

*На правах рукописи*



**Стрельников Андрей Андреевич**

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

Специальность 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2022

**Работа выполнена** в лаборатории Палеосейсмологии и палеогеодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.

Научный руководитель: **Андрей Михайлович Корженков**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией Палеосейсмологии и палеогеодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук;

Официальные оппоненты: **Владимир Сергеевич Захаров**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой Динамической геологии геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова»;

**Александр Леонидович Стром**, кандидат геолого-минералогических наук, главный эксперт общества с ограниченной ответственностью «Центра геодинамических исследований».

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН).**

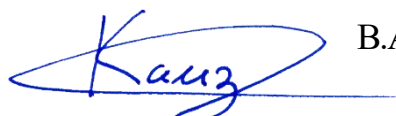
Защита состоится «21» апреля 2022 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 002.001.01 при Институте Физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук по адресу: г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФЗ РАН и на сайте [www.ifz.ru](http://www.ifz.ru). Автореферат размещен на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации [www.vak.minobrnauki.gov.ru](http://www.vak.minobrnauki.gov.ru) и на сайте института [www.ifz.ru](http://www.ifz.ru).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, в 2-х экземплярах, просьба направлять по адресу: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1, ИФЗ РАН, ученому секретарю диссертационного совета Владимиру Анатольевичу Камзолкину.

Автореферат разослан «17» февраля 2022 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат геолого-минералогических наук



В.А. Камзолкин

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

## **Актуальность**

Иссык-Кульская область – территория интенсивного экономического развития, третья по численности населения в Киргизской Республике. 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 Терскей-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 (Bronk, Ramsey, 2001; Bronk, Ramsey 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; Bezerra et al., 2005; Parathanassiou et al., 2005; Deev et al., 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:

1. 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.
2. 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-Орюктя) с юга и горной системой хребта Кунгей-Ала-Тоо с севера, в зоне активных Культорского и Аксуйского разломов.
3. 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 Иссyk-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 Иссyk-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 Шукинской конференции с международным участием, 2018» (г. Москва), «Пятой тектонофизической конференции в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле, 2020» (г. Москва), «VIII Шукинских 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 66 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. Е.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.



# ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

## 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.

### Палеогеографическое и геологическое развитие Иссык-Кульского региона

В настоящее время Иссык-Кульская межгорная впадина (рисунок 1.) представляет собой крупный неотектонический рамповый грабен-синклиниорий, вытянутый в субширотном направлении и образованный на месте погружения консолидированного докембрийско-палеозойского фундамента (до – 4.5 км) [Геологические..., 1978; Королев, 1956].

