

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 – 2021

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность. Иссык-Куль территория интенсивного экономического развития Киргизской Республики. Здесь расположено большое количество объектов современного строительства, развития инфраструктуры. Ведется ежегодное расширение территорий курортных зон, сельскохозяйственной активности, лесного хозяйства. Также здесь сосредоточена третья по численности населения область на территории Киргизской Республики.

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 в следствии активных эрозионных процессов. Оно может быть сильно повреждено и разрушено в результате сильных сейсмических колебаний. Кроме того, на побережье Иссык-Куля находится действующая военная база Российской Федерации.

Несмотря на наличие современных устройств регистрации сейсмических событий, остается открытым вопрос об периодизации их повторяемости и затиший. Для получения ответа на данную тему используются научные изыскания из раздела палеосейсмологии.

Цель работы состоит в уточнении оценки сейсмической опасности отдельных участков Иссык-Кульской впадины и прилегающих территорий с помощью новых методов палео- и археосейсмологии, а также определению роли адырных разломов в формировании режима сильных землетрясений и распределения сильной сейсмичности 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 землетрясений вдоль краевых и 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 8 бальных землетрясений на юге и востоке впадины до 9 балльного уровня на основе данных архео- и палеосейсмологии. Впервые получены данные о кластеризации землетрясений на севере Иссык-Кульской впадины - периоды выплеска сейсмической энергии сменяются периодами сейсмического затишья. Отмечена приуроченность сильных землетрясений не только к краевым, но и к адырным разломам, являющимися ответвлениями магистральных глубинных разломов.

Защищаемые положения:

Первое защищаемое положение: Сильная сейсмическая активность приурочена не только к краевым, но и адырным (оперяющим) разломам, являющимися ответвлениями зон магистральных разломов сдвиго-надвигового характера.

Второе защищаемое положение: Режим проявления сильных землетрясений в Иссык-Кульской котловине выражается в виде периодов сейсмической активизации (3-5 сильных землетрясений за 1000-1500 лет) сменяющейся периодами сейсмического затишья (в 2000 лет).

Третье защищаемое положение: Адырные (предгорные) разломы южной и восточной части Иссык-Кульской впадины генерируют сильные землетрясения интенсивностью 9 и выше баллов.

Личный вклад автора. Соискателем лично постановлены научные задачи исследования. В период с 2016 по 2019 гг. автором в составе научно-исследовательской группы под руководством д.г.-м.н. А.М. Корженкова были проведены полевые исследования территории Исык-Кульской внутривпадинной котловины и прилегающих территорий. В результате обработки космических и аэрофотоснимков, а также работы с картографическими материалами и литературными источниками, а также непосредственным геоморфологическим анализом рельефа местности автором были обнаружены и исследованы локализованные объекты.

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», «Научной конференции молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН 2018, 2019, 2020», «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», «Современные проблемы механики, 2018», «XXI Научно-практической Щукинской конференции с международным участием, 2018», «Пятой тектонофизической конференции в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле, 2020», «VIII Щукинских чтениях: рельеф и природопользование, 2020».

Объем и структура диссертации. Диссертация общим объемом 214 страниц состоит из введения, 6 глав и заключения. Она включает 98 рисунков, 5 таблиц. Библиография содержит 184 источника.

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. Мы благодарим д.г.-м.н. Е.А. Рогожина, Н.Ш. Ажиканова, Н. Глаголеву, к.г.-м.н. А.С. Гладкова, д.г.-м.н. А.В. Деева, Е.Ю. Лобову, к.и.н. Д.В. Лужанского, PhD Й.В. Мажейку, д.ф.-м.н. М.В. Родкина, И.Г. Сорокину, А.Б. Фортуну 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 палегеодинамики.
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. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ИССЫК-КУЛЬСКОГО РЕГИОНА

В данной главе охарактеризованы география и геологическое развитие Иссык-Кульского региона на протяжении мезозой-кайнозойского времени.

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.

