

ОТЧЕТ О ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЕКТА

Заявленные цели проекта на период, на который предоставлен грант

Цель предлагаемого проекта (далее Проект) – исследовать и сопоставить новейшую структуру, тектоническое положение и историю формирования впадин левостороннего кулисного ряда, протягивающегося вдоль северо-западной границы Высокой Азии, и его соотношения с этой границей как в их поверхностном выражении, характеризующем земную кору, так и в глубинном строении на уровне верхней мантии.

Достижение этой цели предусматривает решение следующих задач (на весь срок реализации проекта):

(1) Сбор опубликованных данных о новейшей структуре, тектоническом положении и истории формирования впадин указанного кулисного ряда (Ферганской, Нарынской, Иссык-Кульской, Илийской, Алакульской, Зайсанской и Чуйско-Курайской).

(2) Анализ моделей рельефа, топографических и геологических карт и космических изображений для выявления элементов новейшей структуры перечисленных впадин, выражения северо-западной границы Высокой Азии в рельефе и новейшей структуре, соотношений этой границы с кулисным рядом впадин.

(3) Обработка палеомагнитных образцов, ранее отобранных участниками Проекта в Нарынской и Иссык-Кульской впадинах и уточнение на основе полученных результатов стратиграфии молассовых толщ Центрального Тянь-Шаня.

(4) Изучение тектоники и разрезов Алакульской и Зайсанской впадин, отбор и определение палеонтологических остатков и палеомагнитных образцов, создание хроно-стратиграфических моделей этих впадин.

(5) Сравнительный анализ истории формирования впадин кулисного ряда.

(6) Анализ сейсмотомографических данных глобальной сети с целью построения разрезов верхней мантии, пересекающих границы Высокой Азии и указанный ряд впадин.

(7) Создание модели строения, происхождения и развития новейшей структуры северо-западной границы Высокой Азии и впадин указанного кулисного ряда.

2020 год – основные работы по сбору и обобщению опубликованных материалов по тематике Проекта; структурно-геоморфологические и неотектонические (включая активные разломы) исследования на основе анализа дистанционных материалов; полевые работы в Зайсанской впадине и на ее обрамлениях; обработка полевых материалов и палеомагнитных образцов из Нарынской и Иссык-Кульской впадин; подготовка первых публикаций по неотектонике, палеонтологической характеристике и стратиграфии Зайсанской впадины.

Полученные результаты с описанием методов и подходов

Для изучения неотектонического положения и строения кулисного ряда впадин и сочетающихся с ними новейших поднятий, образующих северо-западную границу Высокой Азии, был применен комплексный подход. Для характеристики новейшей структуры и, прежде всего, выражения в рельефе новейших поднятий и разломов построена серия геоморфологических профилей, пересекающих как всю область изучаемых впадин и сопредельные территории, так и отдельные неотектонические зоны и объекты (рис. 1–3 в Приложении). Исходным материалом для их построения послужила модель рельефа с 3" разрешением. Для характеристики новейших впадин кулисного ряда (состав, мощности и возраст отложений, их распределение и черты осадконакопления) использовались как опубликованные данные, так и новые материалы, полученные участниками Проекта. Для обоснования возраста отложений Зайсанской впадины обрабатывалась коллекция фауны, собранная участниками проекта. Для уточнения стратиграфии и

истории формирования Нарынской и Иссык-Кульской впадин Тянь-Шаня были построены их уточненные разрезы и выполнена подготовка образцов для магнито-стратиграфического анализа. Для структурно-кинематической характеристики новейших разломов были привлечены материалы, содержащиеся в составленной участниками Проекта Базе данных активных разломов Евразии, и выполнен анализ дистанционных материалов, позволивший пополнить базу данных дополнительными сведениями. Для сопоставления новейшей структуры со строением верхней мантии региона построены разрезы верхней мантии вдоль геоморфологических профилей, пересекающих область изучаемых впадин и сопредельные территории (рис. 4–6). Базой данных для построения разрезов послужила объемная модель вариаций скоростей продольных (Р) волн МПТ-Р08 [Li et al., 2008], которая содержит значения отклонения скоростей Р-волн от среднего значения первого приближения (dV_p) в процентах. Столь разнообразный комплекс методов привлечен для изучения новейшей структуры впервые.

