн (родоначальник современного озера Иссык-Куль), зарождение которого началось в юго-восточной части впадины в позднемиоценовое время [Григина, Фортуна, 1981; Трофимов, 1994]. Разрез неогеновых моласс венчает толща грубообломочных конгломератов и брекчий серого цвета, объединенных под названием «шарпылдакская свита» позднеплиоцен-раннечетвертичного возраста мощностью до 200 м [Геологические..., 1978]. Накопление данных пород происходило в условиях значительных изменений физико-географической обстановки: мощные

орогенические процессы и планетарное похолодание климата. Растущие хребты начинают поставлять в впадину в огромном количестве грубообломочный материал. Палео-Иссык-Куль находится в центре депрессии, он становится бессточным (происходит замыкание горного обрамления), воды его начинают осолоняться [Григина, Фортуна, 1981; Костенко, 1978; Шумова, 1989].

### **Выводы**

Таким образом, в геологическом развитии Иссык-Кульского региона на протяжении мезозой-кайнозойского времени выделяется ряд этапов:

1. Позднемеловой-олигоценый: платформенный режим рельефа, зарождение впадин и поднятий (формирование нижней части киргизского красноцветного комплекса).

2. Оligocen-миоценовый: дифференцированные тектонические движения, вызвавшие углубление депрессии и рост горных сооружений (формирование верхней части киргизского красноцветного комплекса и нижней части Тянь-Шаньского орогенического комплекса), плиоценовый: активизация орогенического тектогенеза (средняя часть Тянь-Шаньского орогенического комплекса). Средняя скорость горизонтального сжатия коры возросла в позднем плиоцен-квартере лишь в ~2–2.5 раза, поэтому вклад сжатия коры в позднеплиоцен-четвертичное горообразование не превысил ~10%. Резкое ускорение восходящих движений было обусловлено, главным образом, конвективным замещением мантийной литосферы менее плотной астеносферой. (Трифонов и др., 2008).

3. В последние 2 млн лет в конце плиоцена и в плейстоцене скорость восходящих движений возросла на порядок. Это доказывается погрубением новейшей молассы вверх по разрезу, увеличением скоростей врезания и разрастанием хребтов за счет впадин. В плейстоцене в поднятие, хотя и не столь интенсивное, вовлекается и большая часть впадин (Трифонов и др., 2008).



## 1.2. История изучения сильных землетрясений

Тянь-Шань находится на самом севере обширного и протяженного Средиземноморско-Гималайского горного пояса. Принято считать, что возникновение Тянь-Шаньского орогена объясняется следствием столкновения и продолжающейся коллизией Евроазиатской и Индийской литосферных плит (Molnar, Tapponier, 1975). Поднятие данной области с олигоцена до 2 млн лет назад в среднем составило  $\sim 700$  м, что примерно соответствует вышеуказанному механизму. В последние 2 млн лет, в конце плиоцена и в плейстоцене, скорость восходящих движений возросла на порядок. Это доказывается поглубением новейшей молассы вверх по разрезу, увеличением скоростей врезания и разрастанием хребтов за счет впадин. В плейстоцене в поднятие, хотя и не столь интенсивное, вовлекается и большая часть впадин. Средняя скорость горизонтального сжатия коры возросла в позднем плиоцен-квартере лишь в  $\sim 2-2.5$  раза, поэтому вклад сжатия коры в позднеплиоцен-четвертичное горообразование не превысил  $\sim 10\%$ . Резкое ускорение восходящих движений было обусловлено, главным образом, конвективным замещением мантийной литосферы менее плотной астеносферой. Это произошло вследствие резкого размягчения мантийной литосферы при инфильтрации в нее активного флюида из подстилающей мантии (Трифонов и др., 2008). Величина сокращения земной коры вкрест простирания горной системы составляет сантиметры в год (Zubovich et al., 2010), именно этим объясняются современные активные тектонические движения на Тянь-Шане, результатом которых являются современный контрастный и высокогорный рельеф (до 7.5 км) и сильнейшие землетрясения с  $M \geq 8$ . Среди них такие, как Кеминское землетрясение 1911 г. с  $M=8,2$  в Северном Тянь-Шане, по праву являющееся одним из самых значительных внутриконтинентальных сейсмических событий в истории; Сарыкамьшское землетрясение 1970 г., произошедшее в восточной части Иссык-Кульской впадины интенсивностью  $I_0=8-9$  баллов,  $M=6.8$ ; Жаланаш-Тюпское землетрясение произошло 24 марта 1978 г. в районе населенных пунктов

Жаланаш и Тюп, его гипоцентр находился в зоне восточного погружения Кунгейского антиклинория на глубине 15 км, магнитуда составила  $M=7$ .

Очаги сильных землетрясений на Иссык-Куле изучаются на протяжении последних 100 лет. Первой изучала Кеминское землетрясение 1911 г. с  $M=8,2$  в Северном Тянь-Шане научная группа Геологического комитета Санкт-Петербурга: Богданович К.И., И.М. Карк, Б.Я. Корольков и Д.И. Мушкетов в 1911–1914 гг. Также изучались очаги менее сильных землетрясений, произошедших на территории Иссык-Кульской впадины: Сарыкамышское 1970 г. и Жаланаш-Тюпское 1978 г.

Изучались и очаги сильных палеоземлетрясений: Ч.У. Утиров в Институте сейсмологии АН Киргизской ССР составил схематическую карту участков палеосмодислокаций для территории Иссык-Кульской впадины и её горного обрамления.

### **Вывод**

Приведенные выше исследования не были привязаны к структурам. В них не использовались современные методы палеосейсмологических исследований (проходка траншей и шурфов). Отсутствовали какие-либо датировки палеосейсмических событий.

### **1.3. Методы исследования палеосейсмодислокаций в районах сейсмоактивных разломов**

Систематически, детально, комплексно изучением очагов сильных древних землетрясений на территории Иссык-Кульской котловины занималась группа А.М. Корженкова и др. С 2016 года автор диссертации принимает непосредственное участие в полевых и камеральных исследованиях этой группы.

Современный уровень исследований зон активных разломов и палеосейсмодислокаций требует комплексной интерпретации результатов структурно-геологических, палеосейсмологических, археосейсмологических и сейсмологических исследований.

В исследовании использован традиционный набор методов архео- и палеосейсмологии (Archaeoseismology, 1996; Корженков, 2006; Палеосейсмология, 2011):

- Полевое картирование разломных уступов, включая детализацию их морфологии (высота, протяженность, сегментация).
- Траншейные работы – горнопроходческие работы, пересекающие разрывную зону для уточнения ее строения, поиска сеймотектонических дислокаций и проведения исследований по определению возраста сеймотектонических смещений.
- Исследование неоген-четвертичных отложений в пределах естественных обнажений, документация различных деформаций, нарушающих элементы первичной седиментационной слоистости.
- Оценка магнитуд палеоземлетрясений на основе эмпирических зависимостей между ними и параметрами сейсмогенных разрывов, и возможной интенсивности на основе археосейсмологических данных.

Использование космических снимков также является неотъемлемой частью исследования, т.к. позволяет обнаружить интересующие природные объекты еще на подготовительном этапе работ, однако важным элементом настоящей работы стало использование аэрофотосъемки с помощью беспилотного летательного аппарата. Такого рода работы быстро входят в практику различных геолого-геофизических исследований (Алешин и др., 2019а, б, в). В наших исследованиях аэрофотосъемочные работы проводились с использованием квадрокоптера DJI PHANTOM 3 PROFESSIONAL.

Разломные уступы, нарушающие различные элементы аккумулятивного и эрозионного рельефа, были предварительно намечены с использованием высокоразрешающих космоснимков QuickBird, доступных в пакете GoogleEarth. Полевое картирование разломных уступов включало детализацию их морфологии (высота, протяженность, сегментация) с использованием портативных GPS. Смещения тальвегов водотоков, апексов конусов выноса, наличие запирающих

хребтов позволили установить и измерить амплитуды сдвиговых перемещений вдоль разломных уступов.

Для детализации черт рельефа проведена панорамная фотосъемка с использованием квадрокоптера. Выполнено траншейное исследование разломных уступов. При этом выполнено послойное описание стенок траншей с фиксацией фациальных характеристик отложений, взаимоотношений слоев, выявлением сейсмогенного разрыва, определением типа и амплитуды смещения по нему, коллювиальных клиньев, отбором проб на  $^{14}\text{C}$  определение возраста отложений.

Определение  $^{14}\text{C}$  возрастов образцов палеопочвы и гумусированной супеси выполнено в Радиоизотопной лаборатории Государственного научно-исследовательского института «Центр природных исследований» (Вильнюс, Литва). Калиброванные возраста рассчитаны с использованием программы OxCal 4.3 (BronkRamsey, 2001; BronkRamsey et al., 2010) и калибровочной кривой IntCal2013 (Reimer et al., 2013).

При характеристике геологического строения территории использованы геологические карты масштаба 1:200 000 (Чабдаров и др., 1961; Шендерович, Макаров, 1965; Турчинский, 1970). В пределах естественных обнажений исследованы неоген-четвертичные отложения, слагающие внутривпадинные поднятия. В обнажениях фиксировались слои и их взаимоотношения с учетом их цветовых характеристик, гранулометрии и окатанности обломочного материала. Задokumentированы различные деформации, нарушающие элементы первичной седиментационной слоистости.

Оценка магнитуд и интенсивности палеоземлетрясений проводилась на основе эмпирических зависимостей между ними и параметрами сейсмогенных разрывов (Wells, Coppersmith, 1994. Table 2A,2B,2C). Корреляционные зависимости (формула 1) по усредненным для всех без разделения (ALL) параметрам для всех типов разломов были выбраны с целью сопоставления информации о параметризации землетрясений, произошедших в разных частях Иссик-Кульской впадины и имеющих различные кинематические типы. А также формула расчета по протяженности структуры вспарывания (формула 2)

$$M = 6,93 + 0,82 \log(AD) \quad (1)$$

$$M = 5 + 1,22 \log(SRL) \quad (2)$$

Разновидности сейсмитов и гранулометрия вовлеченных в сейсмическое разжижение осадков позволила с учетом данных из (Rodríguez-Pascua et al., 2000; Bezerra et al., 2005; Papathanassiou et al., 2005; Deev et al., 2019) оценить параметры землетрясений, при которых сформировались эти вторичные деформации.

За период научно-исследовательских полевых работ были обнаружены следующие объекты, представляющие научный интерес:

1. В северной части исследуемого региона, в районе Культорского активного разлома обнаружены компенсационные грабены в тылу надвига протяженностью от 400 м. В дальнейшем были выполнены траншейные работы с отбором проб на радиоуглеродный анализ для определения возраста землетрясений с целью определения возраста и периода повторяемости сейсмических событий в исследуемом районе.

2. В южной части исследуемого региона, в районе внутригорной Ала-Баш-Конур-Оленгской впадины был обнаружен ранее неизвестный древний архитектурный комплекс, предположительно принадлежавший Караханидам, центральная часть которого поглощена ступенчатым компенсационным грабеном «След дракона».

3. В восточной части исследуемого региона, в районах Бир-Баш, Тосмы и Сухого хребта обнаружены выходы сейсмических очагов на поверхность у северных подножий антиклиналей Оргоchor, Бир-Баш и Тосма. На северных склонах Сухого Хребта, Бир-Баш и Тосма отчетливо фиксируются признаки левого сдвигания, судя по смещенным линиям сухих водотоков и их конусов выноса. О молодости сейсмоуступов свидетельствуют погребенные сейсмогенными надвигами древние ирригационные каналы (арыки).

## **Глава 2. Очаги сильных исторических и палеоземлетрясений севера Иссык-Кульской впадины**

Большинство исследователей (Чедия, Трофимов, 1978; Чедия, 1986; Корженков, 2000, 2006; Корженков и др., 2007, 2011), изучавших северное горное обрамление Иссык-Кульской впадины, сходятся во мнении, что оно представлено четырьмя новейшими мегантиклинальными структурами, которые составляют хр. Кунгей-Ала-Тоо. Для всего хребта в целом характерна резкая асимметрия: южные склоны – относительно пологие с сохранившимися фрагментами доорогенного пенеблена; северные склоны – крутые, короткие, оборванные по Чилико-Кеминской зоне разломов, по которым мегантиклинали взброшены на примыкающие с севера структуры Новороссийской впадины и Чилико-Кеминского шовного грабена (Чедия, Корженков, 1997; Корженков, 2006). На юге мегаструктуры – составляющие Кунгейского хребта – также имеют тектонический контакт с кайнозойскими отложениями Иссык-Кульской впадины (с запада на восток: Тогуз-Булакский, Культорский, Аксуйский, Талды-Булакский краевые разломы, рисунок 2.1.).

На севере контакт Иссык-Кульской впадины и обрамляющего ее хребта Кунгей-Ала-Тоо проходит по серии краевых разломов, кулисно подставляющих друг друга (с запада на восток): Тогуз-Булакскому, Культорскому, Аксуйскому и Талды-Булакскому. Новейшее поднятие хребта Кунгей-Ала-Тоо также имеет предгорную (адырную) зону, но менее развитую, чем у хребта Терскей-Ала-Тоо. Строение северных разломов в той или иной степени было изучено ранее (Чедия, 1986).

Изучению Тогуз-Булакского разлома и связанной с ним сейсмичности были посвящены работы (Корженков, 2000, 2006; Bowmanetal., 2004; Korjenkovetal., 2006a; Корженков и др., 2007, 2011, 2018a; Selanderetal., 2012; Deevetal., 2018). Аксуйский краевой разлом был описан в статьях (Кучай, 1969; Дельво и др., 2001; Корженков, 2006; Korjenkovetal., 2006a; Selanderetal., 2012; Arrowsmithetal., 2016; Деев, Корженков, 2016; Корженков и др., 2018в) и в монографии (Корженков и

др., 2018а). Талды-Булакский разлом был предметом описания в работах (Агатова и др., 2015; Корженков и др., 2015, 2018а; Лужанский и др., 2015). Хуже всего изучен Культорский краевой разлом и его предгорья. И это понятно: почти вся территория Северного Прииссыккулья от береговой линии озера до горного фронта Кунгей Ала-Тоо застроена многочисленными населенными пунктами. Поэтому, кроме упомянутой монографии профессора О.К. Чедия [1986], структура и сейсмичность Культорского разлома фрагментарно описана только в работах [Selander et al., 2012; Корженков и др., 2016а, 2018а].

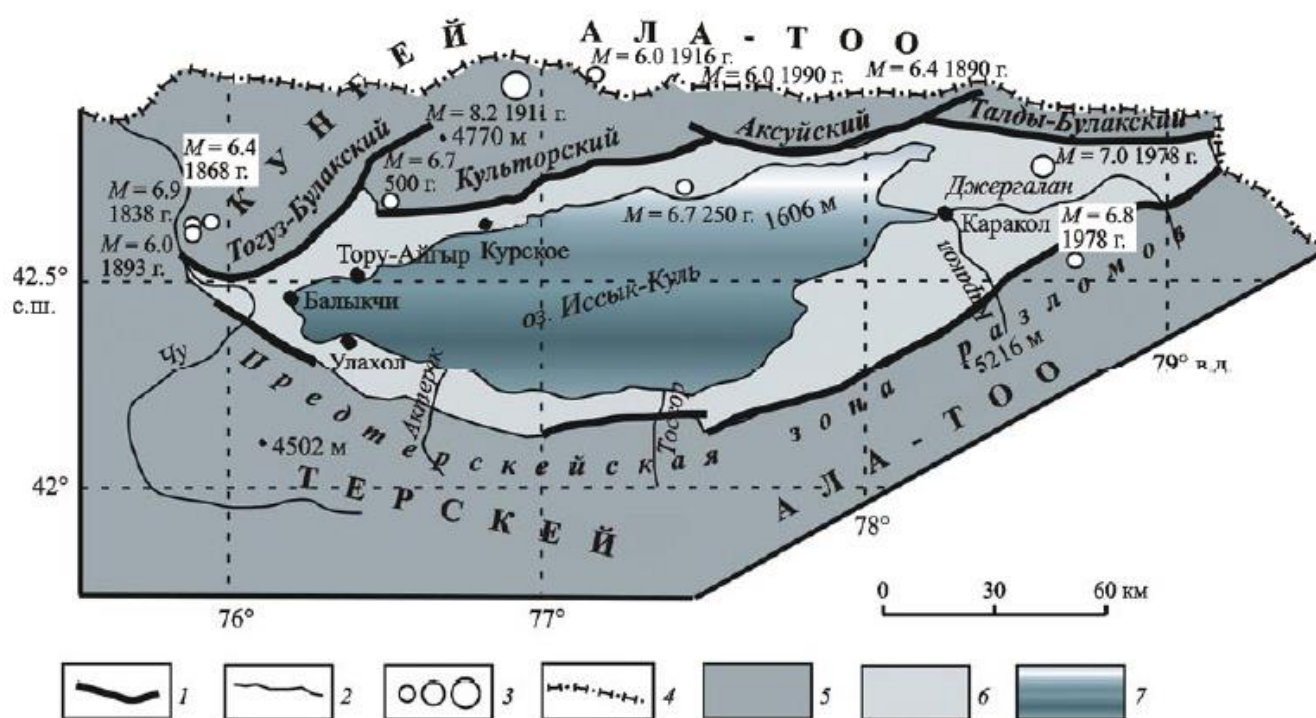


Рисунок 2.1. Структурное положение оз. Иссык-Куль и очаги сильных ( $M \geq 6$ ) известных землетрясений Прииссыккулья (по данным Института сейсмологии НАН Кыргызской Республики) (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2016). 1 – Главные разломы; 2 – реки; 3 – землетрясения (указаны магнитуда и год события); 4 – государственная граница; 5 – домезойские отложения; 6 – мезокайнозойский отложения; 7 – Иссык-Кульская впадина

Площадь Иссык-Кульской впадины и ее обрамления составляет около 21600 км<sup>2</sup>. Эту территорию на протяжении последних ста лет изучали сотни



исследователей и десятки исследовательских институтов. Именно поэтому было решено сконцентрироваться на ключевых участках, характеризующих структуры и сейсмичность северной и южной частей котловины.

## 2.1. Палео- и археосейсмологические исследования западной части Культорского разлома

В ходе полевых работ были проведены траншейные исследования в зоне Культорского разлома. В районе ур. Чет-Койсуу (рисунок 2.2.) был выявлен сейсмогенный уступ, прослеженный на расстоянии 1.6 км. Уступ нарушает позднечетвертичный делювиально-пролювиальный шлейф у подножия хребта и имеет высоту около 2 м (рисунок 2.3.). В ряде мест уступ размывает и в него вложены современные пролювиальные конуса. Через уступ была заложена палеосейсмологическая траншея, юго-восточное окончание которой имеет координаты  $42.65599^\circ$  с.ш.;  $76.83559^\circ$  в.д.; высота над ур. моря – 2036 м, точность измерения GPS-координат –  $\pm 3$  м, азимут простирания траншеи –  $340^\circ$ .



Рисунок 2.2. Фрагмент топографической карты на территорию Северо-Западного Прииссыккуля. 1 – Культорский краевой разлом надвигового типа. Сторона клетки – 2 км (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2016)



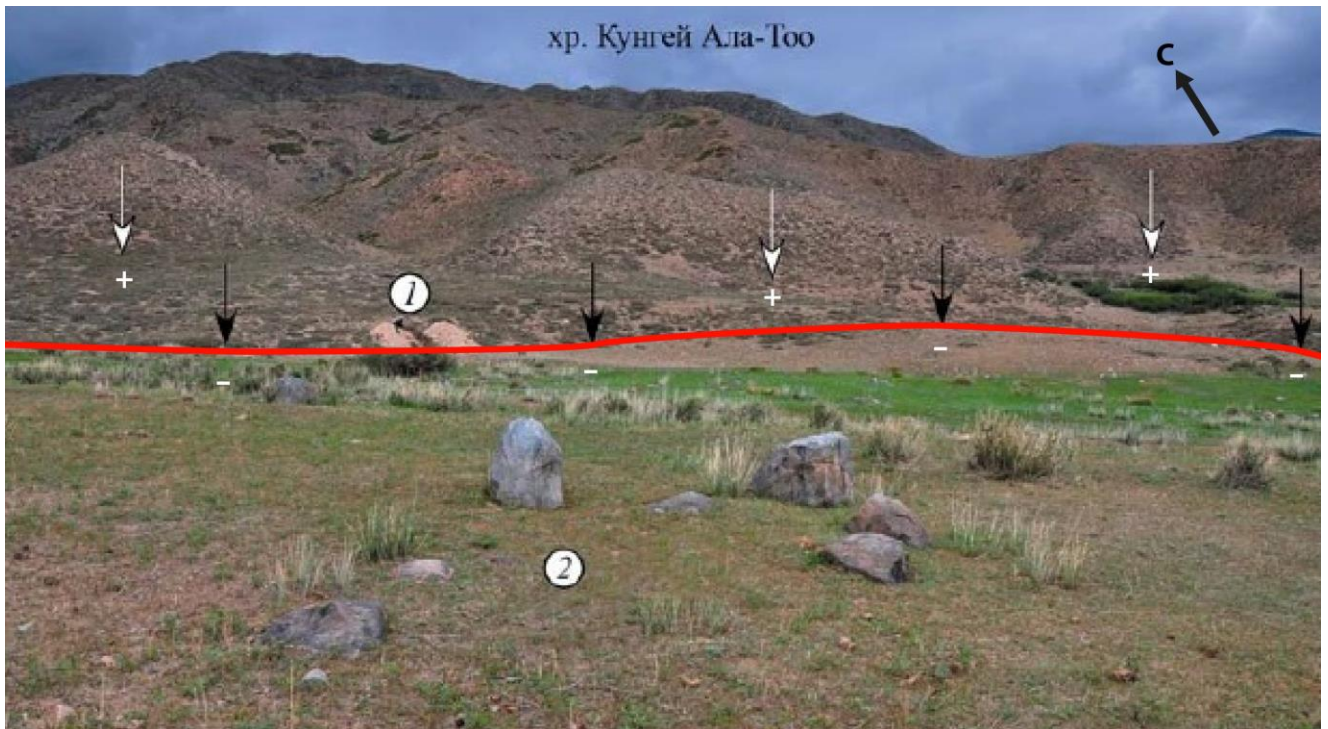


Рисунок 2.3. Палеосейсмологическая траншея (1), пройденная через сейсмоуступ (черные стрелки маркируют его тыловой шов, выделен красной линией) в левобережье р. Чет-Койсуу. На переднем плане – мегалитическая каменная выкладка (2). На заднем плане – хр. Кунгей-Ала-Тоо отделяется от Иссyk-Кульской впадины по зоне краевого Культорского разлома (показан белыми стрелками). (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2016)

В северо-западной стенке траншеи в стратиграфической последовательности вскрываются следующие слои (рисунок 2.4., цифры в кружках). Смещение слоев 1–3 (см. рисунок 2.4.) позволяет выделить сместитель взброса, падающего на север, в сторону хр. Кунгей-Ала-Тоо, под углом 20–30°. Амплитуда смещения – 1.6 м. Вдоль плоскости сместителя наблюдается переориентировка обломков и катаклаз ряда из них. Слои 4–6 и современная почва (слой 7) накапливались после сейсмического события и формирования уступа. Возраст слоя 2 (палеопочва), определенный по остаткам раковин гастропод, – середина позднего плейстоцена, что позволяет определить нижнюю возрастную границу возможного интервала проявления древнего землетрясения.

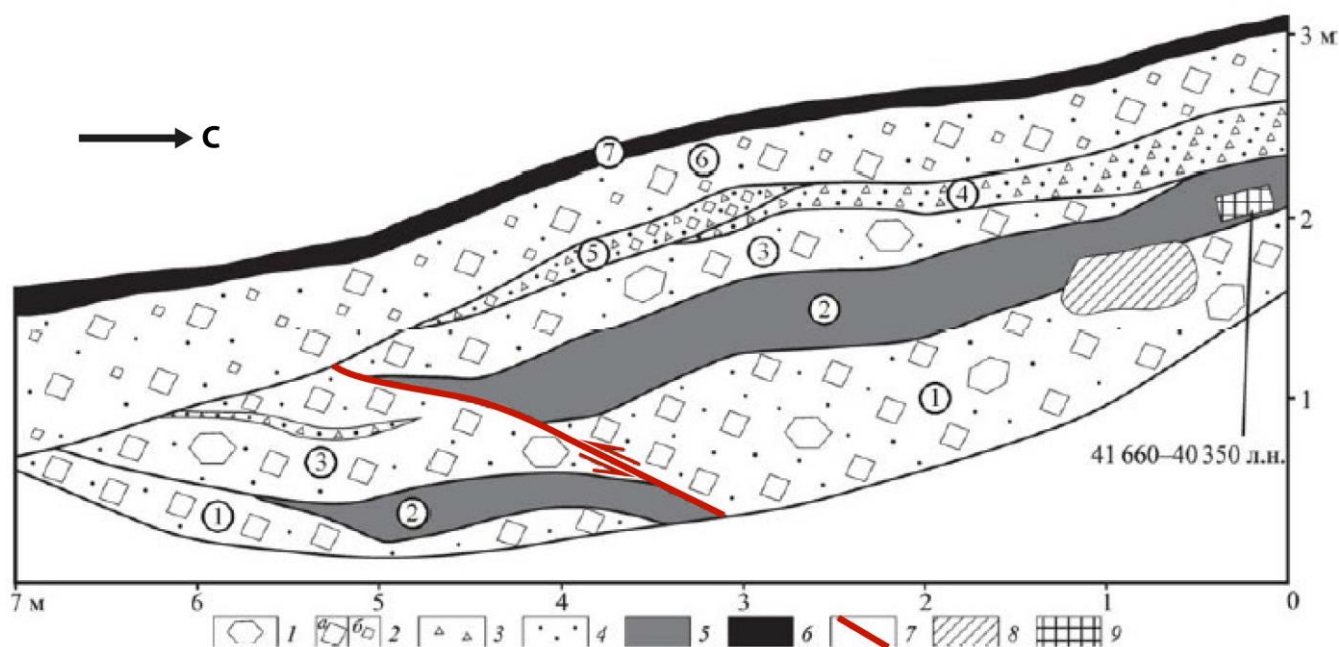


Рисунок 2.4. Палеосейсмологическая траншея через сейсмогенный уступ в зоне разлома, разделяющего Иссык-Кульскую впадину и хр. Кунгей-Ала-Тоо. 1 – Отломы; 2 – щебень: а – крупный, б – мелкий; 3 – дресва; 4 – песок; 5 – супесь в разной степени гумусированная; 6 – современная бедная гумусом горная почва; 7 – сместитель; 8 – след от выпавшего валуна сиенита; 9 – место отбора раковин пресноводных гастропод для AMS датирования возраста (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2016)

О возрасте верхней возрастной границы интервала может свидетельствовать курган, расположенный на фронте сейсмогенного уступа. Он находится в 50–80 м западнее палеосейсмологической траншеи и имеет диаметр 5.5 м. Южная часть каменно-земляной насыпи кургана «сползла» по склону сейсмоуступа на юго-запад.

Курган входит в состав могильника Чет-Койсуу. Некрополь состоит из большого количества курганных групп, разбросанных с запада на восток на 13 км и на юг от горного склона – на 10 км. Надмогильные сооружения представлены каменно-земляными насыпями с прямоугольными или кольцевыми крепидами в основании.

В 1957 г. в 7 км восточнее в ущелье Кой-Суу археологом Л.П. Зяблиным были раскопаны курганы, морфологически сходные с курганами ур. Чет-Койсуу. Находки позволили датировать курганы VII–XIII вв. Следует ожидать, что и могильник Чет-Койсуу имеет аналогичный возраст.

### 2.1.1. Исследование смещенного по разлому мегалита в ур. Чет-Койсуу

Мегалитические каменные выкладки распространены по всей территории археологического памятника Чет-Койсуу, где они также соседствуют с длинными каменными стенами. Исследуемый кромлех ( $42.647765^{\circ}$  с.ш.;  $76.830158^{\circ}$  в.д.) находится в центре обширного мегалитического памятника (рисунок 2.5.).

В ходе расчистки было выявлено отчетливое левосдвиговое смещение с амплитудой в 15–20 см западной части конструкции относительно восточной (рисунок 2.6.). В южной части сооружения отчетливо видны смещения камней как во внутрь, так и за пределы круга на расстояние до 1 м.



Рисунок 2.5. Кромлех в ур. Чет-Койсуу в процессе раскопок. Вид на север. 1 – сейсмогенный разрыв; 2 – местоположение палеосейсмологической траншеи (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2016)

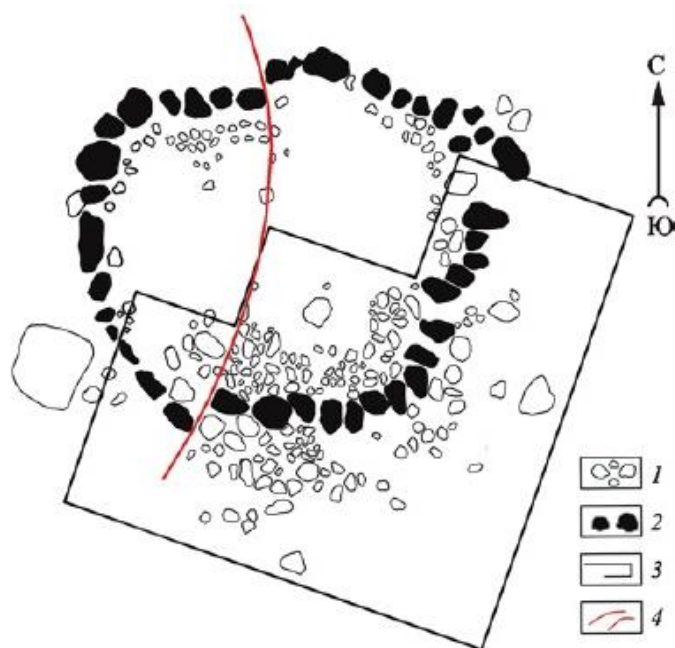


Рисунок 2.6. Общий план кромлеха в ур. Чет-Койсуу по археологическим данным (прорисовка): 1 – упавшие камни; 2 – утопленные в землю камни (фундамент); 3 – контур раскопа; 4 – линия левого сдвига. Масштаб 1:50 (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2016)

### 2.1.2. Исследования подводных построек у с. Курское

Подводные постройки близ с. Курское были известны давно. Так, военный губернатор Семиреченской обл. 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...».

Арабские авторы Ибн-Арабшах в XV в. и Мухаммед-Хайдар в XVI в. писали о существовании в северной части акватории оз. Иссык-Куль какого-то большого острова с многочисленными укреплениями и жилыми домами (Бартольд, 1897). Наиболее детальные сведения о подводных постройках приводятся П.П. Ивановым, который обследовал их в 1927 г. П.П. Иванов отметил, что глубина на подводной отмели, где располагались строения, доходила до 6–8 м. В настоящее время берег оз. Иссык-Куль в описываемом районе составляет небольшой, вытянутый в субмеридиональном направлении полуостров



длиной в несколько сотен метров и шириной в первые десятки метров (рисунок 2.7.).



Рисунок 2.7. Космический снимок «Google» побережья оз. Иссык-Куль в районе исследований (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2016)

В ходе работ сотрудниками Иссык-Кульского археологического отряда ИКАО (Винник, 1961) был выявлен протяженный 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 он постепенно снижается. Ширина вала достигает до 100 м и более, на его поверхности изредка встречаются фрагменты керамики. Длинная (до 1000 м) субмеридиональная подводная отмель, ширина которой у берега – 215 м. К югу отмель сужается, а затем опять расширяется. В настоящее время в связи со значительным (двухметровым) падением уровня озера отмель превратилась в длинный полуостров (рисунок. 2.7.).

По данным [Винник, 1961], с восточной стороны отмель имела крутые склоны глубиной до 6 м, спускавшиеся в залив, наибольшая глубина которого достигала 30 м. С западной стороны склоны отмели были пологими, постепенно

снижавшимися и плавно переходившими в дно залива, глубина которого здесь достигала 20 м. (рисунок 2.8.).

Во время работ ИКАО в 1959 г. [Винник, 1961] хорошо был виден северо-восточный угол стены, большая же ее часть была перекрыта песком и галькой. На верх стены выходили концы бревенчатого настила, состоящего из 18 жердей. Длина его составляла 5.2 м, ширина 3.3 м (рисунок 2.8.). Толщина каждой жерди – 7–15 см. Жерди настила были покрыты толстым слоем коряжника.

Радиоуглеродным методом было получено более 20 датировок по возрасту жердей (работы совместной археологической экспедиции КРСУ им. Б.Н. Ельцина и АГО). Все они укладываются в один возрастной ранг: конец XIV – начало XV в. (уст. сообщение В.В. Плоских – участника совместной археологической экспедиции).

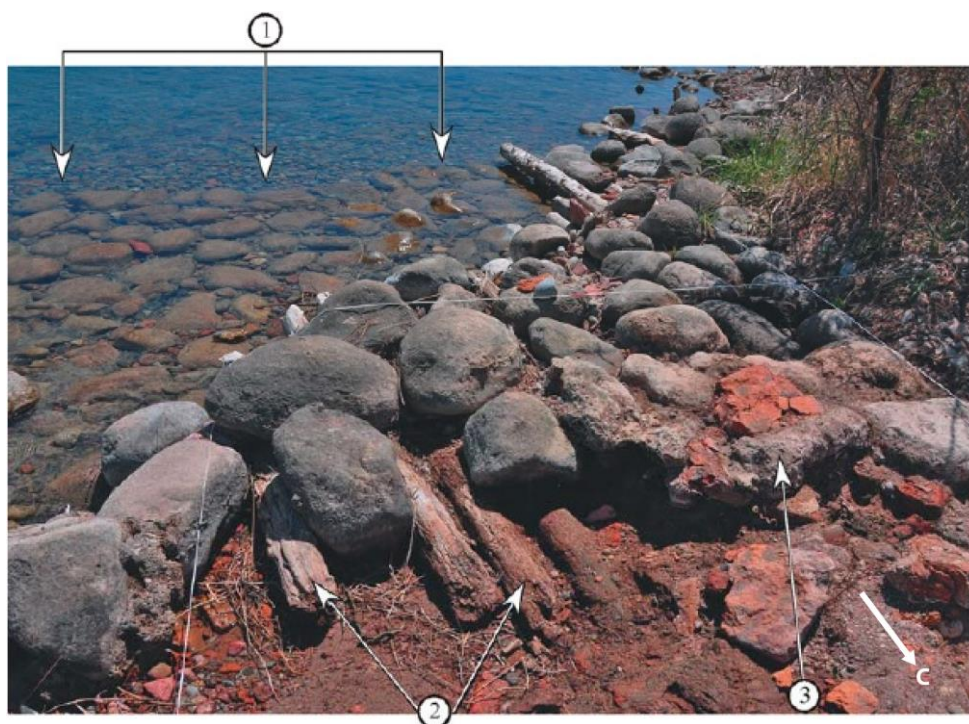


Рисунок 2.8. Современный археологический раскоп совместной экспедиции Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина и Американского географического общества. Наземная фотография 2014 г. восточной стены, обнаруженной под водой ИКАО в 1959 г. (Винник, 1961). Вид на северо-восток: 1 – северо-восточная сторона стены; 2 – жерди настила; 3 – коряжник (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2016)

Трудно себе представить, что подобные значительные фортификационные (судя по многометровой толщине каменных стен, не типичных для Прииссыккуля) сооружения возводились в воде. Скорее всего, «произошла катастрофа» (Винник, 1961), и все постройки в данном месте оказались под водой.

Обследование развалин у с. Курское (Винник, 1961) показало, что подводная отмель, на которой они находятся, в средние века была сушей (островом). В.В. Бартольд (1897) и П.П. Иванов (1957) высказывали предположение о том, что этот остров оказался под водой в результате катастрофического землетрясения. В ходе работ ИКАО было произведено разведочное обследование дна озера во многих местах вдоль северного побережья. Однако в других местах такого обилия остатков средневековых построек, как это было зафиксировано в районе с. Курское, обнаружить не удалось. Таким образом, подтверждаются точка зрения В.В. Бартольда и П.П. Иванова.

В подтверждение вышесказанного следует особо остановиться на фактах значительных опусканий береговой зоны при сильном землетрясении начала XX в. Вот что пишут К.И. Богданович с соавт. [1914] о Кебинской катастрофе 1911 г. ( $M=8.2$ ;  $I_0=10-11$  баллов): «Берег Иссык-Куля около памятника Пржевальскому. Образовались трещины, по которым происходило оседание части берега и дна залива озера... В районе Корумды на берегу озера отмечены были опускания джерганак, т.е. зарослей облепихи, которыми покрыта краевая болотистая полоса... Мы попадаем в прославившуюся при этом землетрясении Сазановку, наполовину разрушенную; на восточном краю этого села начинаются уже трещины в поверхности, густою сетью покрывшие большую часть полей и лугов; сильные опускания берегов, смещения склонов оврагов: вздутия и т.п.; все эти явления усиливаются вплоть до Ойтала. Здесь произошли все те же опускания берега в несколько квадратных верст, провалы, ступенчатые оседания, масса трещин... По краям Тюпской губы (станция Николаевская)... удары шли с запада: по берегам джерганак, заросли облепихи опустились под воду...».

Из всего вышесказанного следует, что опускание Змеиного полуострова/острова под воду можно считать доказанным.

## **2.2. Исследование Культорского разлома и прилежащего участка предгорий хребта Кунгей Ала-Тоо**

Хуже всего изучен Культорский краевой разлом и прилежащий участок предгорий хребта Кунгей Ала-Тоо. И это понятно: почти вся территория Северного Прииссыккуля от береговой линии озера до горного фронта Кунгей Ала-Тоо застроена многочисленными населенными пунктами, пансионатами и домами отдыха, а также распахана под сельскохозяйственные культуры или занята садовыми участками (Корженков и др., 2020).

В связи с продолжающимся сокращением земной коры между Евразийской и Индийской литосферными плитами бывшие участки осадконакопления Исык-Кульской впадины теперь вовлекаются в поднятие, формируя предгорья (адыры) вдоль горных фронтов, обрамляющих котловину (Корженков, 2000, 2006). Не является исключением и территория к югу от Культорского краевого разлома. Здесь в поднятие вовлечены отложения кайнозойской молассы, выполнявшей Исык-Кульскую впадину с начала процесса горообразования (рисунок 2.9.).

В эрозионных обнажениях вдоль речных долин, спускающихся с хребта Кунгей Ала-Тоо и прорезающих предгорья (адыры), можно наблюдать дислоцированные неогеновые песчаники, аргиллиты и мелкообломочные 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 предгорного (адырного) разлома, расположенного к югу от Культорского краевого (рисунок 2.10.).



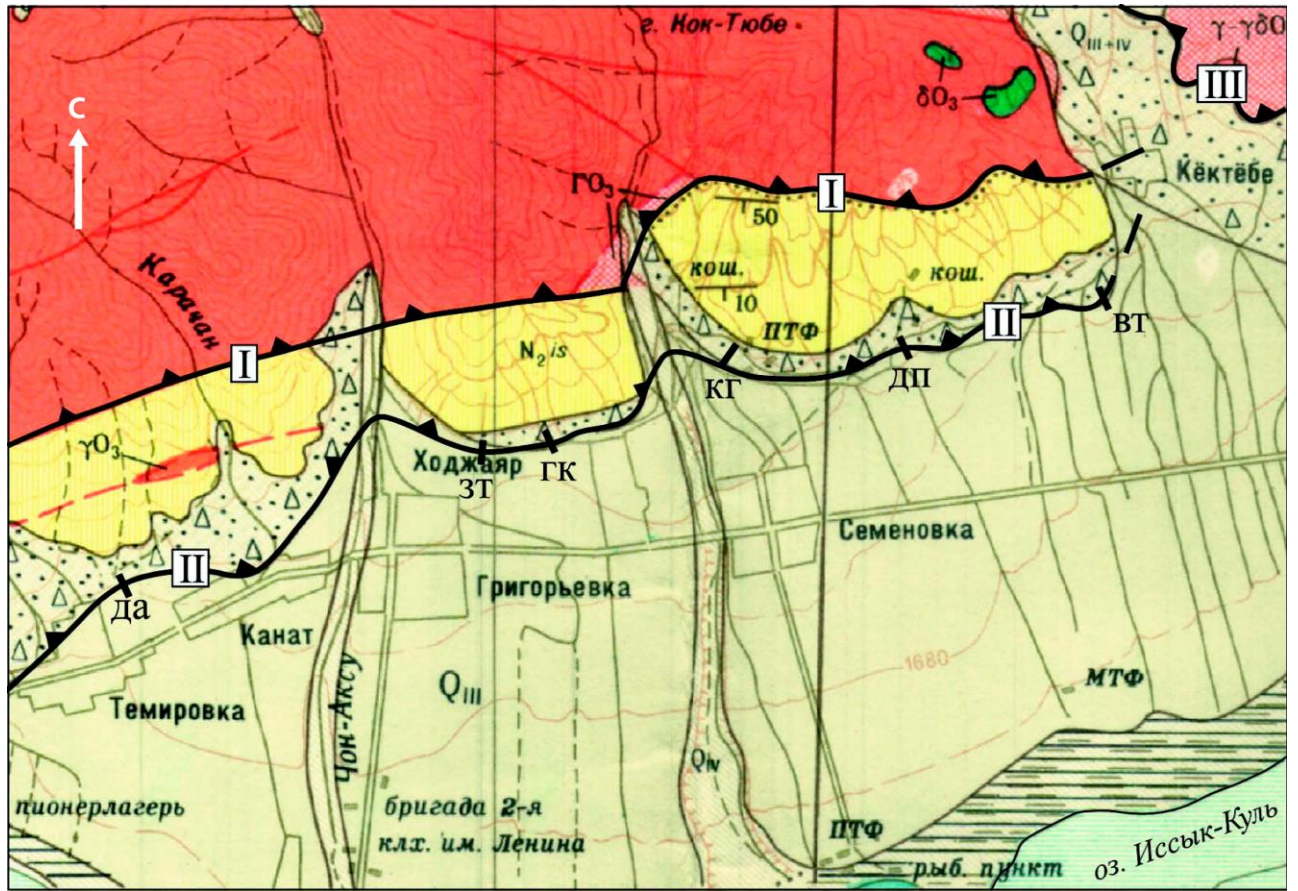
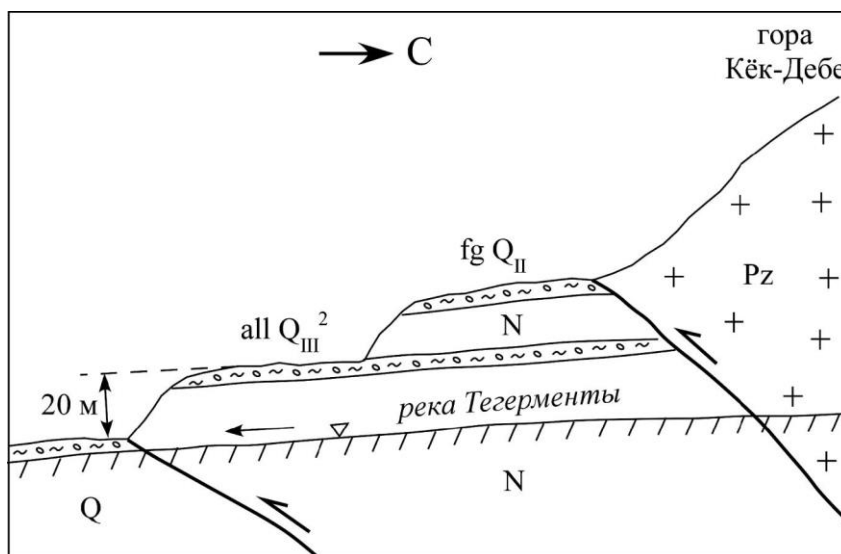


Рисунок 2.9. Фрагмент геологической карты масштаба 1:200 000 (Захаров, Чабдаров, 1975) с дополнениями и изменениями: 1 – ордовикские гранитоиды; 2 – неогеновые отложения; 3 – четвертичные образования. Главные активные взбросонадвиги: I – Культорский краевой разлом; II – Культорский предгорный (адырный) разлом; III – Аксуйский краевой разлом. Места наших палео- и археосейсмологических исследований: ДА – деформация древнего арыка; ЗТ – западная траншея; ГК – глиняный карьер; КГ – компенсационный грабен; ДП – деформации древних построек; ВТ – восточная траншея (А.М. Корженков, А.А. Стрельников, Е.В. Деев и др. 2020)



а



б

Рисунок 2.10. Предгорья (адыры) хр. Кунгей Ала-Тоо к западу от с. Кёк-Дебе, западнее долины р. Тегерменты; а – общий вид, красной прерывистой линией показано подножье уступа; б – схематическая зарисовка (А.М. Корженков, А.А. Стрельников, Е.В. Деев и др. 2020)

### 2.2.1. Сейсмическая активность вдоль зоны предгорного (адырного) разлома

Маркерами тектонических деформаций являются речные террасы. В тех местах, где лестница аллювиальных террас пересекается активным разломом, можно наблюдать изменение их высот в висячем и лежащем крыльях разломной

зоны. Чем древнее террасовый уровень, тем больше высотная разница между фрагментами некогда единой террасы по обеим сторонам от разломной плоскости (Корженков и др., 2007, 2018в). Однако зачастую в местах активно растущих антиклинальных структур, к которым относится восточная периклиналь Культорской антиклинальной структуры, трудно выявить террасовые уровни на склонах крутых ущелий. Таковыми, например, являются антецедентные участки долин рек Чон-Аксуу и Кичи-Аксуу в местах пропила ими горного хребта. Нарушения структур четвертичных террас сравнительно хорошо сохранились в предгорной части, но их не с чем сопоставить в горах. В связи с этим, у нас мало данных по тектонической и сейсмической активности самой зоны Культорского краевого разлома.