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

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);

3. позднеплиоценовый - плейстоценовый: увеличение роста хребтов и прогибания впадины (верхняя часть тянь-шаньского орогенического комплекса).

В настоящее время Иссык-Кульская межгорная впадина 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].

Протяженность впадины - до 260 км при наибольшей ширине в центральной части – 75-80 км. Значительная часть территории занята солоноватоводным озером (общая площадь акватории 6236 км²) [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 – Терской Ала-Тоо.

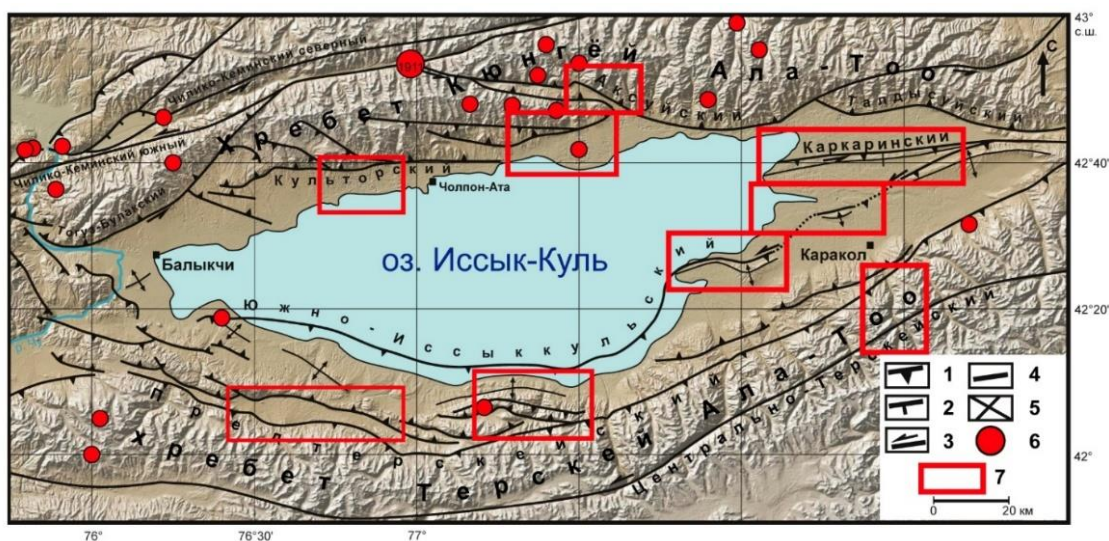


Рисунок. Основные активные структуры Прииссыккуля (Корженков, ..., Стрельников, и др., 2016) 1-4 - разломы: 1 - взбросы и надвиги, 2 - сбросы, 3 - сдвиги, 4 - неясной кинематики; 5 - оси внутривпадинных поднятий; 6 - эпицентры землетрясений с $M > 5$; 7 - Участки исследовательских работ (А.М. Корженков,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

ГЛАВА 2. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Тянь-Шань находится на самом севере обширного и протяженного Средиземноморско-Гималайского горного пояса. Возникновение Тянь-Шаньского орогена объясняется следствием столкновения и

продолжающейся коллизией Евроазиатской и Индийской литосферных плит (Molnar, Tapponier, 1975). Величина сокращения земной коры вкост 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 магнитудой $M=8,2$ в Северном Тянь-Шане по праву являющееся одним из самых значительных внутриконтинентальным сейсмическим событием в истории; Сарыкамьшское землетрясение 1970 года, произошедшее в восточной части Иссык-Кульской впадины интенсивностью $I_0=8-9$ баллов, магнитудой $M = 6.8$; Жаланаш-Тюпское землетрясение произошло 24 марта 1978 года в районе населенных пунктов Жаланаш и Тюп и очаг его находился в зоне восточного погружения Кунгейского антиклинория на глубине 15 км, максимальная магнитуда составила $M = 7.1$.

Работа по изучению 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]. Недостатком работ киргизских исследователей было отсутствие абсолютных возрастов выявленных сейсмодислокаций, а также незнание их внутреннего строения.