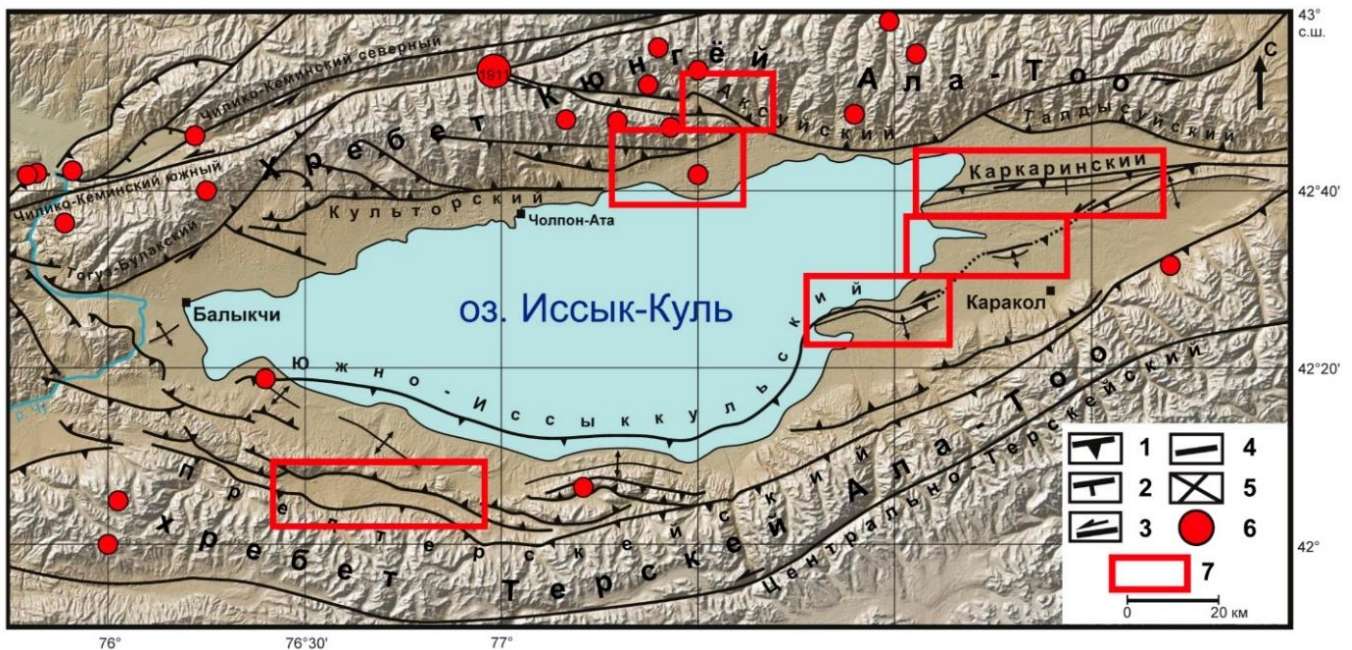


Рисунок 1. Основные активные структуры Прииссыккуля

(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)

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.

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.

### **Выводы**

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. Олигоцен-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).

### **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 ~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 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. 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. Это произошло вследствие резкого размягчения мантийной литосферы при инфильтрации в нее активного флюида из подстилающей мантии (Трифонов и др., 2008). Величина сокращения земной коры вкrest 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: Сарыкамьшское 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.

### **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, колювиальных 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 (Bronk, Ramsey, 2001; Bronk, Ramsey 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 Иссык-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; Parathanassiou 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-Оленской 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 Оргочор, 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 пенеплена; 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.).

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.

Был 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 лево-сдвигового типа; курган (VII–XIII вв.) деформирован во фронте сейсмоуступа 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 надвигового типа. Величина смещения по нему составила 1.6 м, что соответствует землетрясению с  $M \geq 7$  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.