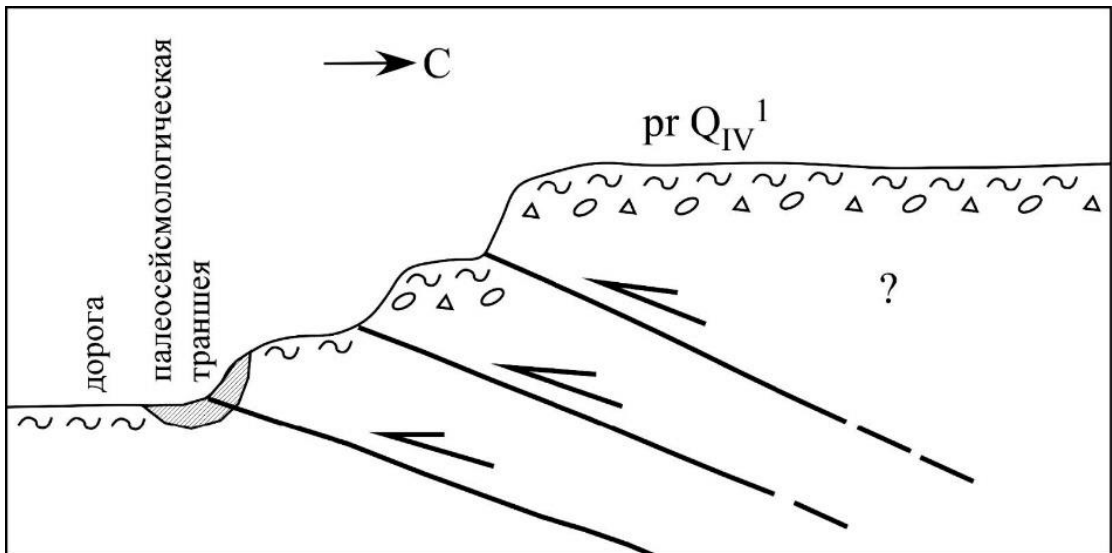
Тем не менее, по аналогии с западной и центральной частью Культорского разлома, основная тектоническая и, соответственно, сейсмическая активность региона сместилась к югу и сосредоточилась вдоль зоны предгорных (адырных) разломов (Корженков, 2000, 2006; Корженков и др., 2016а). На восточном окончании Культорской антиклинали вдоль предгорий идет полевая дорога. К югу от нее расположен уступ, фронтальная часть которого чаще всего представляет собой лестницу из нескольких ступеней. Это и есть зона предгорного (адырного) разлома, ступенчато выраженная в рельефе (рисунок 2.11.).

Строение зоны Культорского предгорного (адырного) разлома нам удалось увидеть в карьере к северо-востоку от северо-восточной окраины с. Григорьевка (рисунок 2.12., а), где было вскрыто строение низкого (южного) сейсмоуступа. Видно, что на ровную площадку внизу (пространство к югу от тылового шва уступа) – на лежащее крыло разломной зоны – надвигаются наклонные слоистые галечники, перекрытые лёссом, а на эту толщу, в свою очередь, надвигается сверху массивный лёссовый слой, создавая более высокий сейсмоуступ (рисунок 2.12., б.).



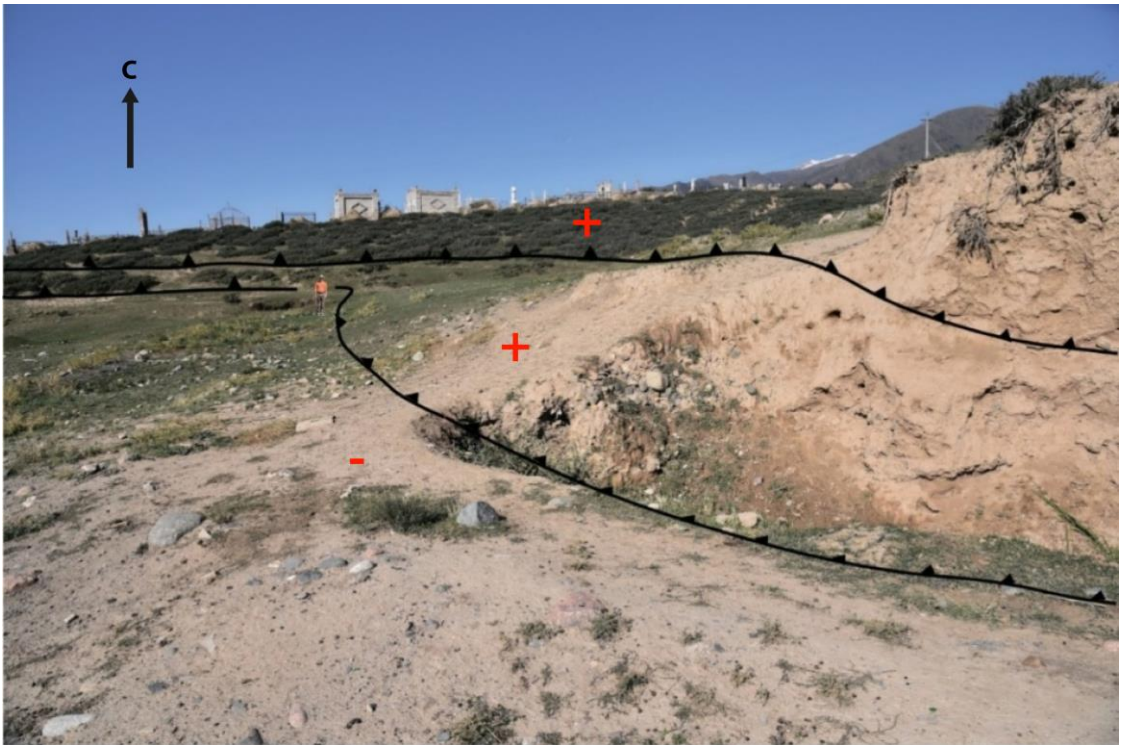


а

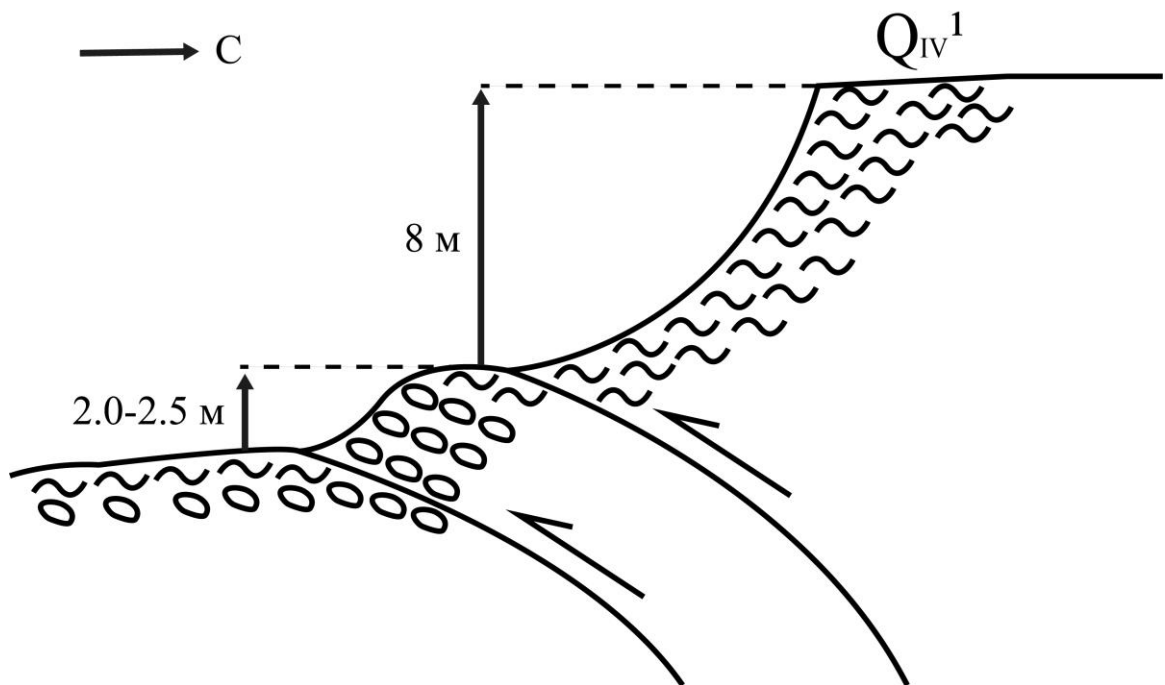


б

Рисунок 2.11. Зона предгорного (адырного) разлома к западу от р. Тегерменты, состоящая из нескольких плоскостей: а – общий вид на северо-запад, здесь позже была выкопана палеосейсмологическая траншея вкост простирания нижнего (самого южного) уступа (показаны красной прерывистой линией; б – разрез зоны разлома (схематическая зарисовка) (А.М. Корженков, А.А. Стрельников, Е.В. Деев и др. 2020)



а



б

Рисунок 2.12. Строение низких сейсмоуступов, вскрытое карьером на северо-восточной окраине с. Григорьевка: а – фотография, вид на запад; линии – тыловые швы сейсмоуступов, стрелки на линиях – направление падения сейсмогенных разрывов, создавших уступы; б – схематическая зарисовка разреза карьера (А.М. Корженков, А.А. Стрельников, Е.В. Деев и др. 2020)

Ступени образуются и в русле временных водотоков (рисунок 2.13.). Частота смещений по разрывам достаточно высокая, чтобы русло сухого сая не могло выработать сбалансированный пологий тальвег. В месте выходов сейсмогенных разрывов в руслах сухих промоин наблюдаются так называемые «сухие водопады».

Учитывая вышеперечисленные факты, можно предположить, что каждая ступень создана сейсмогенным разрывом, пологопадающим на север.

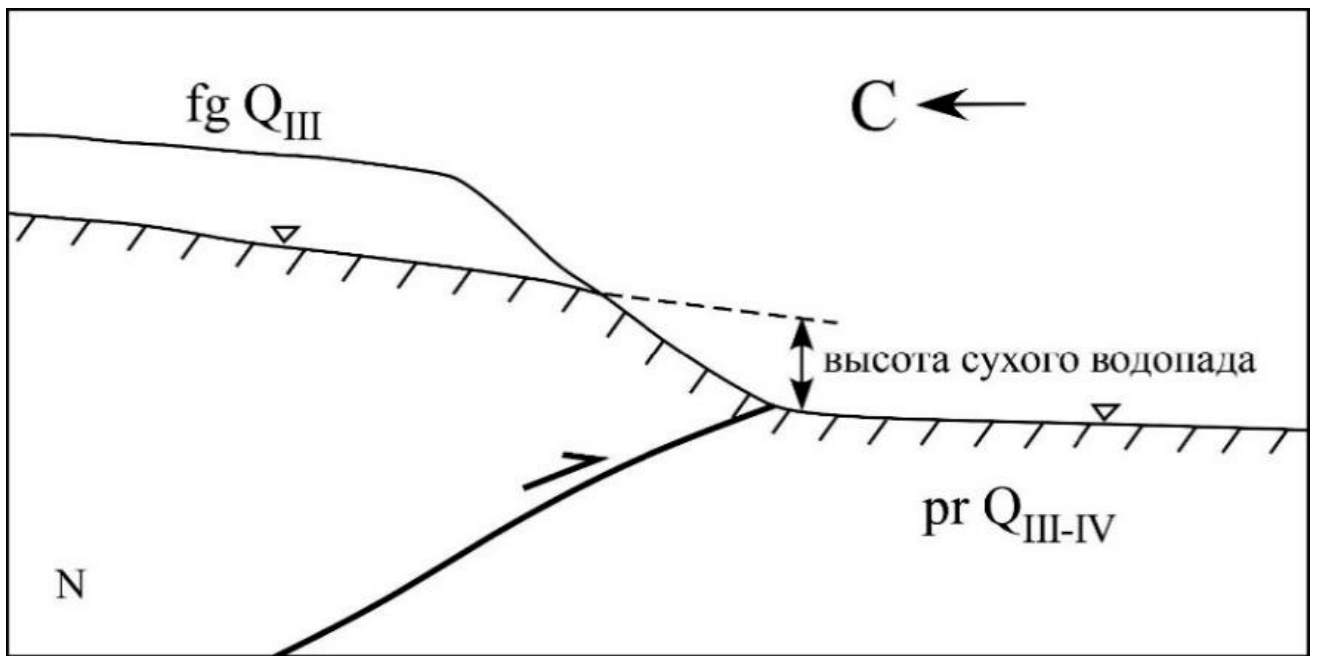


Рисунок 2.13. Тектонически обусловленный участок висячей долины и «сухой водопад» в надвиговой части сейсмоуступа в междуречье Кичи-Аксуу – Тегерменты (А.М. Корженков, А.А. Стрельников, Е.В. Деев и др. 2020)

### 2.2.2. Сейсмические деформации археологических памятников

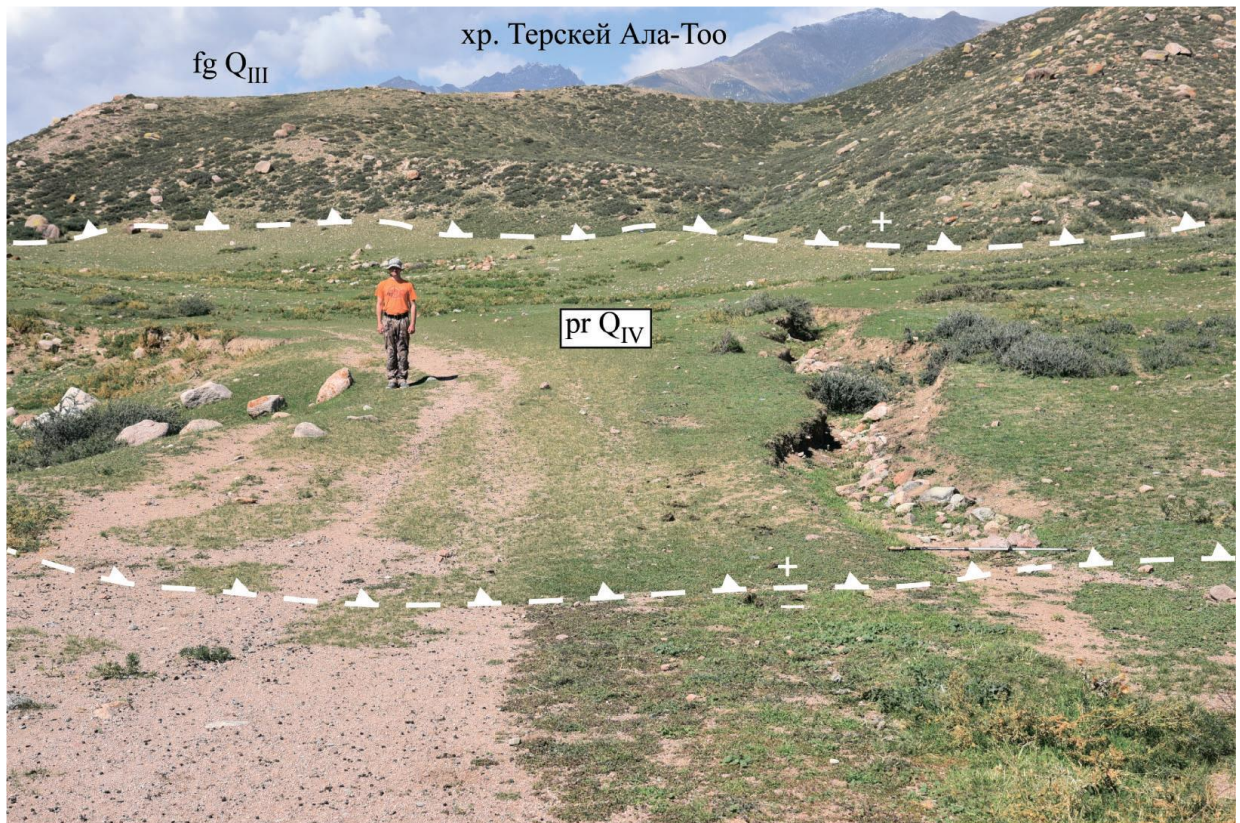
Зона сейсмоуступов, расположенная во фронте предгорного (адырного) надвига, имеет возраст в несколько сотен тысяч лет (местная стратиграфическая шкала КГ респ.). В этой зоне деформированными оказались строительные конструкции прошедших веков. Так, например, средневековый арык в висячем крыле самого нижнего сейсмоуступа был вздернут на 75 см, так что на дневную поверхность был выведен ряд камней, составлявший каменную обкладку бортов

арыка (рисунок 2.14.). В то же время в лежащем крыле каменная выкладка осталась непо потревоженной. В результате землетрясения, образовавшего сейсмоуступ, древний арык был выведен из ирригационной системы. Дождевые воды иногда продолжают свое течение по арыку, в котором теперь имеются два участка с различной деятельностью эрозионных агентов. В висячем крыле сформировалось мини ущелье – антецедентная долина. В лежащем крыле русло древнего арыка теперь полностью засыпано дресвой и крупнозернистым песком, принесенным сверху по течению.

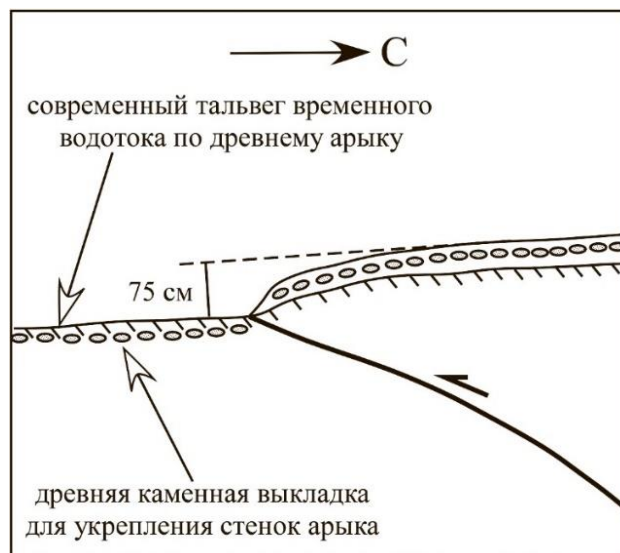
Во время средневекового землетрясения была также разрушена ирригационная система, оказавшаяся в висячем крыле сейсморазрыва (см. рисунок 2.14., а: каменная выкладка к востоку (справа) от фигуры человека на снимке). По всей видимости, во время сейсмического события в верховьях сухого водотока, сошли оползни и образовали естественные запруды. Через какое-то время накопившаяся позади запруды вода превысила ее уровень, прорвала естественную плотину и устремилась вниз в виде селевого потока.

При продвижении на восток по сельской дороге вдоль зоны Культорского предгорного (адырного) разлома в междуречье Кичи-Аксуу-Тегерменты есть еще один участок, где консекветная долина раскрывается. Линия предгорного (адырного) разлома, вздергивающего позднечетвертичные пролювиальные конусы выноса, уходит к северу – к зоне краевого Культорского разлома. Сейсмоуступ высотой в 1.5 м прослеживается севернее полевой дороги. Фронтальная часть молодого уступа пологая, так как она находится в днище широкой голоценовой пролювиальной долины.





а



б

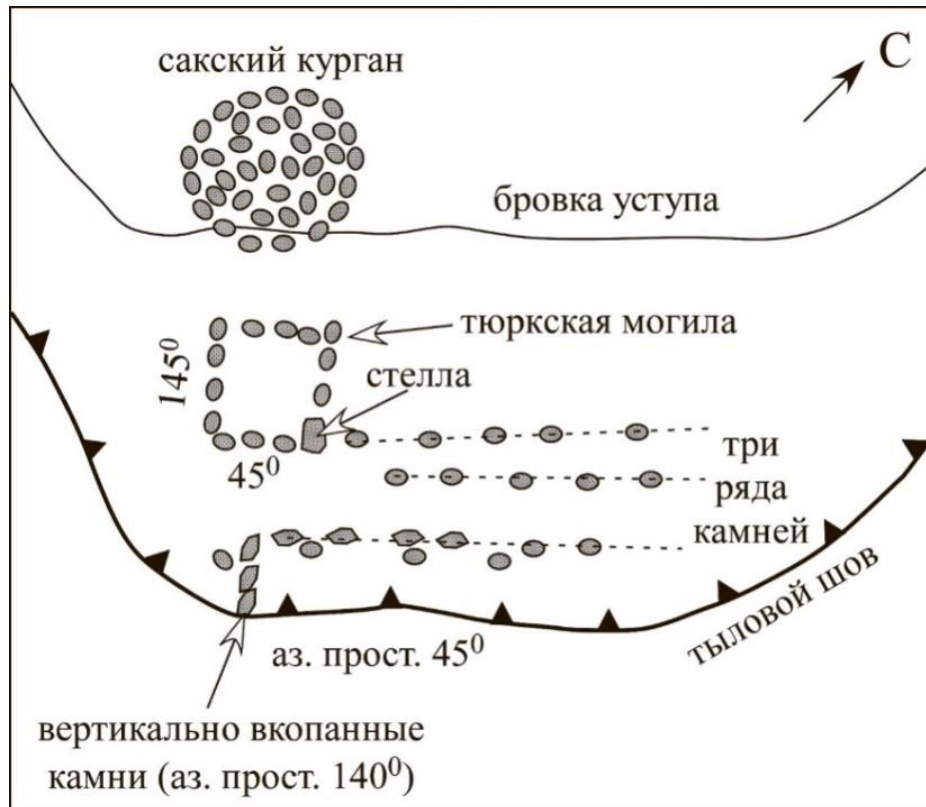
Рисунок 2.14. Деформация древнего арыка сейсмогенным разрывом: а – фотография, вид на север. Штриховые линии – приблизительное положение сейсмогенных взбросов; «+» – висячее/надвинутое крыло разрыва; «-» – лежащее крыло; б – схематическая зарисовка нижнего сейсмоуступа, рвущего первую надпойменную террасу сухого сая (А.М. Корженков, А.А. Стрельников, Е.В. Деев и др. 2020)



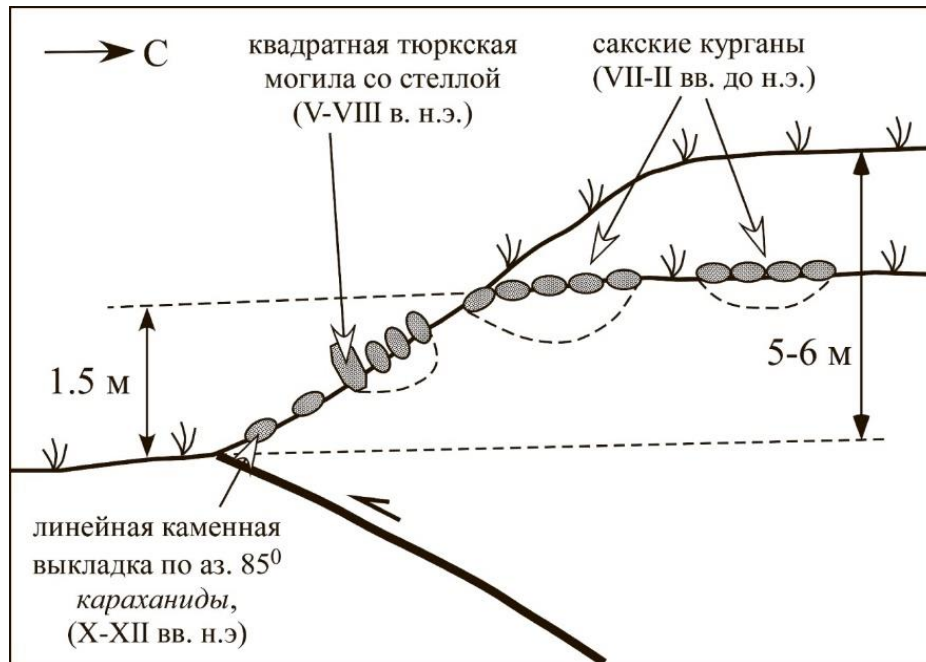
Здесь в висячем крыле сейсмоуступа деформации подверглись разновозрастные археологические памятники (рисунок 2.15.). Перечислим их с севера на юг. Южная часть сакского кургана оказалась опущенной к югу от бровки сейсмоуступа. Трудно себе представить, что древние саки (скифы) соорудили курган частично на ровной площадке, а частично на слоне уступа. Скорее всего, имела место деформация памятника, возраст которого VII–II вв. до н.э., уже после погребения. Таким образом, возраст сейсмического события, образовавшего сейсмоуступ, составляет менее 2 тыс. лет. К югу от скифского кургана прямо на склоне сейсмоуступа располагается прямоугольная каменная выкладка, в восточном углу которой вкопана вертикальная каменная стела.

Это расположение камней однозначно дает нам возраст археологического памятника – тюркское время (V–VIII вв. н.э.). Также не вызывает сомнений, что могилу на склоне никто бы не выкапывал, тем более что рядом расположена огромная горизонтальная площадка. Скорее всего, тюркская могила оказалась на склоне сейсмоуступа во время значительного сейсмического события, возраст которого менее 1500 лет.

Еще на несколько метров южнее от тюркской могилы находятся остатки какого-то сооружения: несколько рядов вкопанных вертикально камней и горизонтальных каменных выкладок северо-западного и юго-восточного простирания. Похоже, что это каменные фундаменты древних построек. Их возраст можно условно определить как «караханидский» (X–XII вв. н.э.). Сегодня не представляется возможным точно определить назначение бывшей строительной конструкции, тем не менее, и она, скорее всего, оказалась на склоне уже после землетрясения. Тем самым еще сужается возрастная «вилка»: изучаемый сейсмоуступ образовался менее 1000 лет назад. Подобные остатки каменных фундаментов древних построек имеются и севернее описанных выше.



а



б

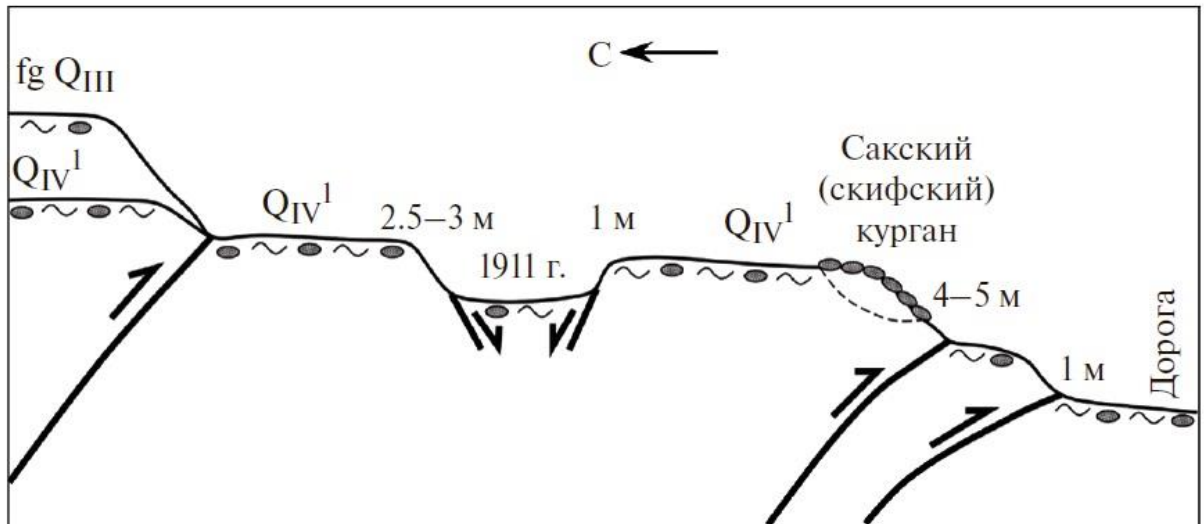
Рисунок 2.15. Схематические немасштабные зарисовки сейсмоуступа в междуречье Кичи-Аксуу-Тегерменты: а – план; б – профиль по азимуту СЗ  
Пояснения см. в тексте (А.М. Корженков, А.А. Стрельников, Е.В. Деев и др. 2020)

Судя по резкому уходу уступа на север в месте пересечения им долинок современных водотоков, плоскость сейсмогенного разрыва полого падает на север. Важно отметить, что небольшой ряд вертикально вкопанных плоских камней во фронте сейсмоуступа наклонился к востоку. Это может подразумевать, что кроме очень пологого надвигания висячего крыла разлома на юг, имеется еще и левосдвиговое смещение по описываемому сейсмогенному разрыву.

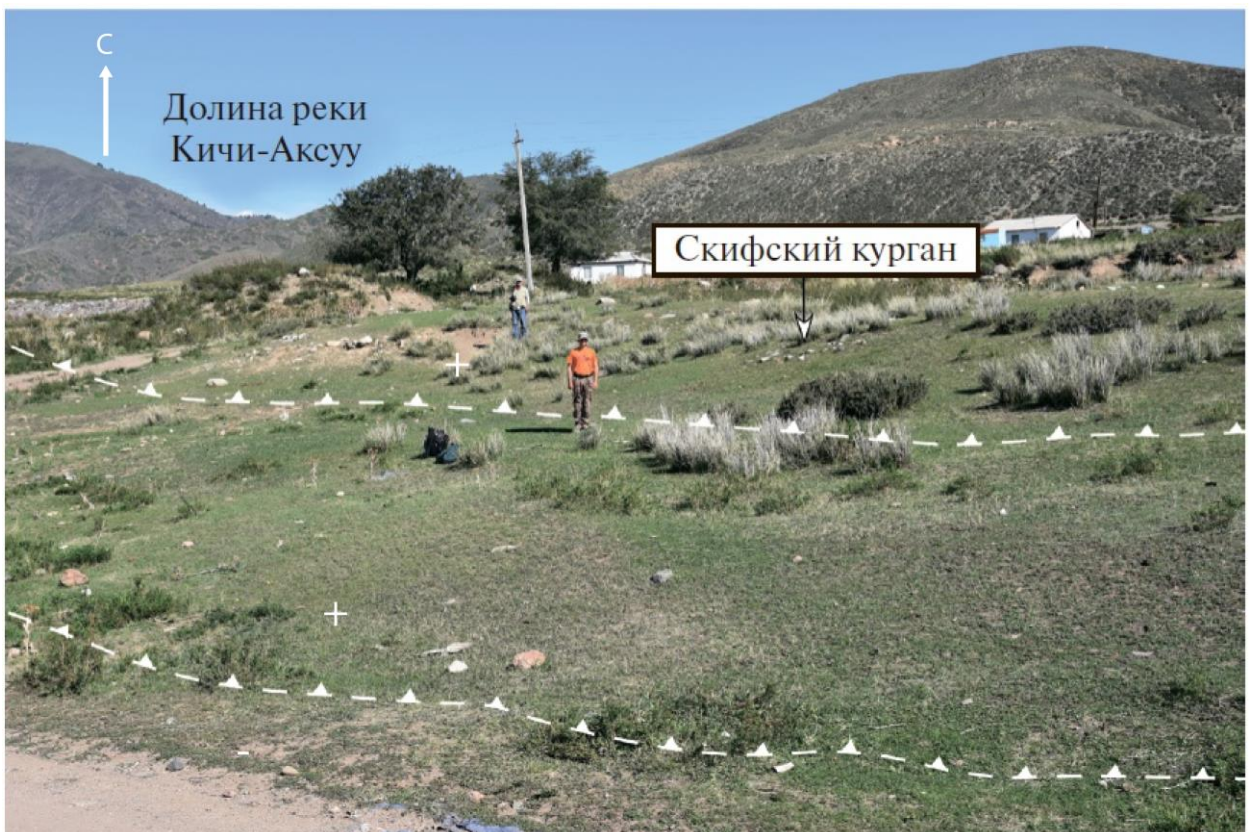
### **2.2.3. Образование компенсационных грабенов в тылу надвигов**

Формирование надвигов всегда сопровождается скучиванием материала, созданием условий сжатия в их фронтальной части. В то же время в тылу надвигов создаются условия растяжения и иногда формируются компенсационные грабены (Kurushmet et al., 1997; Bayasgalan et al., 1999). Подобная структура образовалась в тылу восточного сейсмоуступа при Суусамырском землетрясении (Ghose et al., 1997); значительный многоступенчатый компенсационный грабен образовался позади (севернее) многоактного сейсмоуступа в Ала-Баш-Конур-Оленской внутригорной впадине в ЮЗ Прииссыккулье (Корженков и др., 2019 б). Аналогичный структурный парагенезис был отмечен к востоку от долины р. Кичи-Аксуу (рисунок 2.16. – 2.18.).

Здесь фронтальная часть предгорного (адырного) разлома представлена двумя сейсмоуступами, рвущими наклонную аллювиально-пролювиальную равнину, которая постепенно понижается к югу – в сторону акватории Иссык-Куля. Северный из них деформирует цепочку из 7 сакских курганов, ориентированную с севера на юг, поперек уступа: их северная часть занимает сравнительно плоскую поверхность севернее бровки уступа, а южная часть курганов припала на склон сейсмогенной формы рельефа. Таким образом, возраст северного сейсмоуступа – моложе 2000 лет. Южный сейсморазрыв, согласно модели, представленной на рисунке 2.16., должен быть еще моложе (Корженков и др., 2007).



а



б

Рисунок 2.16. Сейсмоуступы в правобережье р. Кичи-Аксу: а – схематическая немасштабная зарисовка; б – общий вид на северо-запад; линии – тыловые швы сейсмоуступов; стрелки на линиях – направление падения плоскости разрыва (А.М. Корженков, А.А. Стрельников, Е.В. Деев и др. 2020)

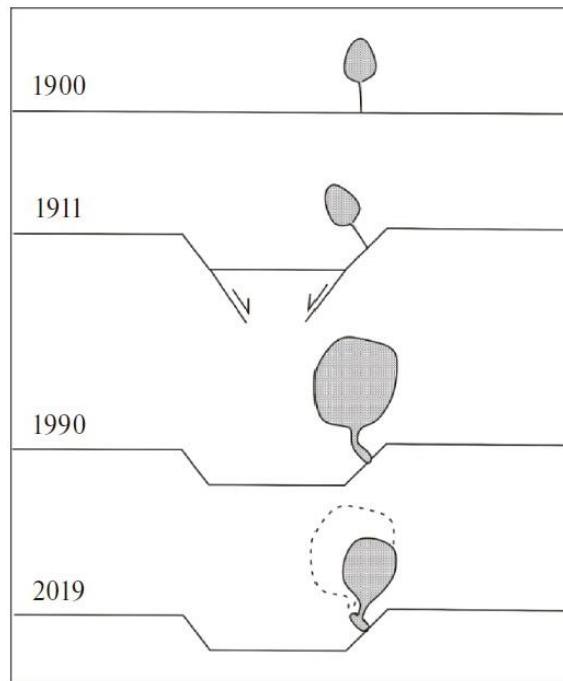
В обстановке субмеридионального регионального сжатия все новые участки котловины вовлекаются в поднятие. Необычным является продольное субширотное понижение глубиной 1–3 м, образовавшееся в раннеголоценовой аллювиально-пролювиальной поверхности позади описанных выше уступов (см. рисунок 2.16., 2.17.). Возможность эрозионного происхождения грабена была исключена сразу: изучена структура и не найдены ее соединения с каким-либо значительным водотоком. При ширине около 10 м длина понижения составляет 400 м. В пользу структурного происхождения грабена говорит также его простирание, совпадающее с основными структурными элементами региона и, главное, с простиранием сейсмоуступов.

Логично было бы предположить, что описываемый грабен сформировался во время одного или двух сильных древних землетрясений, создавших сейсмоуступы. Однако наше внимание привлекло дерево, растущее на южном склоне компенсационного грабена (рисунок 2.17.). Основной его ствол был спилен, и осталась лишь одна из ветвей дерева. Прежде всего, мы обратили внимание на неестественный наклон нижней части ствола дерева. Выходя из грунта, ствол был наклонен в сторону оси грабена. Однако так деревья не растут: все главные стволы деревьев растут вертикально. И наше дерево начало расти, как ему и положено – вертикально. Однако, по всей видимости, в самом начале роста дерева произошло образование грабена, дерево наклонилось, затем в своей нижней части оно приобрело изогнутую форму, а верхняя часть устремилась вверх. На спиле, в первом приближении, находится не менее сотни годичных колец. Но спил старый – ему, по всей видимости, уже десятки лет. Возможно, дерево спилили в начале 1990-х гг. Тогда получается, что нашему дереву 120–130 лет, а событие наклона дерева случилось в самом начале его роста.





а



б

Рисунок 2.17. Компенсационный грабен в тылу сейсмоуступов в правобережье р. Кичи-Аксуу: а – фотография, вид на ВСВ; штриховые линии – положение ствола старого дерева, спиленного в начале 1990-х годов; вертикальные линии – амплитуды сбросовых подвижек по разрывам, образовавшим грабен; б – схематическая зарисовка – модель компенсационного грабена с развитием дерева, начавшего свой рост еще до сейсмогенной подвижки (А.М. Корженков, А.А. Стрельников, Е.В. Деев и др. 2020)

Лишь одно событие могло привести к такой деформации дерева – образование грабена, и лишь одно событие может быть кандидатом на сильное сотрясение грунта, приведшее к образованию грабена – сильнейшие сейсмические колебания Кебинского землетрясения 1911 г. ( $M=8.2$ ;  $I_0=10-11$  баллов). Однако исключается факт образования одного из сейсмоуступов во время этого землетрясения, так как исследователи из Геолкома (Богданович и др., 1914) не показали сейсмогенного разрыва на своей макросейсмической карте, эпицентральная область Кебинского землетрясения была тщательно обследована, в том числе, был произведен опрос местных жителей.

Таким образом, получается, что сейсмоуступы образовались в средневековое время, а условия растяжения, существовавшие позади них, привели к образованию грабена лишь в начале XX в.

Возможно, возникновению одностороннего грабена способствовали медленные оползневые подвижки на предгорном склоне, который стал неустойчивым после формирования разломных уступов.

В полукилометре к востоку от описанного грабена предгорный (адырный) разлом выглядит как единый склон высотой до 50 м. Однако и на нем мы нашли три понижения, которые выглядели свежо и были расположены параллельно друг над другом (см. рисунок 2.18.). Эти понижения также похожи на гравитационно-оползневые односторонние грабены. Хотя по верхнему сейчас проходит полевая дорога, а средний приспособлен под арык, нижнее понижение было вытянутой субширотной замкнутой депрессией, никак не связанной с водотоками. Судя по свежему облику этих депрессий, они также могут быть гравитационно-оползневыми односторонними грабенами в тылу главной плоскости предгорного (адырного) разлома.

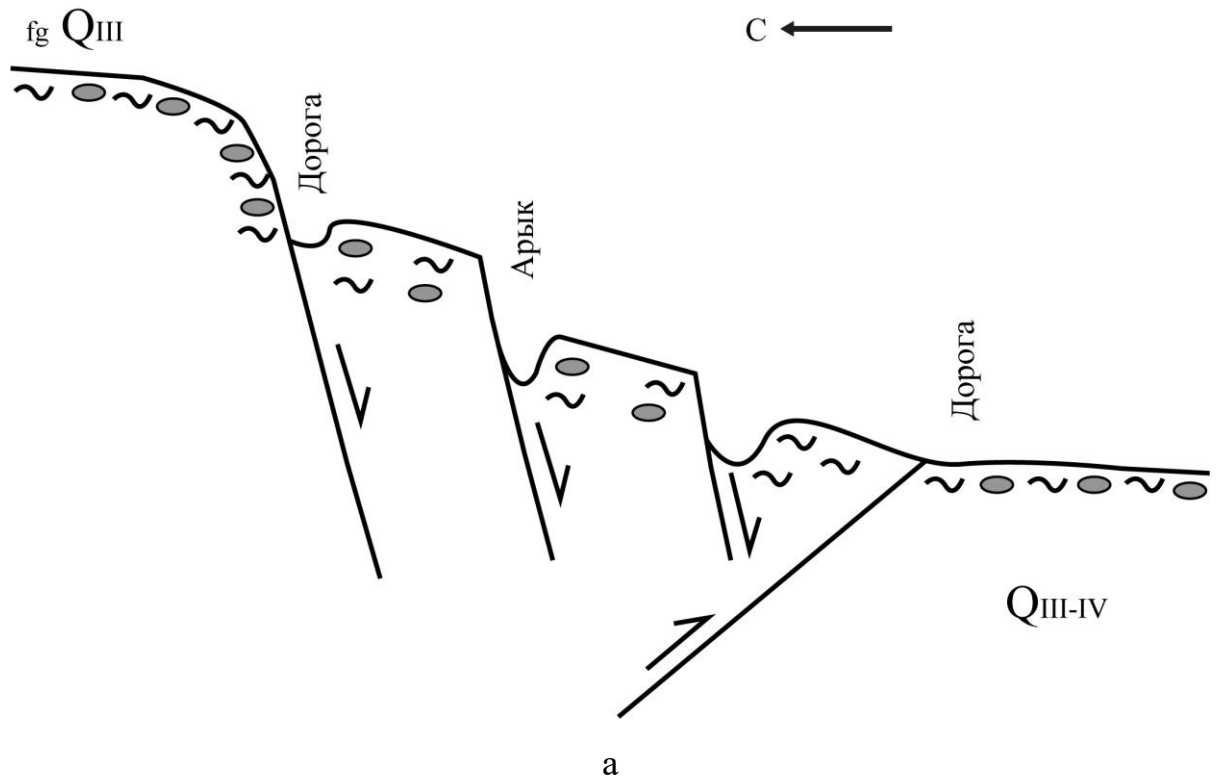


Рисунок 2.18. Серия компенсационных грабенов в тылу предгорного (адырного) разлома в междуречье Кичи-Аксуу-Тегерменты: а – схематическая зарисовка; б – общий вид нижнего (южного) грабена, вид на северо-восток (А.М. Корженков, А.А. Стрельников, Е.В. Деев и др. 2020)



#### 2.2.4. Изучение строения уступов с помощью палеосейсмологических траншейных исследований

Для количественной оценки повторяемости сильных палеоземлетрясений необходимы данные по датированию деформированных осадков, получаемые из палеосейсмологических траншей, пройденных вкост простирания разломных зон. Были пройдены две такие траншеи.

Первая (восточная) траншея прошла через самую южную плоскость предгорного (адырного) разлома в полукилометре западнее реки Тегерменты (в полукилометре западнее окраины с. Кёк-Дёбе, рисунок 2.19.). Простирание траншеи  $121^\circ$ . Координаты ее северного конца по GPS-приемнику:  $h = 1717$  м,  $42^\circ 45' 47.7''$  с.ш.,  $77^\circ 37' 06.7''$  в.д., точность определения координат  $\pm 4$  м. Длина траншеи составила 16 м, максимальная глубина – 2.5 м, ширина – до 2 м.

Строение структуры в восточной, субмеридиональной по простиранию траншеи оказалось сравнительно простым. И в висячем, и в лежащем крыльях разрыва основным типом отложений оказался массивный лёссовидный суглинок без какой-либо видимой слоистости. Его видимая мощность в обоих крыльях разрыва – до 2 м. Зона сейсмогенного разрыва очень пологого надвига мощностью в первые десятки сантиметров выполнена перемешанными частичками гравия и дресвы с заполнителем из крупнозернистого песка. У нас имеется высота уступа – 1.25 м и углы наклона надвиговой плоскости:  $20^\circ$  в месте выхода плоскости разлома над дном траншеи и  $0^\circ$  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 составов. Это, прежде всего, красноватые куски палеопочвы, оторванные от своего первоначального местоположения и вовлеченные в надвиговое движение. По всей видимости, округлая форма этих блоков палеопочв, 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.