Текущие выводы об оценке сейсмической опасности юга Иссык-Куля основаны на старых материалах, методиках, которые в совокупности не отражают текущую картину. В конкретном случае поднимается вопрос о

высокой сейсмичности Южного и Восточного частей Иссык-Кульской впадины.

На данный момент информацию об исторических 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.).

Фиксация сейсмических событий древности позволяет составлять периодизацию повторяемости и затиший землетрясений, что дает возможность прогнозировать опасные природные явления на исследуемой территории иногда с точностью до 100 лет. Данная проблема всегда остро стоит при строительстве стратегических, энергетических, транспортных объектов, где поднимаются запросы на повторяемость землетрясений за последние 10000 лет и более.

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАЛЕОСЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ В РАЙОНАХ СЕЙСМОАКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ

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

В нашем исследовании мы использовали традиционный набор методов архео- и палеосейсмологии (Archaeoseismology, 1996; Корженков, 2006; Палеосейсмология, 2011). 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. 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 СР5. Смещения тальвегов водотоков, апексов конусов выноса, наличие запирающих хребтов позволили установить и измерить амплитуды сдвиговых перемещений вдоль разломных уступов.

Для детализации черт проведена панорамная фотосъемка с использованием квадрокоптера. Здесь же выполнено тренчинговое 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}C определение абсолютного возраста отложений.

Определение ^{14}C возрастов 1 образца палеопочвы и 2 образцов 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 характеристики 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. Определялись элементы залегания слоев и плоскостных деформаций.

Оценка магнитуд и интенсивности палеоземлетрясений проводилась на основе эмпирических зависимостей между ними и параметрами сейсмогенных разрывов (Nikonov 1988; Wells, Coppersmith, 1994). Типы сейсмиков 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.

ГЛАВА 4. СИЛЬНЫЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 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 краевых 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.

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): Талды-Булакскому, Культорскому, Аксуйскому и Талдысуйскому. Эти разломы также имеют адырную зону, но менее развитую, чем у хребта Терской Ала-Тоо. Строение северных разломов в той или иной степени было изучено ранее (Чедия, 1986). Наши последние работы также были связаны с исследованиями разломных зон на севере котловины.

Территория Иссык-Кульской впадины и ее обрамления — это значительная территория (около 21600 км²). Эту территорию на протяжении последней сотни лет изучали сотни исследователей и десятки исследовательских институтов. Именно поэтому мы решили сконцентрироваться на ключевых участках, характеризующих структуры и сейсмичность северной и южной частей котловины.

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. и могло способствовать угасанию цивилизации монголов в Северном Прииссыккулье.

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-Аксуского) сегмента Аксуйского краевого разлома имело место, по крайней мере, 8 сильных землетрясений. 3 сейсмических события произошли во втором тысячелетии нашей эры (включая землетрясение 1911 г.). Этому выплеску сейсмической энергии предшествовал 2-тысячелетний период покоя. Последний наступил после еще одного 1.5-тысячелетнего импульса сейсмической активизации из 5 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 2-х тысячелетним интервалом сейсмического затишья. Таким образом, абсолютные датировки разновозрастных речных террас, разорванных сейсмогенным разрывом, могут служить надежным источником информации о возрасте сильных землетрясений, произошедших вдоль сейсмогенерирующего разлома.

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 и 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: $M = 7.2$ и $M = 6.9$ по высотам изученных сейсмоуступов. При рассчитанных значениях магнитуд интенсивность сейсмических колебаний согласно шкале МСК-64 составляет IX и более баллов. Подтверждаются наши ранние предположения о вовлечении в поднятие расположенных к югу участков Иссyk-Кульской котловины. Латеральное меридиональное наращивание площади адыров происходит во время сильных землетрясений. Эти оценки крайне важны при рассмотрении и новой оценке сейсмической опасности Северного Прииссыккуля – наиболее населенной части Иссyk-Кульской области Кыргызской Республики, а также других регионов земного шара, развивающихся в режиме постплатформенных орогенов.