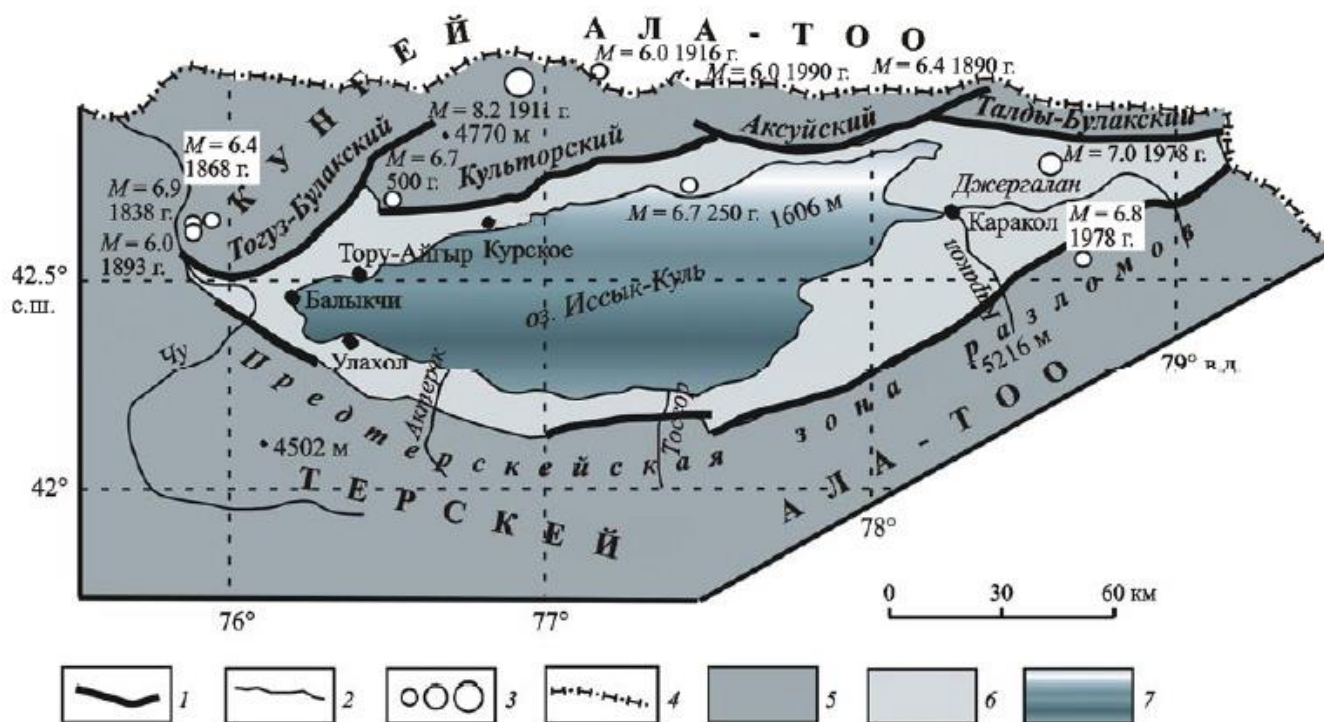


Рисунок 2. Структурное положение оз. Иссык-Куль и очаги сильных ( $M \geq 6$ ) известных землетрясений Прииссыккулья (по данным Института сейсмологии НАН Кыргызской Республики) (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2016). 1 – Главные разломы; 2 – реки; 3 – землетрясения (указаны магнитуда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

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

радиоуглеродные датировки относятся ко второй половине голоцена. За это время вдоль данного (Чон-Аксуцкого) сегмента Аксуйского краевого разлома имело место, по крайней мере, восемь сильных землетрясений. 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 полуторатысячелетнего импульса сейсмической активизации из пяти сильных землетрясений. Период повторяемости сейсмических событий во время активизаций – 300–600 лет. Следовательно, сейсмический режим вдоль Чон-Аксуйского сегмента Аксуйского краевого разлома во второй половине голоцена представляет собой периоды сейсмической активизации – 1.0–1.5 тысяч лет, разделенные двухтысячелетним интервалом сейсмического затишья.

Приведены результаты исследований восточного окончания Культорского адырного (предгорного) разлома в Северном Прииссыккулье. Морфологически зона разлома представляет собой лестницу сейсмоуступов, созданных подвижками по нескольким сближенным разрывным плоскостям, пологопадающим под 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 вкрест простирания самых южных и самых молодых сейсмоуступов, позволила определить минимальный возраст, повторяемость и силу сильных исторических землетрясений. Сильные землетрясения по изученному участку 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 нами параметры сейсмоуступов были использованы для подсчетов магнитуды исторических сейсмических событий:  $M=7.1$  и  $M=6.7$  по высотам изученных сейсмоуступов. При рассчитанных значениях магнитуд интенсивность сейсмических колебаний согласно шкале МСК-64 составляет 9 и более баллов.

### Выводы

1. Была изучена северная предгорная зона Иссык-Кульской впадины: зоны Культорского и Аксуйского краевых разломов. Впервые была установлена сильная голоценовая и позднплейстоценовая сейсмичность, которая приурочена к развитой предгорной (адырной) зоне Культорского разлома.
2. Обнаружено, что подвижки по предгорным (адырным) надвигам на исследуемом участке сопровождаются образованием компенсационных грабен 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 Иссык-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.). Данная глава посвящена изучению вопроса об асейсмичности южной части Иссык-Кульской котловины.