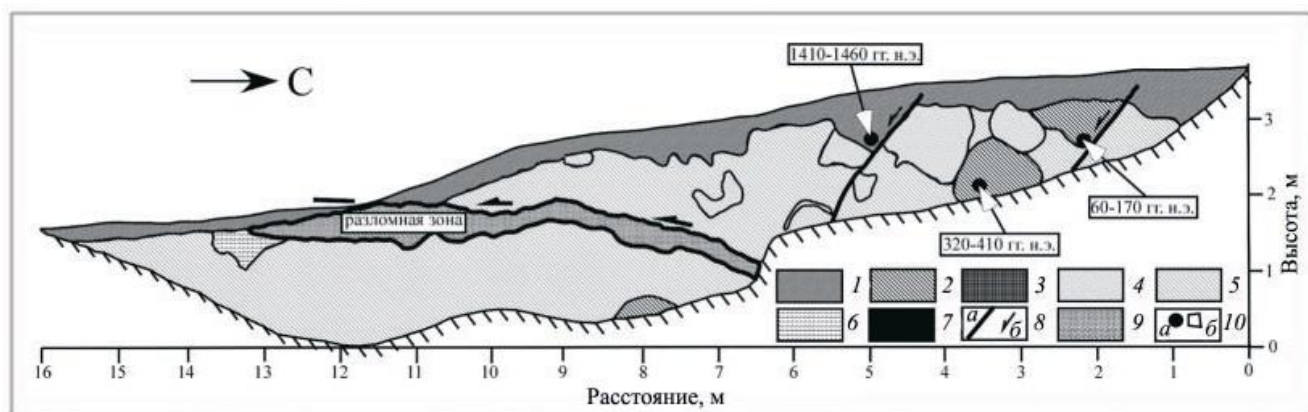


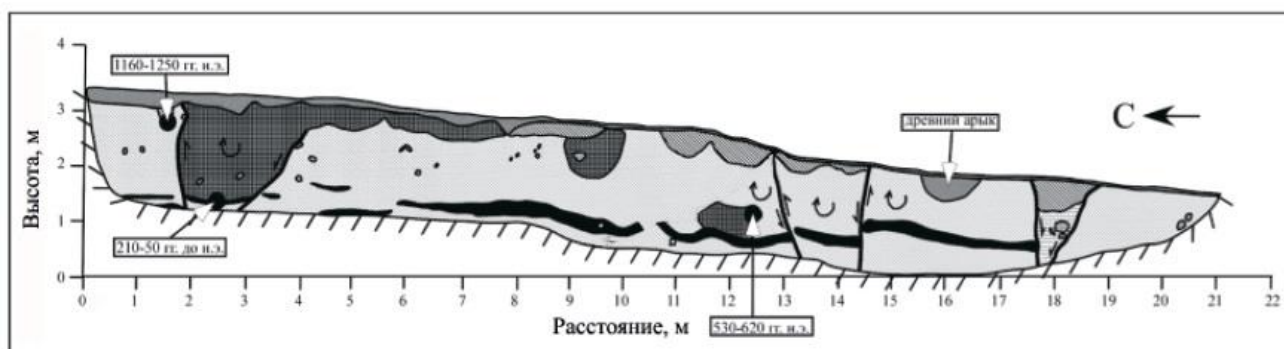
Рисунок 2.19. Палеосейсмологическая траншея, пройденная через самый южный сейсмоуступ Культорского предгорного (адырного) разлома, западнее села Кёк-Дёбе, разрез западной стенки: 1 – современная почва; 2 – красноватая палеопочва; 3 – каштановая палеопочва; 4 – супеси; 5 – лёссовидные суглинки; 6 – щебне-дресвяные 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) (А.М. Корженков, А.А. Стрельников, Е.В. Деев и др. 2020)

Видны вторичные сбросовые плоскости в тылу надвига. Смещения по этим плоскостям величиной до 1 м привели к образованию «карманов», в которых оказались отложения красноватой палеопочвы и современной серо-коричневой суглинистой почвы. Углы наклонов этих сбросовых плоскостей 55–60°.

Лежачее крыло сейсмоуступа гораздо более простое по своему строению. Оно сложено уже упомянутым выше массивным желтоватым лёссовидным суглинком, в нижней части которого над дном траншеи видны верхняя часть окатыша из красной палеопочвы и линза, сложенная галечными слойками – галька в серой супеси, перед фронтом надвига. Описанная линза является, по всей видимости, отложениями небольшого временного водотока, протекавшего

параллельно фронту предгорий (адыров) до образования изученного сейсмоуступа.

Вторая (западная) палеосейсмологическая траншея пройдена через самый южный сейсмоуступ зоны Культорского предгорного (адырного) разлома к востоку от р. Чон-Аксуу. GPS-координаты ее северного окончания:  $h = 1773$  м,  $42^{\circ}44'02.7''$  с.ш.,  $77^{\circ}29'48.5''$  в.д., точность определения координат  $\pm 5$  м. Траншея имеет простирание  $4^{\circ}$ , ее длина 21 м, глубина – до 2.5 м (рисунок 2.20.).



а



б

Рисунок 2.20. Палеосейсмологическая траншея, пройденная через самый южный из сейсмоуступов Культорского предгорного (адырного) разлома к востоку от реки Чон-Аксуу: а – документация восточной стенки (усл. обозн. те же, что на рисунок 2.19.); б – общий вид, вид на восток. (А.М. Корженков, А.А. Стрельников, Е.В. Деев и др. 2020)

Эта траншея имеет схожести и отличия от описанной ранее. Здесь также в строении обоих крыльев разломной зоны принимает участие желтоватый массивный лёссовидный суглинок, не имеющий какой-то видимой стратификации. Окатыши из рыхлых пород или их фрагменты здесь также присутствуют, но уже в обоих крыльях надвига. Здесь также имеются фрагменты красноватой палеопочвы, однако вместо светло-серой супеси, отмеченной в стенках восточной траншеи, появляются овоиды каштановой палеопочвы. Новым является также обнаружение вытянутых линз черных болотных почв, образовавшихся в результате переувлажнения грунтов и заболачивания локальных участков. Появляются, кроме того, небольшие полуокатанные обломки палеозойских пород и фрагменты керамики в нижней части разреза.

Сейсмоуступ – небольшой, его высота 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. Плоскость разрыва, создавшего сейсмогенную форму рельефа, имеет угол в  $25^\circ$  в своей нижней видимой части, кверху наклон плоскости возрастает до  $40^\circ$ . В этой траншее также невозможно оценить амплитуду подвижки по надвигу из-за отсутствия надежного репера, смещенного во время землетрясения.

Условия сжатия, возникшие при землетрясении во фронте сейсмоуступа, также привели к торошению блоков грунта в лежащем крыле разломной зоны. Из-за сильных колебаний грунта здесь образовались взброс и взрез, разделившие крыло на блоки, южные крылья которых вследствие давления с севера поднялись вверх на величину в сантиметры – первые десятки сантиметров. Кроме описанных структур, в лежащем крыле разлома имеется и грабен, выполненный серыми галечными отложениями аллювиального генезиса, перекрытыми красной палеопочвой.

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 Иссук-Кульской котловины, привело к вращению блока каштановой палеопочвы.

### **2.3. Сейсмодислокации вдоль Аксуйского рампового грабена**

В работе (Чаримов и др., 2005) авторы объединили сейсмодислокации, находящиеся в долинах рек Чон-Аксуу и Аксуу и приуроченные к единому рамповому грабену, в один – Чон-Аксуу-Аксуйский участок. Тектонические и сеймотектонические процессы сыграли роль в развитии – здесь проявились внутренние поднятия и другие формы. В долинах рек Аксуу и Чон-Аксуу сейсмодислокации, в основном, образованы при Кебинском (Кеминском) землетрясении 1911 г. и тяготеют к Восточно-Кунгейской мегантиклинали. Здесь распространены сейсморазрывные дислокации, они представлены рвами, трещинами и сейсмоуступами в коренных и рыхлых отложениях. Встречаются также и сейсмогравитационные деформации.

#### **2.3.1. Возраст сейсмогенных подвижек по Аксуйскому разлому по данным датирования разорванных террас**

В основе наших исследований лежит идея о том, что после сейсмогенного разрыва вздернутая на несколько метров пойма реки Чон-Аксуу в висячем крыле надвига (коим является Аксуйский разлом) осушается и на осушенном участке начинает образовываться почва. Начинается накопление и захоронение органического материала – включается «геологический счетчик времени».

В это же время в лежащем крыле разлома пойменный участок реки какое-то время продолжит заливаться речной водой, на нем продолжается отложение аллювиальных накоплений. Однако в связи с продолжающимся интенсивным эрозионным врезом р. Чон-Аксуу, пойменный участок в лежащем крыле постепенно превращается сначала в высокую пойму, а потом и в надпойменную террасу, где также начинается почвообразование.

Таким образом, первичная пойма, разорванная во время сильного палеоземлетрясения, окажется на различных высотах на обоих крыльях разлома. Возраст органических отложений в почвах в обоих крыльях разлома будет слегка

различаться: в висячем крыле – немного древнее, в лежащем – немного моложе (Корженков и др., 2007).

Для нас наиболее информативным является висячее крыло. Возраст почвы оттуда является и минимальным возрастом сильного палеоземлетрясения. Однако и возрастом почвы в лежащем крыле не стоит пренебрегать – он пригодится для проверки результатов датирования в висячем крыле или/и при отсутствии оно.

Были пройдены 10 шурфов в обоих крыльях разлома, где были отобраны пробы на определение возраста отложений. Это были преимущественно почвы: современные и погребенные (таблица 2.1.). Определения остаточной активности углерода выполнялось Л.А. Орловой на приборе QUANTULUS\_1220 (LiquidScintillationCounters) в Институте геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск. Для расчета возраста использовался период полураспада  $^{14}\text{C}$ , равный 5570 лет. Возраст рассчитывался от 1950 г. Датирование выполнялось по фракции гуминовых кислот. Калиброванный возраст определялся с помощью стандартных процедур.

Всего было получено 13 проб (таблица 2.1., рисунок 2.21. – рисунок 2.23.), возраст образцов которых пришелся на вторую половину голоцена. Собраны также опубликованные датировки по этому сегменту Аксуйского разлома, полученные в 1998 г. группой немецких исследователей из Потсдамского центра по исследованию Земли – Г. Михелем и В. Михайлевым (Korzhenkov et al., 2006), международной группой ученых (Абдрахматов и др., 2013) и Е.В. Деевым и А.М. Корженковым (2016).

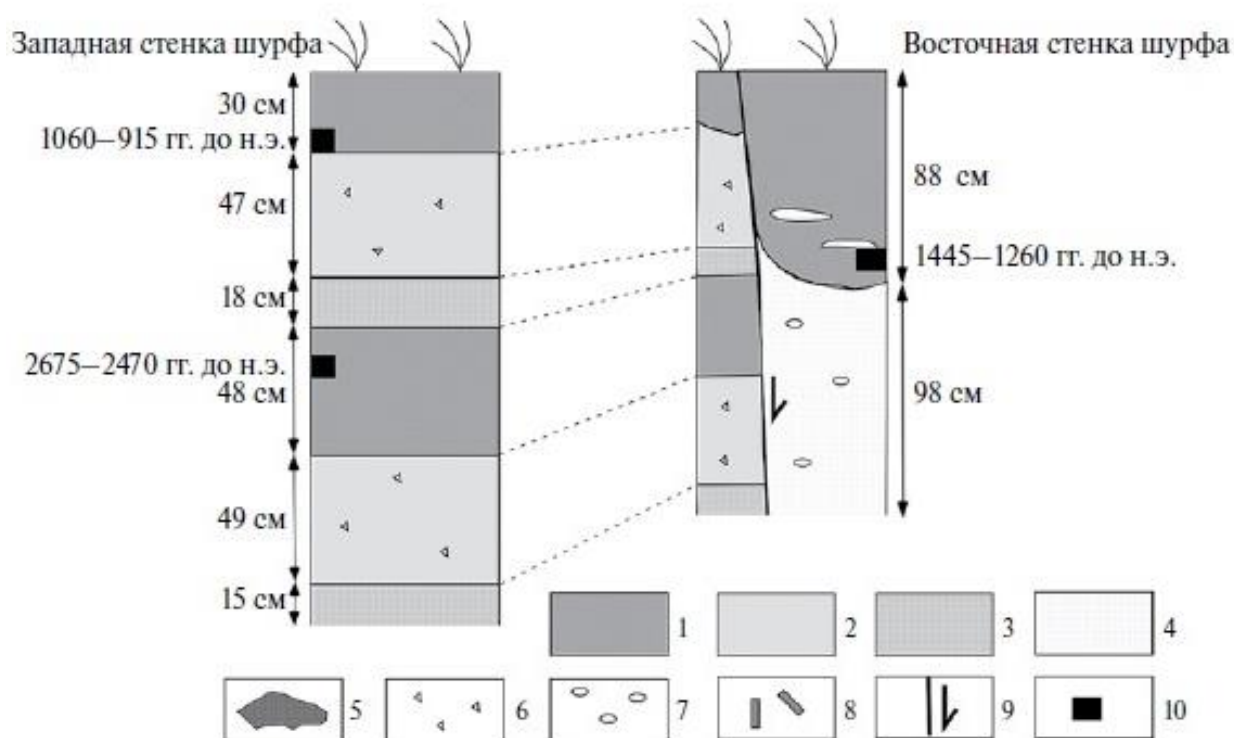


Рисунок 2.21. Западная и восточная стенки шурфа № 1 в висячем крыле Чон-Аксуйского сейсмоуступа. 1 – Почва; 2 – глины, суглинок; 3 – искрошенные неокатанные обломки гранитов; 4 – пески, супесь; 5 – отдельные валуны и глыбы; 6 – неокатанные обломки (дресва, гравий); 7 – окатанная галька; 8 – древесные фрагменты; 9 – плоскость вторичного разрыва (стрелка показывает направление смещения); 10 – места отбора проб на радиоуглеродный анализ (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

Пробы СОАН-6086 (СА 1810–1920 гг. н.э.) из шурфа № 5 в поднятом крыле разлома и СОАН-6087 (СА 1805–1895 гг. н.э.) из шурфа № 4 в опущенном крыле разлома были отобраны из пойменных отложений. Они хорошо датируют Кебинское землетрясение 1911 г. (рисунок 2.22.) в пределах ошибки метода и подтверждают разрыв поймы р. Чон-Аксуу во время этого события на 6–8 м.

Следующая серия проб также группируется в кластер. В висячем крыле разлома это пробы СОАН-6090 (СА 1300–1370 гг. н.э.) из шурфа № 3, СОАН-6089 (СА 1385–1440 гг. н.э.) из шурфа № 6. Возрастам этих проб соответствуют возрастные оценки проб из лежачего крыла: СОАН-6088 (СА 1445–1525 гг. н.э.)

из шурфа № 4, СОАН-5800 (СА 1495–1605 гг. н.э.) из шурфа № 8. Вышеприведенные данные говорят нам о сильном сейсмическом событии вдоль Аксуйского разлома, имевшем место, вероятно, в конце 14 в. н.э. С этими данным также согласуется возраст пробы Уз-2549, отобранный Е.В. Деевым и А.М. Корженковым (2016) в палеопочве из палеосейсмологической траншеи в районе нижнего озера, калиброванный возраст которой – СА 1350–1560 гг. н.э. Возраст наших проб из лежачего крыла разлома подтверждается серией из 4-х датировок, полученных в работе (Абдрахматов и др., 2013) в погребенной почве в лежачем крыле разлома из траншеи, пройденной вкrest простирания сейсмоуступа близ верхнего озера. Все датировки в работе укладываются в интервал – СА 1484–1661 гг. н.э.

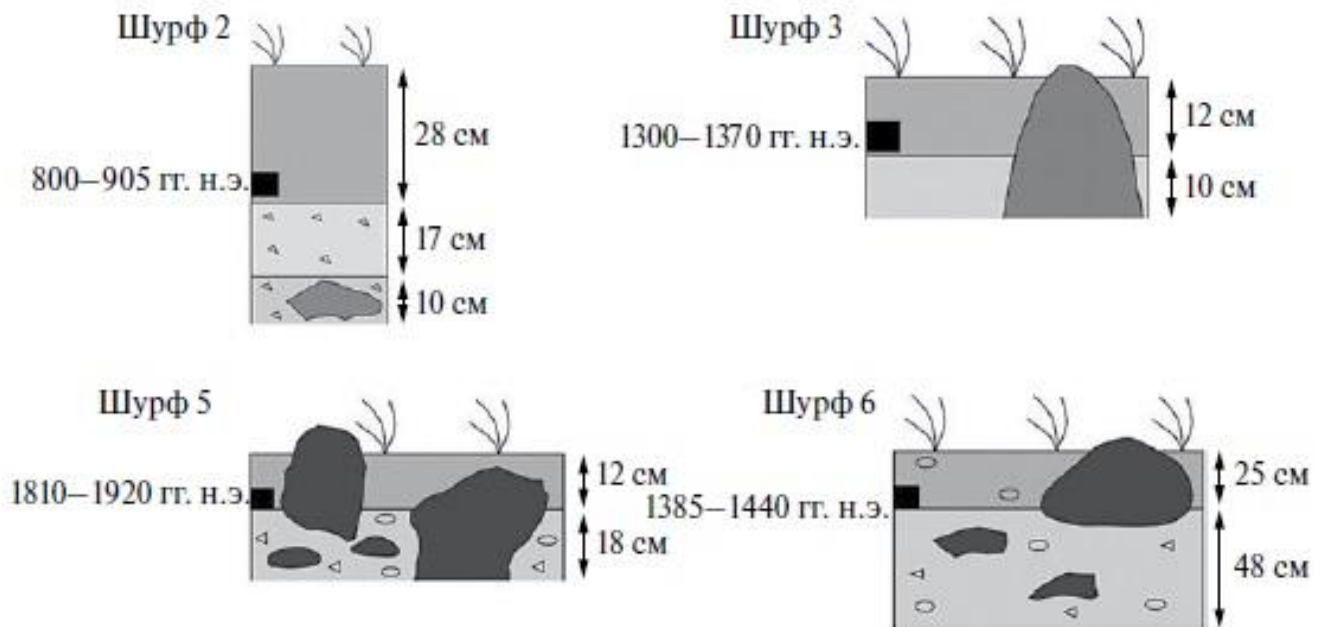


Рисунок 2.22. Зарисовка шурфов, пройденных в висячем (поднятом) крыле сейсмоуступа. Условные обозначения те же, что и на рисунке 2.21. (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)



Таблица 2.1. Калиброванный возраст проб. Программа калибровки OxCal4.2 (BronkRamsey C., 2008). Калибрационная кривая – IntCal2013 (Reimer et al., 2013)

№ шурфа	№ проб: САОН	Висячее крыло, глубина отбора пробы	Что отобрано	Лежачее крыло, глубина отбора пробы	<sup>14</sup> C возраст, лет	Калиброванные возрасты, годы (cal. BC – до н.э. или cal. AD – н.э.) для 68,2% и 95,4% вероятностей
1	5796	d = 25 см	Низ современной почвы: черный гумусовый горизонт с большим количеством корешков		2840±50	68,2% вероятность 1075–1065 BC (1,5%) 1060–915 BC (66,7%) 95,4% вероятность 1195–1175 BC (1,2%) 1165–1140 BC (1,4%) 1135–890 BC (91,1%) 875–850 BC (1,7%)
1	5797	d = 110 см	Погребенная почва: суглинок темно-коричневого цвета, массивный, с коркой каличе		4040±75	68,2% вероятность 2840–2815 BC (5,2%) 2675–2470 BC (63,0%) 95,4% вероятность 2875–2440 BC (92,6%) 2443–2440 BC (0,1%) 2420–2400 BC (1,0%) 2380–2345 BC (1,7%)
1	5798	d = 80 см	Погребенная почва		3100±75	68,2% вероятность 1445–1260 BC (68,2%) 95,4% вероятность 1525–1155 BC (94,1%) 1150–1125 BC (1,3%)
2	5799	d = 25 см	Низ современной почвы		1155±55	68,2% вероятность 775–795 AD (7,0%) 800–905 AD (40,3%) 919–965 AD (20,9%) 95,4% вероятность 715–745 AD (92,6%) 2443–2440 AD (0,1%)
3	6090	Вздернутая высокая пойма d = 25 см	Среднеразвитая песчаниковая с галькой почва		580±75	68,2% вероятность 1300–1370 AD (45,3%) 1380–1415 AD (22,9%) 95,4% вероятность 1280–1445 AD (95,4%)
4	6087			Пойменная терраса, вздернутая по разлому, d = 10 см	110±50	68,2% вероятность 1685–1730 AD (19,7%) 1805–1895 AD (39,1%) 1905–1930 AD (9,4%) 95,4% вероятность 1670–1780 AD (35,8%) 1795–1945 AD (59,6%)
4	6088		Фрагменты дерева, отобранные ниже слоя илистого песка СНА-6А	Пойменная терраса, вздернутая по разлому, d = 55 см, погребенные отложения	375±45	68,2% вероятность 1445–1525 AD (45,0%) 1575–1585 AD (3,7%) 1590–1625 AD (19,4%) 95,4% вероятность 1440–1635 AD (95,4%)

Продолжение таблицы 2.1.

№ шурфа	№ проб: САОН	Висячее крыло, глубина отбора пробы	Что отобрано	Лежачее крыло, глубина отбора пробы	<sup>14</sup> C возраст, лет	Калиброванные возрасты, годы (cal. BC – до н.э. или cal. AD – н.э.) для 68,2% и 95,4% вероятностей
5	6086	Высокая пойма, сформировавшаяся до вздергивания по разлому	Слаборазвитая почва, d = 10 см		70±55	68,2% вероятность 1690–1730 AD (17,1%) 1810–1920 AD (51,1%) 95,4% вероятность 1675–1765 AD (30,1%) 1770–1780 AD (0,3%) 1800–1940 AD (65,0%)
6	6089	Современная высокая пойма, сформировавшаяся после вздергивания по разлому, высота поймы – 1 м, d = 20 см	Слаборазвитый слой песчаной коричневой почвы		540±80	68,2% вероятность 1305–1360 AD (31,3%) 1385–1440 AD (36,9%) 95,4% вероятность 1275–1495 AD (94,8%) 1600–1615 AD (0,6%)
8	5800		Низ современной почвы, кусочек дерева	Современная высокая пойма, сформировавшаяся до вздергивания по разлому, d = 15 см	320±50	68,2% вероятность 1495–1605 AD (53,9%) 1615–1645 AD (14,3%) 95,4% вероятность 1450–1655 AD (95,4%)
9	5801		Низ современной почвы	Первая надпойменная терраса, d = 30 см	890±55	68,2% вероятность 1045–1095 AD (24,3%) 1120–1215 AD (43,9%) 95,4% вероятность 1025–1250 AD (95,4%)
9	5802		Погребенная почва	Первая надпойменная терраса, d = 90 см	2930±35	68,2% вероятность 1200–1140 BC (32,1%) 1135–1075 BC (32,3%) 1065–1055 BC (3,8%) 95,4% вероятность 1230–1010 BC (95,4%)
10	5803		Низ современной почвы	d = 35 см	2290±35	68,2% вероятность 405–355 BC (58,5%) 275–255 BC (9,7%) 95,4% вероятность 410–350 BC (62,5%) 300–210 BC (32,9%)

Еще одна сейсмическая активизация Аксуйского краевого разлома имела место, по-видимому, на границе IX и X вв. н.э. Этому заключению соответствует возраст пробы СОАН-5799 (СА 800–905 гг. н.э.), отобранной в шурфе № 2 во вздернутом крыле разлома, а также радиоуглеродная датировка немецких специалистов Г. Михеля и В. Михайлева (Korzhnikov et al, 2006), отобранная ими в висячем крыле разлома в стенке палеосейсмологической траншеи, пройденной ими ниже нижнего озера – СА 918–1088 гг. н.э. Понятен и более молодой возраст нашей пробы СОАН-5801 (СА 1120–1215 гг. н.э.), отобранный внизу современной почвы в лежащем крыле разлома.

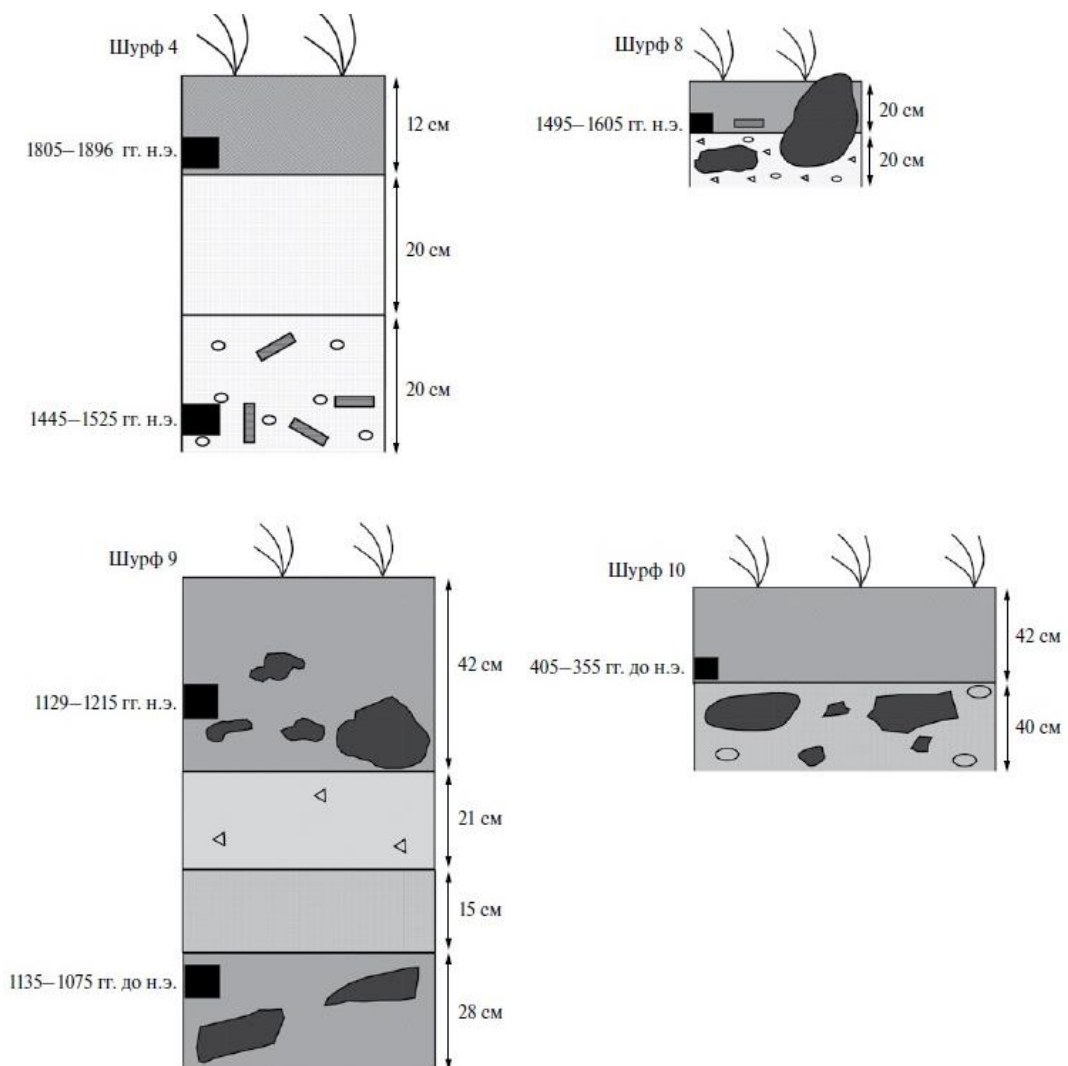


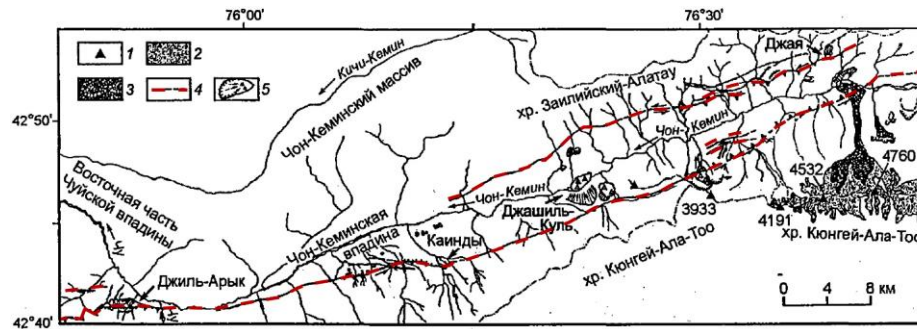
Рисунок 2.23. Зарисовка шурфов, пройденных в лежащем крыле Чон-Аксуйского сейсмоуступа. Условные обозначения те же, что и на рисунке 2.21 (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

### 2.3.2. Разрыв поверхности вдоль Чон-Аксайского (западного) и Аксайского (восточного) сегментов Кебинского (Кеминского) землетрясения 1911 г.

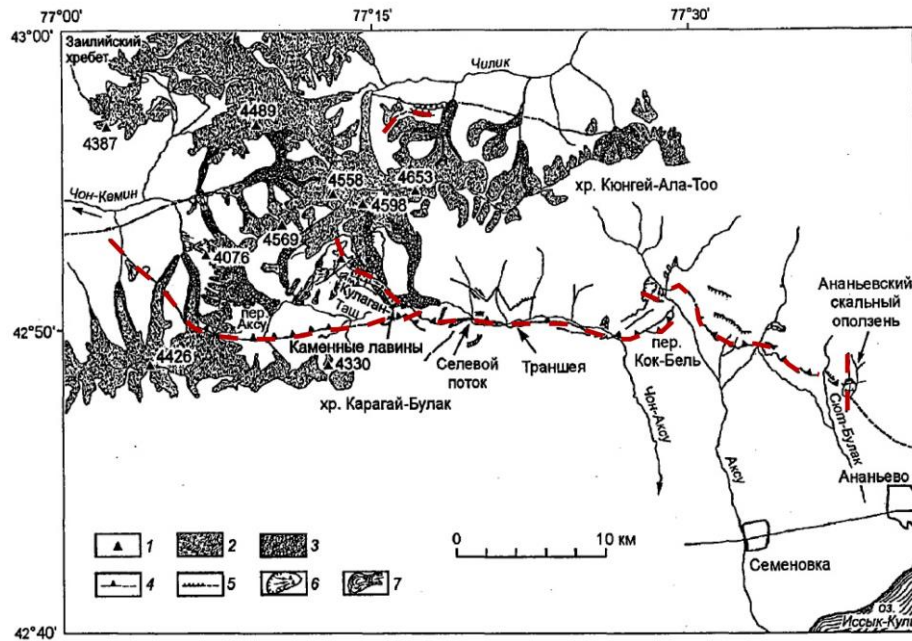
Кебинское (Чон-Кеминское) землетрясение 1911 г. является одним из величайших внутриконтинентальных событий, произошедших в историческое время. Подвижка по разрыву сгенерировала землетрясение, в результате которого образовалась двухсоткилометровая субширотная зона разрывов в Северном Тянь-Шане. Отношение Кебинского землетрясения к другим крупным региональным катастрофам, таким как Верненское (1887 г.,  $M_i=7,3$ ) и Чиликское (1889 г.,  $M_i=8,3$ ), произошедшим во временном интервале всего в 24 года к северу от Иссык-Кульской котловины, указывает на устойчивую связь между структурами этой части Тянь-Шаня.

Плейстосейстовые области указанных землетрясений сразу после сейсмических событий были обследованы русскими геологами из Санкт-Петербурга [Мушкетов, 1899; Богданович и др., 1914]. Дополнительное изучение сейсмических катастроф, как исторических, так и палео по Чилико-Кеминской зоне проводилось и после. Сейсмодислокации Чиликского и Кебинского землетрясений исследованы в работах: [Кучай 1969; Утиров, 1978; 1993; О.К. Чедия, А.М. Корженков, 1997; Д. Дельво и др., 2001; Arrowsmith et al., 2004; 2005; 2016; Korjenkov et al., 2004; 2006; Корженков, 2006; Crosby et al., 2007; Абдрахматов и др., 2013; Abdrakhmatov et al., 2016; Деев, Корженков, 2016]. Большая часть сейсмодислокаций 1911 г. сохранилась хорошо до сих пор (Arrowsmith, 2015) (рисунок 2.24.).

Если начать рассматривать сейсмогенный разрыв с востока на запад, видно, что сначала прерывистый сейсмоуступ трехметровой высоты сечет предгорную равнину и голоценовые террасы к северу и северо-востоку от райцентра Ананьево. Трасса разрыва прослеживается близ горного фронта и подходит к хребту под Ананьевским скальным оползнем, сформированным во время Кебинского землетрясения.



а



б

Рисунок 2.24. Картирование и описание восточной пятидесятикилометровой части разрыва землетрясения 1911 г. вдоль Аксуйского (самого восточного) и Чон-Аксуйского сегментов (Дельво и др., 2001) с изменениями. а – расположение крупных современных, образовавшихся при землетрясении 1911г. и более древних оползней относительно современных и палеосейсмогенных разрывов в нижней части долины р. Чон-Кемин: 1 – вершины (м), 2 – ледники, 3 – позднеплейстоценовые морены, 4 – молодые разрывы, 5 – оползни; б – сейсмогенные разрывы и оползни Кеминского землетрясения в верхней части долины р. Чон-Кемин, долинах рек Чилик и Чон-Аксу: 1 – вершины (м), 2 – ледники, 3 – позднеплейстоценовые морены, 4 – основные поверхностные разрывы (взбросы и надвиги), 5 – оперяющие разрывы, 6 – оползни и обвалы, 7 – активизированные морены.

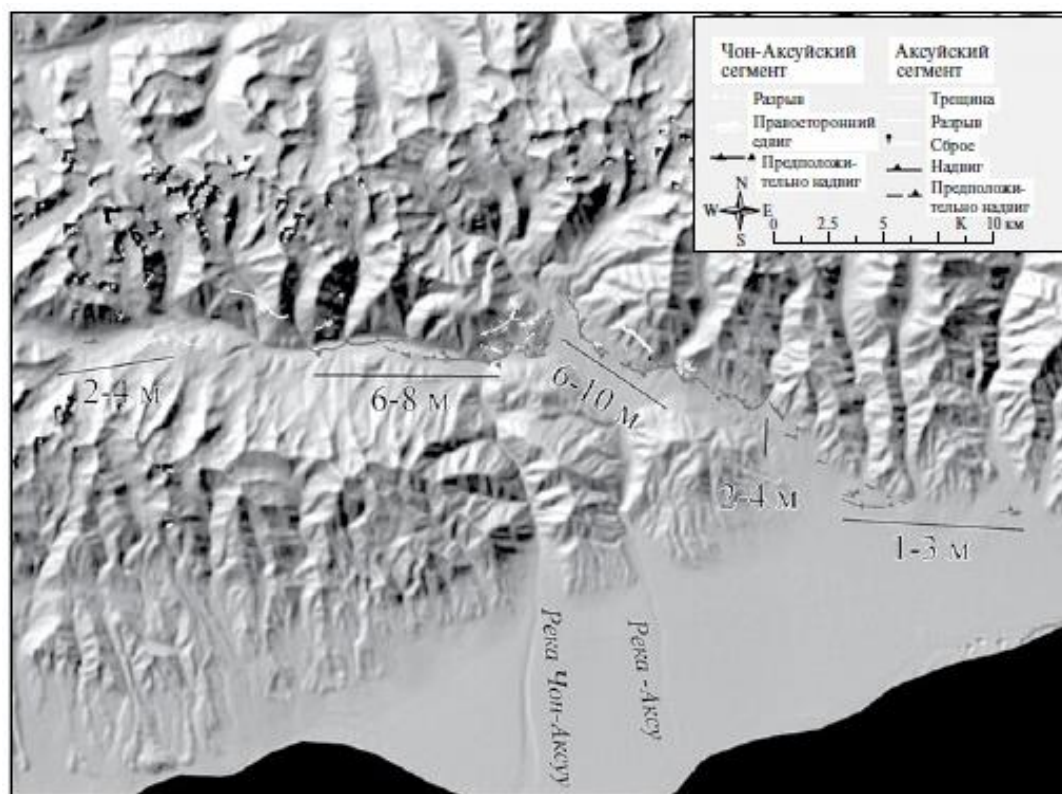


Рисунок 2.25. Цифровая модель рельефа бассейнов рек Чон-Аксуу и Аксуу со сводкой по величинам смещений по Чон-Аксу́йскому и Аксу́йскому сегментам разрыва Кебинского (Кеминского) землетрясения (по Argrowsmith и др., 2004; Корженков... Стрельников 2018г с изменениями), (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

Вероятнее всего, прерывистость разрыва на его восточном окончании является изначальной, а не следствием деградации сейсмоуступа со временем. Западнее р. Тегерменты разрыв в некоторых местах представлен в виде многочисленных левосторонних субпараллельных кулис. Между Сютубулаком и местом пересечения р. Аксуу наблюдается один из наиболее значительных уступов высотой до 8 м. Обычно падающая к северу зона разлома имеет пологое южное падение близ поверхности, так как всяческое крыло надвига надвигается на предгорную равнину, имеющую южный уклон.

В районе перевала Кок-Бель всяческое (северо-западное) крыло Аксу́йского разлома сечется многочисленными крутыми разрывами северо-восточного

простираются, маркируемыми на поверхности ясно выраженными и прямолинейными сейсмоуступами. Последующие 9 км Чон-Аксуйского сегмента представляют собой наиболее выразительные морфоструктуры, созданные разрывом 1911 г. Висячие крылья уступов обычно расположены ниже по склону, их высота – 6–8 м. Эти уступы представляют собой куполообразные поднятия, деформирующие плейстоценовые речные террасы. Два тектонически подпруженных озера были сформированы во время землетрясения 1911 г. Долина р. Чон-Аксуу в месте пересечения ее сейсмоуступом была разорвана: ее участок вверх по течению был вздернут на 6 м. Хорошо сохранились трещины на вершинах хребтов и отрогов в южной части долины в районе обвала Кулаган-Таш. Однако возникли ли они как первичные разрывы или в связи с сотрясением, вызвавшим оседание грунта, осталось не выясненным. На протяжении 5 км западнее Кулаган-Таша не было найдено дислокаций, которые могли бы однозначно быть определены как сейсмогенный разрыв, за исключением верховий долины р. Чон-Аксуу ниже одноименного перевала, где смещение 1911 г. составило 4-5 м (Arrowsmith, et al., 2005). Десятикилометровый правосторонний разрыв (брешь) разделяет Чон-Аксуйский сегмент от Чон-Кеминского сегмента разрыва. Геометрия разломов, ограничивающих Кунгейский хребет, может быть описана как «цветочная» структура (рисунок 2.26.) с листрическими взбросами, которые выкручиваются с глубиной, сходясь в центральную Кемино-Чиликскую структурную зону (Selander, 2008). Используя эту модель, был построен схематический разрез по водоразделу рек Чон-Аксуу и Кичи-Аксуу.

Одновременно с сейсмодислокациями, образованными во время землетрясения 1911 г., на исследованной территории наблюдались также сеймотектонические и сейсмогравитационные дислокации, относящиеся к палеокатастрофам. В отдельных местах сеймотектонический разрыв 1911 г. «нарастил» существовавшие ранее сейсмоуступы (например, верхнее подпруженное озеро в долине р. Чон-Аксуу). Эти наблюдения подтверждают

предположение о повторяемости сильных палеоземлетрясений, по крайней мере, в голоцене и позднем плейстоцене, вдоль Аксуйского краевого разлома Иссык-Кульской впадины, который был активизирован во время сейсмического события 1911 г.

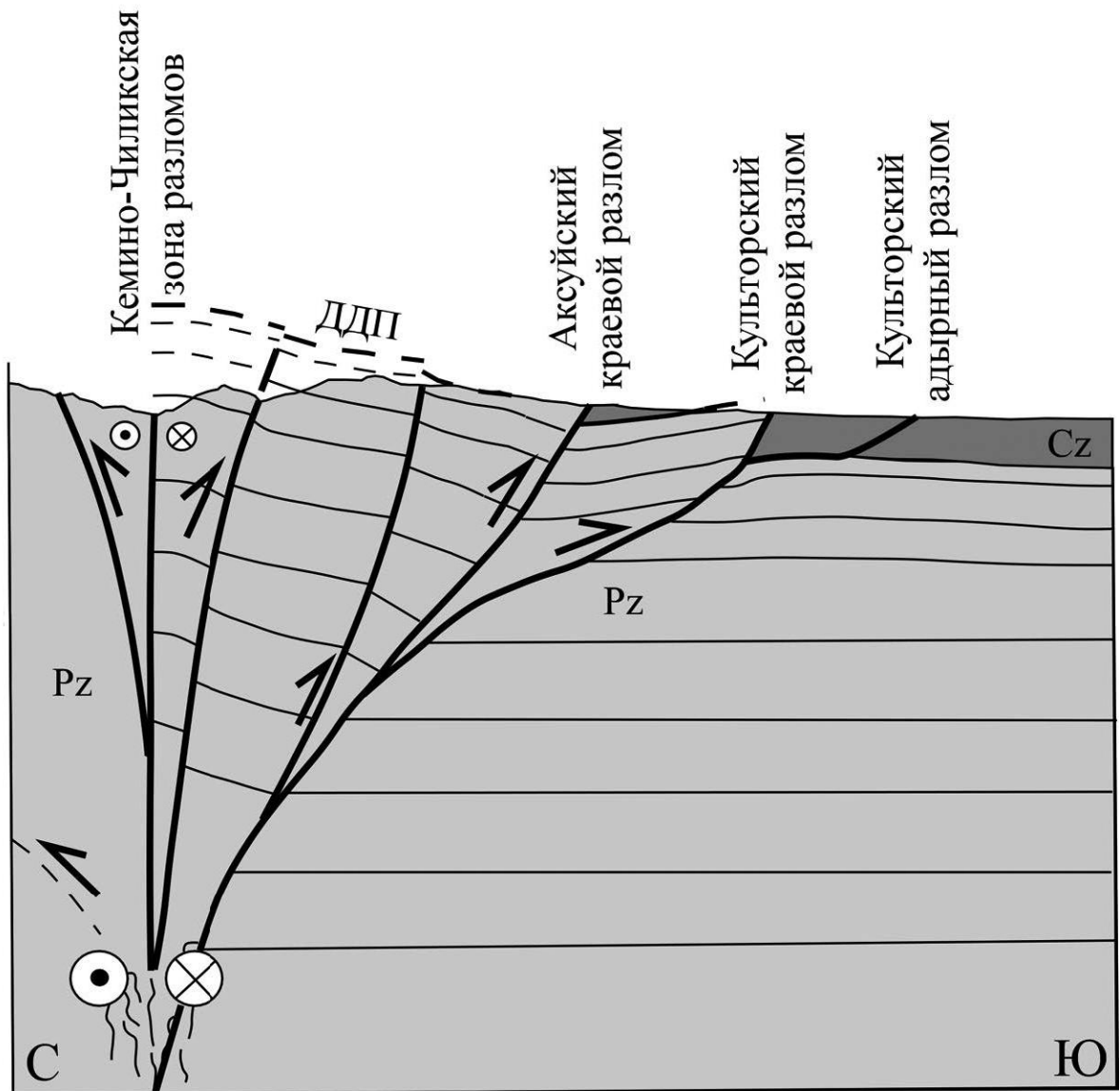


Рисунок 2.26. Схематический разрез по водоразделу между речными долинами Чон-Аксуу и Кичи-Аксуу (по (Selander, 2008), с изм.) ДДП – древней денудационной поверхности (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)



### Выводы

1. Была изучена северная предгорная зона Иссык-Кульской впадины: зоны Культорского и Аксуйского краевых разломов. Впервые была установлена сильная голоценовая и позднеплейстоценовая сейсмичность, которая приурочена к развитой предгорной (адырной) зоне Культорского разлома.

2. Обнаружено, что подвижки по предгорным (адырным) надвигам на исследуемом участке сопровождаются образованием компенсационных грабенов в их тылу.

3. Краевой Аксуйский разлом, по которому произошло Кеминское землетрясение 1911 г., является долгоживущим: по нему выявлено 8 палеоземлетрясений в позднем голоцене.

Таким образом, обосновывается **первое защищаемое положение**: режим проявления сильных палеоземлетрясений северной части Иссык-Кульской котловины выражается в виде периодов сейсмической активизации (3–5 сильных землетрясений за 1000–1500 лет), сменяющейся периодами сейсмического затишья (в 2000 лет).

### Глава 3. Очаги сильных исторических и палеоземлетрясений юга Исык-Кульской впадины

Эпицентры почти всех известных очагов сильных землетрясений, согласно данным о сейсмичности инструментального периода (Кондорский, Шебалин 1977) и (NEIC USGS) находятся к северу от озерной котловины (рисунок 3.1.). Данная глава посвящена изучению вопроса об асейсмичности южной части Исык-Кульской котловины.