Выводы:

1. Была изучена северная предгорная зона Иссyk-Кульской впадины: зоны Культорского и Аксуйского краевых разломов. Было установлено наличие развитой адырной зоны для Культорского разлома, к которой приурочена сильная голоценовая и четвертичная сейсмичность. Подвижки по адырным надвигам сопровождаются образованием компенсационных грабенов в их тылу.

2. Краевой Аксуйский разлом, по которому произошло Кеминское землетрясение 1911 года является долгоживущим, по нему выявлено 7 палеоземлетрясений в позднем голоцене.

ГЛАВА 5. СИЛЬНЫЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ЮГА ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ

Эпицентры почти всех известных сильных землетрясений, согласно данным о сейсмичности инструментального периода, а также внесенных палеоземлетрясений в каталогах (Уломов В.И. 1977) и (NEIC USGS) находятся к северу от озерной ванны. Данная глава посвящена изучению вопроса об асейсмичности южной части Иссык-Кульской котловины.

Была изучена палеосейсмичность вдоль зоны адырного (предгорного) Коконадыр-Тегерекского разлома в ЮЗ Прииссыккулье. Было показано, что хотя сейсмические подвижки продолжаются по зоне тектонического контакта палеозойских пород Коконадыр-Тегерекского поднятия и четвертичных отложений Алабаш-Конуролёнской 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 внутригорной Алабаш-Конур-Олёнской впадине, расположенной на юго-западе Иссык-Кульской котловины. Целью работы было изучение последствий сильных исторических сейсмических событий, выявление нарушений целостности археологических построек, оценка силы, места и времени возможных землетрясений в данном регионе. Для поиска археологических памятников была проведено изучение детальных

космических снимков территории упомянутой внутригорной впадины, а затем аэрофотосъемка обнаруженных древних построек с помощью квадрокоптера. В результате проведенных полевых исследований был обнаружен, в частности, древний комплекс, расположенный на южном склоне гор Дувана. Выяснилось, что это сооружение, расположенное на сейсмотектоническом уступе, разрушено и частично поглощено сейсмотектоническим грабеном. По всей видимости, в период существования комплекса в VII–IX вв. произошло сильное ($I_0 \geq 9$ баллов) землетрясение.

Выводы:

1. Современная активная тектоническая и сейсмическая активность на юге Иссык-Кульской впадины приурочена к адырным поднятиям.
2. Образование надвиговых сейсмоуступов в адырах сопровождается формированием компенсационных грабенов в их тылу.
3. Формирование адырных структур на юге и юго-востоке Иссык-Кульской впадины связано с подвижками по магистральному Иссык-Кульскому разлому.

ГЛАВА 6. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ: ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ

В 6 главе представлены результаты изучения внутривпадинных поднятий на востоке Иссык-Кульской котловины. 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.

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.

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

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 $M \geq 7$, $I_0 \geq 9$ 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 адырных разломов.

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

3. Высвобождение сейсмической энергии вдоль 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. Рассчитанные магнитуды сильных палео и исторических землетрясений, произошедших вдоль адырных разломов, однозначно свидетельствуют о недооцененной сейсмической опасности юга и востока Иссык-Кульской впадины.

ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. 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 адырным (предгорным) 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 адырах является образование компенсационных грабен в тылу надвиговых сейсмоуступов.

2. Горное обрамление Иссык-Кульской впадины развиваются по типу цветковой структуры, обусловленной крупными региональными сдвигами, проходящими в осевых частях хребтов. При этом адыры юга и юго-востока Иссык-Кульской впадины развиваются по правилу поддвигов, являющихся оперяющими разломами для регионального Южно-Иссык-Кульского пологого надвига - главной адырной разломной плоскости.

3. Высвобождение сейсмической энергии вдоль 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 1500 лет) чередуются с периодами затишья в несколько тысяч лет (2000 лет).

4. Рассчитанные по эмпирическим формулам магнитуды сильных палео и исторических землетрясений, произошедших вдоль 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 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. – С. 1-19.

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 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 Иссык-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-Иссыккульского разлома в Восточной части Иссык-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.