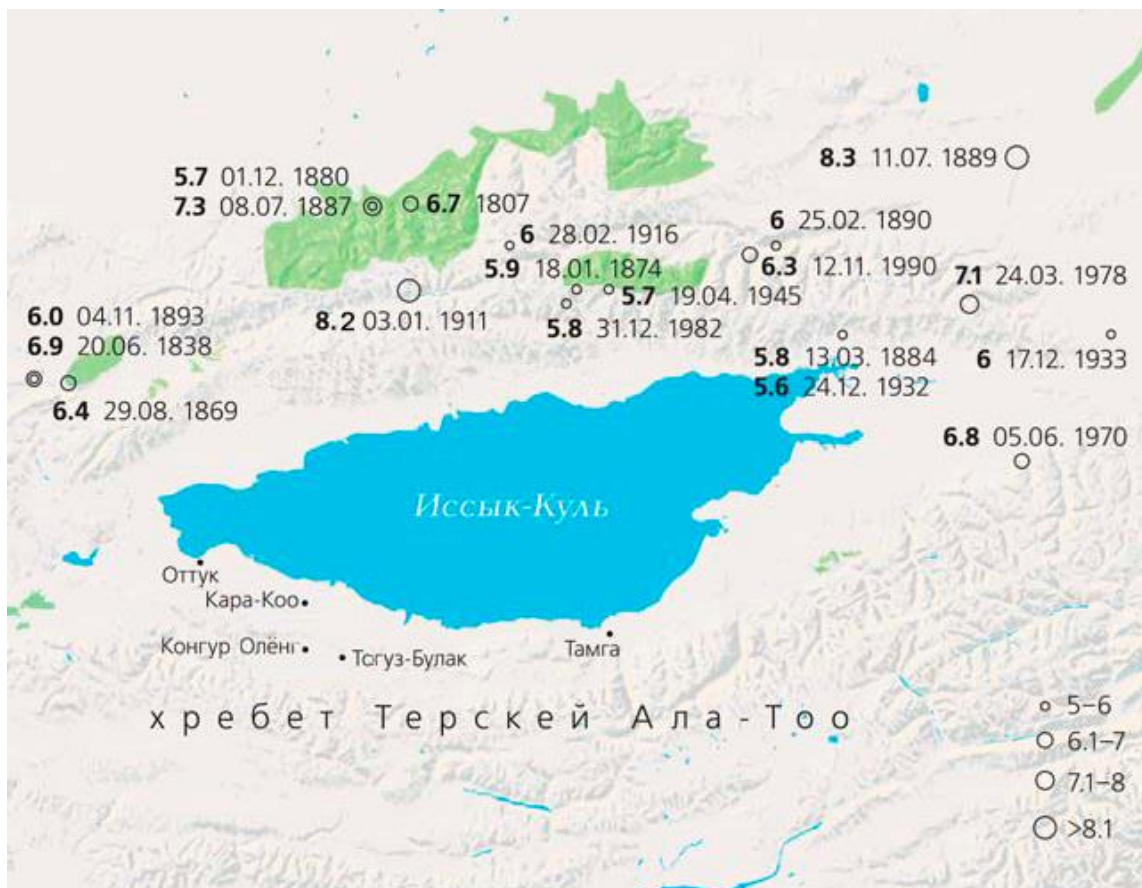


Рисунок 3. Карта Иссык-Кульской котловины. Кружками показаны очаги сильных ( $M \geq 5.6$ ) сейсмических событий. Практически все эпицентры очагов сильных землетрясений сосредоточены к северу от озерной ванны (А.М. Корженков, ..., А.А. Стрельников, ... и др., 2018)

Была изучена палеосейсмичность вдоль зоны адырного (предгорного) Коконадыр-Тегерекского разлома в Юго-Западном Прииссыккулье. Было показано, что хотя сейсмические подвижки продолжаются по зоне тектонического контакта палеозойских пород Коконадыр-Тегерекского поднятия и четвертичных отложений Алабаш-Конур-Оленской впадины, основная часть выходов сейсмогенных разрывов на поверхность смещается на сотни метров к югу от упомянутого адырного разлома. Этот процесс приводит к формированию многоактных сейсмоуступов и компенсационных грабенов в их тыловой части. По данным радиоуглеродного датирования вдоль зоны Коконадыр-Тегерекского разлома имели место четыре сильных голоценовых землетрясения, произошедших во временные интервалы: 1771–1785 гг. н.э., 1440–1515 гг. н.э., а также, вероятно, в 2310–745 гг. до н.э. и 6400–5300 гг. до н.э. Судя по параметрам разрывов/сейсмоуступов их магнитуда была  $M \geq 7$ , а сейсмическая интенсивность  $I_0 \geq 9$  баллов.