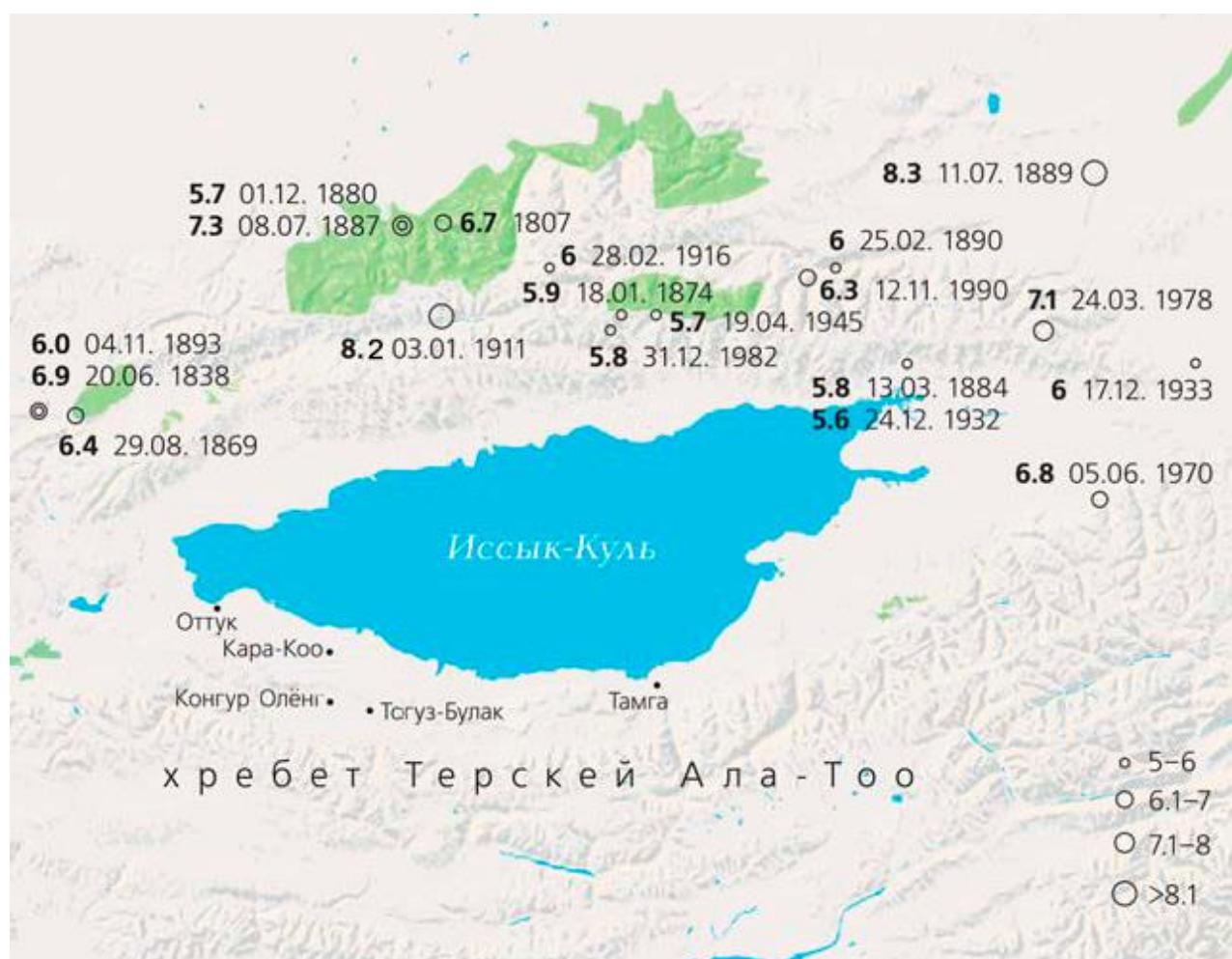


Рисунок 3.1. Карта Исык-Кульской котловины. Кружками показаны очаги сильных ( $M \geq 5.6$ ) сейсмических событий. Практически все эпицентры очагов сильных землетрясений сосредоточены к северу от озерной ванны (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

### 3.1. Ала-Баш-Конур-Оленская впадина и её южное предгорное (адырное) обрамление

Работа проводилась на юго-западе Иссык-Кульской котловины, в Ала-баш-Конур-Оленской внутригорной впадине (рисунок 3.2.). С юга Ала-Баш-Конур-Оленская впадина обрамляется хребтом Терсей-Ала-Тоо, а с севера – его предгорьем – Коконадыр-Тегерекским поднятием (Корженков А.М., 1987).

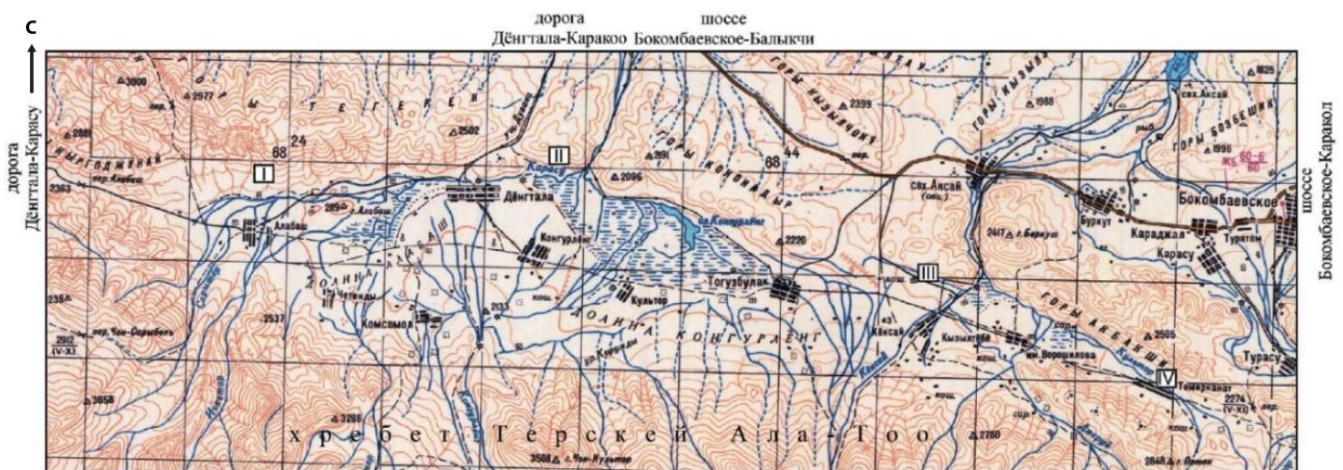


Рисунок 3.2. Топографическая карта Ала-Баш-Конур-Оленской впадины. Размер каждой клетки – 4×4 км. В квадратах латинскими цифрами указаны изученные участки сейсмоуступов (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

Источником воды в этой долине служит Терсейский хребет с многочисленными горными речками и ручьями, берущими начало от ледников и фирновых полей, которых немало на северных склонах горного сооружения. 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. Но в начале четвертичного периода бывшие участки осадконакопления стали вовлекаться в поднятие, формируя предгорья Терсей-Ала-Тоо (Чедия О.К., 1986).

Реки северного склона Терской хребта в начале четвертичного периода еще могли бы прорезать растущие хребты Коконадыр и Тегерек, но из-за интенсивных импульсных подвижек по предгорным (адырным) разломам собрали все свои воды в одном месте и пронесли их через антецедентный участок (возникший ранее перерезаемой возвышенности) долины р. Актерек – единственную водную брешь для всей Ала-Баш-Конур-Оленской долины (рисунок 3.3.). Остатки поднятых и брошенных речных русел (так называемые ветровые бреши) наблюдаются в разных местах Коконадыр-Тегерекского поднятия. Наиболее впечатляющая ветровая брешь через предгорный (адырный) хребет – перевал Дувана (от киргизского – дервиш), через который идет региональная дорога на юг: от села Кара-Коо (расположенного на шоссе Балыкчи–Каракол) в Ала-Баш-Конур-Оленскую впадину. 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 водная брешь) превратилась в брошенную долину – ветровую брешь (Макаров В.И., 1977).

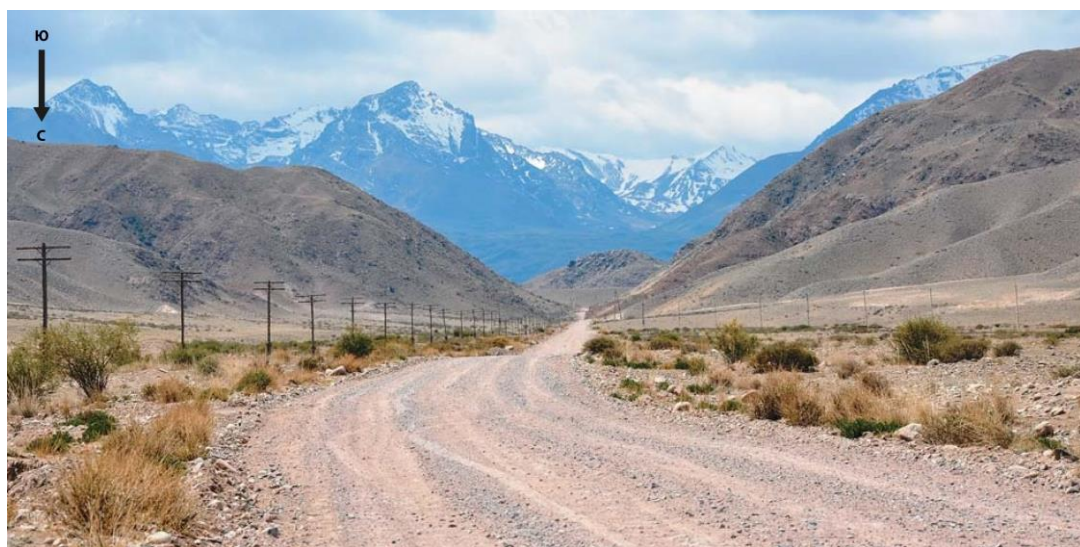


Рисунок 3.3. Понижение в рельефе – ветровая брешь гор Дувана через Коконадыр-Тегерекское поднятие. На дальнем плане – хребет Терской-Ала-Тоо, покрытый ледниками и снежниками. Вид на юг (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)



### 3.1.1. Особенности тектонических движений в Ала-Башской впадине

Традиционно считается, что горы формируются как импульсными подвижками во время сильных землетрясений, так и медленными тектоническими движениями по разрывам – криппом. По палеосейсмологическим же данным, вся зона разлома маркируется значительными деформациями, которые образовались во время сильных древних землетрясений. Последние из них имели место в позднем средневековье (Корженков А.М., Абдиева С.В., Буртман В.С. и др., 2013).

По всей видимости, таким же образом формировалось горное обрамление Ала-Баш-Конур-Оленской впадины. Значительный рост Коконадыр-Тегерекского поднятия по одноименному разлому был импульсным. Об этом свидетельствуют вышеупомянутые ветровые брешки в водораздельной части поднятия, а также сейсмоуступ протяженностью 20 км (рисунок 3.4.). Вдоль его подножия – заболоченное пространство (бывшее значительным озером еще до середины XX в.), в северной части впадины – перед горным фронтом предгорного (адырного) поднятия.

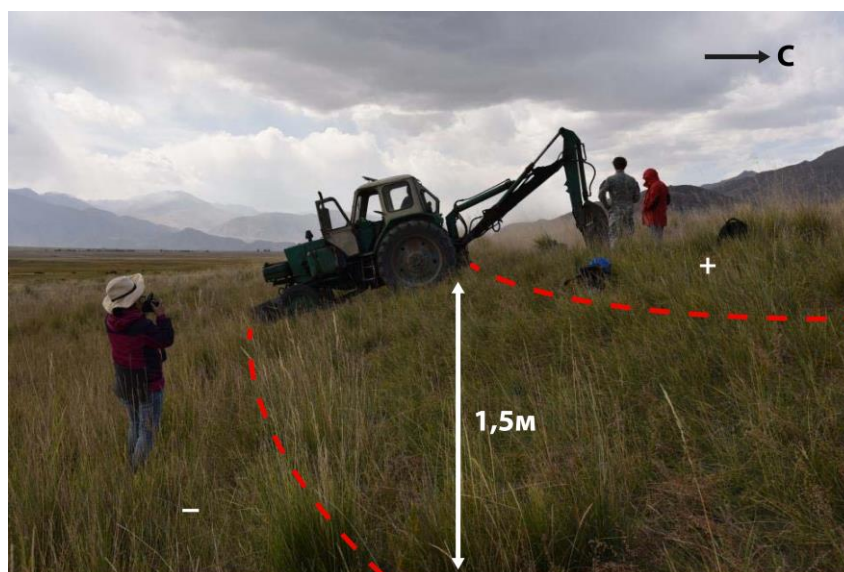


Рисунок 3.4. Сейсмоуступ вдоль южного подножья гор Дувана в центральной части Ала-Баш-Конур-Оленской впадины. (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

### 3.1.2. Выходы сейсмических очагов на поверхность – сейсмоуступы

Научно-исследовательские работы в Ала-Баш-Конур-Оленской впадине начались еще в 1984 г. с изучения региональных морфоструктур, однако они не включали в то время палео- и археосейсмологическое обследование сейсмоактивных разломов, которое проводилось уже в 2016–2018 гг. (Деев и др., 2016; А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, 2018а). Нам удалось выявить выходы на поверхность активных разломов, которые отражались в рельефе в виде сейсмоуступов – эскарпов (рисунок 3.5., рисунок 3.6.), разрушивших археологические памятники позднего голоцена.



а



б

Рисунок 3.5. Сейсмоуступы вдоль южного подножия Коконадыр-Тегерекского поднятия (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

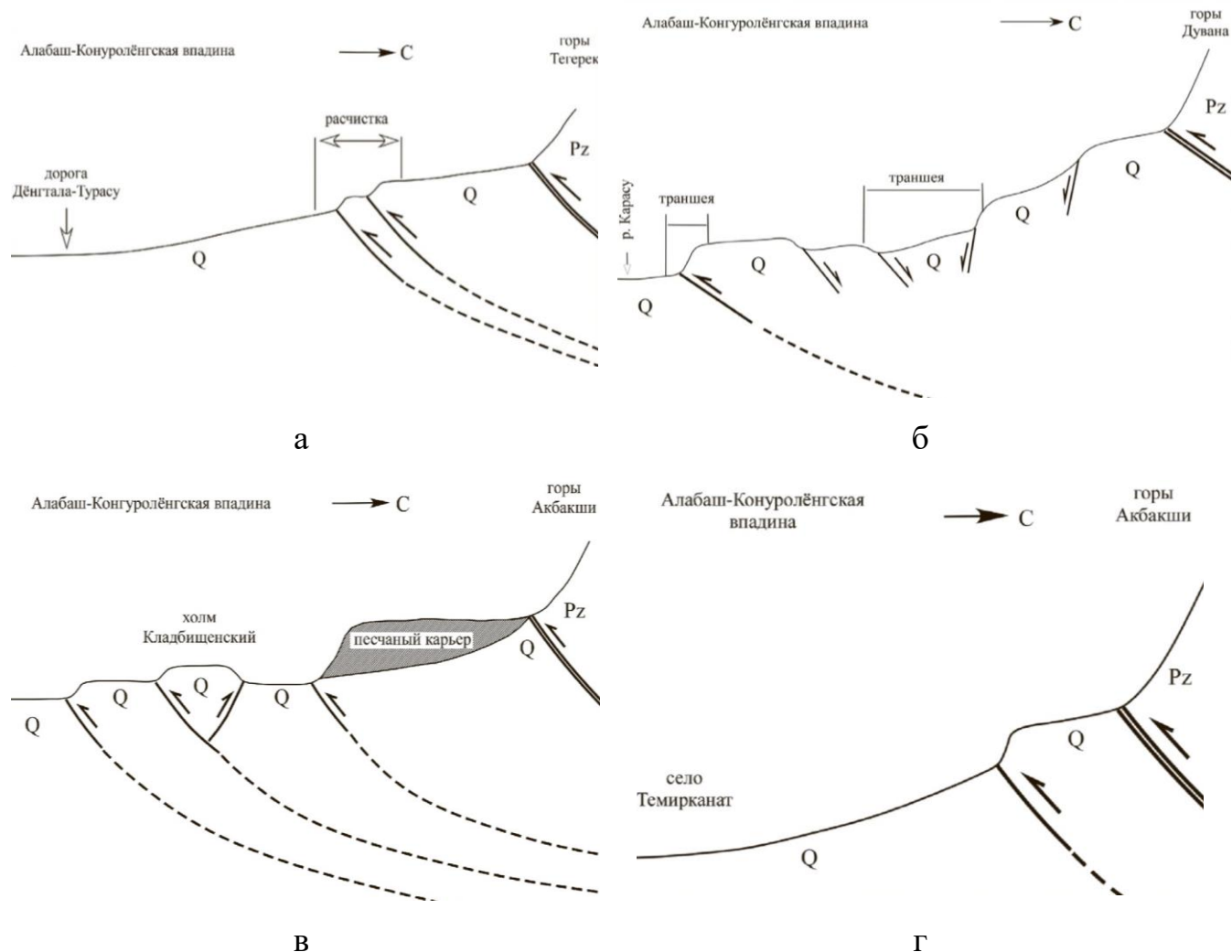


Рисунок 3.6. Схематические немасштабные зарисовки зоны предгорного надвига. От главной надвиговой плоскости на севере (показана двойной жирной линией), разделяющей палеозойские породы гор Коконадыр-Тегерекского поднятия и четвертичные отложения Ала-Баш-Конур-Оленской впадины, ответвляются новые дополнительные плоскости (показаны пунктиром), которые рвут пролювиальные (четвертичные) отложения слившихся конусов выноса гор Тегерек, Дувана, Коконадыр, Акбакши с образованием сейсмоуступов: а – участок I; б – участок II; в – участок III; г – участок IV, см. рисунок 3.2. (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

Сделана попытка выявления расположения сейсмоуступов, а также оценка параметров сильных палеоземлетрясений в западной части впадины (Деев и др., 2016) – к югу от гор Коконадыр (участок I, см. рисунок 3.2.). 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 позднеплейстоцен-голоценовые конусы выноса. Ниже по склону зафиксированы фрагменты второго и третьего сейсмоуступов длиной в первые сотни метров.

Была пройдена траншея через фронтальную зону сейсмоустапа в северо-западной части впадины (рисунок 3.7.) – к югу от гор Дувана (участок II, см. рисунок 3.2.). Слои, слагающие сейсмический эскарп, представляют собой различные фации пролювиальных, аллювиальных и субаэральных отложений. В нижней части разреза залегают коричневые, массивные, плотные и влажные глины видимой мощностью до 60 см. Этот слой – отложения текущей близости, в нескольких десятках метрах к югу, р. 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 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 рисунке 3.7. 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 вышележащего слоя лессовидных суглинков, где были обнаружены небольшие прослои палеопочвы с калиброванным возрастом 1270–1305 и 1440–1515 гг. н.э. К этому событию, вероятно, относится и открытие трещин I и II в лежащем крыле сейсмоустапа, в которые провалилась часть материала вышележащих песков и супесей.



Большинство выявленных разрывов сейсмоуступа у подножия гор Дувана (IV–VII) предположительно относятся ко второму землетрясению. Смещения по большинству плоскостей небольшие – несколько десятков сантиметров. Ранее была обнаружена аналогичная одномоментная сейсмогенная подвижка при траншейных исследованиях на юге Иссык-Кульской впадины – в зоне Южно-Тегерекского разлома (Korzhenkov, Deev, 2017).

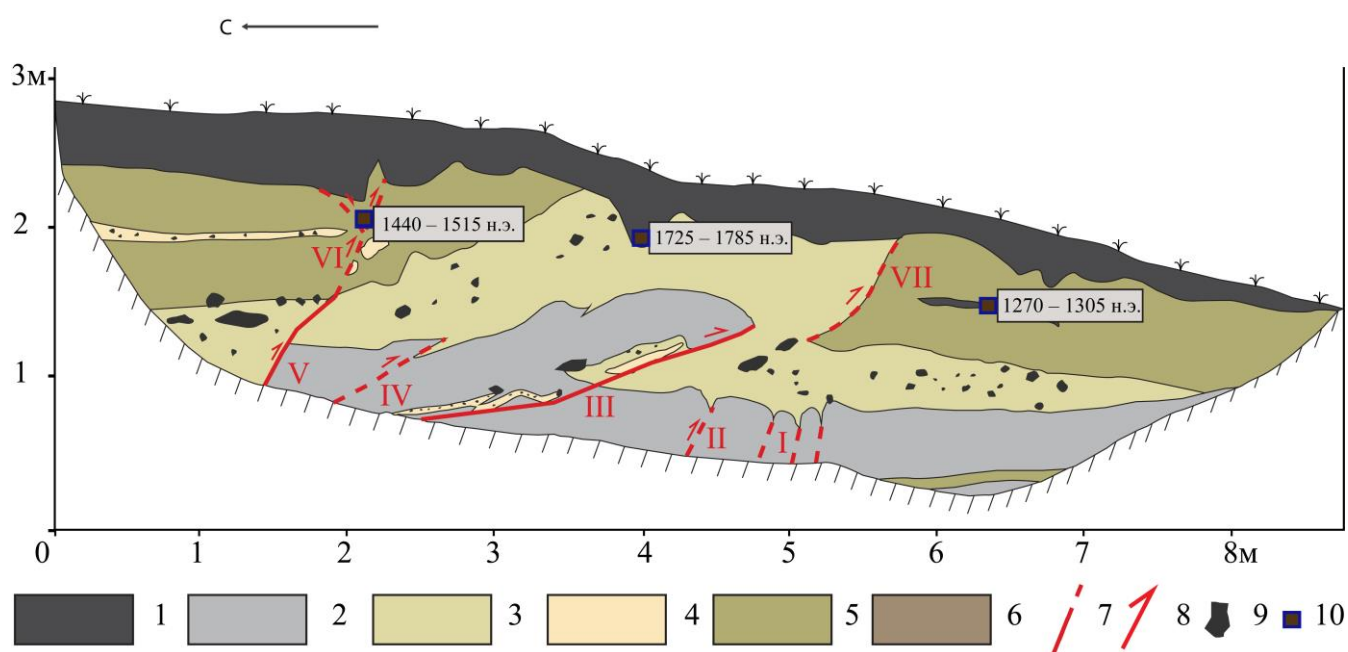


Рисунок 3.7. Документация траншеи у южного подножия гор Дувана. Пройденная траншея через фронтальную часть сейсмоуступа, восточная стенка, участок II, см. рисунок 3.2: 2.1 – современная почва и палеопочвы; 2 – глины; 3 – крупнозернистые пески с супесчаным заполнителем и включением гравия; 4 – супеси; 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 (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

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 был использован 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.

По историческим материалам нам удалось определить, что последнее землетрясение по описываемому активному разлому имело место во временном промежутке 1771 г. (возвращение калмыков в Джунгарию) – XIX в. (время ремонта древних кумбезов – надмогильных памятников в Ала-Баш-Конур-Оленской впадине) (Корженков и др., 2018а). Радиоуглеродный возраст позволил сузить эту «вилку» всего лишь до 14 лет. Итак, последнее землетрясение в Ала-Баш-Конур-Оленской 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 в.

Сложный ансамбль сейсмоуступов отмечен в северо-восточной части Ала-Баш-Конур-Оленской впадины к северу от главной дороги, идущей на восток по долине между селами Тогузбулак и Кёксай (участок III, см. рисунок 3.2., рисунок 3.4.). Один уступ тянется сюда от гор Кюнгей и проходит на расстоянии в 700 м от северного горного фронта (от зоны предгорного (адырного) Коконадыр-Тегерекского разлома). Высота эскарпа достигает здесь 5 м, протяженность около 3 км. Далее к востоку уступ приближается к горсту, образованному двумя сейсмоуступами. Южный эскарп, образующий горст – взброс, он по своей кинематике совпадает с предгорным (адырным) разломом, а северный уступ горста – это поддвигающая структура. Высота обоих эскарпов – 3.5 м. Азимут простирания северного уступа –  $270^\circ$ , в то время как простирание горного фронта здесь  $250^\circ$ . Далее к востоку эта структура приближается к горам и сливается с предгорным (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 Ала-Баш-Конур-Оленской впадины также демонстрирует проявления сильной сейсмической активности. Так, в сотне метрах к югу от горного фронта – Коконадыр-Тегереского поднятия, представленного здесь горами Акбакши, к северу от села Темирканат параллельно одноименному предгорному (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: к западу и к востоку сливаются с предгорным (адырным) Коконадыр-Тегерекским разломом.

### **3.1.3. Компенсационный грабен в тылу надвига**

В 2016-2017 гг. в Ала-Баш-Конур-Оленской впадине нам удалось выявить и изучить необычное субширотное понижение в наклонной пролювиальной равнине, образованной слившимися конусами выноса с гор Дувана (рисунок 3.8., рисунок 3.9.). Полевые исследования показали: это сложный, ступенчатый грабен, находящийся в тылу современного активного надвига, выраженного в рельефе сейсмоуступом.

В центральной части грабена была пройдена траншея длиной 20 м и глубиной 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 дресвой (мощность 15 см), венчает которые бедная сероцветная горная почва. Ее мощность 15–20 см.

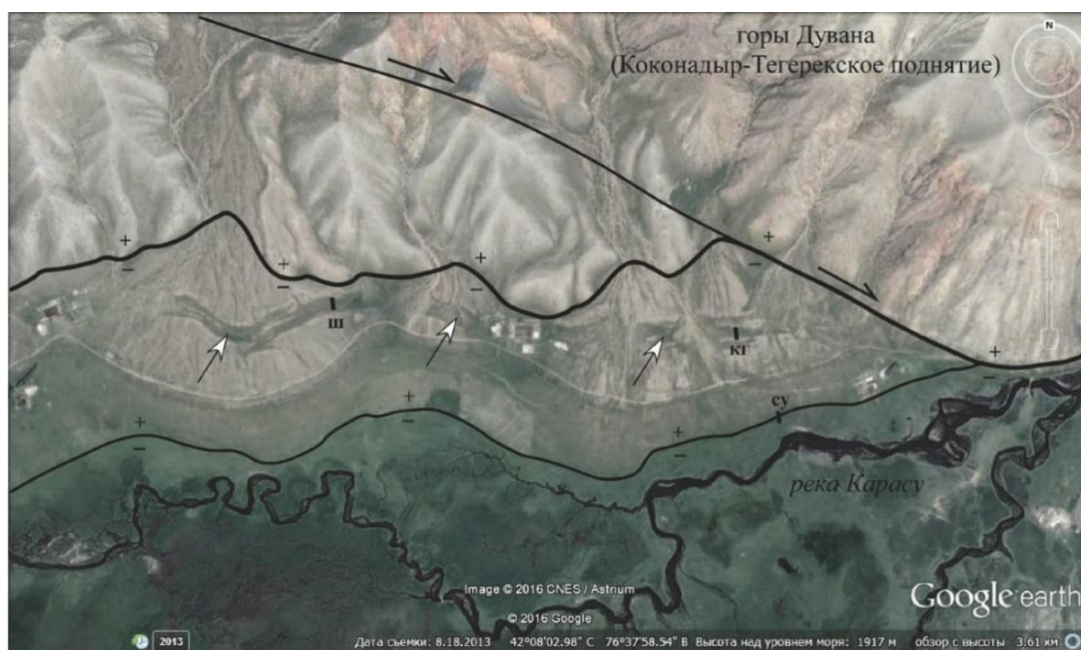
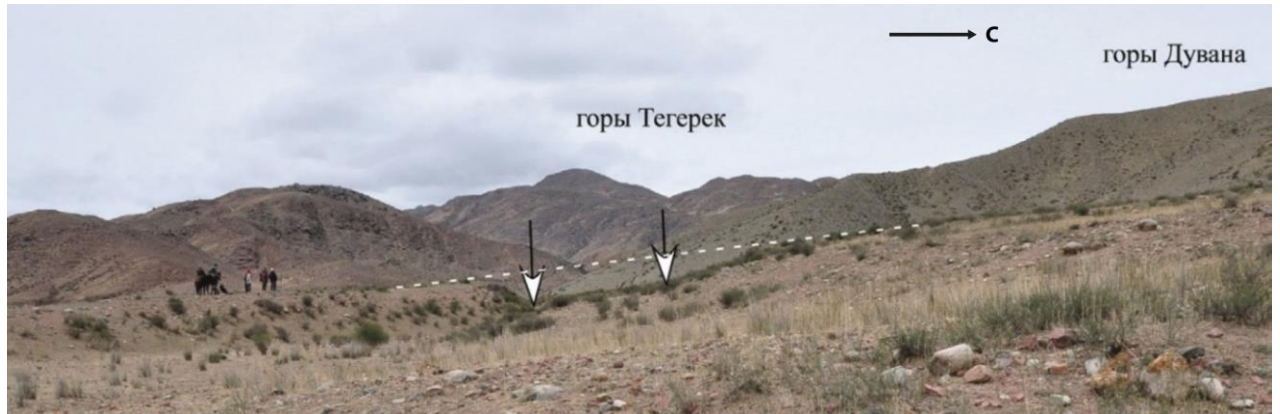


Рисунок 3.8. Космический снимок компенсационного грабена в тылу надвигового сейсмоуступа к югу от гор Дувана. Жирная черная линия – Коконадыр-Тегерекский предгорный (адырный) разлом, черная линия к северу от нее – правый взбросо-сдвиг (черные стрелки показывают направление смещения), другая черная линия к югу – сейсмоуступ; «+» – взброшенное крыло разлома, «->» – опущенное крыло, су – траншея, пройденная через сейсмоуступ, кг – траншея, пройденная через центральную часть компенсационного грабена, ш – шурф, пройденный в компенсационной грабене (рисунок 3.10.)

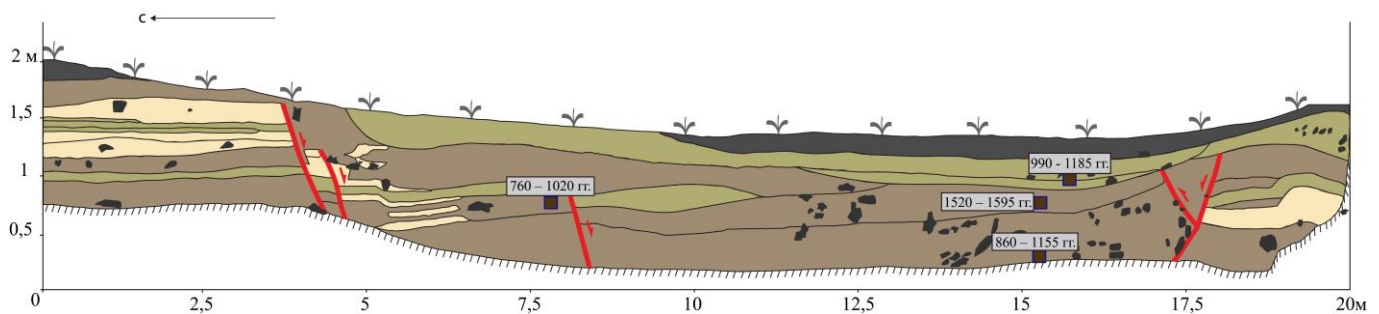
В слое серых паттумов были отобраны пробы (ALAB-3 (Vs-2766) и ALAB-4 (Vs-2768)) на  $^{14}\text{C}$  датирование, которые имеют калиброванный возраст 760–1020 гг. н.э. – 860–1155 гг. н.э. Расположенные выше красноватые паттумы более молодые: их возраст 1520–1595 гг. н.э. согласно калиброванному возрасту 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 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.



а



б

Рисунок 3.9. Компенсационный грабен в тылу надвигового сейсмоуступа к югу от гор Дувана: а – фотография грабена в его западной части, вид на ЗЮЗ, днище грабена показано стрелками, пунктирная линия – исходная поверхность пролювиального конуса выноса; б – траншея, пройденная через центральную часть компенсационного грабена к югу от гор Дувана, восточная стенка, условные обозначения, см. рисунок 3.7. (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

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 (рисунок 3.10.). 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.

Во время палеосейсмологических исследований в Ала-Баш-Конур-Оленской впадине в 2013 г. нам удалось выявить выходы молодых сейсмических очагов на поверхность – сейсмоуступы, которые нарушали археологические памятники позднего голоцена. Была предпринята попытка определить магнитуду и возраст сильных землетрясений в западной части впадины. Однако из-за скудности органического материала в пройденных горных выработках пока не удалось точно определить возраст последнего сильного землетрясения во впадине. В связи с тем, что сейсмоуступ деформировал курганы сако-усуньского возраста (VII в. до н.э. – V в. н.э.) и средневековые «длинные» каменные стены, было выдвинуто предположение, что последнее сильное сейсмическое событие во впадине произошло уже после их строительства – в XVI в. н.э. Этот вывод повторял наше раннее предположение о возрасте последнего сильного землетрясения в Каджи-Сазской впадине, расположенной к востоку.

Исследования в Ала-Баш-Конур-Оленской впадине продолжились в 2016–2017 гг. Нам удалось выявить странное субширотное понижение в наклонной пролювиальной равнине, образованной слившимися конусами выноса с гор Дувана. Полевые исследования показали, что это сложный, ступенчатый грабен, который находится в тылу надвига.

Как и в других местах Прииссыккуля, тектонические движения по предгорным (адырным) разломам перешли от собственно зоны контакта палеозойских пород предгорного хребта и четвертичных отложений внутригорной впадины вглубь территории тектонической депрессии. Здесь



продолжаются те же процессы, только в меньшем масштабе: в связи с продолжающимся сокращением земной коры Тянь-Шаня, бывшие территории впадин – участки осадконакопления, превращаются в поднятия и начинают служить источником сноса. Были пройдены траншеями как фронтальная зона сейсмоуступа, так и нижний сегмент грабена (рисунок 3.7., 3.9.) Эскарп высотой в 1.5 м обязан своим происхождением одноактной сейсмогенной подвижке.

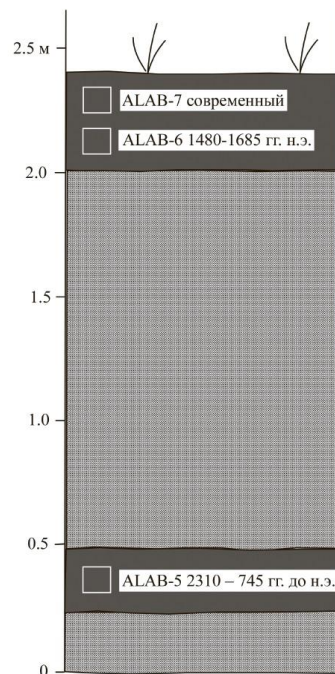


Рисунок 3.10. Шурф в западной части компенсационного грабена, западная стенка, участок II, см. рис 5.2. (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018).

Вышеприведенные материалы однозначно указывают на сильную сейсмичность, которая проявилась в относительно недавнее время: сейсмоуступ и ступенчатый грабен образовались в пролювиальной равнине позднеплейстоцен-голоценового возраста. Современные сейсмические каталоги показывают очаги значительных и сильных землетрясений к северу и востоку от оз. Иссык-Куль. Как ранее уже отмечалось, инструментально зарегистрированные очаги сильных землетрясений на юге котловины неизвестны. Но мы здесь обнаружили значительные сейсмодислокации, прежде всего сейсмоуступы, т.е.

отражения в рельефе молодых активных разломов (Деев Е.В., Турова И.В., Корженков А.М. и др., 2016, Корженков А.М., Кольченко В.А., Лужанский Д.В. и др., 2016, Корженков А.М., Абдиева С.В., Мажейка Й. и др., 2015).

### **3.1.4. Археосейсмологическое изучение деформации в Ала-Башской крепости.**

Перевал Ала-Баш имеет высоту 2366 м над ур.м. Он разделяет Ала-Баш-Конур-Оленскую впадину, расположенную к востоку от перевала, и Турасуйскую, простирающуюся к западу. Через перевал идет региональная грунтовая дорога, которая соединяет два соседних села – Ала-Баш и Турасу, расположенных в 13 км друг от друга. Сейчас по ней можно двигаться на автомобиле. Но и тысячи лет назад здесь, по одной из ветвей Великого шелкового пути, шли караваны, которые охранялись воинскими подразделениями. Последние располагались в крепостях и караван-сараях вдоль торговой трассы (рисунки 3.11. и 3.12.).

Одним из таких военных укреплений была небольшая Ала-Башская крепость, стоявшая несколько выше одноименного перевала – на холме к северу от него. Военный пост находился в удачном месте. Немного поднявшись на склон хребта Кыргоджунай (максимальная отметка 2882 м), можно было наблюдать все, что происходило в долинах к востоку и западу.

Крепость грубо ориентирована по сторонам света. Ее длинные (10 м) стены вытянуты субширотно, азимут простирания  $110^\circ$ . Перпендикулярные стены имеют простирание  $20^\circ$ . Сейчас укрепление разрушено. Стены, достигавшие в высоту, по-видимому, не менее 1.5 м, были сложены из «рваного» камня без цемента. Толщина их в нижней части около 1 м. В крепости не осталось никаких следов строений – ее защитники, скорее всего, жили в юртах.



Рисунок 3.11. Обрушение на юге северной стены Ала-Башской крепости (показано длинной стрелкой). Штриховой линией обозначены обломки верхней части стены, образовавшиеся при ее ударе о землю. Западная стена обрушилась в восточном направлении (показано короткой стрелкой). Вид на запад (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

Нам представляется необычной картина обрушений крепостных стен. Северная стена, вместо того чтобы обрушиться на север, вниз по склону, упала на юг – внутрь строения. Хотя обломки стены отлетели на 3 м, видно, что она упала целиком и дезинтегрировалась лишь при ударе о землю. Западная стена так же вместо того, чтобы обрушиться на запад, вниз по склону, – упала на восток, опять внутрь строения. Лишь небольшая часть ее обломков откатилась на запад. Аналогично повели себя и другие параллельные стены: восточная преимущественно обрушилась на восток, а южная – на юг.



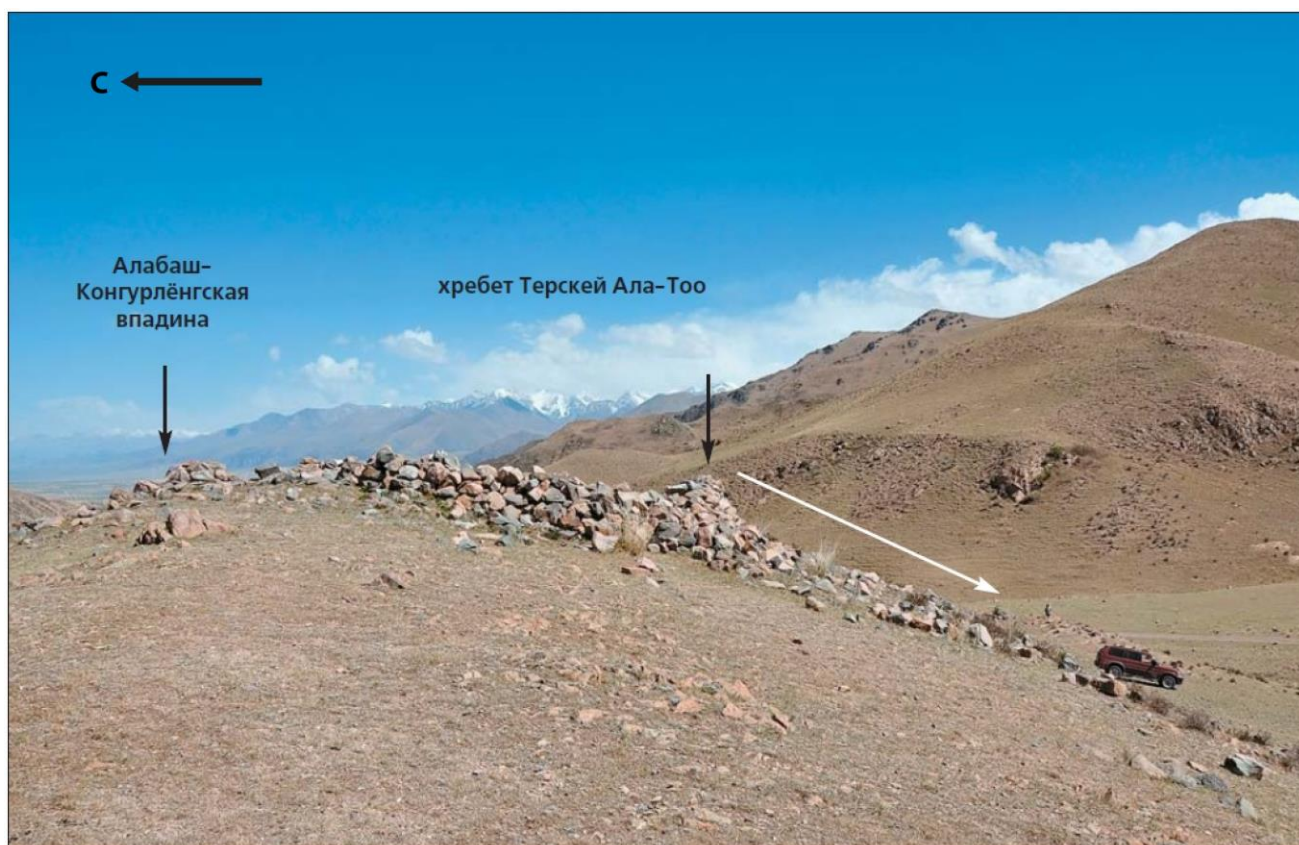


Рисунок 3.12. Руины Ала-Башской крепости. Ее северо-западные и юго-западные углы обозначены короткими стрелками. Вид на восток. Западная стена крепости упала на восток, внутрь укрепления (от наблюдателя). Северная и южная стены обрушились на юг. Направление обрушения южной стены показано длинной стрелкой (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

Подобный тип падений исключает обрушение стен со временем. Систематический характер деформаций указывает на динамическое воздействие на стены крепости – толкание с юго-востока.

В нашем распоряжении есть лишь косвенные свидетельства. Подавляющее количество древних укреплений и караван-сараев имеют караханидский возраст (X–XII вв.). Возможно, что и Ала-Башской крепости столько же лет, тем более обломки ее стен глубоко утоплены в грунт. Десятки сантиметров лёсса накопились не за одну сотню лет. Кроме того, камни укрепления покрыты значительными слоями пустынного загара и лишайников. Таким образом, возраст сильного палеоземлетрясения, скорее всего, лежит в продолжительном интервале

от X в. (начала строительства крепостей караханидами) до середины XIX в. (прихода сюда русских и становления письменной документации).

### **3.1.5. Деформации в средневековых кумбезах**

В долине Конгур-Олёнг на территории кладбища восточнее одноименного села находятся три кумбеза купольного типа и несколько прямоугольных (рисунки 3.13. и 3.14.). Их возраст точно не известен. Огромные кумбезы были восстановлены в конце XIX в., но неясно, кому и когда они установлены (Улеманн К., Винник Д.Ф., Ысманова К.Ы., 2003). Состояние памятников удовлетворительное, хотя купол одного из них полуразрушен.

Учитывая, что кумбезы ремонтировались в XIX в., значит, они к этому времени находились в неудовлетворительном состоянии. Таким образом, памятники простояли еще несколько веков до ремонта. Из этого следует вывод, что кумбезы не были построены современными киргизами, они были возведены ранее.

В Иссык-Кульской котловине лишь одно сооружение напоминает описываемые памятники – кумбез Тору-Айгыр, расположенный на левой надпойменной террасе одноименной реки, в 5 км севернее главной трассы Балыкчи-Каракол. Совпадает и стиль строений, и материал (сырцовый кирпич), из которого они сложены. Аналогичны высота (около 3 м) и ширина кумбезов (4–5 м), а также толщина стен (0.8–1.3 м). Для Тору-Айгырского памятника определено время, когда его воздвигли: XI–XIV вв. (Улеманн К., Винник Д. Ф., Ысманова К.Ы., 2003). Таким образом, и Конгур-Оленские кумбезы могли создать в то же время.



Рисунок 3.13. Систематические наклонные срезы в северо-западной колонне одного из надмогильных памятников села Конур-Олен – следы древних повреждений (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

Внимательный осмотр Конгур-Оленских памятников показал, что в них сохранились следы древних повреждений. В северо-западной колонне одного из кумбезов видны систематические косые сколы – срезы. Несмотря на то, что зияния между купольной и фронтальной частями памятников пытались заделать, они снова проявились через полтора – два века. Все фронтальные части кумбезов отделились и слегка наклонились к северу – к горам Коконадыр-Тегерек, к одноименному разлому – подвигу (Корженков А.М., 1987, Korjenkov A.M., Michajljow W., Wetzel H. U. et al., 2016). Возможно, это произошло при землетрясении, во время которого возросла сейсмическая активность вдоль упомянутого разлома (Деев Е.В., Турова И.В., Корженков А.М. и др., 2016, Корженков А.М., Кольченко В.А., Лужанский Д.В. и др., 2016, Корженков А.М., Абдиева С.В., Мажейка Й. и др., 2015).





Рисунок 3.14. Отделение и небольшой наклон к северу фронтальных частей всех древних кумбезов Конур-Олена к северу – к Коконадыр-Тегерекскому разлому (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

Наклон фронтальных стен мазаров к северу совсем небольшой – первые градусы, нам приходилось наблюдать и большие наклоны во время наших археосейсмологических работ на Тянь-Шане. Возможно, что южные купольные конструкции не дали фронтальным стенам наклониться на юг под более значительным углом или обрушиться в том же направлении. Из приведенных выше данных следует вывод, что сильное палеоземлетрясение в Ала-Баш-Конур-Оленской впадине произошло в период с XI в. по середину XIX в.

### 3.1.6. Калмыкские захоронения

Во фронте сейсмоуступа были обнаружены деформированные каменные выкладки (рисунок 3.15.), которые имеют так называемый «калмыкский» возраст. Предположительно, на склоне уступа никто хоронить не будет – неудобно, да и

плоских, горизонтальных территорий вокруг немало. Следовательно, сейсмоуступ образовался уже после погребения, и его возраст моложе захоронений.

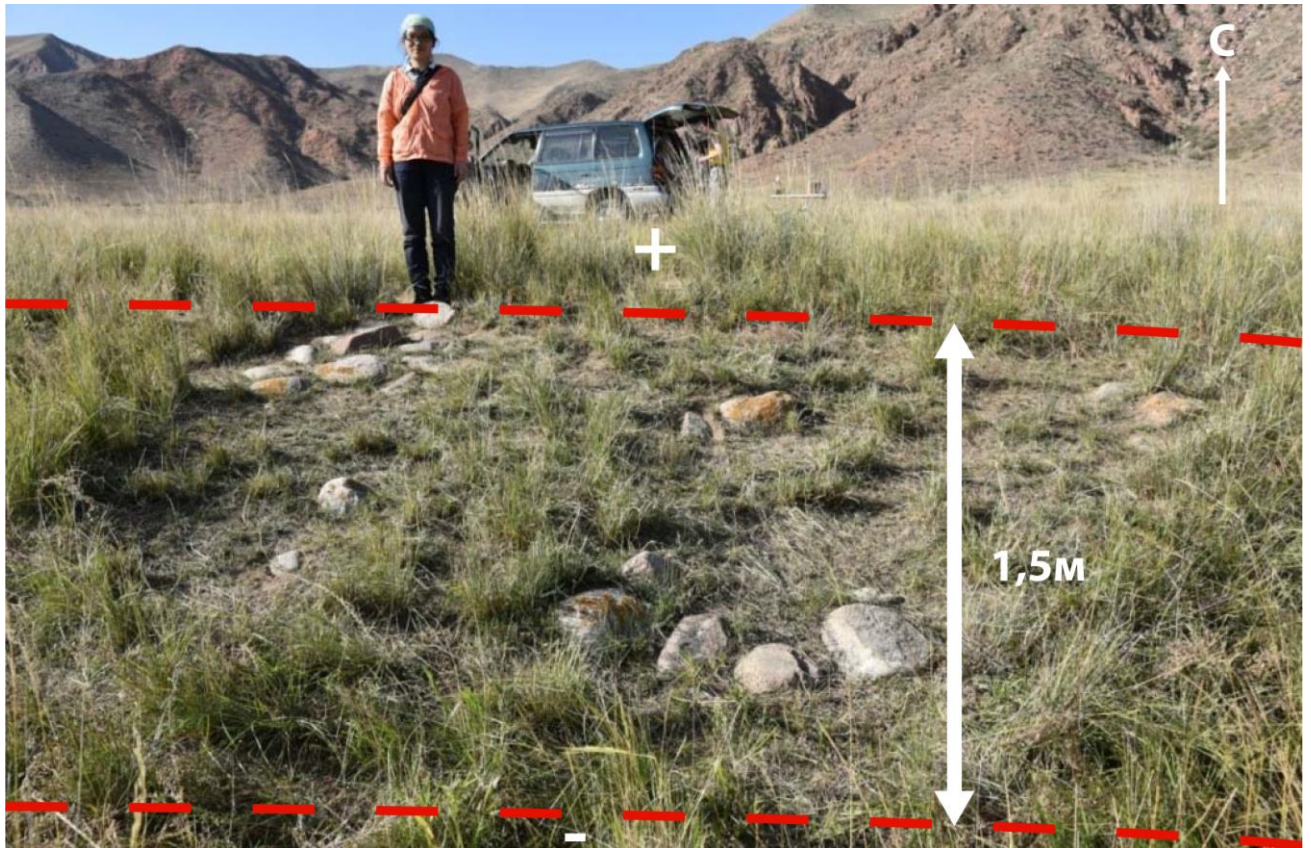


Рисунок 3.15. Каменные выкладки на «калмакских» (калмыкских) могилах, деформированные во фронте сейсмоуступа. Вид на север. На дальнем плане виден хребет Дувана, составляющий Коконадыр-Тегереское предгорное (адырное) поднятие. Дама стоит на бровке эскарпа (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

В 1771 г. большая часть волжских калмыков из междуречья Волги и Жайка (Урала) решила переселиться, возвратиться в Восточную Джунгарию (Molnar P., Tarponier P., 1986). Их путь длиной более трех тысяч километров пролегал, в частности, по территории современного Казахстана и Киргизии: от реки Джаик (Урал) до китайской границы. 170 тысяч калмыков вышли в так называемый «Пыльный поход». На пути назад лишь около 10% от первоначального количества поднявшихся на перекочевку сумело вернуться на родину предков.

Остальные погибли или были захвачены в плен на территории Семиречья и Прииссыккуля. Именно поэтому на указанной территории повсюду разбросаны простые могилы калмыков: небольшая кучка камней над погребенным или погребенными. Одна из таких могил, по словам местного жителя Омурбека Абдукадырова из села Дёнгтала, была размыта селевым паводком и его взору, а также взглядам односельчан, представилась ужасная картина: в ней было несколько скелетов в вертикальном положении. Еще живых пленников заталкивали вплотную в узкий вертикальный, наспех вырытый ими же шурф и закидывали землей и камнями. Таким образом, предполагается, что сейсмоуступ образовался после 1771 г.

Анализируя уже проведенные исследования, материалы статей и монографий была обнаружена информация о древних поселениях на территории Ала-Баш-Конур-Оленской впадины. С целью наглядного и информативного представления полностью изученного, как ранее казалось, района работ было проведено дешифрирование аэрофото и космических снимков. В результате данной работы был обнаружен ранее неизвестный древний архитектурный комплекс.

Комплекс представляет собой крупное поселение, с трех сторон окруженное горами и преградой в виде заболоченных территорий подпруженной сейсмическим уступом реки Актерек.

У реки, в низине наблюдаются остатки старых оборонительных стен толщиной в 1–1.5 метра. Они тянутся до самой надпойменной террасы реки Актерек, перекрывая тем самым проход к комплексу с востока, севера и запада долины.

В центральной части комплекса присутствуют многочисленные археологические памятники – средневековые каменные стены и сторожевые башни, курганы и храмовые ритуальные постройки, жилые здания и казармы.

Храмовая часть комплекса расположена у подножья гор Дувана, огорожена пастбищами и долиной с захоронениями площадью около двух квадратных километров (рисунок 3.16.).





Рисунок 3.16. Карта-схема исследуемой части храмового комплекса. 1 – Ритуальная часть комплекса; 2 – участок пересечения разломом смотровой башни и прилегающей стены; 3 – калмыцкие захоронения XVII в. на бровке молодого сейсмоуступа, траншея 2018 г; 4 – участок сейсмокомпенсационного грабена «След Дракона», траншея 2016 г. (А.А. Стрельников, А.М. Корженков, 2020)

Все это расположено на довольно большой территории, каждый из уровней окружен своим ярусом оборонительной стены и вала. Местность, на которой расположено поселение, имеет удобное расположение, наличие прикрытых тылов и богатых залитых водой пастбищ и лугов. Это обусловлено сложной морфологией рельефа, сформированной высокой сейсмической активностью в этом регионе.

Так, предположительно на рубеже VIII–IX в. н. э. здесь произошло катастрофическое землетрясение магнитудой  $M \geq 7$ , при котором образовался длинный, в несколько десятков километров, разлом со ступенчатым компенсационным грабеном, именуемый «Следом дракона» (Корженков и др., 2018). Разлом прошел через комплекс в пределах третьего, второго и первого ярусов и привел к значительным разрушениям этого сакрального поселения.

Для этого согдийского зороастрийского храма подобное событие стало первым и последним в его существовании. Слишком велики и многочисленны оказались разрушения. В правой части комплекса, возле одной из передовых оборонительных уровней, произошло горизонтальное смещение стены на восток на 1.2 метра и вертикальное поднятие на 1.5 м. Также подверглась разрушению прилегающая северной частью к стене смотровая башня (рисунки 3.17 – 3.18). Она оказалась на бровке новой структуры и частично оползла своим фундаментом в образовавшийся сейсмический компенсационный грабен, а вершина обрушилась в противоположную сторону. На месте некогда стоявшей стены образовалась «седловина» с разжиженными песками и галечником, а площадку с башней вздернуло вверх и сместило на восток. В целом, общее поднятие структуры в этой части комплекса составило 4 м.

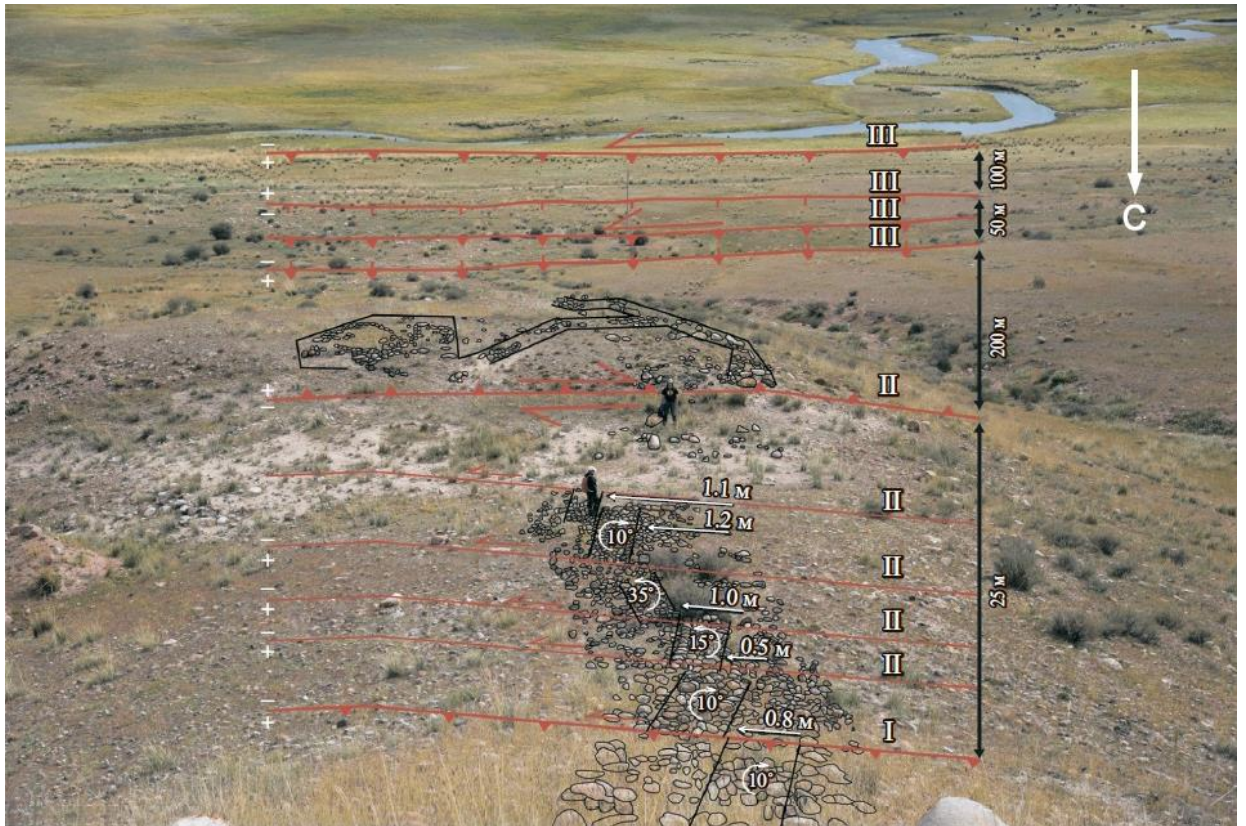


Рисунок 3.17. Смещение стены и разрушение смотровой башни разломом (А.А. Стрельников, А.М. Корженков, 2020)

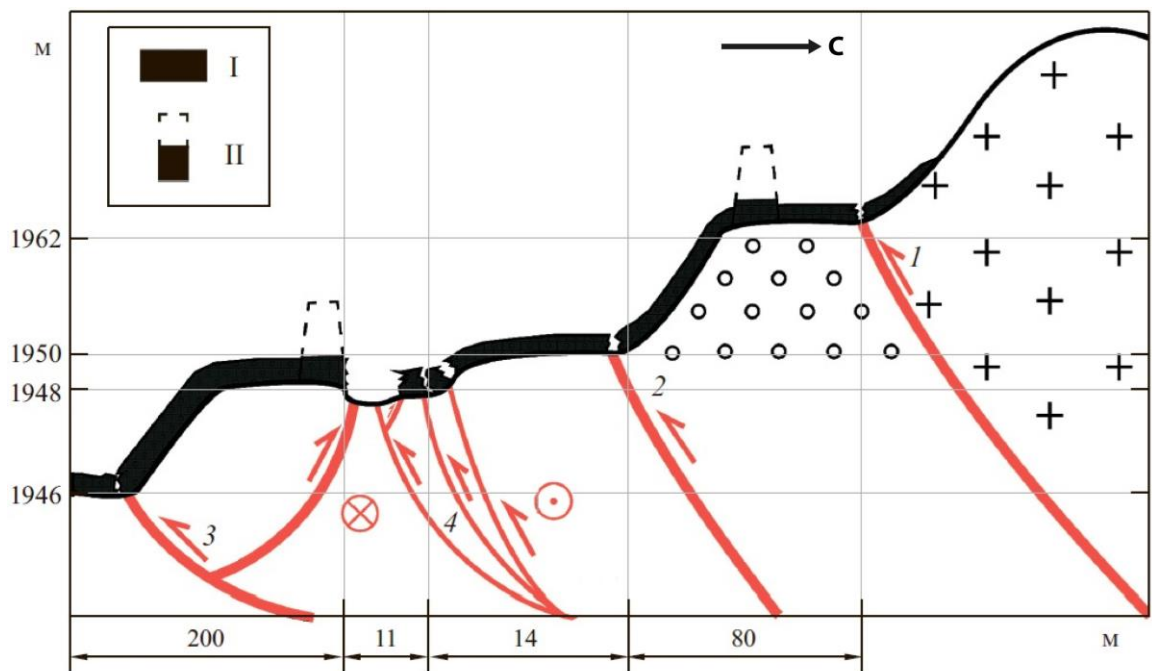


Рисунок 3.18. Структура разломной зоны, расположенной у подножья гор Дувана. Цифрами 1–5 обозначен порядок возникновения сеймотектонических уступов (А.А. Стрельников, А.М. Корженков, 2020)



Центральная часть комплекса разрушена не меньше (рисунки 3.19 – 3.21). Сошедший оползень не только сильно деформировал, но и уничтожил большую часть ярусов центральной части комплекса, образовав конус выноса, перекрывающий всю центральную, возможно жилую часть комплекса, и защищавшие ее два яруса стен. На линии третьего яруса стены были обнаружены небольшие выступы – продолжения стен, которые перекрывают проход через горную долину на территорию комплекса.

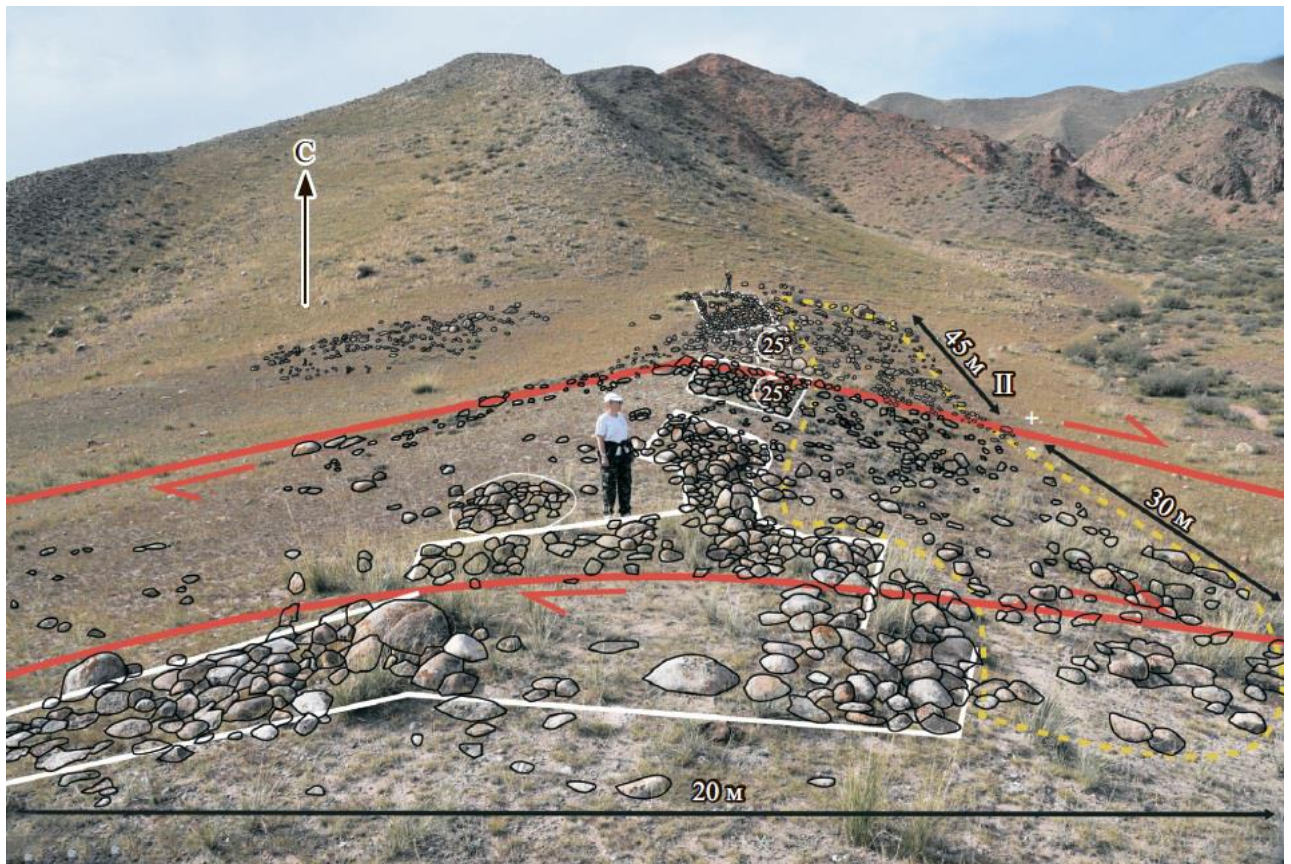


Рисунок 3.19. Пересечение разломом центральной стены храмовой части комплекса и её разрушение (А.А. Стрельников, А.М. Корженков, 2020)

В западной, религиозной части комплекса, также произошли существенные изменения в структуре рельефа и строений.

Нижние ярусы стены из-за многочисленных повреждений, в том числе и антропогенного вмешательства путем разравнивания территории и уборки заваленного валунами участка камнями, не поддавался дешифровке и опознанию

каких-либо архитектурных сооружений. Третий, самый верхний уровень сооружения, предположительно религиозного значения, также претерпел значительные разрушения, вероятно сейсмического характера. Здесь произошло горизонтальное смещение и провал стены в восточном направлении на 1.5 м, а также вертикальное поднятие на 1 м и частичное разрушения башен, о чем свидетельствует седловина, нарушившая целостность стены (рисунок 3.17.-3.18.), и тыловые части, обрушенные против движения смещения башни, несмотря на их укрепленные контрфорсы (рисунок 3.19.).

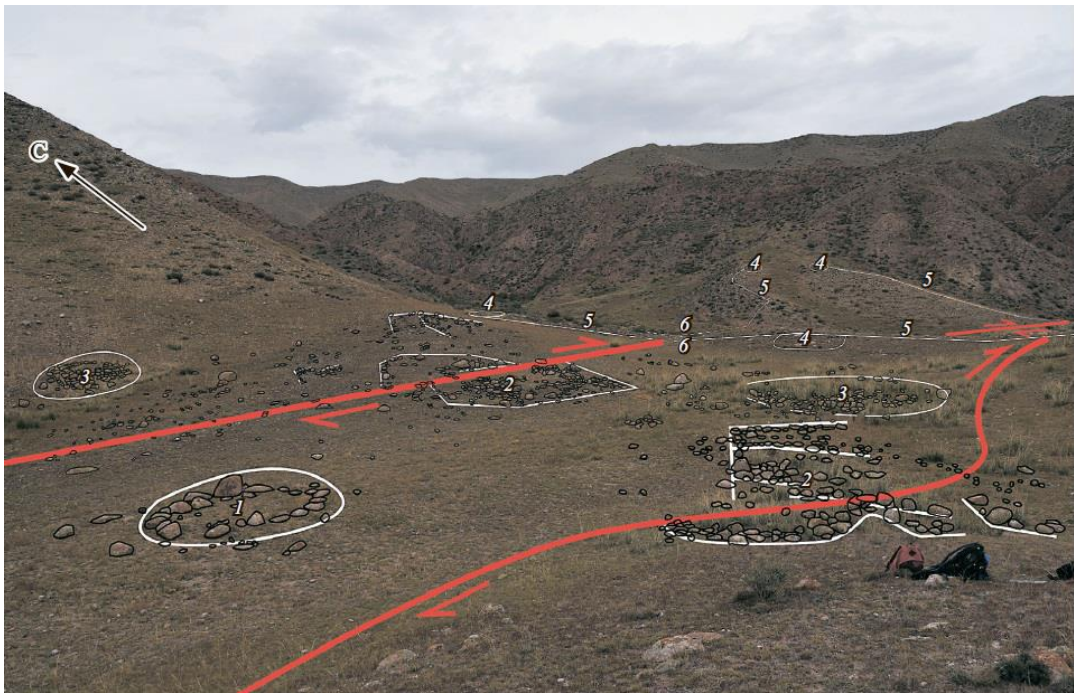


Рисунок 3.20. Пересечение разломом храмовой части комплекса с разрушением фундаментов построек. 1 – Круглое здание со входом с западной стороны; 2 – два здания с внутренними стенами, разделяющими их на 5 отдельных помещений; 3 – большое круглое здание; 4 – башни; 5 – стены (А.А. Стрельников, А.М. Корженков, 2020)





Рисунок 3.21. Параллельные разломы в храмовой части комплекса с разрушением фундаментов построек (вид сверху) (А.А. Стрельников, А.М. Корженков, 2020)

### **3.2. Активные структуры юго-востока Иссык-Кульской впадины (Южно-Иссык-Кульский разлом)**

Наименее изученной в плане сейсмотектоники остается восточная часть Иссык-Кульской котловины. Ранее обнаруженные деформации археологических объектов и сейсмичности в верхнечетвертичных отложениях (Корженков и др., 2015, 2018а; Korjenkov, 2000; Bowman et al., 2004а) свидетельствуют в пользу необходимости исследований черт проявления активной тектоники и сейсмотектоники этой части котловины. Ключевыми объектами здесь являются внутривпадинные поднятия. Целью представляемой работы является анализ структуры этих поднятий, их связи с активными разломами и вклад в сейсмичность региона.

#### **3.2.1. Оргочорская и Малая Оргочорская антиклинали**

К востоку от залива Покровский оз. Иссык-Куль расположена S-образная система поднятий (рисунок 3.22., а). Она выделяется на фоне слегка наклонной от

предгорных (адырных) поднятий хребта Терской-Ала-Тоо в сторону озера аллювиально-пролювиальной равнины, сложенной верхнечетвертичными отложениями. Наиболее приподнятая восточная часть системы поднятий – гора Оргочер имеет размеры в поперечнике 15x7 км, отметку высоты 2061.9 м и плавно изменяет своё простирание водораздела с северо-западной на северо-восточную. Гора Малый Оргочер (1751 м) находится западнее. Она ориентирована своей длиной осью на северо-восток и имеет поперечные размеры 3 x 1 км. В геологическом плане оба поднятия представляют собой ассиметричные антиклинали, имеющие более длинные пологие южные крылья и короткие крутые, осложненные разломами, северные крылья (рисунок 3.22., б, в).

В поднятие вовлечены терригенные отложения миоцен-плиоценовой иссык-кульской свиты, а также средне-верхнеплейстоценовые образования (Шендерович, Макаров, 1965; Турчинский, 1970). Стык между Малой Оргочерской и Оргочерской антиклиналями пререзается р. Чон-Кызылсуу. Наконец, в качестве западного продолжения оргочорских поднятий можно рассматривать вдающийся в Иссык-Куль мыс Кара-Булун (рисунок 3.22., а).

С целью анализа проявлений активной тектоники и сейсмотектоники были обследованы северные крылья антиклиналей. При приближении к селу Боз-Бешик на западном склоне горы Оргочор появляются небольшие эрозионные промоины (рисунок 3.23., а), в которых отчетливо видны падающие на северо-восток (аз. 310°) под углом 25° неогеновые отложения иссык-кульской свиты: параллельно-переслаивающиеся плитчатые глины, супеси, средне- и мелкозернистые пески с примесью мелкой гальки. Перечисленные отложения слагают здесь северное – короткое и крутое крыло Оргочорской антиклинали.

На северном крыле Оргочорской антиклинали отмечаются деформации не только неогеновых отложений. Здесь по разлому вздернуты низкие, включая первую надпойменную, террасы р. Чон-Кызылсуу. Первая надпойменная терраса в месте пересечения разломом одной из протоков р. Чон-Кызылсуу разорвана двумя разломными уступами, которые вертикально смещают поверхность террасы на 1 и 2 м (рисунок 3.23., б).

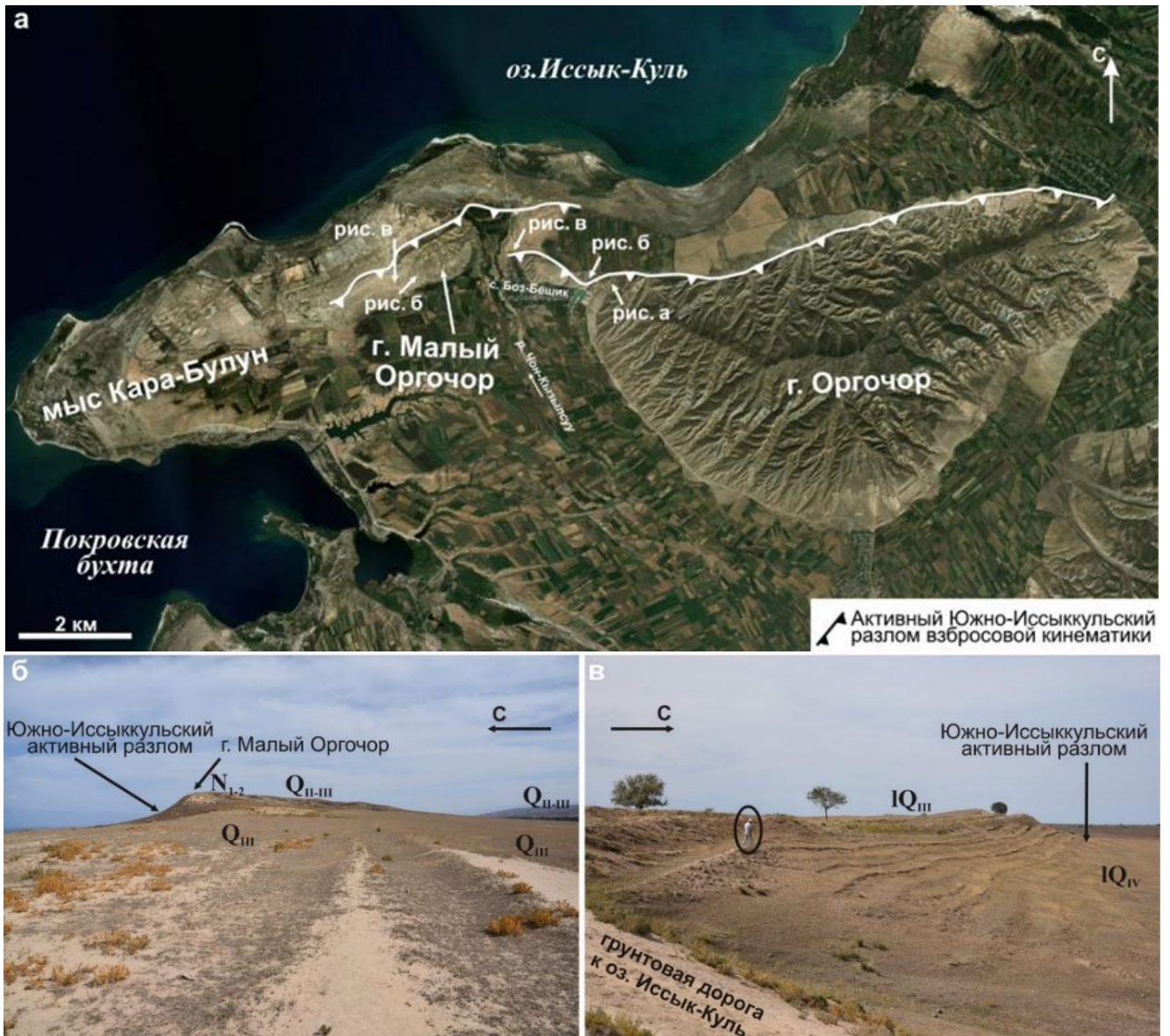


Рисунок 3.22. – Гора Оргочор: а – сегменты Южно-Иссык-Кульского активного разлома, осложняющие северные крылья Малой Оргочорской и Оргочорской антиклиналей. В качестве основы использован космоснимок QuickBird (<http://earth.google.com>); б, в – положение Южно-Иссык-Кульского разлома на северном крыле Малой Оргочорской антиклинали (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2020)

Вполне возможно предположить, что нижний уступ возник в результате одной сейсмогенной подвижки. Соответственно магнитуда этого палеособытия с использованием корреляционных зависимостей из (Wells, Coppersmith, 1994):

$$M = 6,93 + 0,82 \log(1) = 6,9$$

Длина структуры составляет около 30 км, что позволяет вычислить магнитуду по формуле расчета по протяженности структуры испарывания (Wells, Coppersmith, 1994):

$$M = 5 + 1,22 \log(30) = 6.8$$

Следы палеоземлетрясений на западном окончании Оргочорской антиклинали не ограничиваются наличием разломных уступов. На северо-западной окраине села Боз-Бешик в придорожном карьере видны сейсмогенные конволюции – сейсмиды, нарушающие седиментационную текстуру верхнеплейстоценовых отложений. Сейсмическое разжижение привело к наклону и значительному перемешиванию озерных глин и аллювиальных галечников (рисунок 3.23., в). Вовлечение в сейсмическое разжижение отложений галечной размерности характерно для землетрясений с  $M \geq 7$  (Rodríguez-Pascua et al., 2000; Bezerra et al., 2005; Deev et al., 2019). Отметим, что сейсмиды в позднеплейстоценовых отложениях широко распространены на территории Иссык-Кульской впадины (Korjenkov, 2000; Bowman et al., 2004a; Поволоцкая и др., 2006; Gladkov et al., 2016; Deev et al., 2018).



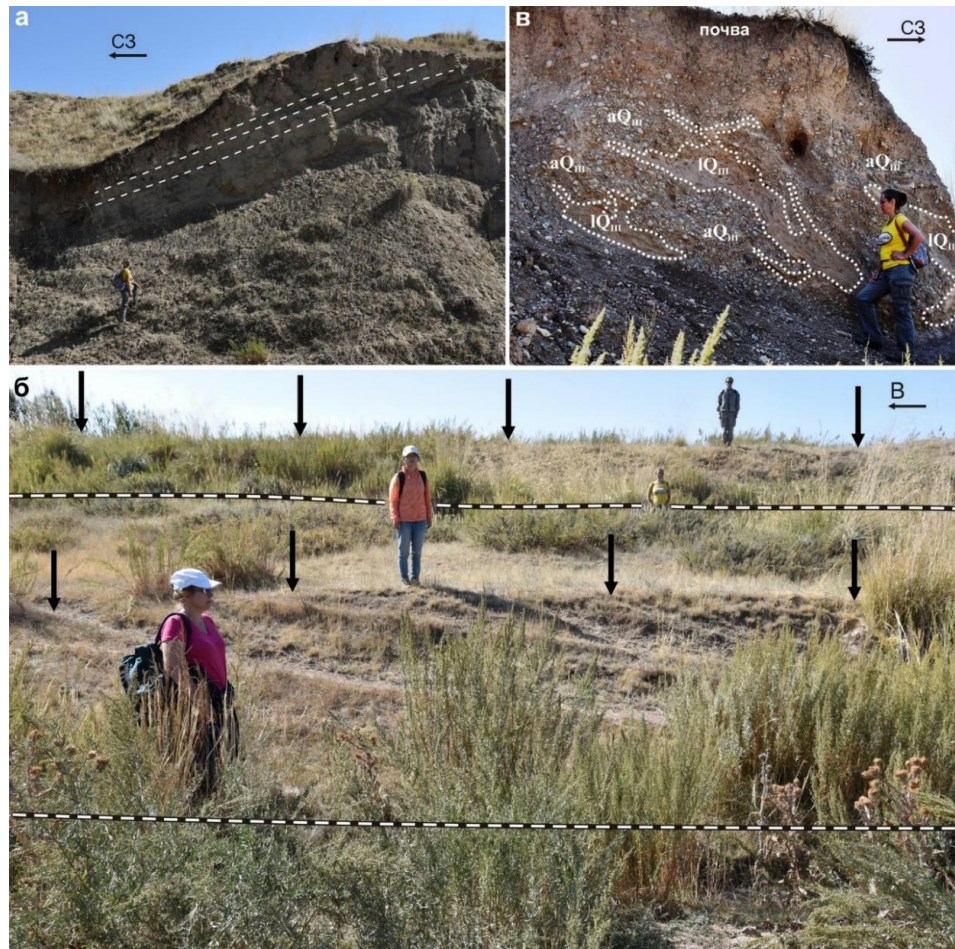


Рисунок 3.23. Деформации неоген-четвертичных отложений на западной периклинали Оргочерской антиклинали, в зоне Южно-Иссык-Кульского разлома: а – моноклиналиное залегание неогеновых отложений иссык-кульской свиты на крутом и коротком северном крыле Оргочорской антиклинали в естественном обнажении к востоку от дороги Оргочор-Бозбешик. Пунктирные линии подчеркивают положение поверхностей напластования; б – два сейсмоуступа в месте пересечения Оргочорского поднятия р. Чон-Кызылсуу. Стрелками показаны бровки уступов, пунктирными линиями – их основания; в – юго-западная стенка придорожного карьера на северной окраине с. Боз-Бешик (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2020).

### 3.2.2. Антиклиналь Бир-Баш

В 15 км к северо-востоку от восточной окраины Оргочерской антиклинали, на южном берегу залива Пржевальского, находится еще одно субширотно

вытянутое поднятие размерами 8х3 км – гора Бир-Баш высотой 1811.8 м (рисунок 3.24.).

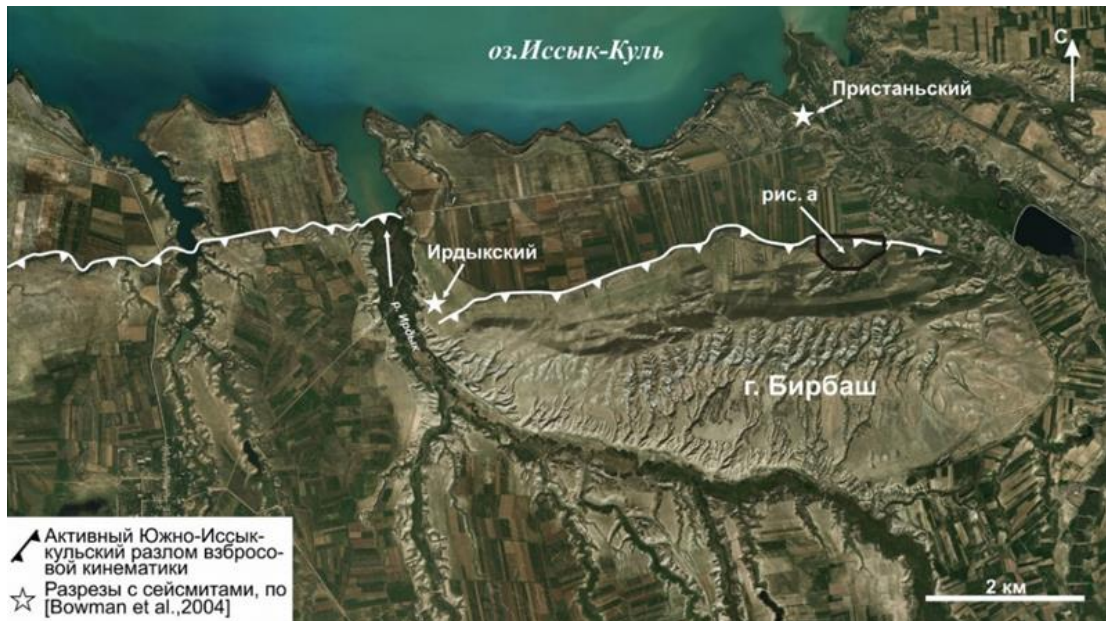


Рисунок 3.24. Сегменты Южно-Иссык-Кульского активного разлома в районе внутривпадинного поднятия Бир-Баш. В качестве основы использован космоснимок QuickBird (<http://earth.google.com>) (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2020)

По своей геологической структуре это поднятие аналогично вышеописанным складкам. На крыльях и в ядре антиклинали обнажаются отложения верхней части иссык-кульской свиты (Шендерович, Макаров, 1965).

На крыльях они перекрываются средневерхнеплейстоценовыми пролювиальными образованиями, которые, в свою очередь, погружаются под широкую наклонную аллювиально-пролювиально-озерную равнину позднеплейстоценового возраста. Таким образом, морфологическое выражение в рельефе антиклинали Бир-Баш получила лишь в позднечетвертичное время. Южное крыло антиклинали пологое и длинное, северное крыло более крутое и короткое. Его формирование осложнено активным разломом взбросовой кинематики (Шендерович, Макаров, 1965; Бачманов и др., 2017).



Наши палеосейсмологические исследования позволили выявить признаки активности этого разлома. Весь северный склон горы Бир-Баш представляет собой лестницу из уступов различной сохранности (рисунок 3.25., а). Некоторые из уступов маскируются зарослями колючего кустарника (рисунок 3.25., б). Видно, что на склоне могут присутствовать сегменты сближенных уступов (рисунок 3.25., в). Внутренняя структура одного из таких сегментов была изучена в траншее (рисунок 3.26.). Задокументирована восточная стенка траншеи (рисунок 3.26., б). В основании разреза залегает слой 1, представленный лессовидными суглинками видимой мощностью более 0.7 м. Целостность слоя нарушена взбросом P1, который падает на юг под углом 65–70°.

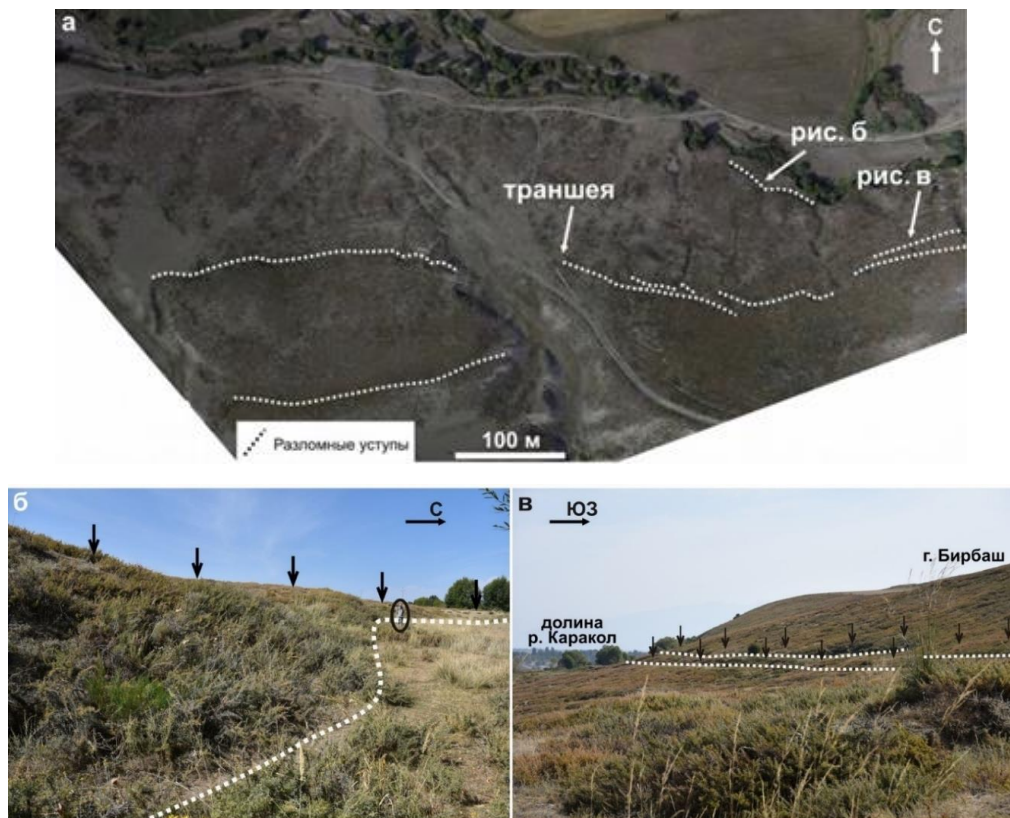


Рисунок 3.25. Проявление активной тектоники на северном склоне горы Бир-Баш: а – разломные уступы на северном склоне г. Бир-Баш. В качестве основы использована фотосъемка с квадрокоптера; б – нижний разломный уступ. Человек в овале для масштаба; в – сегменты двух сближенных разломных уступов. Высота уступов 1.5–2.5 м. Стрелками показаны бровки уступов, пунктирными линиями – их основания (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2020)

Амплитуда смещения кровли слоя 1 вдоль линии падения разлома – 0.5 м. Деформации срезаются и запечатываются слоем 2 – делювиальные пески с изолированной галькой и гравием. Наибольшую мощность слой 2 имеет непосредственно к северу от разломной плоскости F1 – 0.6 м. В слое 1 и 2 вложена линза слоя 3 мощностью 0.2 м. Она сложена песком с гравием и дресвой и представляет собой заполненное отложениями русло ирригационного канала (арыка I).

Судя по  $^{14}\text{C}$  возрасту образца палеопочвы (BRB-1), фрагмент которой присутствовал в основании слоя 2, –  $1936\pm 39$  лет (FMC-25-4), калиброванный возраст – 20–90 гг. н.э. Этот арык был прорыт усунями, потомками европеоидных саков (скифов). Слои 4–6 представляют собой эоловые отложения мощностью до 0.5 м, представленные лессовидными суглинками (слои 4 и 6) и песком (слой 5). В лессовидные суглинки слоя 4 вложена линза – слой 7 мощностью до 0.5 м. Она сложена супесью, местами гумусированной, насыщенной в базальной части гравийно-дресвяным материалом, и представляет собой заполненное отложениями русло ирригационного канала (арыка II). Слой 8 частично срезает или перекрывает подстилающие образования. Он сложен делювиальным разнозернистым песком, насыщенным дресвяно-гравийным материалом. Также присутствует мелкий щебень. В эту структуру погружены разнообразные по форме отторженцы лессовидных суглинков, которые представляют собой фрагменты подстилающих отложений. Размер наиболее крупного из таких отторженцев достигает в поперечнике 2.4 м. В отложения слоя 8 вложена линза (слой 9) мощностью до 0.7 м, сложенная супесью, местами гумусированной, насыщенной в базальной части гравийно-дресвяным материалом. По нашему мнению, она представляет собой заполненное отложениями русло очередного ирригационного канала (арыка III). Разрез траншеи венчается современной почвой (слой 10) мощностью до 0.6 м.

Описанный разрез имеет следующую палеосейсмологическую интерпретацию. В нем присутствуют следы двух палеоземлетрясений. Первому из них соответствует взброс F1 и коллювиальный клин – слой 2, образовавшийся при

эрозии висячего крыла разлома. Смещение в 0.5 м по линии падения разлома позволяет с использованием корреляционных зависимостей из (Wells, Coppersmith, 1994) оценить минимальную моментную магнитуду палеосейсмического события как:

$$M = 6,93 + 0,82 \log (0,25) = 6,4$$

Длина структуры составляет около 20 км, что позволяет вычислить магнитуду по формуле расчета по протяженности структуры вспарывания (Wells, Coppersmith, 1994):

$$M = 5 + 1,22 \log (20) = 6,6$$

Судя по возрасту образца палеопочвы из основания коллювиального клина, землетрясение произошло в I в. н.э.