Специфические разрушения крупных археологических памятников VI–XII вв. н.э. свидетельствуют о недостаточной сейсмической изученности региона и, как следствие, о неучтенной и заниженной оценке сейсмической опасности во внутривпадинной Ала-Баш-Конур-Оленской впадине, расположенной на юго-западе Исык-Кульской котловины. В результате проведенных полевых исследований был обнаружен, в частности, древний комплекс, расположенный на южном склоне гор Дувана. Выяснилось, что это сооружение, расположенное на сеймотектоническом уступе, разрушено и частично поглощено сеймотектоническим грабеном. По всей видимости, в период существования комплекса в VII–IX вв. произошло сильное ( $I_0 \geq 9$  баллов) землетрясение.

Представлены результаты изучения внутривпадинных поднятий на востоке Исык-Кульской котловины. Поднятия представляют собой приразломные антиклинальные ассиметричные складки, в пределах которых в деформации вовлечены неогеновые и четвертичные отложения. Асимметрия складок выражена в наличии у них пологих и протяженных южных крыльев и более коротких, и крутых – северных.

Осложняющие северные крылья складок разломы являются сегментами Южно-Исык-Кульского и Каркаринского разломов взбросовой кинематики, активных в позднечетвертичное время. Помимо вертикальной компоненты движений для обоих разломов установлена левосторонняя компонента горизонтального смещения.

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

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

### Выводы

1. Современные проявления активной тектоники и сейсмической активности на юге Исык-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 Исык-Кульской впадины связано с подвижками по магистральному Исык-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.

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. 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:  $M=7.1$  и  $M=6.7$  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. Латеральное меридиональное наращивание площади предгорий (адыров) происходит во время сильных землетрясений. 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, 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 впадине, в том числе, на основе 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 палеоземлетрясением [Корженков и др., 2018; Деев и др. 2016].

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].

Полученные данные для восточной части Ала-Баш-Конур-Оленской впадины показали, что минимально возможное значение магнитуды землетрясения, по археосейсмологическим данным произошедшее на рубеже XVI в., составило  $M=7.1$ , а интенсивность  $I_0=8-10$  баллов.

Были изучены внутривпадинные поднятия на востоке Иссык-Кульской котловины, в частности, районы Каркаринского и Южно-Иссык-Кульского разломов. Анализ их

структуры и сеймотектонического положения позволил нам выявить следующие характеристики:

1) Поднятия представляют собой приразломные антиклинальные асимметричные складки, в пределах которых в деформации вовлечены неогеновые и четвертичные отложения. Асимметрия 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-Иссык-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 Терскей-Ала-Тоо распространился с олигоцена по голоцен практически на все осадочное выполнение восточной части Иссык-Кульской впадины.

4) Многочисленные разломные уступы и сейсмичности, 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.

### 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 Терскей-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 Терскей-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 оперяющими 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 ПУБЛИКАЦИЙ 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. 43–63.
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. 24–36.
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. 54–74.
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 Культурского разлома) // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2020. – Т. 47. – № 2. – С. 19–44.
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.

### 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 Иссык-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. – Nan-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 поселении 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 Иссyk-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 Иссyk-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.

### 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.





Подписано в печать 15.02.2022 г.  
Формат 64×84/16. Объем 1,5 усл. печ. л.  
Тираж 100 шт. Заказ №  
Отпечатано в ИАЦ ИФЗ РАН  
123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1  
Тел./факс: (499) 254 90 88.