Формирование эоловых отложений слоев 4–6 соответствует времени стабилизации разломного уступа. В качестве коллювиального клина очередной сейсмической подвижки, обновившей уступ, следует рассматривать отложения слоя 8. Сам сейсмогенный разрыв, видимо, находится несколько южнее и траншеей не вскрыт. Тем не менее, результат средневековой сейсмической подвижки хорошо выражен в рельефе. Образовавшийся во время второго землетрясения разломный уступ имеет высоту 1 м.

О возрасте второго землетрясения позволяют судить результаты датирования базальной части отложений, заполняющих арык III. По нашему мнению, после второго землетрясения и прекращения функционирования арыка II, сразу же был отрыт новый – арык III.  $^{14}\text{C}$  возраст отобранного здесь образца гумусированной супеси (BRB-5) дал возраст  $953 \pm 37$  лет (FTMC-25-7), калиброванный возраст 1080–1155 гг. н.э. Полученный возраст является минимальным для второго сейсмического события.

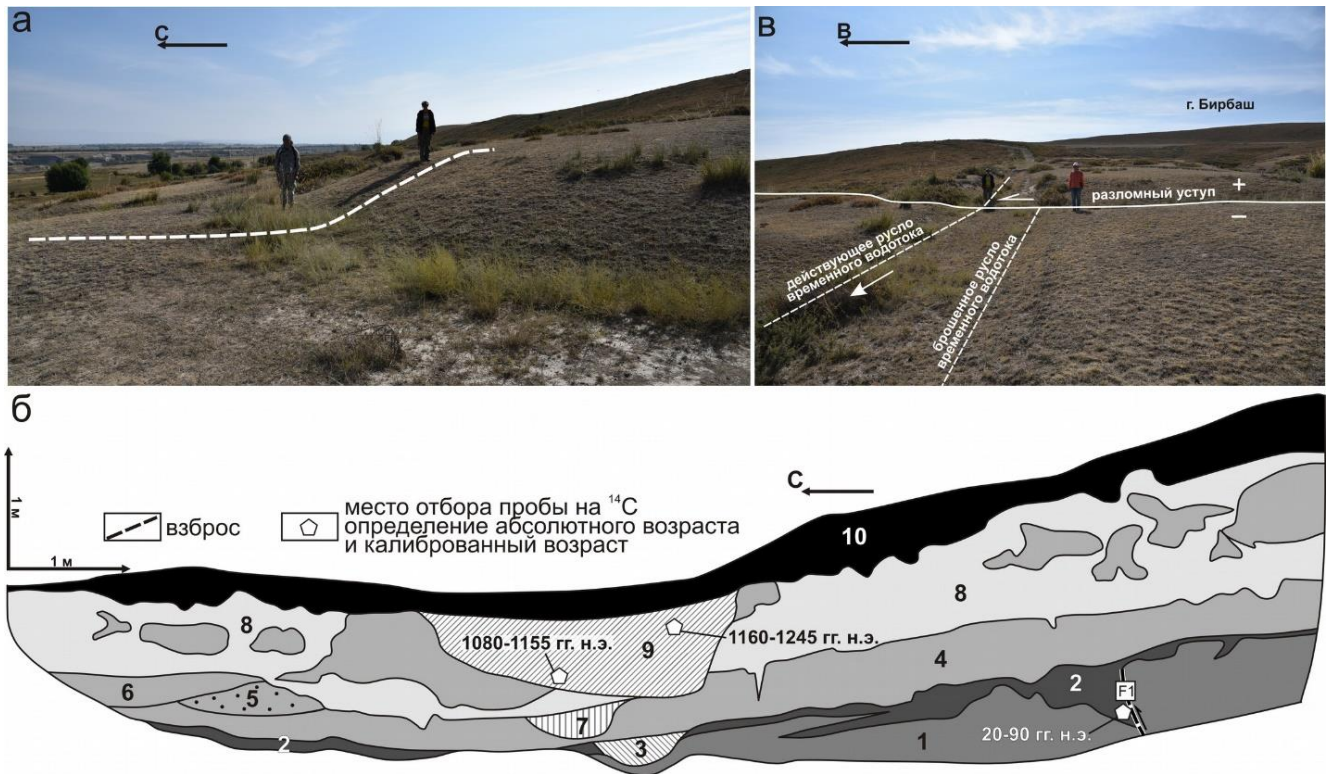


Рисунок 3.26. Исследование структуры разломных уступов на северном склоне горы Бир-Баш: а – фотография уступа в месте заложения траншеи (пунктирная линия). Люди стоят на его бровке и подножье; б – разрез восточной стенки траншеи. Цифрами обозначены номера слоев. Описание слоев см. в тексте; в – левосдвиговое смещение русла временного водотока вдоль разломного уступа (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2020)

На северном склоне горы Бир-Баш кроме первичных поверхностных разрывов палеоземлетрясений (разломных уступов) были обнаружены также сейсмогенные конволюции в озерных осадках – сейсмита (рисунок 3.27., а). Они возникли в результате эффекта разжижения при палеоземлетрясении в рыхлых водонасыщенных отложениях, представленными серыми субгоризонтально-параллельнослоистыми крупнозернистыми песками и светло-коричневыми глинами. Мощность пачки слоев, вовлеченных в деформацию, 75 см. Она находится в разрезе между аналогичными по составу недеформированными слоями. Морфологически сейсмита представлены складками, конволюционной слоистостью (рисунок 3.27., б), пламеневидными структурами и структурами



нагрузки (рисунок 3.27., в), псевдонодулями, представляющими собой отторженцы глин, погруженные в песок (рисунок 3.28.).

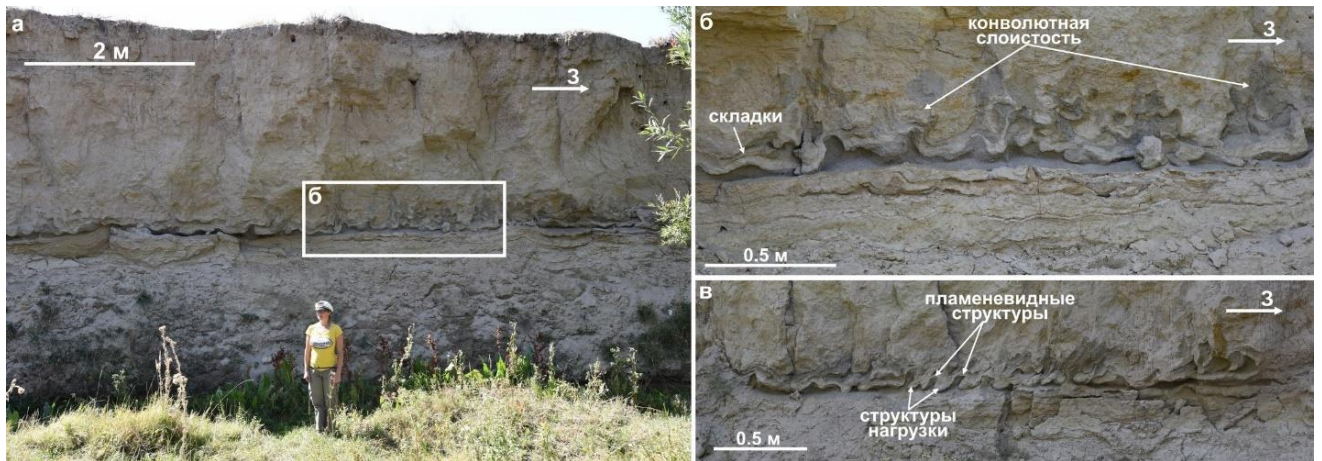


Рисунок 3.27. Сейсмиды в отложениях николаевской озерной террасы (QIII): а – общий вид обнажения; б – складки и конволютная слоистость; в – пламеневидные структуры и структуры нагрузки (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2020)



Рисунок 3.28. Разломный уступ к западу от антиклинали Бир-Баш: а – общий вид уступа. Вид на запад. Стрелками показана бровка уступа, пунктирной линией – его основание; б и в – вторичные сейсмогенные деформации в верхнеплейстоценовых отложениях, вскрытых в карьере в восточной части уступа: малоамплитудный взбросо-надвиг (б), малоамплитудный надвиг и отторженцы озерных глин, погружившиеся в галечники в процессе сейсмического разжижения (в). Пунктирными линиями показаны смещенные маркирующие поверхности (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2020)

В отсутствие определений возраста для отложений, вмещающих сейсмиды, их возраст приблизительно можно оценить по возрасту самой озерной николаевской террасы, в строении которой участвуют пески и глины. Отложения, слагающие террасу, которая прослеживается вокруг всего озера Иссык-Куль на высоте 1640 м, были датированы радиоуглеродным методом – 31.3–29.4 калиброванных тысяч лет (Алешинская и др., 1971), т.е. изученные сейсмиды имеют позднеплейстоценовый возраст. Магнитуды сейсмических событий, при которых возникали вторичные деформации, составляли не менее 5.0–5.5 (Parathanassiou et al., 2005).

### 3.2.3. Антиклинали Сухой Хребет, Ичкетосма и Тосма

К западу от Бир-Башской антиклинали протягивается субширотный уступ длиной в несколько километров и высотой до 25 м (рисунок 3.24., 3.28., а), который ошибочно может быть принят за частично размывтый озерный клиф. Однако это не так. Своим оформлением в рельефе уступ обязан сейсмическим подвижкам по активному разлому. Вторичные сейсмогенные деформации в отложениях, формирующих уступ, можно наблюдать в придорожном обнажении, которое находится в 550 м к юго-западу от устья р. Ирдык, впадающей в оз. Иссык-Куль. В нем вскрываются дельтовые серые гравийно-галечники, крупнозернистые пески и палевые глины (рисунок 3.28., б, в). Здесь видны малоамплитудные внутрислоевые взбросо-надвиги (с амплитудами смещений 20–40 см) и отторженцы озерных глин, погрузившиеся в галечники. Эти деформации свидетельствуют о сейсмогенном разжижении описываемых отложений при землетрясении с магнитудой, рассчитанной с использованием корреляционных зависимостей из (Wells, Coppersmith, 1994):

$$M = 6,93 + 0,82 \log(0,2) = 6,4$$

Учитывая высоту всячего крыла уступа – около 1640 м над ур.м., то есть уровень упоминавшейся уже ранее николаевской озерной террасы, возраст отложений, слагающих разломный уступ, должен быть тот же – конец позднего

плейстоцена. В непосредственной близости расположены ранее выявленные Ирдыкский и Пристаньский разрезы с позднеплейстоценовыми сейсмитами (Bowman et al., 2004a).

Основными притоками, приносящими максимальное количество воды в озеро Иссык-Куль, являются реки Тюп и Джергалан. Они текут, не соединяясь, десятки километров на запад, параллельно друг другу в восточной части котловины. Долины рек разделены широтно вытянутым поднятием, которое имеет протяженность около 70 км и с запада на восток включает в себя: ур. Сухой Хребет (максимальная отметка – г. Сарыдюбе, 1728.5 м), глубоко вдающийся в воды Иссык-Куля; горы Ичкетосма (1893.3 м) и Тосма (2378.3 м). С точки зрения геологического строения все эти горы представляют собой ассиметричные антиклинали с южным более длинным и пологим крылом и северным крутым коротким приразломным крылом. В поднятие вовлекаются четвертичные отложения, а в предвершинной части и на северных склонах гор Тосма – неогеновые отложения иссык-кульской свиты (Чабдаров и др., 1961; Шендерович, Макаров, 1965).

Разломы, осложняющие северные крылья антиклинальных складок хорошо идентифицируются в рельефе по наличию разломных уступов. Один из таких субширотных линейных уступов высотой до 15 м прослеживается по северному подножью Сухого Хребта (рисунок 3.29., а). Он возвышается над равниной, сложенной верхнеплейстоцен-голоценовыми озерными осадками (рисунок 3.29., б). На восточной окраине пос. Песчаный в стенке карьера, вскрывающего уступ (рисунок 3.29., б), видно субвертикальное падение средневерхнеплейстоценовых озерных глин (рисунок 3.29., в). Южнее основного уступа в рельефе выражен еще один разломный уступ, с которым связано формирование ассиметричной антиклинальной складки следующего порядка, которая нарушает сравнительно плоскую поверхность Сухого Хребта и имеет ту же асимметрию, что и основная антиклиналь. Помимо вертикальной составляющей смещений вдоль этого разломного уступа зафиксирована и сдвиговая компонента. Она идентифицируется по левостороннему смещению

русла временного водотока по отношению к апексу его пролювиального конуса выноса и достигает 16 м (Рисунок 3.29., д).

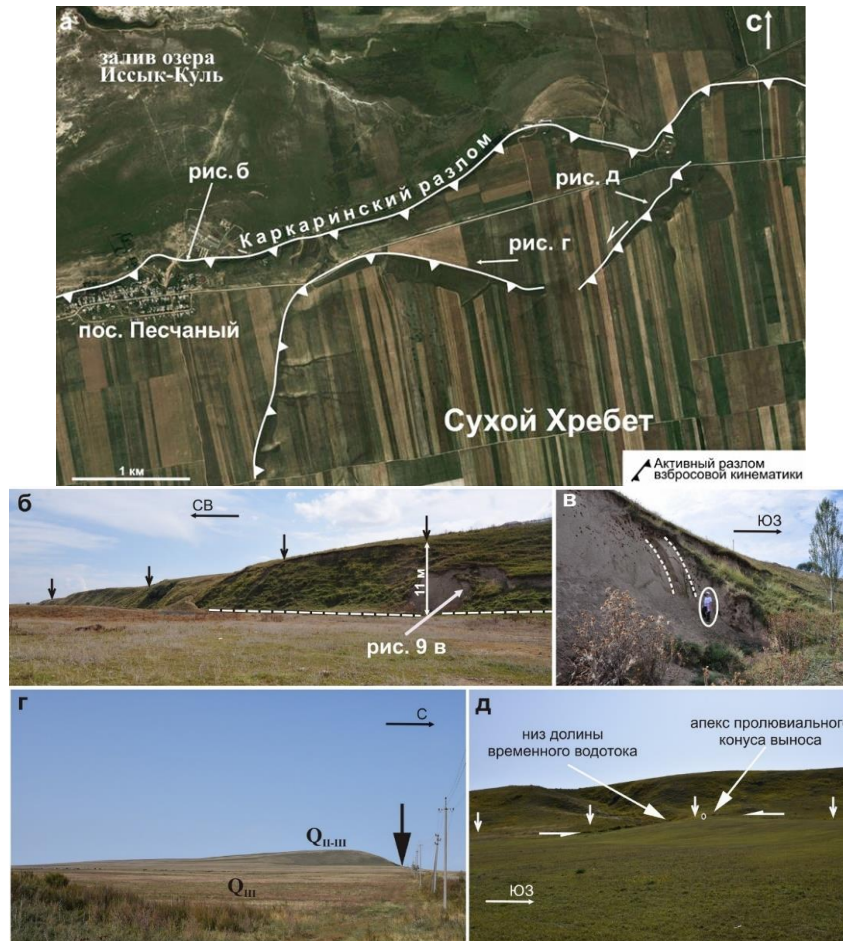


Рисунок 3.29. Проявление активной тектоники на северном склоне Сухого Хребта: а – сегменты Каркаринского разлома. В качестве основы использован космоснимок QuickBird; б – один из разломных уступов, образованный в результате подвижек по Каркаринскому разлому; в – субвертикальное падение средневерхнеплейстоценовых озерных глин, скрытых карьером к востоку от пос. Песчаный. Пунктирные линии подчеркивают положение поверхностей напластования; г – асимметричная антиклиналь второго порядка, осложняющая структуру антиклинали Сухой хребет. Стрелкой показано положение сегмента Каркаринского разлома; д – левостороннее смещение русла временного водотока относительно апекса его пролювиального конуса выноса. Стрелками показано положение активного разлома. В овале показан человек для масштаба (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2020)



Хорошо выражен в рельефе разломный уступ и у северного подножья гор Тосма (рисунок 3.30., а). В придорожном обнажении, вскрывающем уступ в 2.7 км к востоку от села Токтоян, видно надвигание глин иссык-кульской свиты на средне-верхплейстоценовые аллювиальные галечники реки Тюп (рисунок 3.30., б). В галечниках видны неокатанные фрагменты неогеновых глин до 1.8 м в поперечнике (рисунок 3.30., в), которые являются фрагментами разрушения под действием сил гравитации всяческого крыла надвига. С учетом перекрытия описанных слоев склоновыми делювиально-коллювиальными верхнеплейстоцен-голоценовыми образованиями можно констатировать, что надвиговые подвижки по разлому носят долговременный характер и происходили многократно.

Как и в случае с Сухим хребтом, на различных участках северного склона гор Тосма морфологически выражены серии уступов. К примеру, на (рисунке 3.30, г) можно увидеть три самостоятельных уступа. Наиболее молодой разломный уступ высотой 1 м хорошо фиксируется по вертикальному смещению тальвега долины временного водотока. Если предположить, что уступ возник в результате одной сейсмогенной подвижки, то магнитуда соответствующего землетрясения с использованием корреляционных зависимостей из (Wells, Coppersmith, 1994):

$$M = 6,93 + 0,82 \log(0,5) = 6,7$$

Для среднего и верхнего уступа по смещению элементов долины временного водотока и наличию загораживающего хребта отчетливо фиксируется левосдвиговая составляющая с амплитудой 2.5 м.





Рисунок 3.30. Элементы активной тектоники на северном крыле внутривпадинного поднятия Тосма: а – положение Каркаринского разлома. В качестве основы использован космоснимок QuickBird; б – надвигание неогеновых отложений иссык-кульской свиты на средневерхнеплейстоценовые аллювиальные галечники в придорожном обнажении в зоне Каркаринского разлома; в – отторженцы неогеновых озерных глин, погрузившиеся в средневерхнеплейстоценовые аллювиальные галечники в процессе сейсмического разжижения; г – серия разломных уступов в зоне Каркаринского разлома и их кинематика. Сплошные белые линии проведены по основанию уступов. Человек стоит на бровке нижнего уступа; д – Каркаринский разлом (показан белыми стрелками) сечет тело молодого оползня и более старого оползневого тела, на котором уже выработаны позднечетвертичные аллювиальные террасы (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2020)

### **Выводы**

1. Современные проявления активной тектоники и сейсмической активности на юге Иссык-Кульской впадины приурочены к предгорным (адырным) поднятиям.

2. Образование надвиговых сейсмоуступов в предгорьях (адырах) сопровождается формированием компенсационных грабенов в их тылу.

3. Формирование предгорных (адырных) структур на юге и юго-востоке Иссык-Кульской впадины связано с подвижками по магистральному Иссык-Кульскому разлому.

Таким образом, обосновывается **второе защищаемое положение**: очаги сильных палеоземлетрясений приурочены не только к магистральным глубинным разломам и ответвляющимся от них краевым разломам, но и к предгорным (адырным) разломам, которые в свою очередь ответвляются от краевых разломов.

## **Глава 4. Обсуждение полученных результатов: параметризация землетрясений на территории Иссык-Кульской впадины**

В данной главе обобщены материалы о параметрах исследованных землетрясений: месте, силе, времени палеосейсмического события.

### **4.1. Очаги древних землетрясений в северной части Иссык-Кульской впадины**

Выявленные в палеосейсмологических траншеях, а также в расчистках естественных обнажений плоскости сейсмогенерирующих разрывов (Arrowsmith et al., 2004, 2005, 2016; Korzhenkov et al., 2006; Абдрахматов и др., 2013; Деев, Корженков, 2016) не могут служить достаточным доказательством кинематики (угла наклона, направления и величины) сейсмогенных подвижек в очагах древних землетрясений, располагающихся (по данным современной инструментальной сейсмологии) на глубинах в первые десятки километров. К сожалению, имеющиеся геофизические материалы по территории Иссык-Кульской впадины и ее горного обрамления скудны и неоднозначны. Однако, используя наши знания по структурной геоморфологии региона, а также методы современной структурной геологии, можно попытаться промоделировать структуру сейсмогенерирующих разломов и на глубине. Такая попытка была успешно проведена молодым американским ученым – Джейкобом Сейландером (Selander, 2008). Этот исследователь со своим руководителем, проф. Майклом Оскиным (Mikhael Oskin), проводили исследования по северному флангу Иссык-Кульской котловины.

Геометрия разломов, ограничивающих Кунгейский хребет, может быть объяснена наличием круто падающих активных разломов в ядре хребта. Взбросы, ответственные за рост указанного хребта, имеют прямолинейное простирание в плане, особенно в области, близкой к сводам хребтов. Здесь разломы имеют сравнительно крутые падения близ поверхности. Основываясь на этих наблюдениях, Дж. Сейлендер (Selander, 2008) полагает, что Кунгейский хребет

может быть описан как «цветочная» структура с листрическими взбросами, которые выкручиваются с глубиной, сходясь в центральную Кемино-Чиликскую структурную зону. Используя модель Дж. Сейландера (Selander, 2008) был построен схематический разрез для Северного Приссыккуля (рисунок 4.1.).

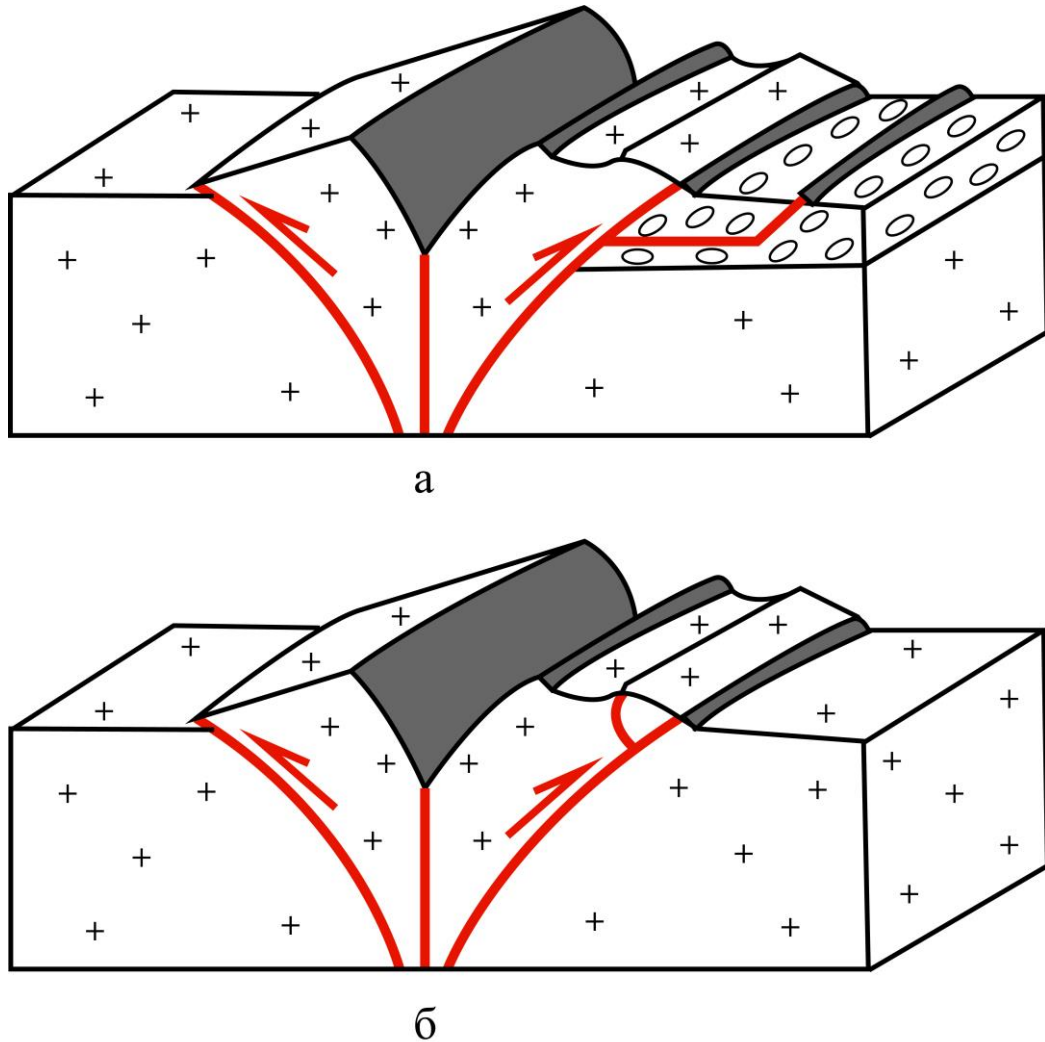


Рисунок 4.1. Схематическая блок-диаграмма формирования горных хребтов по типу «цветочная структура» с листрическими надвигами, сливающимися на глубине в зону магистрального сдвига (по (Selander, 2008)): а – вовлечение в расширяющееся поднятие прилегающих частей впадины; б – формирование обратных надвигов (поддвигов) (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2016)

#### **4.1.1. Приуроченность очагов сильных палеоземлетрясений к предгорным (адырным) разломам на примере зоны Культорского краевого активного разлома**

Приведены результаты исследований восточного окончания Культорского предгорного (адырного) разлома в Северном Прииссыккулье. Морфологически зона разлома представляет собой лестницу сейсмоуступов, созданных подвижками по нескольким сближенным разрывным плоскостям, пологопадающим под предгорья (адыры) на север. Во фронтальные – склоновые части сейсмоуступов попали, были повреждены и разрушены многочисленные археологические памятники сако-усуньского, тюркского и караханидского возраста. Документация палеосейсмологических траншей, пройденных вкrest простираения самых южных и самых молодых сейсмоуступов, позволила определить минимальный возраст, повторяемость и силу сильных исторических землетрясений. Латеральное меридиональное наращивание площади предгорий (адыров) происходит во время сильных землетрясений. Сильные палеоземлетрясения по изученному участку предгорного (адырного) разлома имели место в периоды: 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 землетрясений по разлому) составляет 200–600 лет. Полученные параметры сейсмоуступов были использованы для подсчетов магнитуды исторических сейсмических событий:  $M \sim 7$  по высотам изученных сейсмоуступов. При рассчитанных значениях магнитуд интенсивность сейсмических колебаний согласно шкале МСК-64 составляет  $I_0=9$  и более баллов. Подтверждаются ранние предположения о вовлечении в поднятие расположенных к югу участков Иссык-Кульской котловины.

#### **4.1.2. Возраст сейсмоуступов и магнитуда образовавших их землетрясений**

После документации стенок траншей, пройденных через самый южный из сейсмоуступов Культорского предгорного (адырного) разлома к востоку от реки



Чон-Аксуу, западнее села Кёк-Дёбе, мы приступили к поискам органических остатков, которые позволили бы нам датировать отложения, описанные в стенках горных выработок. К сожалению, массивный лёсс не содержит каких-либо органических остатков. С целью датирования нам пришлось отобрать значительное количество почвенного материала.

Наиболее информативной в этом смысле оказалась восточная траншея на участке между Культорским и Аксуйским разломами. Мы уже писали о карманах, образовавшихся позади зоны надвига. В один из таких карманов при землетрясении попало значительное количество современной (поверхностной) 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. таблица 4.1.). Возраст этой пробы совпадает с оценкой сильного палеоземлетрясения, выявленного ранее, следы которого были найдены в западной части зоны Культорского разлома (Корженков и др., 2016а).

В этой же стенке были отобраны две пробы на определение 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. таблица 4.1.). 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.

Западная траншея дает нам калиброванный возраст отложения черной палеопочвы 210–50 гг. до н.э. (FTMC-AR90-4). Выше черной почвы в лежащем крыле залегает 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 из этой траншеи, отобранная из красноватой палеопочвы, 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.

Итак, у нас имеются следующие радиоуглеродные датировки, которые могут быть минимальными возрастными палеоземлетрясений по Культорскому предгорному (адырному) разлому: 60–170 гг. н.э.; 530–620 гг. н.э.; 1160–1250 гг. н.э.; 1410–1460 гг. н.э.

Таблица 4.1. Радиоуглеродные датировки 2019 г. (группа FTMC-AMS Центра физических наук и технологии, Вильнюс, Литва). Калибровочная кривая согласно (BronkRamsey, 2001; BronkRamsey et al., 2010; Reimer et al., 2013). Программа для калибровки – OxCal 4.3 (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2020)

№	Полевой номер пробы	Лабораторный номер пробы	Изначальное содержание органики/LOI (%)	<sup>14</sup> C возраст, годы (BP)	Откалиброванный возраст (доверительный интервал 1σ, 68,2%)	Откалиброванный возраст (доверительный интервал 2σ, 95,4%)
1	KDB-1	FTMC-AR90-1	4,5	1890±39	60-170 AD (62,9%) 190-210 AD (5,2%)	20-230 AD (95,4%)
2	KDB-2	FTMC-AR90-2	5,9	472±46	1410-1460 AD (68,2%)	1320-1350 AD (3,8%) 1390-150 AD (89,8%) 1600-1620 AD (1,9%)
3	KDB-3	FTMC-AR90-3	4,4	1688±40	260-280 AD (7,4%) 320-410 AD (60,8%)	240-430 AD (95,4%)
4	GRG-1	FTMC-AR90-4	8,9	2117±49	210-50 BC (68,2%)	360-280 BC (13,2%) 240-1 BC (82,2%)
5	GRG-2	FTMC-AR90-5	5,6	837±38	1160-1250 AD (68,2%)	1050-1090 AD (5,3%) 1120-1270 AD (0,6%) 1150-1270 AD (89,5%)
6	GRG-3	FTMC-AR90-6	5,5	1495±39	530-620 AD (68,2%)	430-500 AD (15,2%) 520-650 AD (80,2%)

Временная разница между датами (повторяемость сильных землетрясений по разлому) составляет 200–600 лет. Эти данные хорошо согласуются с материалами по повторяемости сильных сейсмических событий по Аксуйскому краевому разлому (Корженков и др., 2018а), 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 возможны два объяснения:

а) органические остатки, которые могли быть использованы для датирования тех или иных землетрясений, сохранились в одной траншее, но уничтожены эрозионными агентами в другой;

б) траншеи прошли различные сегменты (участки) Культорского разлома, ведущие себя по-разному в тектоническом и сейсмологическом развитии геологической структуры. Тут также нет ничего удивительного: объединенная двухсоткилометровая зона Чилико-Кеминского и Аксуйского разломов, активизировавшихся во время землетрясения 1911 г. ( $M=8.2$ ,  $I_0=10-11$  баллов), по характеру своего структурного проявления была разделена на 14 участков (сегментов) (Arrowsmithetal., 2016).

Как исследования 2019 г., так и предыдущее изучение Культорского разлома (Корженков, 2000, 2006; Корженков и др., 2007, 2016а, 2018а) показывают, что он является сейсмоактивным практически на всем своем протяжении. Средняя высота уступа составляет 1,5 м, что позволяет, с использованием корреляционных зависимостей из (Wells, Coppersmith, 1994) рассчитать среднюю магнитуду землетрясения на исследуемом участке:

$$M = 6,93 + 0,82 \log(1,5) = 7,1$$

Длина структуры составляет около 150 км, что позволяет вычислить магнитуду по формуле расчета по протяженности структуры вспарывания (Wells, Coppersmith, 1994):

$$M = 5 + 1,22 \log(150) = 7,6$$

При рассчитанных значениях магнитуд интенсивность сейсмических колебаний согласно шкале МСК-64 может составлять  $I_0=9$  баллов и более.

#### **4.1.3. Сейсмическая опасность прибрежных территорий Иссык-Кульской котловины**

Исследован ряд археологических памятников в Северном Прииссыккулье (Тянь-Шань) в бассейнах рек Чет-Койсуу и Чон-Койсуу. Все памятники подверглись в прошлом значительным сейсмогенным повреждениям и разрушениям: кромлех (VII в. до н.э.–VIII в. н.э.) смещен по разлому левосдвигового типа; курган (VII–XIII вв.) деформирован во фронте сейсмоупругости

надвигового типа; крепость (XIV–XV вв.) погрузилась под воды оз. Иссык-Куль при катастрофическом опускании береговой полосы.

В ходе полевых исследований идентифицирована зона сейсмогенного разрыва, которая приурочена к Культорскому краевому разлому, разделяющему Иссык-Кульскую впадину и ее горное обрамление – хр. Кунгей-Ала-Тоо. Во время палеоземлетрясения образовался сейсмогенный уступ. Величина смещения по нему составила 1.6 м, что соответствует параметрам землетрясения с использованием корреляционных зависимостей из (Wells, Coppersmith, 1994):

$$M = 6,93 + 0,82 \log(1,6) = 7,1$$

и интенсивности колебаний  $I_0 \geq 9$  баллов. Судя по многочисленным радиоуглеродным датировкам затопленной древесины, использованной при постройке крепости (конец XIV – начало XV в.), землетрясение произошло в XVI в. и могло способствовать угасанию цивилизации монголов в Северном Прииссыккулье.

Смещение кромлеха – мегалитической каменной выкладки на берегу оз. Иссык-Куль – также можно датировать археологическими методами. Его строительство, скорее всего, было осуществлено саками (скифами), т.е. подвижка произошла не ранее VII в. до н.э. – времени прихода сакских племен в Иссык-Кульскую котловину.

Существование хорошо выраженного в рельефе уступа вдоль подножья активно поднимающегося горного фронта хр. Кунгей-Ала-Тоо может означать лишь одно – юность и сейсмическое происхождение названной структуры. Молодой возраст сеймотектонической формы рельефа подтверждается деформацией на его склоне тюрского-караханидского кургана – VII–XIII вв. (Зяблин, 1959). Таким образом, сейсмическое событие имело место не ранее чем в VII в., т.е. после погребального обряда.

Южнее, на исследуемом участке северного побережья Иссык-Куля прибрежная зона в результате серии землетрясений на несколько метров уходит под воду и погружение прибрежной зоны при землетрясении 1911 г.

Основываясь на литературных археологических данных, отметим, что П.П. Иванов (1957) совершенно справедливо заметил: опускание Змеиного полуострова было катастрофическим и произошло во время одного из сильных землетрясений. Он соглашается с В.В. Бартольдом (1897) и Л.С. Бергом (1904), которые указывали, что опускание дна было быстрым, поскольку жители не успели унести с собой многочисленную утварь и ценные вещи, находимые в настоящее время под водой и выбрасываемые иногда на берег. Под водой и на берегу находят также большое количество человеческих скелетов и костей.

В своей работе П.П. Иванов (1957) приводит материалы об опускании береговой полосы во время сильных землетрясений конца XIX–начала XX вв. Так, при Верненском землетрясении 1887 г. на северном берегу оз. Иссык-Куль, 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 в некоторых местах берег понизился и уменьшился, а уровень воды повысился (Зеланд, 1891; Бартольд, 1897; Берг, 1904; и др.).

В подтверждение вышесказанного следует особо остановиться на фактах значительных опусканий береговой зоны при сильном землетрясении начала XX в. Вот что пишут К.И. Богданович с соавт. (1914) о Кебинской катастрофе 1911 г. ( $M=7.9$ ,  $I_0=10-11$  баллов): «Берег Иссык-Куля около памятника Пржевальскому. Образовались трещины, по которым происходило оседание части берега и дна залива озера... В районе Корумды на берегу озера отмечены были опускания джерганака, т.е. зарослей облепихи, которыми покрыта краевая болотистая полоса... Мы попадаем в прославившуюся при этом землетрясении Сазановку, наполовину разрушенную; на восточном краю этого села начинаются уже трещины в поверхности, густою сетью покрывшие большую часть полей и лугов; сильные опускания берегов, смещения склонов оврагов: вздутия и т.п.; все эти явления усиливаются вплоть до Ойтала. Здесь произошли все те же опускания берега в несколько квадратных верст, провалы, ступенчатые оседания, масса трещин... По краям Тюпской губы (станция Николаевская)... удары шли с запада:



по берегам джерганак, заросли облепихи опустились под воду...». Приведены случаи опускания береговой полосы при удаленных землетрясениях.

Из всего вышесказанного следует, что опускание Змеиного полуострова под воду можно считать доказанным.

Мы уже указывали, что имеется значительное количество радиоуглеродных датировок, полученных по бревенчатым настилам на Змеином полуострове. Все датировки укладываются во временной интервал конец XIV–начало XV в. Таким образом, землетрясение произошло позднее. Литературные и архивные материалы по археологии Иссык-Кульской впадины (Иванов, 1957; Биосферная..., 2002) указывают на два периода заселения городов в котловине: X–XII и XIII–XIV (изредка до XV) вв. В XVII в. здесь побывали калмыки, а с XVIII в. начинается современная, киргизская история заселения этого края. «Немым» остается лишь XVI в. Эра монголов 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. Остается предполагать, что сильное землетрясение, произошедшее в конце XV или начале XVI в. (или их серия), полностью разрушило политическую, административную и военную структуру региона, что позволило племенам калмыков пройти через него, практически не встречая серьезного сопротивления со стороны местных жителей.

В Северном Прииссыккулье было проведено исследование и радиоуглеродное датирование низких аллювиальных террас р. Чон-Аксуу, разорванных во время Кебинского (Кеминского) землетрясения 1911 г. ( $M=8.2$ ,  $I_0=10-11$  баллов).

Полученные датировки относятся ко второй половине голоцена. За это время вдоль данного (Чон-Аксуского) сегмента Аксуйского краевого разлома произошло, по крайней мере, восемь сильных палеоземлетрясений. Три сейсмических события произошли во втором тысячелетии нашей эры, включая землетрясение 1911 г. Этому выплеску сейсмической энергии предшествовал двухтысячелетний период покоя. Последний наступил после еще одного полторатысячелетнего импульса сейсмической активизации из пяти сильных

палеоземлетрясений. Период повторяемости сейсмических событий во время активизаций – 300–600 лет. Следовательно, проявление сильных палеоземлетрясений вдоль Чон-Аксайского сегмента Аксайского краевого разлома во второй половине голоцена происходит в виде сейсмических активизаций – 1.0–1.5 тысяч лет, разделенных двухтысячелетним интервалом сейсмического затишья.

Таким образом, датировки разновозрастных речных террас, разорванных сейсмогенным разрывом, могут служить надежным источником информации о возрасте сильных землетрясений, произошедших вдоль сейсмогенерирующего разлома.

#### **4.2. Сейсмическая активность южных предгорных (адырных) разломов**

На южной территории процесс развития предгорий (адыров) более активен, чем на севере. Более того, у них есть особенность: предгорья (адыры) не распадаются в стороны по правилу Леукса, в стороны, а надвигаются в сторону осевой части хребта.

Исходя из результатов, проведенных палеосейсмологических и археосейсмологических исследований предгорья Дувана, а также на основе уже произведенных работ по Ала-Баш-Конур-Оленской впадины, в том числе и дешифрирования космических снимков, удалось выделить уступ протяженностью 54 километра по северному обрамлению Ала-Баш-Конур-Оленской впадине, сопровождаемый в отдельных местах ступенчатым компенсационным грабеном, образованным неизвестным сильным палео-землетрясением (Корженков и др., 2018; Деев и др. 2016).

На основе геоморфологического анализа, проведенного по результатам дешифрирования, были зафиксированы масштабные изменения рельефа. Из всех выделенных районов наиболее ярким и доступным оказался участок между южным подножием гор Дувана и реки Актерек. Там находится слабо обработанный эрозионными процессами участок компенсационного грабена «След дракона» (Корженков и др., 2018).

Вблизи данного объекта были проведены полевые исследовательские работы с использованием траншейных исследований, благодаря которому была обнаружена серия сейсмических событий, четко отраженная в стенках двух траншей, выкопанных поперек линии уступов.

Близ южного исследуемого участка, около побережья реки Актерек, были обнаружены и изучены древние деформированные сейсмоусупом захоронения калмакских воинов XVIII в.

Следующий возрастной показатель серии землетрясений содержится непосредственно в стенках траншей. Там были обнаружены захороненные под слоем осадков «палеопочвы», радиоуглеродный анализ которых показал, что существовало несколько последовательных сейсмических событий возрастами: (760–1020 гг.н.э.), (860–1155 гг.н.э.), (990–1185 гг.н.э.) и (1520–1595 гг.н.э.) в северной траншее, близ предгорья Дувана; возрастами (1270–1305 гг.н.э.), (1440–1515 гг.н.э.) и (1725–1785 гг.н.э.) в южной, прибрежной траншее (Корженков и др., 2018).

В дальнейшем, при продвижении ближе к подножью гор Дувана на космическом снимке были обнаружены некоторые трудно поддающиеся дешифрированию архитектурные сооружения. При полевых работах на обнаруженном участке был обнаружен храмовый комплекс площадью около 2 км<sup>2</sup>.

На северо-восточном участке были обнаружены смещения стен и частей башен на восток на 1–1,2 м с массовыми разрушениями, вплоть до разрушения основания стен.

В юго-восточной, центральной, центрально-южной и юго-западной частях также были обнаружены постройки, однако, ввиду активной деятельности по развитию сельского хозяйства в Киргизской ССР, данные археологические памятники были уничтожены в процессе работ по разравниванию территории, а оставшиеся фундаменты, со временем были занесены селевыми потоками, спускающимися с гор.

В северо-западной части комплекса было обнаружено большое количество сооружений, носящих ритуальный характер. Наибольший интерес на этом участке для нас представляли смещения фундаментов ритуальных, жилых и оборонительных построек. Так, смещения стены близ центральной части составляли 1,5 м на восток, а в месте пропеллерного разлома смещения с севера на юг составили до 2 м, с разворотом стены против часовой стрелки на 45–60°.

Ввиду того, что археологические памятники, когда-то находящиеся близко к южному, прибрежному сейсмоуступу, уничтожены и с трудом поддаются дешифровке, основной вывод о силе и интенсивности землетрясения сделан по северной части храмового комплекса. Если рассматривать смещение на 1,5 м (в центральной части храмового комплекса) как среднее вдоль сейсмоуступа, то, согласно (Wells, Coppersmith, 1994), имеем:

$$M = 6,93 + 0,82 \log(1,5) = 7$$

На территории северо-восточной части храмового комплекса высота сейсмического уступа достигает 2 м, что говорит о существенно больших значениях величины смещения плоскостей по вертикали, даже при условии 2–3 повторяющихся событий и формирования сейсмического уступа. Этот показатель обосновывает еще большее увеличение магнитуды исследуемого землетрясения.

Длина структуры составляет около 54 км, что позволяет вычислить магнитуду по формуле расчета по протяженности структуры вспарывания (Wells, Coppersmith, 1994):

$$M = 5 + 1,22 \log(54) = 7,1$$

Результаты аэрофотосъемки с дрона и составление профилей превышений высот позволили выявить прилежащие к исследуемому району аналогичные по размерам и структурно-геоморфологическому положению фрагментов сейсмоуступов к востоку и к западу от изученного. Судя по результатам дешифрирования и геоморфологическому анализу, они являются сегментами зоны первичных деформаций одного землетрясения.

Очевидно, что минимальная магнитуда более древнего землетрясения, сформировавшего сейсмоуступ, имеет сопоставимую величину. Значит, согласно шкале MSK-64, интенсивность землетрясений при такой магнитуде могла составлять  $I_0=9$  баллов.

### **4.3. Внутривпадинные поднятия восточного борта Иссык-Кульской котловины**

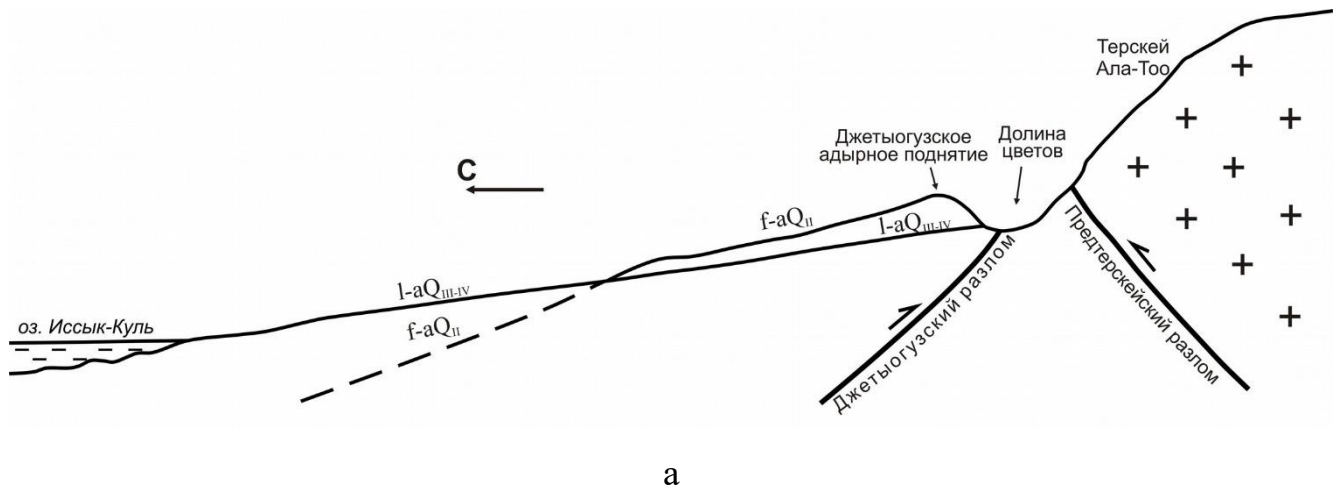
Имеется гряда внутривпадинных поднятий, происхождение которых до сегодняшнего времени были не ясны. И хотя эти поднятия находятся в центральной части впадины, существование Южно-Иссык-Кульского разлома объясняет и их. Они находятся в его фронте и являются свидетельством выхода зоны разлома на поверхность и очагов исторических и палеоземлетрясений.

Выше было описано строение внутривпадинных структур. Это надразломные антиклинальные асимметричные складки: Малая Оргоchorская, Оргоchorская, Бир-Башская, Сухой Хребет, Ичкетосма и Тосма, сформированные вследствие взбросовых подвижек по разломам. Эти взбросы обрывают крутые и короткие северные крылья складок и падают на юг. Южные крылья складок длинные, полого погружающиеся под наклонную равнину Восточного Приссыккулья, имеющую аллювиально-пролювиальный и озерный генезис.

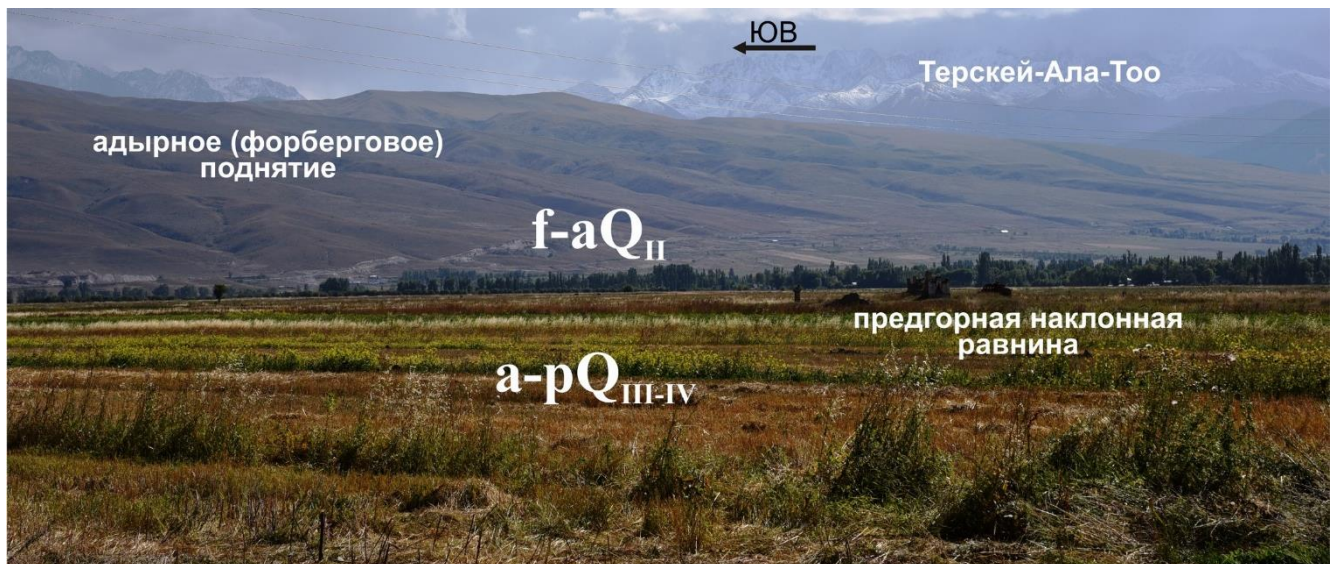
Краевой Предтерскейкий разлом взбросово-надвиговой кинематики с падением разломной плоскости на юг находится на южной границе кайнозойских отложений Иссык-Кульской впадины, в месте их контакта с палеозойскими породами хребта Терскей-Ала-Тоо (см. рисунок 1.1.). Севернее, перед фронтом хребта располагается система предгорных (адырных) поднятий. Северная граница поднятий с наклонной аллювиально-пролювиальной равниной, спускающейся к озеру, является «гвоздиком» так называемых стратиграфических и морфологических «ножниц» (рисунок 4.2., а, б). Здесь среднечетвертичные отложения предгорий (адыров) «погружаются» под верхнечетвертичные накопления наклонной равнины (Чедия и др., 1988).



Активные разломы ограничивают предгорные (адырные) поднятия с юга. Так, например, крутое и короткое южное крыло Джетыюгузского поднятия ограничено с юга одноименным взбросом, плоскость которого падет на север (рисунок 4.2., а, 4.3., а). В это же время на его северном длинном и пологом крыле видно сначала конформное налегания юрских отложений на доорогенный пенеплен, а затем (при продвижении на север) их согласное перекрытие палеоген-неогеновыми и четвертичными образованиями.



а



б

Рисунок 4.2. Морфологические и стратиграфические «ножницы» на северной границе предгорных (адырных) поднятий и пологой наклонной аллювиально-пролювиальной равнины: а – внемасштабная схема; б – вид от Оргочорского поднятия на юго-запад (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2020)

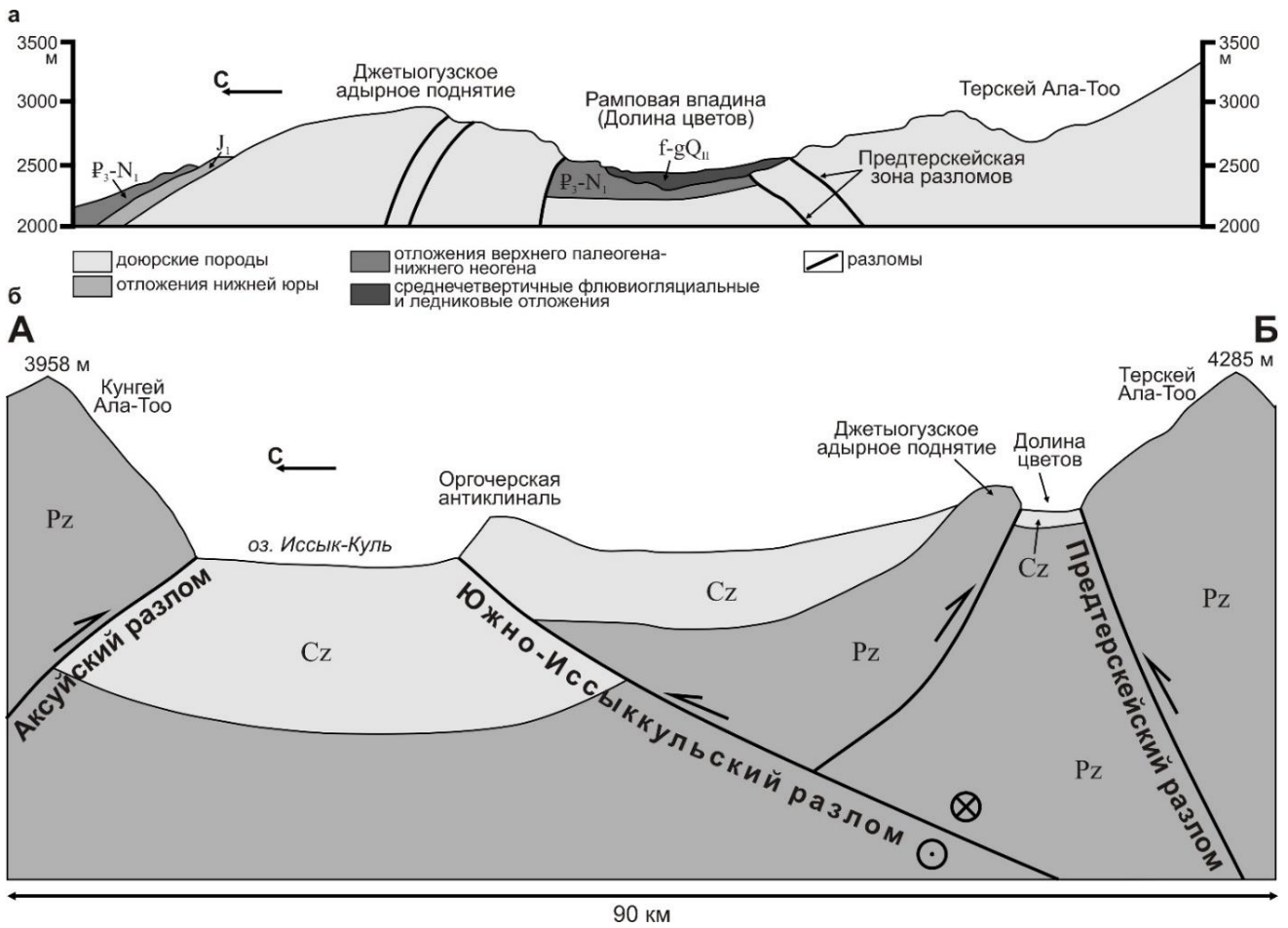


Рисунок 4.3. Формирование рамповой впадины («Долина цветов») при встречных движениях по разломам, ограничивающим с юга предгорное (адырное) Дзеты-Огузское поднятие и с севера хребет Терсей-Ала-Тоо (Предтерсейский разлом), по (Чедия и др., 1988) с изменениями и упрощениями (а). Внемасштабная модель, объясняющая формирование новейших структур Восточного Приссыккуля. Построена с учетом модели (Burgette, 2008) (б) (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2020)

Таким образом, возраст кайнозойских отложений к северу омолаживается, в этом же направлении более пологим становится и угол их наклона. К югу от Дзетыюгузского разлома, падающего к северу, проходит плоскость Предтерсейского краевого разлома, наклоненная на юг (рисунок 4.2., а, 4.3., а), в результате чего между этими дизъюнктивами образовалась небольшая внутригорная впадина рампового типа, выполненная четвертичными отложениями – так называемая «Долина цветов». Подобная ситуация характерна

и для других районов южного Прииссыккуля (Чедия, 1986; Корженков и др., 2014, 2018а, 2019; Деев и др., 2016; Korzhenkov, Deev, 2017).

Для объяснения этого феномена в работах (Burgette, 2008; Macaulay et al., 2014) была рассмотрена модель структуры южной части Иссык-Кульской впадины, согласно которой левосдвиговые движения вдоль Центрально-Терской разлома генерируют «цветочную структуру» хребта Терской-Ала-Тоо (рисунок 4.1.). Исходя из этой модели, R.J. Burgette (2008) объяснил парадокс развития предгорных (адырных) поднятий существованием помимо Предтерской разлома еще одного разлома взбросов-надвиговой кинематики с южным падением разломной плоскости, проходящего вдоль южного побережья озера Иссык-Куль (этот разлом был ошибочно назван R.J. Burgette Предтерской). Корженков А.М. и Деев Е.В. предлагают для этого разлома придерживаться названия Южно-Иссык-Кульский (Korzhenkov, Deev, 2017) (рисунок 4.3., б). Оперяющие к Южно-Иссык-Кульскому разлому взбросы с северным падением, по мнению R.J. Burgette (2008), отвечают за формирование предгорий (адыров) и возникновение между ними и надвигающимся к северу по Предтерской разлому хребтом Терской-Ала-Тоо мелких рамповых и полурамповых впадин. Наконец, с этими предгорными (адырными) разломами второго порядка в Южном Прииссыккуле связаны очаговые области землетрясений с возрастом 7.3–8.4 тыс. лет ( $M=6.5-6.9$ ), 4.3–2.7 тыс. лет ( $M \geq 7.0$ ), произошедших в XI–XII вв. н.э. ( $M=6.9-7.3$ ), в XV–XVI вв. н.э. ( $M=6.6-7.2$ ), в XVIII в. н.э. ( $M \geq 7.0$ ) (Корженков и др., 2014, 2016б, 2019; Деев и др., 2016; Деев, 2019; Korzhenkov, Deev, 2017).

В модели R.J. Burgette (2008) Южно-Иссык-Кульский разлом после выхода со дна Иссык-Куля на сушу в восточном направлении повторяет северный контур неогеновых отложений – предгорий (адыров) хребта Терской-Ала-Тоо. Однако, как было показано выше, дизъюнктивная граница с северного края предгорий (адыров) отсутствует. С учетом вновь полученных структурно-геоморфологических данных мы предлагаем в качестве восточного продолжения Южно-Иссык-Кульского разлома рассматривать активные разломы

на северных крыльях внутривпадинных антиклинальных структур: Малый Оргочер, Оргочер, Бир-Баш и, частично, Тосма. Палеосейсмологические исследования на северном крыле антиклинали Бир-Баш показали, что кроме взбросовой компоненты движения для Южно-Иссык-Кульского разлома характерны современные левосдвиговые смещения.

В районе антиклинали Тосма – Южно-Иссык-Кульский разлом сочленяется с субширотным активным разломом, который к западу протягивается до северного склона поднятия Сухой Хребет и уходит под воды Иссык-Куля (рисунок 1.1.). Кинематически этот разлом представляет собой взброс, плоскость которого также имеет южное падение. Рассматриваемый разлом является западным сегментом Каркаринского разлома, который на территории юго-восточной части Казахстана примыкает к Предтерской разлому (Бачманов и др., 2017; Mackenzie et al., 2018). В пределах Казахстана восточная часть разлома является активной структурой в позднечетвертичное время. В пределах северных склонов гор Тосма и Сухого хребта установлено, что для Каркаринского разлома кроме вертикальной, имеется еще и горизонтальная компонента позднечетвертичных перемещений – левый сдвиг.

Из приведенной на рисунке 1.1 конфигурации Южно-Иссык-Кульского и Каркаринского разломов и установленных их кинематических характеристик следует еще один важный вывод о неотектонической эволюции Иссык-Кульской впадины. На основе термохронологических данных ранее было установлено, что в режиме общего горизонтального субмеридионального сжатия рост хребта Терской-Ала-Тоо начался намного раньше (поздний олигоцен, около 25 млн лет назад) по сравнению с хребтом Кунгей-Ала-Тоо (ранний плиоцен, около 5 млн лет назад) (Macauley et al., 2014). Видимо, это послужило причиной того, что фронт «южных» взбросовых деформаций в восточной части впадины достиг северного побережья Иссык-Куля, т.е. взбросы с южным падением плоскостей практически распространились здесь на весь бассейн седиментации.

Необходимо еще раз отметить совершенно отчетливые признаки сильной позднечетвертичной и современной сейсмической активности на северных крыльях исследованных внутривпадинных поднятий. Вдоль сегментов Южно-Иссык-Кульского и Каракаринского разломов выявлены разломные уступы – поверхностные разрывы сильных палеоземлетрясений с  $M \geq 7$ . Процессы сейсмического разжижения с вовлечением аллювиальных галечников также характерны для землетрясений с такими магнитудами. Полученные датировки при траншейных исследованиях разломного уступа на северном крыле антиклинали Бир-Баш говорят о том, что сильные исторические землетрясения, связанные с Южно-Иссык-Кульским разломом, произошли около I и X–XI вв. н.э. Таким образом, этот разлом может генерировать сильные землетрясения с  $M \geq 7$  как минимум раз в тысячу лет.

В настоящее время, на «Карте сейсмического районирования территории Кыргызской Республики» (Абдрахматов и др., 2012) внутривпадинная часть Восточного Прииссыккуля относится к восьмибалльной зоне. Обнаруженные первичные и вторичные сейсмогенные деформации возникали при землетрясениях с магнитудой  $M \geq 7$  и интенсивностью  $I_0 \geq 9$  баллов.

#### **4.4. Кластерное высвобождение сейсмической активности вдоль активных разломов**

Рассмотренные во второй главе материалы показывают, что сильные землетрясения – постоянные явления вдоль зоны Аксуйского краевого разлома. За последнее тысячелетие один раз в несколько сот лет (400–600) происходило новое вспарывание вдоль разломной плоскости. Однако еще ранее, в первом тысячелетии нашей эры и в первом тысячелетии до нашей эры, следы сильных землетрясений по нашим данным и данным других исследований не фиксируются. Нас не должна вводить в заблуждение датировка СОАН-5803 (405–355 гг. до нашей эры), полученная из нижней части современной почвы из шурфа № 10 в лежащем крыле разлома. Ничего близкого не имеется во вздернутом



крыле, где информация о прошедших сильных сейсмических событиях сохраняется лучше.

Таким образом, единичная датировка СОАН-5803, по-видимому, характеризует эпизод сильного паводка по реке Чон-Аксуу или значительного делювиального смыва с южного склона Культурской мегантиклинали.

Свидетельством этого предположения является датировка СОАН-5796 (1060–915 гг. до н.э.), полученная из пробы, отобранной внизу современной почвы в шурфе № 1, пройденном во вздернутом крыле разлома. Возраст этого сейсмического события подтверждается также двумя датировками, полученными Е.В. Деевым и А.М. Корженковым (2016) в палеосейсмологической траншее, пройденной через разломную зону выше первого (нижнего) озера: Уз-2547 (калиброванный возраст 825–925 гг. до н.э.) и Уз-2548 (калиброванный возраст 735–915 гг. до н.э.). Таким образом, это землетрясение произошло, по-видимому, в конце IX–начале X вв. до н.э.

Следующее, более древнее по возрасту сильное землетрясение произошло по данному сегменту Аксуйского краевого разлома два тысячелетия ранее.

Предыдущее сейсмическое событие, по-видимому, имело место в конце XIII–начале XIV вв. до н.э. Этот возраст определяется по датировке СОАН-5798 (калиброванный возраст 1445–1260 гг. до н.э.) из пробы, которая была отобрана в погребенной почве в шурфе № 1 во вздернутом крыле разлома. Эта датировка находится в соответствии с возрастом пробы Рог-66569 (калиброванный возраст 1235–1295 гг. до н.э.), полученным Е.В. Деевым и А.М. Корженковым (2016) в палеосейсмологической траншее, пройденной ими выше первого (нижнего) озера, подпруженного сейсмоуступом 1911 г. Более молодой возраст пробы СОАН-5802 (калиброванный возраст 1135–1075 гг. до н.э.), отобранный в погребенной почве в шурфе № 9 в лежащем крыле разлома.

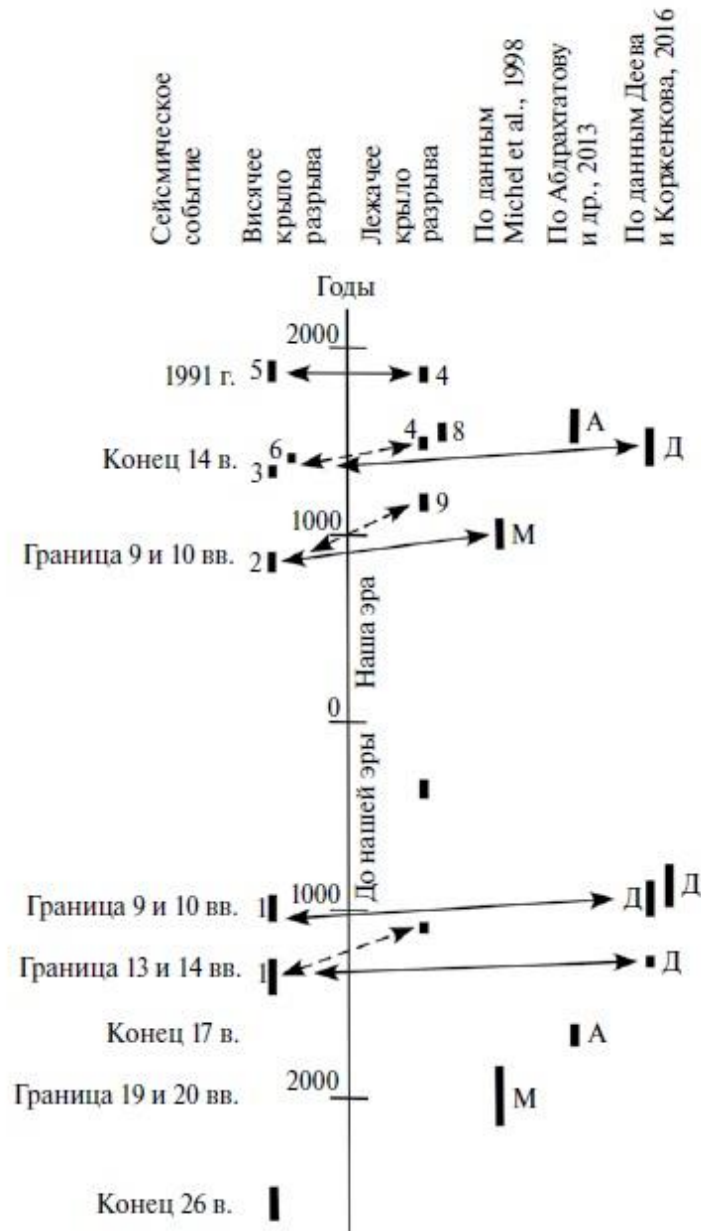


Рисунок 4.4. Схематическая корреляция радиоуглеродных датировок, полученных в зоне Чон-Аксуйского сейсмоуступа (цифровые обозначения 1–10), а также данные Г. Михеля и В. Михайлева (обозначение М – из книги [Korjenkov et al., 2006]); (обозначение А – из [К.Е. Абдрахматова и др., статьи 2013]); (обозначение Д – из [Е.В. Деева и А.М. Корженкова, статьи 2016]). (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

Хотя в наших шурфах ниже имеется значительный возрастной перерыв, нельзя не упомянуть описание траншеи и полученную датировку 1739–1611 гг. до н.э. (калиброванный возраст), полученную в работе (Абдрахматов и др., 2013) в

палеосейсмологической траншее, пройденной близ второго (верхнего) подпруженного озера. Она позволила оценить длительность интервала без сильных землетрясений. вдоль Чон-Аксайского сегмента Аксайского краевого разлома примерно в 6000 лет. Имеется еще датировка Г. Михеля и В. Михайлева (Korzhenkovet al., 2006) – 2160–1830 гг. до н.э. (калиброванный возраст). Она была получена из пробы, отобранной ими в палеосейсмологической траншее через Чон-Аксайский сейсмоуступ, пройденной ниже первого (нижнего) подпруженного озера. Средний возраст этой датировки показывает, что в конце XIX– начале XX вв. до. н.э. произошло еще одно сильное землетрясение вдоль описываемого сегмента сейсмоактивной зоны.

И, наконец, проба СОАН-5797 (калиброванный возраст 2675–2470 гг. до н.э. – в среднем в конце XVI в. до н.э.), полученная из погребенной почвы в шурфе № 1 во вздернутом крыле разлома, является датой самого древнего сильного землетрясения, произошедшего во второй половине голоцена вдоль Аксайского краевого разлома. Таким образом, двухтысячелетний период спокойствия вдоль Аксайского разлома предшествовал периодом высвобождения сейсмической энергии на протяжении еще 1.5 тысяч лет. Выплески сейсмической энергии шли с интервалами в несколько веков (300–600 лет) (рисунок 4.4.).

#### **4.5. Недооцененная сейсмическая опасность на юге и востоке Иссык-Кульской впадины**

##### **4.5.1. Юго-западная часть Иссык-Кульской котловины**

Принято считать, что формирование неотектонической структуры Прииссыккуля как части Тянь-Шаньского внутриконтинентального орогена обусловлено коллизионным взаимодействием Индийской и Евразийской литосферных плит. Начало, согласно термохронологическим и геологическим данным, было положено в позднем олигоцене (Шульц, 1948; Чедия, 1986; Трифонов и др., 2008; Glorie et al., 2010, 2011; Буртман, 2012; DeGraveetal., 2013; Mascalayetal., 2013, 2014).

Другая модель предполагает, что наращивание коры снизу (либо как следствие пододвигания, либо за счет вылавок из мантийных плюмов) также по изостатическим причинам приводит к образованию гор. Для решения задачи используются два метода определения величины сокращения. Первый использует в качестве исходного материала мощность коры, и сокращение вычисляется как функция ее увеличения относительно исходной «платформенной». В отличие от известных схем используемые в алгоритме расчетов геометрические характеристики амплитуд неотектонических движений позволяют определить направление максимального сокращения и соотношение между максимальным и минимальным сокращениями. Использовалась база данных по глубинам Мохо и амплитуд неотектонических движений для Тянь-Шаня. Субмеридиональное сокращение для Тянь-Шаня составило от 12% до 25%. Второй метод является модификацией обычных вычислений по складчатым и разрывным деформациям поверхностей выравнивания. Полученные величины сокращения составили для Тянь-Шаня 4–12% в среднем, для Афгано-Таджикской депрессии – от 35% до 60%, для Памира – менее 1%, для Алтая, Саян и Монголии – растяжение и сокращение 0,1–1,2%. Анализ регрессии парных значений сокращения показал, что отсутствию сокращения по деформациям поверхностей выравнивания соответствует увеличение мощности коры на 7 км в среднем по всему Тянь-Шаню. Это интерпретируется как свидетельство существования на Тянь-Шане комбинации двух процессов горообразования – горизонтального укорочения и наращивания коры снизу. Таким образом, одной из причин горообразования для Тянь-Шаня является давление со стороны Памира и Тарима, распространяющееся на 300–400 км к северу от границы с ними (Яковлев, Юнга 2001).

Поднятие земной коры резко ускорилось за последние 2–3 млн лет. С этого момента происходит систематическое усложнение орографии региона, а формирование высокогорного рельефа Прииссыккуля подходит к концу. Это отчетливо проявляется в увеличении скоростей эрозионного врезания, а также разрастании хребтов за счет впадин и погрубением новейшей молассы (Шульц,

1948; Чедия, 1986; Трифонов и др., 2008; Буртман, 2012). Формирование молодого горного рельефа в условиях общего субмеридионального сжатия происходило при активном развитии субширотных левосторонних сдвигов. Формировавшиеся в режиме транспрессии горные хребты представлены в виде цветочных структур, а расположенные между ними впадины с одной или двух сторон ограничены взбросами и надвигами и имеют тенденцию к сокращению (Чедия, 1986; Buslovetal., 2003; Burgette, 2008; Selanderetal., 2012).

Ала-Баш-Конур-Оленская впадина расположена в 15 км к югу от оз. Иссык-Куль и вытянута в субширотном направлении на 34 км при ширине до 7.5 км. Самые низкие участки впадины находятся на абсолютных отметках 2000 м. С юга долина ограничена хр. Терскей-Ала-Тоо с максимальными высотами до 5200 м, с севера – серией предгорных (адырных) поднятий (горы Тегерек, Кокон-Адыр, Ак-Бакшы) с высотами, достигающими 2500–3000 м.

Согласно модели, предложенной в работе (Burgette, 2008) (рисунок 4.5.), обрамляющие с юга и севера хребты надвигаются на впадину по взбросам, однако в работе (Delvaux et al., 2013) указано на наличие только северного взбросового ограничения впадины. Начало вертикального воздымания предгорных (адырных) поднятий по Кокон-Адыр-Тегерекскому взбросу датируется началом квартала (Корженков, 1987; Korjenkov et al., 2006).

Интенсивность вертикальных движений по взбросу, сместитель которого падает в северном направлении, и формирование предгорных (адырных) хребтов составляют 0,4 м за событие. На это указывают antecedentные участки долин Ак-Терека и Кель-Тера в местах пересечения реками предгорных (адырных) поднятий. Западнее Ак-Терека расположена сквозная долина – это оставленный при поднятии хребта antecedentный участок палеодолины Ак-Терека (современный перевал Дувана), где фиксируются следы среднеплейстоценовой речной аккумуляции (Макаров, 1977; Korjenkov et al., 2006b).



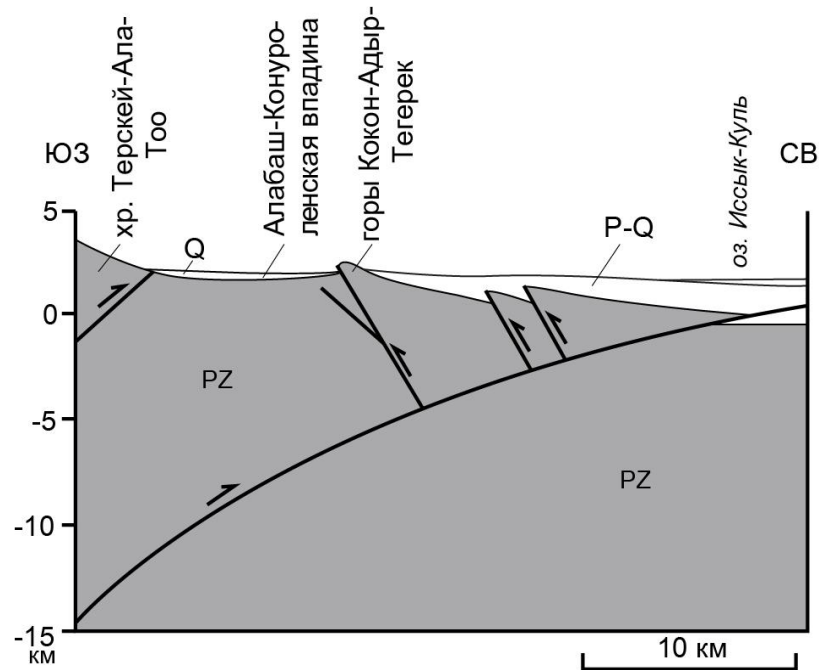


Рисунок 4.5. Модель неотектонической структуры Южного Прииссыккуля по (Burgette, 2008) с изменениями (А.А. Стрельников, А.М. Корженков 2020)

Предгорные ландшафты, стремящиеся к поднятию, способствовали формированию во впадине голоценового тектонически-подпрудного озера, отложения которого широко распространены в ее северной части (Геологическая карта..., 1968). Данный процесс продолжается и в настоящее время, что приводит к заболачиванию многочисленных площадей в горной долине. Широко разливающейся дельтой р. Конур-Олен впадина фактически разделяется на западную (Ала-Башскую) и восточную (Конур-Оленскую) части (рисунок 4.6.).

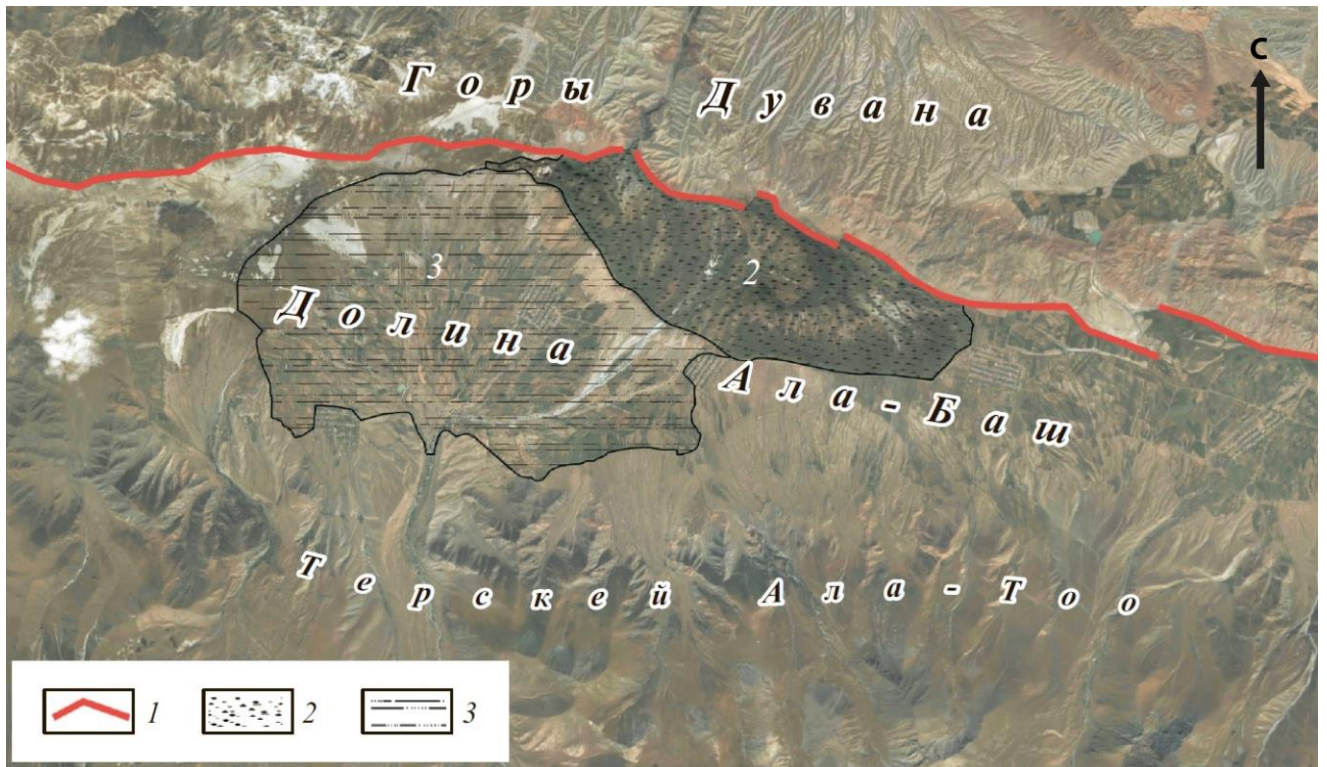


Рисунок 4.6. Карта-схема внутригорной долины впадины Ала-Баш. 1 – Коконадыр-Тегерекский предгорный (адырный) разлом; 2 – заболоченные (подпруженные) территории; 3 – дельта р. Конур-Олёнг (А.А. Стрельников, А.М. Корженков 2020)

#### 4.5.2. Восточная часть Иссyk-Кульской котловины

Были изучены внутривпадинные поднятия на востоке Иссyk-Кульской котловины, в частности, районы Каркаринского и Южно-Иссyk-Кульского разломов. Анализ их структуры и сейсмотектонического положения позволил нам выявить следующие характеристики:

1) Поднятия представляют собой приразломные антиклинальные ассиметричные складки, в пределах которых в деформации вовлечены неогеновые и четвертичные отложения. Ассиметрия складок выражена в наличии у них пологих и протяженных южных крыльев и более коротких, и крутых – северных.

2) Осложняющие северные крылья складок разломы являются сегментами Южно-Иссyk-Кульского и Каркаринского разломов взбросовой кинематики, активных в позднечетвертичное время. Помимо вертикальной

компоненты движений для обоих разломов установлена левосторонняя компонента горизонтального смещения.

3) Пространственное положение и кинематика Южно-Иссык-Кульского и Каркаринского разломов указывает на то, что фронт деформаций от хребта Терсей-Ала-Тоо распространился с олигоцена по голоцен практически на все осадочное выполнение восточной части Иссык-Кульской впадины.

4) Многочисленные разломные уступы и сейсмичиты, обнаруженные вдоль сегментов Южно-Иссык-Кульского и Каркаринского разломов, указывают на то, что в позднем плейстоцене и голоцене здесь неоднократно происходили сейсмические подвижки с  $M \sim 7$ ,  $I_0 \sim 9$  баллов. Землетрясения с такими параметрами, связанные с Южно-Иссык-Кульским разломом, произошли около I и X–XI вв. н.э., т.е. они повторились через тысячу лет.

Новые данные по сейсмотектонике и палеосейсмичности региона позволяют скорректировать оценку сейсмического потенциала восточной части Иссык-Кульской впадины в сторону увеличения возможной интенсивности (рисунок 4.7.)

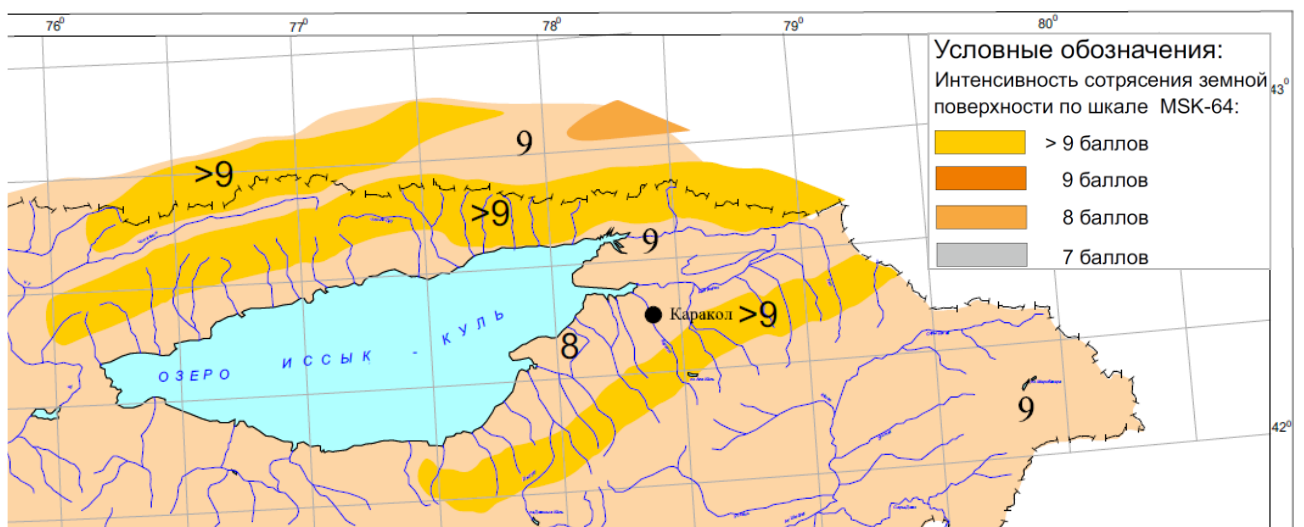


Рисунок 4.7. Фрагмент «Карты интенсивности сотрясений земной поверхности в баллах при вероятных максимальных землетрясениях на территории Кыргызстана», 2018 г. (по [Абдрахматов и др., 2018]) с изменениями

## Выводы

1. Современная сильная сейсмическая активность Иссык-Кульской впадины периодов голоцена и позднего плейстоцена сосредоточена вдоль предгорных (адырных) разломов.

2. Горное обрамление Иссык-Кульской впадины (хребты Кунгей-Ала-Тоо и Терской-Ала-Тоо) развиваются по типу «цветочной структуры» (flowerstructure), обусловленной крупными региональными сдвигами, проходящими в осевых частях хребтов.

3. Высвобождение сейсмической энергии вдоль предгорных (адырных) разломов имеет кластерный характер. Периоды сейсмической активизации (3–5 сильных землетрясений за 1000–1500 лет) чередуются с периодами затишья в несколько тысяч лет (2000 лет).

4. Расчитанные магнитуды сильных палео- и исторических землетрясений, произошедших вдоль предгорных (адырных) разломов, однозначно свидетельствуют о недооцененной сейсмической опасности юга и востока Иссык-Кульской впадины.

Таким образом, обосновывается **третье защищаемое положение**: Предгорные (адырные) разломы южной и восточной части Иссык-Кульской впадины генерируют сильные землетрясения магнитудой  $M \geq 7$  и возможной интенсивностью  $I_0 = 9$  и выше баллов.

## Заключение

Проведенные палеосейсмологические и археосейсмологические исследования на ключевых участках Иссык-Кульской впадины и её горного обрамления свидетельствуют о том, что современная сильная сейсмическая активность Иссык-Кульской впадины периодов голоцена и позднего плейстоцена приурочена к предгорным (адырным) разломам. Очаги сильных голоценовых землетрясений выходят на земную поверхность в виде надвиговых (на севере впадины) и поддвиговых (на юге) сейсмоуступов. Важной особенностью проявления сильной сейсмической активности в предгорьях (адырах) является образование компенсационных грабенов в тылу надвиговых сейсмоуступов.

Горное обрамление Иссык-Кульской впадины (хребты Кунгей-Ала-Тоо и Терской-Ала-Тоо) развиваются по типу «цветочной структуры» (flowerstructure), обусловленной крупными региональными сдвигами, проходящими в осевых частях хребтов. При этом предгорья (адыры) юга и юго-востока Иссык-Кульской впадины развиваются по правилу поддвигов, являющихся опережающими разломами для регионального Южно-Иссык-Кульского пологого надвига, – главной предгорной (адырной) разломной плоскости.

Высвобождение сейсмической энергии вдоль предгорных (адырных) разломов имеет кластерный характер. Наши исследования на Чон-Аксуйском сегменте Аксуйского краевого разлома показали, что периоды сейсмической активизации (3 сильных землетрясения за 1000 лет и 5 сейсмических катастроф за 1500 лет) чередуются с периодами затишья в несколько тысяч лет (2000 лет).

Расчитанные по эмпирическим формулам магнитуды сильных палео- и исторических землетрясений, произошедших вдоль предгорных (адырных) разломов, однозначно свидетельствуют о недооцененной сейсмической опасности юга и востока Иссык-Кульской впадины на карте ДСР-2011 года. При составлении будущей карты детального сейсмического районирования Иссык-Кульской впадины полученные материалы могут быть учтены.



## Список литературы

### Статьи на русском языке

Абдрахматов К.Е. Сейсмическая опасность и безопасность Кыргызского участка железнодорожной магистрали Китай–Кыргызстан–Узбекистан / Абдрахматов К.Е., М. Омуралиев. // Известия НАН КР. Сейсмология. 2013. № 3. С. 44-49.

Абдрахматов К.Е. Временная кластеризация сильных землетрясений Северного Тянь-Шаня / Абдрахматов К.Е., Стром А.Л., Дельво Д., Хавенит Х.В., Виттори Е. // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2013. № 1. С. 3-9.

Абдрахматов К.Е. Происхождение, направление и скорость современного сжатия Центрального Тянь-Шаня (Киргизия) / Абдрахматов К.Е., Уэлдон Р., Томпсон С., Бурбанк Д., Рубин Ч., Миллер М., Молнар П. // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 10. С. 1585–1609.

Абдыраева Б.С. Землетрясения 20 сентября 2013 года ( $M_{pV} = 5.2$ ) в юго-западной части Иссык-Кульской впадины, Кыргызстан / Абдыраева Б.С., Муралиев А.М., Малдыбаева М.Б., Жолбулакова А.Т. // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2014. № 3. С. 19–23.

Абдыраева Б.С. Механизмы очагов Каджи-Сайского землетрясения 14 ноября 2014 года,  $m_{pV}=6.1$ , и его афтершоков / Абдыраева Б.С., Муралиев А.М., Малдыбаева М.Б., Сабирова Г.А. // Вестник Института сейсмологии НАН КР. №1(9). 2017. С. 19-27.

Агатова А.Р. Загадка катакомб Заячьего полуострова / Агатова А.Р., Лужанский Д.В., Родкин М.В., Корженков А.М. // Природа. 2015. № 7. С. 18-27.

Айтиалиев Ш.М. (ред.) Жаланаш-Тюпское землетрясение 25 марта 1978 г. / Айтиалиев Ш.М. // Алма-Ата. Наука. 1981. 136 С.

Алёшин И.М. Обзор применения легких беспилотных воздушных судов в геолого-геофизических исследованиях / Алёшин И.М., Иванов С.Д., Корягин В.Н., Матвеев М.А., Морозов Ю.А., Передерин Ф.В., Холодков К.И. // Наука и технологические разработки. – 2019. – Т. 98, № 3. – С. 5–19.

Алешинская З.В. Разрез новейших отложений Иссык-Кульской впадины / Алешинская З.В., Бондарев Л.Г., Воскресенская Т.Н., Лефлат О.Н. // Москва. МГУ. 1971. 164 С.

Артюшков Е. В. Новейшие поднятия земной коры как следствие инфильтрации в литосферу мантийных флюидов // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53. – №. 6. – С. 738-760.

Аширов Б. Дизъюнктивные узлы как элемент сейсмической опасности / Аширов Б. //Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. №9. 2018.

Бартольд В.В. Отчет о поездке в Среднюю Азию с научной целью в 1893–1894 годах / Бартольд В.В. // СПб. 1897. С. 40-45.

Бачманов Д.М. База данных активных разломов Евразии / Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. // Геодинамика и тектонофизика. 2017.Т. 8, № 4, С. 711–736.

Богданович К.И. Землетрясение в северных цепях Тянь-Шаня 22 декабря 1911 г. (4 января 1911 г.) / Богданович К.И., Карк И.М., Корольков Б.Я., Мушкетов Д.И. // Труды Геол. комитета. Новая серия. СПб. 1914.вып. 89. 256 с.

Буртман В.С. Геодинамика Тибета, Тарима и Тянь-Шаня в позднем кайнозое / Буртман В.С. // Геотектоника. 2012. № 3.С. 18–46.

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

Винник Д.Ф. К вопросу о датировке наскальных изображений Прииссыккуля / Винник Д.Ф., Перегудова Г.А // Археологические памятники Прииссыккуля. Фрунзе: Илим. 1975. С. 85–101.

Винокуров Н.И. К оценке сейсмической опасности района Керченского пролива по данным археосейсмологии / Винокуров Н.И., Корженков А.М., Родкин М.В. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т. 42. № 2. С. 51-66.

Гмыря Л.Б. Вероятные палеосейсмические деформации на Рубасском археологическом памятнике середины VI в., Южный Дагестан / Гмыря Л.Б.,

Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Рогожин ЕА. // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18. № 3. С. 91-103.

Граков Б.Н. Пережитки скифских религий и эпоса у сарматов / Граков Б.Н. // Вестн. древней истории. 1969. Вып. 3. С. 70–72.

Григоренко П.Г. Геолого-структурные и инженерно-геологические условия района Сыры-Камышского землетрясения / Григоренко П.Г., Мамыров Э., Садыбакасов И., Талипов М.А., Турдукулов А. // Фрунзе. Илим. 1973. 100 С.

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

Деев Е.В. Результаты палеосейсмологических и археосейсмологических исследований в западной части Ала-Баш-Конуроленской внутригорной впадины (Южное Прииссыккулье, Кыргызстан) / Деев Е.В., Турова И.В., Корженков А.М., Лужанский Д.В., Гладков А. С., Родкин М.В., Абдиева С.В., Мажейка Й.В., Рогожин Е.А., Фортуна А.Б., Муралиев А.М., Чаримов Т.А., Юдахин А.С. // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 7. С. 1381-1392.

Дельво Д. Оползни и разрывы Кеминского землетрясения 1991 г. с  $M = 8.2$  в Киргизии / Дельво Д., Абдрахматов К.Е., Лемзин И.Н., Стром А.Л. // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 10. С. 1667-1677.

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

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

Зяблин Л.П. Средневековые курганы на Иссык-Куле / Зяблин Л.П. // Тр. Киргиз. археолого-этнограф. экспед. М. 1959. Т. II. С. 139–141. 177 с.

Иванов П.П. Материалы по археологии котловины Иссык-Куля / Иванов П.П. // Тр. Ин-та истории АН Киргизской ССР. Вып. III. Фрунзе. 1957. С. 65-107.

Кальметьева З.А. Атлас землетрясений Кыргызстана / Кальметьева З.А., Миколайчук А.В., Молдобеков Б.Д., Мелешко А.В., Жантаев М.М., Зубович А.В. // Бишкек. ЦАИИЗ. 2009. 73 с.

Кожемяко П.Н. Раннесредневековые города и поселения Чуйской долины / Кожемяко П.Н. // Фрунзе. 1959.

Колпаковский А. О древних постройках, найденных на озере Иссык-Куль / Колпаковский А. // Изв. РГО. 1870. Т. VI. Отд. 2. С. 101-105.

Копничев Ю. Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районах центрального Тянь-Шаня и Джунгарии: возможная подготовка сильных землетрясений / Копничев Ю. Ф., И. Н. Соколова // Вулканология и сейсмология. 2014. № 3. С. 65–73.

Копничев Ю.Ф. Геодинамические процессы в очаговой зоне Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 г. (Северный Тянь-Шань). / Копничев Ю.Ф., Михайлова Н.Н. // ДАН. 2000. Т. 373. № 1. С. 93–97.

Корженков А. М. Сильные исторические и палеоземлетрясения Прииссыккулья и их положение в структуре Северного Тянь-Шаня / Корженков А. М., С. В. Абдиева, А. Р. Агатова и др.; Под ред. А. В. Николаева. // М.: ИФЗ РАН. 2018. - 174 с.

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

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

Корженков А. М. Палеосейсмичность вдоль адырных разломов (на примере Коконадыр-Тегерекского разлома в Юго-Западном Прииссыккулье, Тянь-Шань) / Корженков А. М., С. В. Абдиева, А. С. Гладков, Е. В. Деев, Ц. Лю, Й. В. Мажейка, Е. А. Рогожин, М. В. Родкин, А. А. Сорокин, И. В. Турова, А. Б. Фортуна // Вулканология и сейсмология. 2019. № 5. С. 36–53.

Корженков А.М. Адырные разломы – генераторы сильных землетрясений в Иссык-Кульской котловине (на примере зоны Культурского разлома) / Корженков А.М., А.А. Стрельников, Е.В. Деев, Л.А. Корженкова, Ц. Лю, Й.В. Мажейка, Е.А. Рогожин, С.Н. Родина, И.В. Турова, М.Т. Усманова, А.Б. Фортуна // Вопросы инженерной сейсмологии. 2020. Т. 47. № 2. С. 19–44.

Корженков А.М. Сильное средневековое землетрясение в Северном Прииссыккулье (Тянь-Шань): результаты палеосейсмологических и археосейсмологических исследований. / Корженков А.М., Е.В. Деев, Д.В. Лужанский, С.В. Абдиева, А.Р. Агатова, Й.В. Мажейка, М.Ю. Меньшиков, Е.А. Рогожин, С.Н. Родина, М.В. Родкин, А.А. Сорокин, А.Б. Фортуна, Т.А. Чаримов, Д. Шен, А.С. Юдахин // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15. № 4. С. 68-88.

Корженков А.М. Сильные палеоземлетрясения вдоль Аксуйского краевого разлома по материалам датирования смещенного террасового комплекса реки Чон-Аксуу, Северный Тянь-Шань / Корженков А.М.; Р. Эрроусмит; К. Кросби; Б. Гуральник; Е.А. Рогожин; А.А. Сорокин; С.В. Абдиева, А.Б. Фортуна; А.С. Юдахин; А.Р. Агатова; Е.В. Деев; Й.В. Мажейка; М.В. Родкин; Д. Шен. // Физика Земли. 2018. № 2. С. 1–17.

Корженков А.М. Особенности строения и формирования морфоструктур на юго-западе Иссык-Кульской впадины / Корженков А.М. // Известия АН Киргизской ССР. 1987. № 2. С. 54–59.

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

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

Корженков А.М. Сильные исторические и палеоземлетрясения Прииссыккулья и их положение в структуре Северного Тянь-Шаня / Корженков А.М., Абдиева С.В., Агатова А.Р., Эрроусмит Р., Бауман Д., Вахрамеева П.С.,



Гладков А.С., Гуральник Б., Деев Е.В., Джумабаева А.Б., Казмер М., Керимбаева Д., Кольченко В., Кросби К., Лобова (Казанцева) Е.Ю., Лужанский Д.В., Мажейка Й.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. // М.: ИФЗ РАН. 2018а. 174 с.

Корженков А.М. Следы землетрясений позднего Средневековья в зоне Таласо-Ферганского разлома, Тянь-Шань / Корженков А.М., Абдиева С.В., Буртман В.С., Орлова Л.А., Раст Л., Тибальди А. // Геотектоника. 2013. (6): 84–94.

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

Корженков А.М. Палеосейсмичность вдоль адырных разломов (на примере Коконадыр-Тегерекского разлома в Юго-Западном Прииссыккулье, Тянь-Шань) / Корженков А.М., Абдиева С.В., Гладков А.С., Деев Е.В., Лю Ц., Мажейка Й.В., Рогожин Е.А., Родкин М.В., Сорокин А.А., Турова И.В., Фортуна А. Б. // Вулканология и сейсмология. 2019а. № 5. С. 36-53.

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

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

Корженков А.М. Сильное средневековое землетрясение в Северном Прииссыккулье (Тянь-Шань): результаты палеосейсмологических и археосейсмологических исследований / Корженков А.М., Деев Е.В., Лужанский

Д.В., Абдиева С.В., Агатова А.Р., Мажейка Й.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. // Геофизические процессы и биосфера. 2016а. Т. 15. № 4. С. 43–63.

Корженков А.М. Активная тектоника и палеосейсмичность восточной части Иссык-Кульской котловины (Кыргызстан, Тянь-Шань) / Корженков А.М., Деев Е.В., Турова И.В., Абдиева С.В., Иванов С.С., Лю Ц., Мажейка Й.В., Рогожин Е.А., Стрельников А.А., Фортуна А.Б., Усманова М.Т. // Геология и геофизика. – 2021. – Т. 62. – №. 3. – С. 329-347.

Корженков А.М. Археосейсмологические исследования и структурная позиция средневековых землетрясений на юге Иссык-Кульской впадины (Тянь-Шань) / Корженков А.М., Кольченко В.А., Лужанский Д.В., Абдиева С.В., Деев Е.В., Мажейка Й.В., Рогожин Е.А., Родина С.Н., Родкин М.В., Фортуна А.Б., Чаримов Т.А., Юдахин А.С. // Физика Земли. 2016б. № 2. С. 71–86.

Корженков А.М. Археосейсмологическое исследование Курментинского средневекового городища (Северо-Восточное Прииссыккулье, Кыргызстан) / Корженков А.М., Кольченко В.А., Лужанский Д.В., Рогожин Е.А., Казмер М., Мажейка Й.В., Деев Е.В., Фортуна А.Б., Шен Д., Юдахин А.С., Абдиева С.В., Родина С.Н. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т. 42. № 1. С. 70–81.

Корженков А.М. О следах сильных позднесредневековых землетрясений в комплексе медресе - мечеть Узбека (г. Старый Крым) / Корженков А.М., Ломакин Д.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А. С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А. // Геофизические процессы и биосфера. 2017. Т. 16, № 3. С. 5-28.

Корженков А.М. О следах сильного землетрясения в стенах средневековых городищ Сары-Булун на Великом шелковом пути (Западное Прииссыккулье, Северный Тянь-Шань) / Корженков А.М., Лужанский Д.В., Абдиева С.В., Деев Е.В., Павлис Т.Л., Рогожин Е.А., Турова И.В., Юдахин А. С. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016в. Т. 43. № 4. С. 5-20.

Корженков А.М. Структурная реконструкция сейсмических событий: руины древних городов как окаменевшие сейсмографы / Корженков А.М., Мазор Э. // Изв. МОН РК. НАН РК. Серия общественных наук. 2001. № 1. С. 108-125.

Корженков А.М. Поиск следов сильных древних землетрясений на Западном Кавказе: Археосейсмологические исследования в древней Горгиппии / Корженков А.М., Новичихин А.М., Овсяченко А.Н., Рангелов Б.К., Рогожин Е.А., Димитров О.В., Ларьков А. С., Лю Ц. // Геофизические процессы и биосфера. 2019г. Т. 18. № 4. С. 110-128.

Корженков А.М. О следах сильных землетрясений в древнем городе Гермонасса-Тмутаракань и структурное положение их очаговых зон / Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А. С., Рогожин Е.А., Димитров О.В., Сударев Н.И., Устаева Э. Р. // Боспорские исследования. 2019д. № 39. С. 242-274.

Корженков А.М. Формы рельефа, образовавшиеся при сильном Суусамырском землетрясении 1992 года в Северном Тянь-Шане / Корженков А.М., Омуралиев М. // Геоморфологический риск. II чтения памяти Н.А.Флоренсова. Иркутский геоморфологический семинар: Тез. докл. семинара. Иркутск. 1993. С. 105–106.

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

Корженков А.М. Палеосейсмологические и археосейсмологические исследования по международным проектам РФФИ / Корженков А.М., Рогожин Е.А., Шен Ю., Деев Е.В., Абдиева С.В., Фортуна А.Б., Муралиев А.М., Чаримов Т.А., Юдахин А.С., Мажейка Й. // Вестник РФФИ. 2014. № 1 (81). С. 15–20.

Корженков А.М. Недооцененная сейсмическая опасность Ферганской впадины: Новые археосейсмологические данные / Корженков А.М., Усманова М.Т., Анарбаев А.А., Максудов Ф.А., Муродалиев Р.Х., Захидов Т.К., Рахманов З.О. // Геофизические процессы и биосфера. 2019в. Т. 18. № 3. С. 77-90.

Корженков А.М. Сильные палеоземлетрясения вдоль Аксуйского краевого разлома по материалам датирования смещенного террасового комплекса реки Чон-Аксуу, Северный Тянь-Шань / Корженков А.М., Эрроусмит Р., Кросби К.,

Гуральник Б., Рогожин Е.А., Сорокин А.А., Абдиева С.В., Фортуна А.Б., Юдахин А. С., Агатова А.Р., Деев Е.В., Мажейка Й.В., Родкин М.В., Шен Д. // Физика Земли. 2018в. № 2. С. 64-80.

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

Лужанский Д.В. Влияние сейсмической активности на состояние археологических объектов (на примере катакомб полуострова Заячий, озеро Иссык-Куль) / Лужанский Д.В., Агатова А.Р., Корженков А.М., Родкин М.В., Шен Д., Деев Е.В. // Вестник КРСУ 2015. Т. 15. № 6. С. 87-92.

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

Моисеев Д.А. Следы сейсмогенных разрушений черепичной печи средневекового гончарного центра в балке руч. Суаткан (Бахчисарайский район, Крым) / Моисеев Д.А., Корженков А.М., Овсяченко А.Н. // Геофизические процессы и биосфера. 2018. Т. 17, № 2. С. 23-47.

Моисеев Д.А. Крымское разрушительное землетрясение второй половины XV в. / Моисеев Д.А., Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2019. Т. 46. № 2. С. 37-53.

Мушкетов И.В. Чиликское землетрясение 30 апреля 1889 г. / Мушкетов И.В. // Материалы для изучения землетрясений в России. Часть 12. Изв. Русского геогр. общ. 1899. 106 с.

Утиров Ч.У. Сейсмодислокации. Геологические основы сейсмического районирования Иссык-Кульской впадины. Фрунзе / Утиров Ч.У. // Илим. 1978. С. 91-111.

Насриддинов Ш.Н. Баня для паломников Шахи-Зинды (XV век) / Насриддинов Ш.Н. // Молодой ученый. 2014. № 4. С. 759–761.

Нерсесов И.Л. Сейсмический режим Северного Тянь-Шаня в связи с Жаланаш-Тюпским землетрясением 25.03.1978 г. / Нерсесов И.Л., А. Садыков, А. Нурмагамбетов, Н.Н. Михайлова. // Физика Земли, 1981.- №5. - С. 18-30.

Овсюченко А.Н. Оценка сейсмической опасности низкоактивных областей на примере Керченско-Таманского региона / Овсюченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А. С., Рогожин Е.А., Мараханов А.В. // Наука и технологические разработки. 2017. Т. 96. № 1. С. 5-18.

Овсюченко А.Н. Следы и хронология сильных исторических землетрясений на мысе Зюк в Восточном Крыму / Овсюченко А.Н., Корженков А.М., Масленников А.А., Вакарчук Р.Н., Ларьков А.С., Сысолин А.И. // Физика Земли. 2019б. № 4. С. 133-152.

Овсюченко А.Н. Циклы сейсмической активности во второй половине голоцена на Западном Кавказе и их связь с этапами цивилизационного развития (на примере верховьев р. Мзымта) / Овсюченко А.Н., Меньшиков М.Ю., Рогожин Е.А., Корженков А.М. // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15. № 2. С. 5-38.

Овсюченко А.Н. Междисциплинарное датирование Утришских сейсмодислокаций: к локализации очага сильного исторического землетрясения на Западном Кавказе / Овсюченко А.Н., Новичихин А.М., Быхалова О.Н., Рогожин Е.А., Корженков А.М., Ларьков А. С., Бутанаев Ю.В., Лукашова Р.Н. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2019а. Т. 46. № 3. С. 50-73.

Омуралиев М. Активные сегменты Таласо-Ферганского разлома и механизмы очагов землетрясений / Омуралиев М. // Известия НАН КР. 2010. № 3. С. 11-34.

Омуралиев М. Сегментация и сейсмическая опасность зоны Таласо-Ферганского разлома Тянь-Шаня / Омуралиев М., Омуралиева А. // Наука и новые технологии №3. 2012. С. 68-81.

Омуралиева А. М. Динамика сейсмических процессов на сочленении области горообразования Тянь-Шаня и Казахского щита Вестник Института сейсмологии / Омуралиева А. М. // Известия НАН КР №2(10). 2017. С. 89-109.

Поволоцкая И.Э. Следы сильных землетрясений в озерных осадках Кок-Мойнокской впадины (Северный Тянь-Шань) / Поволоцкая И.Э.,

Корженков А.М., Мамыров Э.М. // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 9. С. 1024–1035.

Рогожин Е.А. Голоценовая геологическая и сейсмическая активность системы разломов в Северо-Восточной Болгарии по комплексу геолого-геоморфологических и археосейсмологического методов / Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Димитров О.В., Овсюченко А.Н., Корженков А.М., Стрельников А.А. // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 2. С. 57-71.

Смекалин О.П. Палеосейсмологические исследования в плейстосейстовой области Беловодского землетрясения 1885 г. в Северном Тянь-Шане / Смекалин О.П., Имаев В.С., Корженков А.М., Чипизубов А.В. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т. 42. № 3. С. 20-32.

Солоненко В.П. Палеосейсмологические и сеймотектонические основы сейсмического районирования Большого Кавказа / Солоненко В.П., Хромовских В.С. // Сеймотектоника южных районов СССР. М. Наука. 1978. С. 48–63.

Стрельников А.А. Разрушение средневековых археологических памятников сильными землетрясениями в юго-восточной части Иссык-Кульской впадины, Тянь-Шань / Стрельников А.А., А.М. Корженков // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2020. – Т. 47. – № 3. – С. 54-73.

Стром А.Л. Соотношения между параметрами сейсмогенных разрывов и магнитудой землетрясений / Стром А.Л., Никонов А.А. // Физика Земли. 1997. № 12. С. 55-67.

Трифонов В.Г. Плиоцен-четвертичное горообразование в Центральном Тянь-Шане / Трифонов В.Г., Артюшков Е.В., Додонов А.Е., Бачманов Д.М., Миколайчук А.В., Вишняков Ф.А. // Геология и геофизика. 2008.Т. 49 (2). С. 128–145.

Трифонов, В.Г. Новейшее горообразование центральной части Альпийско-Гималайского пояса / В.Г. Трифонов, Т.П. Иванова, Д.М. Бачманов //Геотектоника. – 2012. – №. 5. – С. 3–21.



Трифонов, В.Г. Проблемы горообразования (Альпийско-Гималайский пояс) / В.Г. Трифонов // Третья тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН: материалы докладов конференции 8-12 октября 2012. – М.: ИФЗ РАН, 2012. – т. 1. – С. 99-109.

Татевосян Р.Э. Оценка интенсивности Верненского землетрясения 1887 г. по его геологическим проявлениям / Татевосян Р.Э., Татевосян Т.Н. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2008. Т. 35. № 4. С. 33-43.

Утиров Ч.У. Сейсмодислокации и геологические основы сейсмического районирования Иссык-Кульской впадины / Утиров Ч.У. // Фрунзе. Илим. 1978. С. 91–111.

Утиров Ч.У. Сейсмодислокации и палеосейсмодислокации. Детальное сейсмическое районирование Иссык-Кульской впадины / Утиров Ч.У. // Под ред. К.Е. Абдрахматова. Бишкек: Илим. 1993. С. 113-125.

Фортуна А.Б. Мезозойские и палеоген-неогеновые отложения / Фортуна А.Б. // Детальное сейсмическое районирование Иссык-Кульской впадины. Под ред. К.Е. Абдрахматова. Бишкек: Илим. 1993. С. 11-15.

Чаримов Т.А. Сейсмо-дислокации Северного Тянь-Шаня / Чаримов Т.А., Поволоцкая И.Э., Корженков А.М. // Изв. вузов. 2005. № 1. С. 211-229.

Чедия О. К. Предтерсейский краевой разлом в междуречье Джетыюгуз-Тоссор / Чедия О. К., Джумадылова Ч. К., Труншин С. И. // Изв. АН Киргизии ССР. 1988. № 1. С. 79-88.

Чедия О. К. Морфоструктуры и новейшие тектогенез Тянь-Шаня / Чедия О. К. // Фрунзе: Илим. 1986. 316 С.

Чедия О.К. Сейсмогравитационные структуры Кыргызстана / Чедия О.К., Абдрахматов К.Е., Лемзин И. Н., Корженков А.М. // Геология кайнозоя и сеймотектоника Тянь-Шаня. Бишкек: Илим. 1994. С. 85-97.

Чедия О.К. Предтерсейский краевой разлом в междуречье Джетыюгуз-Тоссор / Чедия О.К., Джумадылова Ч.К., Трунилин С.И. // Известия АН Киргизской ССР. 1988. № 1. С. 79–8.

Чедия О.К. О долговременном сохранении в рельефе следов древних сейсмических катастроф (на примере Чилико-Кеминской сейсмогенерирующей зоны Северного Тянь-Шаня) / Чедия О.К., Корженков А.М. // Геоморфология. 1997. № 3. С. 88–98.

Чедия О.К. О долговременном сохранении геоморфологических следов древних сейсмических катастроф / Чедия О.К., Корженков А.М. // Геоморфология. 1997. № 3. С. 88-89.

Чедия О.К. Новейшая тектоника / Чедия О.К., Трофимов А.К. // Геологические основы сейсмического районирования Иссык-Кульской впадины. Фрунзе: Илим. 1978. С. 66–87.

Шульц С.С. Новейшая тектоника и рельеф Тянь-Шаня / Шульц С.С. // Географгиз. 1948. 222 с.

Яковлев Ф.Л. Оценки сокращения земной коры при горообразовании на примере Памиро-Тяньшаньского и Алтае-Монгольского региона. / Яковлев Ф.Л., Юнга С.Л. // Российский журнал наук о Земле. Том 3, № 5, Ноябрь 2001.

#### **Статьи на английском языке**

Abdrakhmatov K. E. Multisegment rupture in the 11 July 1889 Chilik earthquake (Mw 8.0–8.3), Kazakh Tien Shan, interpreted from remote sensing, field survey, and paleoseismic trenching / Abdrakhmatov K. E., Walker R.T., Campbell G.E., Carr A.S., Elliott A., Hillemann C., Hollingsworth J., Landgraf A., D. Mackenzie, Mukambayev A., Rizza M., and Sloan R.A. // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2017. Vol. 121. P. 1–22.

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

Arrowsmith J.R. Surface rupture along the Chon Aksuu and Aksu (eastern) segments of the 1911 Kebin (Chon-Kemin) earthquake, Tien Shan, Kyrgyzstan / Arrowsmith J.R., Crosby C.J., Korjenkov A.M., Mamyrov E., and Povolotskaya I.E. // EOS Trans. AGU. 2004. V. 85 (47). Fall Meet. Suppl. Abstract T14C-02.

Arrowsmith J.R. Surface rupture of 1911 Kebin (Chon-Kemin) earthquake, Northern Tien Shan, Kyrgyzstan / Arrowsmith J.R., Crosby C.J., Korjenkov A.M., Mamyrov E., and Povolotskaya I.E. // Eos Trans. AGU. Fall Meet. Suppl. Abstract T51F-05. 2005. V. 86 (52).

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

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

Bayasgalan A. “Forebergs”, flower structures, and the development of large intracontinental strike-slip faults: the GurvanBogd fault system in Mongolia / Bayasgalan A., Jackson J., Ritz J.-F., Carretier S. J. // Struct. Geol. 1999. 21. P. 1285-1302.

Bezerra F.H.R. Liquefaction induced structures in Quaternary alluvial gravels and gravels sediments, NE Brazil // / Bezerra F.H.R., Fonseca V.P., Vita-Finzi C., Lima-Filho F.P., Saadi A. Engineering Geology. 2005. V. 76. P. 191–08.

Bowman D. Morphological response through competing of thrusting and erosion, at basin foothills, the northern Tien Shan, Kyrgyzstan / Bowman D., Korjenkov A., Porat N., Czassny B. // Geomorphology. 2004b, V. 63. P. 1–4.

Bowman D. Late-Pleistocene seismites from Lake Issyk-kul, the Tien Shan range, Kyrgyzstan / Bowman D., Korjenkov A.M., Porat N. // *Sedimentary Geology*. 2004a.V. 163.P. 211–28.

Bowman D. Morphological response through competing of thrusting and erosion, at basin foothills, the northern Tien Shan, Kyrgyzstan / Bowman D., Korjenkov A., PoratN., CzassnyB. // *Geomorphology*. 2004. V. 63. P. 1-24.

Bronk Ramsey C. Development of the radiocarbon calibration program OxCal / Bronk Ramsey C. // *Radiocarbon*. 2001. 43. P. 355-363.

Bronk Ramsey C. Developments in the calibration and modelling of radiocarbon dates / Bronk Ramsey C., Dee M., Lee S., Nakagawa T., Staff R. // *Radiocarbon*. 2010.V. 52.P. 953–61.

Bronk Ramsey, C. Deposition models for chronological records. *Quaternary Science Reviews* / Bronk Ramsey, C. // 2008. V. 27(1–2): P. 42–60.

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

Buslov M.M. Recent strike-slip deformation of the northern Tien Shan / Buslov M.M., Klerkx J., Abdrakhmatov K., Delvaux D., BatalevV.Yu., Kuchai O.A., DehandschutterB., Muraliev A. // *Intraplate strike-slip deformation belts*. Eds. F. Storti, R.E. Holdsworth, F. Salvini. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 2003.V. 210.P. 53–64.

Chediya O.K. Issyk-Ata, Northern Tien Shan fault in the Holocene / Chediya O.K., Abdrakhmatov K.E., Lemzin I. N., Mihel G., Mikhaylev V. // *Journal of Earthquake Prediction Research*. 2000.V. 8.P. 379-386.

Crosby C. The hunt for surface rupture from the 1889 M = 8.3 Chilik earthquake, Northern Tien-Shan, Kyrgyzstan and Kazakhstan / Crosby C., Arrowsmith J., Korjenkov A., Guralnik B., Mamyrov E., Povolotskaya I. // *In: AGU Fall Meeting Abstracts, F5, poster presentation,– San Francisco, California, USA. 2007.*

Deev E. Large ancient earthquakes in the western Issyk-Kul basin (Kyrgyzstan, northern Tien Shan) / Deev E., Korzhenkov A., Turova I., Pavlis T.L., Luzhanskii D.,

Mažika J., Abdieva S., Yudakhin A. // *Journal of Asian Earth Sciences*, 2018, V. 166, P. 48–5.

Deev E. Large earthquakes in the Katun Fault zone (Gorny Altai): Paleoseismological and archaeoseismological evidence / Deev E., Turova I., Borodovskiy A., Zolnikov I., Pozdnyakova N., Molodkov A. // *Quaternary Science Reviews*. 2019.V. 203.P. 68–9.

Delvaux D. Basin evolution in a folding lithosphere: Altai–Sayan and Tien Shan belts in Central Asia / Delvaux D., Cloetingh S., Beekman F., Sokoutis D., Burov E., Buslov M.M., Abdrakhmatov K.E. // *Tectonophysics*, 2013.V. 602.P. 194–222.

Ghose S. The M=7.3 1992 Suusamy, Kyrgyzstan earthquake in the Tien Shan: 2. Aftershock focal mechanisms and surface deformation / Ghose S., Mellors R.J., Korjenkov A.M., Hamburger M. W., Pavlis T.L, Pavlis G.L., Omuraliev M., Mamyrov E., Muraliev A.R. // *Bulletin of Seismologic Society of America*. 1997. Vol. 87. No. 1. P. 23-38.

Gladkov A.S. Earthquake-induced soft-sediment deformation structures in Late Pleistocene lacustrine deposits of Issyk-Kul lake (Kyrgyzstan) / Gladkov A.S., Lobova E.U., Deev E.V., Korzhenkov A., Mazeika J.V., Abdieva S.V., Rogozhin E.A., Rodkin M.V., Fortuna A.B., Charimov T.A, Yudakhin A.S. // *Sedimentary Geology*. 2016.V. 344.P. 112–22.

Glorie S. Tectonic history of the Kyrgyz South Tien Shan (Atbashi-Inylchek) suture zone: The role of inherited structures during deformation-propagation / Glorie S., De Grave J., Buslov M.M., Zhimulev F.I., Stockli D.F., Batalev V.Y., Izmer A., van den Haute P., Vanhaecke F., Elburg M.A. // *Tectonics*. 2011.V. 30, TC6016.

Korjenkov A. Recent drainage diversions under thrusting conditions in the Suusamy Valley, the Tien Shan Range, Kyrgyzstan / Korjenkov A., Bowman D., Haselton K., Porat N. // *Isr. J. Earth Sci.* 1999.V. 48.P. 63–9.

Korjenkov A.M. Seismogenic convolutions in soft lacustrine sediments of the Issyk Kul Lake, Tien Shan, Kirgizstan - Initial report / Korjenkov A.M. // *Journal of Earthquake Prediction Research*. 2000, V. 8. № 4.P. 514–19.

Korjenkov A.M. Seismogenic destruction of the Kamenka medieval fortress, northern Issyk-Kul region, Tien Shan (Kyrgyzstan) / Korjenkov A.M., Arrowsmith J.R., Crosby C., Mamyrov E., Orlova L.A., Povolotskaya I.E., Tabaldiev K. // *Journal of Seismology*. 2006a.No. 10.P. 431–42.

Korjenkov A.M. Longterm preservation of paleoseismic deformations as a tool for revealing traces of ancient seismic catastrophes (on example of Chon-Kemin Valley, Kyrgyzstan) / Korjenkov A.M., Kovalenko V.A. and Usmanov S.F.// *Proceedings of the 7th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography*. Bishkek. Kyrgyzstan. July. 2002. *KartographischeBausteine*. Band 23. Dresden. 2004. P. 137–153.

Korjenkov A.M. Rock avalanches and Landslides formed in result of strong Suusamyr (1992, M= 7.4) earthquake in the northern Tien Shan - test structures for mapping of paleoseismic deformations by satellite images / Korjenkov A.M., Mamyrov E., Omuraliev M., Kovalenko V.A. / Korjenkov A.M. Usmanov S.F. // *Proceedings of the 7th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography*. Band 23. Dresden: *KartographischeBausteine*. 2004. P. 117-135.

Korjenkov A.M. Earthquake characteristics reconstructed from archeological damage patterns: Shivta, the Negev Desert, Israel / Korjenkov A.M., Mazor E. // *Isr. J. Earth Sci.* 1999. V. 48. P. 265-282.

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

Kurushin R.A. The surface rupture of the 1957 Gobi-Altay, Mongolia, earthquake / Kurushin R.A., Bayasgalan A., Olziybat M., Enhtuvshin, Molnar P., Bayarsayhan Ch., Hudnut K. W., Lin J. // *Geological Society of America. Special Paper 320*. Boulder. Colorado. 1997. 143 P.

Macaulay E.A. Cenozoic deformation and exhumation history of the Central Kyrgyz Tien Shan / Macaulay E.A., Sobel E.R., Mikolaichuk A., Kohn B., Stuart F.M. // *Tectonics*. 2014.V. 33.Iss. 2.P. 135–165.



Mackenzie D. A creeping intracontinental thrust fault: past and present slip-rates on the northern edge of the Tien Shan, Kazakhstan / Mackenzie D., Walker R., Abdrakhmatov K., Campbell G., Carr A., Gruetzner C., Mukambayev A., Rizza M. // *Geophysical Journal International*. 2018.V. 215.Is. 2.P. 1148–170.

Molnar P. Cenozoic Tectonics of Asia: Effects of a continental collision / Molnar P., Tapponier P. // *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 / Nikonov A.A. // *Tectonophysics*. 1988.V. 147. № 3–4.P. 297–312.

Papathanassiou G. Liquefaction case histories and empirical relations of earthquake magnitude versus distance from the boarder Aegean region / Papathanassiou G., Pavlides S., Christaras B., Pitilakis K. // *J. Geodynam*. 2005.V. 40.P. 257–78.

Reimer P.J. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP / Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Ramsey C.B., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Haflidason H., Hajdas I., Hatte C., Heaton T.J., Hoffmann 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 E.M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M., van der Plicht J. // *Radiocarbon*. 2013.V. 55. № 4.P. 1869–887.

Rodriguez-Pascua M.A. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene / Rodriguez-Pascua M.A., Calvo J.P., De Vicente G., Gomez-Gras D. // *Sedimentary Geology*. 2000. V. 135.P. 117–35.

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

Selander J. Inherited strike-slip faults as an origin for basement-cored uplifts: Example of the Kungey and Zailiskey ranges, northern Tian Shan / Selander J., Oskin M., Ormukov Ch., Abdrakhmatov K. // *Tectonics*. 2012.V. 31.P. TC4026.

Silvester A.G. Strike-slip faults / Silvester A.G. // Geol. Soc. Amer. Bull. 1988. V. 100. P. 1666–1703.

Thompson S.C. Active Tectonics in the Central Tien Shan, Kyrgyz Republic (Ph.D. thesis). / Thompson S.C. // Seattle. University of Washington. 2001. 141 P.

Trifonov V.G. Recent geodynamics of major strike-slip zones / Trifonov V.G., Korzhenkov A.M., Khaled O.M. // Geodesy and Geodynamics. 2015. № 10. P. 1–23.

Wells D.L. New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement / Wells D.L., Coppersmith K.J. // Bull. Seismol. Soc. Am. 1994. V. 84. № 4. P. 974-1002.

Zubovich A. V. GPS velocity field for the Tien Shan and surrounding regions / Zubovich A. V., Wang X., Scherba Yu. G., Schelochkov G. G., Reilinger R., Reigber C., Mosienko O.I., Molnar P., Michajljow W., Makarov V.I., Li J., Kuzikov S.I., Herring T.A., Hamburger M.W., Hager B.H., Dang Y., Bragin V.D., Beisenbaev R.T. // Tectonics. 2010. V 29, TC6014.

### **Книжные издания**

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

Бернштам А.Н. Архитектурные памятники Киргизии / Бернштам А.Н. // М. 1950. 147 С.

Геродот. История / Пер. и примеч. Г.А. Стратоновского. - М.: АСТ МОСКВА, 2009. 672 С.

Жаланаш-Тюпское землетрясение 25 марта 1978 года / - Алма-Ата: Наука, 1981. -136 С.

Жуковская Н. Л. Калмыки // Народы и религии мира: Энциклопедия / Гл. ред. В. А. Тишков. Редкол.: О. Ю. Артемова, С. А. Арутюнов, А. Н. Кожановский, В. М. Макаревич (зам. гл. ред.), В. А. Попов, П. И. Пучков (зам. гл. ред.), Г. Ю. Ситнянский.. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. – 928 С.

Палеосейсмология. В 2-х томах / Ред. Дж. Мак-Калпин. Пер. с англ. под ред. А. Л. Строма. - М.: Научный мир, 2011. Т. 1: 560 с. Т. 2: 400 С.

Согдийские документы с горы Муг. Чтение, перевод, комментарий. Выпуск II (Юридические документы и письма). Чтение, перевод и комментарии В.А. Лившица. - М., Издательство восточной литературы, СФ.132-133, 1962. 222 С.

Труды Семиреченской археологической экспедиции «Чуйская долина» / Сост. А.Н. Бернштам. - М.; Л., 1950. 160 С.

Улеманн К. / Улеманн К., Винник Д. Ф., Ысманова К. Ы. Кумбезы долины Конур-Олон // Биосферная территория Иссык-Куль: Культурно-исторические памятники. Бишкек, 2002. 80 С.

Материалы и исследования по археологии СССР (МИА). № 14. - Туркестанские ведомости. 1887. № 31.

Улеманн К. Биосферная территория Ысык-Кёль. Культурно-исторические памятники / Улеманн К., Д.Ф. Винник, К.Ы. Ысманова. Кумбезы долины Конур-Олон. В кн.: - Бишкек: Изд-во GTZ, 2003, 88 С.

Бичурин (Иакинф) Н.Я. Собрание сведений о народах, обитавших в Средней Азии в древние времена. // Ши цзи, гл. 123. / - «Повествование о Давани» Т. II. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1950. 334 С.

Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен по 1975 г. М.: Наука, 1977. 536 С.

Geomorphology and Neotectonics of the Tien Shan Mountains. Frunze, 1986. (In Russ.).

Korjenkov A.M. International Training Course «Seismology and Seismic Hazard Assessment». / Korjenkov A.M., Michajljow W., Wetzel H.U. et al. // Field Excursion Guidebook. Bishkek, 2006.

Korjenkov A.M. International Training Course “Seismology and Seismic Hazard Assessment” / Korjenkov A.M., Michajljow W., Wetzel H.U., Abdybashev U., Povolotskaya I.E. // Bishkek, 2006a. Field Excursion Guidebook. Bishkek-Potsdam: GFZ-ZAIAG, 2006a. 112 P.

McCalpin J. Paleoseismology / Ed. by J. McCalpin. 2nd Edition. (International Geophysics. Volume 95). Academic Press. 2009. 629 P.

Stiros S. / Stiros S., R.E. Jones – eds. Archaeoseismology. British School at Athens. // Fitch Laboratory Occasional Papers. 1996. 268 P.

### **Картографические материалы**

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.

Геологическая карта СССР. М-б 1:200 000. Серия Северо-Тянь-Шаньская. К-43-ХVII. Министерство геологии СССР. Л., Картфабрика ВАГТ, 1968.

Захаров И.Л., Чабдаров Н.М. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Лист К-43-Х11. М.: Гос - геолтехиздат, 1975.

Помазков К.Д. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Северо-Тянь-Шаньская. К-43-ХУП. Министерство геологии СССР. Л.: Картфабрика ВАГТ, 1968.

Турчинский В.П. Геологическая карта СССР. М-б 1:200 000. Серия Северо-Тянь-Шаньская. К-43-ХVIII. Л., Картфабрика ВАГТ, 1970. 1 лист.

Чабдаров Н.М., Стариченко Ф.А., Бажанова О.В. Геологическая карта СССР. М-б 1:200 000. Серия Северо-Тянь-Шаньская. К-44-VII. Л., Картфабрика Госгеолтехиздата Министерства геологии и охраны недр, 1961. 1 лист.

Шендерович Д.М., Макаров В.А. Геологическая карта СССР. М-б 1:200 000. Серия Северо-Тянь-Шаньская. К-44-ХIII. Л., Картфабрика ВАГТ, 1965. 1 лист.

### **Электронные ресурсы**

Институт сейсмологии ИС НАН КР / История создания и становления Института (ИС НАН КР) // электронный ресурс (<http://www.seismo.kg/ru/component/content/article?id=14:-l-r&catid=3:2011-07-06-07-18-44>) дата обращения (19.02.2019).

О вооружении Согда VII–VIII в. – «Сообщения Республиканского историко-краеведческого музея Таджикской ССР», вып. 1, Сталинабад, 1952. С. 61-67.

FOR.kg История Кыргызстана / Вхождение Киргизии в состав России // электронный ресурс ([http://www.for.kg/kyrgyzstan\\_history-2-ru.html](http://www.for.kg/kyrgyzstan_history-2-ru.html)) дата обращения (13.01.2019).

Проект "КЫРГЫЗСКИЙ ФОТОАРХИВ" / Сары-Камыш после землетрясения Фото: 01.05.1971 год дата обращения (<http://www.foto.kg/>) (12.05.2021).

**Список работ, опубликованных по теме диссертации:**

**Статьи в реферируемых журналах из списка ВАК:**

1. Корженков А.М., Деев Е.В., Лужанский Д.В., Абдиева С.В., Агатова А.Р., Мажейка Й.В., Меньшиков М.Ю., 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. 68–88.
2. Корженков А.М., Эрроусмит Р., Кросби К., Гуральник Б., Рогожин Е.А., **Сорокин А.А.**, Абдиева С.В., Фортуна А.Б., Юдахин А.С., Агатова А.Р., Деев Е.В., Мажейка Й.В., Родкин М.В., Шен Д. Сильные палеоземлетрясения вдоль Аксуйского краевого разлома по материалам датирования смещенного террасового комплекса реки Чон-Аксуу, Северный Тянь-Шань // Физика Земли. – 2018. – № 2. – С. 64-80.
3. Корженков А.М., Абдиева С.В., Рогожин Е.А., **Сорокин А.А.** Неизвестное сильное землетрясение в Иссык-Кульской котловине // Природа. – 2018. – № 3. – С. 24-35.
4. Корженков А.М., Абдиева С.В., Гладков А.С., Деев Е.В., Лю Ц., Мажейка Й.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.
5. **Стрельников А.А.**, Корженков А.М. Разрушение средневековых археологических памятников сильными землетрясениями в юго-восточной части Иссык-Кульской впадины, Тянь-Шань // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2020. – Т. 47. – № 3. – С. 54-73.
6. Корженков А.М., **Стрельников А.А.**, Деев Е.В., Корженкова Л.А., Лю Ц., Мажейка Й.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 Культорского разлома) // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2020. – Т. 47. – № 2. – С. 19-40.

7. Корженков А.М., Деев Е.В., Турова И.В., Абдиева С.В., Иванов С.С., Лю Ц., Мажейка Й.В., Рогожин Е.А., **Стрельников А.А.**, Фортуна А.Б., Усманова М.Т. Активная тектоника и палеосейсмичность восточной части Иссык-Кульской котловины (Кыргызстан, Тянь-Шань) // Геология и геофизика. – 2021. – Т. 62. – №. 3. – С. 329-347.

#### **Иные публикации:**

1. Фортуна А.Б., Абдиева С.В., Корженков А.М., **Сорокин А.А.**, Юдахин А.С. Землетрясения и экология Иссык-Кульского региона // Вестник Института сейсмологии НАН КР. –2017. – № 1. – С. 113-117.

2. Корженков А.М., Абдиева С.В., Рогожин Е.А., **Сорокин А.А.** Сильное сейсмическое событие позднего средневековья на Юго-Западе Иссык-Кульской впадины, Кыргызстан // Современные проблемы механики. – 2018. – Т. 33. – № 3. – С. 118-127.

3. Фортуна А.Б., Абдиева С.В., Корженков А.М., **Сорокин А.А.** Палеогеография Иссык-Кульского региона - Кайнозойское время // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2018. – № 1. – С. 101-112.

4. Фортуна А.Б., Абдиева С.В., Клоков И.А., Корженков А.М., **Стрельников А.А.** Сейсмичность Иссык-Кульской области // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2019. – Т. 14. – № 2. – С. 98-107.

#### **Материалы и тезисы конференций:**

1. Корженков А.М., Эрроусмит Р., Кросби К., Гуральник Б., Рогожин Е.А., **Сорокин А.А.**, Абдиева С.В., Фортуна А.Б., Юдахин А.С., Агатова А.Р., Деев Е.В., Мажейка Й.В., Родкин М.В., Шен Д. Палеосейсмичность вдоль Аксуйского краевого разлома, северный Тянь-Шань (по данным радиоуглеродного датирования низких аллювиальных террас р. Чон-Аксуу, разорванных во время Кебинского землетрясения 1911 г. // VII Международный

симпозиум Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. 19-24 июня 2017 г. Бишкек: изд-во НС РАН. – 2017. – С. 30–30.

2. **Сорокин А.А.**, Абдиева С.В., Фортуна А.Б., Лужанский Д., Рогожин Е.А., Корженков А.М. Результаты полевых исследований в Юго-Восточной части Иссyk-Кульской впадины, Тянь-Шань // Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН: Тезисы докладов и программа Конференции, Москва, 23–24 апреля 2018 года. – М.: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2018. – С. 77.

3. Korzhenkov A.M., Abdieva S.V., Fortuna A.B., Mazeika J.V., Rogozhin E.A., **Sorokin A.A.** Location and kinematics of the Southern Issyk-Kul Fault in eastern part of the Issyk-Kul Depression, the Tien // Sixth International Colloquium on Historical earthquakes & paleoseismology studies their contribution to the knowledge of the long-term seismic activity and to seismic hazard assessment. – Han-sur-Lesse (Belgium), 2018. – P. 15–16.

4. Корженков А.М., **Сорокин А.А.**, Рогожин Е.А., Абдиева С.В. Сильное сейсмическое событие позднего средневековья на юго-западе Иссyk-Кульской впадины, Кыргызстан // Современные проблемы механики. – 2018. – №. 33. – С. 118-127.

5. Корженков А.М., Абдиева С.В., Мажейка Й.В., Рогожин Е.А., **Сорокин А.А.**, Фортуна А.Б. Положение и кинематические параметры Южно-Иссyk-Кульского разлома в Восточной части Иссyk-Кульской котловины, Тянь-Шань // Результаты комплексного изучения сильнейшего Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г., его место в ряду важнейших сейсмических событий XXI века на территории России : Материалы XXI Научно-практической Щукинской конференции с международным участием, М., 01–04 октября 2018 года / Под ред. Е.А. Рогожина, Л.И. Надежка. – М.: ИФЗ РАН, 2018. – С. 186-190.

6. **Стрельников А.А.**, Корженков А.М., Абдиева С.В., Цзяо Лю, Рогожин Е.А., Деев Е.В. Разрушение исторических поселений сильными землетрясениями в Ала-Баш - Конуроленской впадине, Тянь-Шань // Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН: Тезисы докладов и программа

Конференции, М., 22–23 апреля 2019 года. – М.: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2019. – С. 77.

7. Корженков А.М., Корженкова Л.А., **Стрельников А.А.** Неизвестные исторические землетрясения вдоль зоны Культорского краевого разлома, Северное Прииссыккулье, Северный Тянь-Шань // Пятая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Материалы докладов всероссийской конференции с международным участием, посвященной столетию М.В. Гзовского, М., 05–09 октября 2020 года. – М.: Институт физики Земли РАН, 2020. – С. 326-330.

8. **Стрельников А.А.**, Абдиева С.В., Корженков А.М. Активная тектоника и палеосейсмичность Северо-Востока Иссык-Кульской котловины (Кыргызстан, Тянь-Шань) // Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН: Тезисы докладов и программа конференции, ИФЗ РАН, 28–29 октября 2020 года. – М.: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2020. – С. 62.

9. **Стрельников А.А.**, Абдиева С.В., Корженков А.М. Разрушение средневековых археологических памятников сильными землетрясениями в Ак-Терекском аильном округе Юго-Восточной части Иссык-Кульской впадины, Тянь-Шань // VIII Щукинские чтения: рельеф и природопользование: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, М., 28 сентября – 01 октября 2020 года. – М.: Географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 2020. – С. 423-427.