Особые финансовые средства для проведения экспедиционных работ в 2020 году не запрашивались и не выделялись. Тем не менее, в рамках средств, выделенных по проекту, предполагалось осуществить научные командировки исполнителей Проекта в Восточный Казахстан для дополнительного полевого изучения Зайсанской впадины. Эти работы не состоялись, поскольку во время, удобное для их проведения, Казахстан был закрыт из-за Ковид-19, а когда он на короткое время открылся, не хватило времени для получения разрешения на работы в погранзоне (до открытия сообщения разрешение не выдавалось). Отсутствие полевых работ было восполнено анализом космических изображений и, тем самым, не помешало подготовить и опубликовать статью о новейшей структуре Зайсанской впадины (см. ниже). Кроме того, «сверх плана» был выполнен анализ активной тектоники, общих закономерностей строения ряда новейших впадин северо-западного ограничения Центральной Азии и соотношений новейшей структуры пограничной области со строением верхней мантии. Результаты анализа содержатся в двух статьях, подготовленных к опубликованию и сданных в печать. Полученные в итоге выполненных работ результаты излагаются ниже.

Опубликована статья: Трихунков Я.И., Буланов С.А., Бачманов Д.М., Сыромятникова Е.В., Латышев А.В., Кравченко М.М. Морфоструктура южной части Зайсанской впадины и её горного обрамления // Геоморфология. 2020. № 2. С. 85–101. DOI: 10.31857/S043542812002008X

В статье приведены результаты морфоструктурного анализа южной части Зайсанской впадины и её горного обрамления, основанного на полевых структурно-геоморфологических исследованиях и анализе новейших дистанционных данных высокого разрешения. Выделен ряд широтных линейных сводово-разрывных и осложняющих их блоковых морфоструктур. В истории развития региона с позднего палеозоя сочетаются общая унаследованность дифференцированных движений земной коры и прерывистость, выраженная в фазах их активизации. Морфоструктура Зайсанской впадины и её горного обрамления сформировалась в условиях латерального сжатия земной коры. Оно реализовывалось в сводово-взбросовых деформациях региональной предорогеной поверхности выравнивания палеоценового времени, поднятой почти до 4 км на хребте Саур и опущенной на 1.5 км в Зайсанской впадине, где в результате началось озерное осадконакопление. В миоцен-плиоценовое время её прогибание ускорило. На её юго-восточной периферии взбросовая компенсация сдвигов вызвала ускорение поднятия Тарбагатай и Саура в плиоцен-четвертичное время. За четвертичное время по Тарбагатайской и Манрак-Саурской зонам разломов северо-западного простирания произошли правосдвиговые перемещения с минимальной амплитудой в 1 км. На стыке с Джунгарской плитой в своих юго-восточных периферийных частях Манрак-Саурский и Тарбагатайский правые сдвиги компенсируются системой широтных взбросов, контролирующей развитие Зайсанской впадины, а также Кендырлыкской и, возможно, Чиликтинской впадин как рамп-синклиналей и глыбовых хребтов Саур, Манрак, Сайкан и Тарбагатай как клиньев выжимания.

Подготовлены и сданы для опубликования в журнал «Геотектоника» две статьи. В обеих статьях рассматривается вся территория Центральной Азии, но заметное место занимает анализ новейшей структуры, активной тектоники и их соотношений со строением верхней мантии в

пограничной северо-западной части Центральной Азии. Эта часть является предметом исследований в рамках данного Проекта, и потому остановимся на полученных здесь результатах подробнее.

В статье: Трифонов В.Г., Соколов С.Ю., Бачманов Д.М., Соколов С.А., Трихунков Я.И. «Неотектоника и строение верхней мантии Центральной Азии», показано, что докайнозойские тектонические зоны, на большей части региона оформившиеся еще в палеозое, выходят на пределы Центральной Азии. Ее поднятие над смежными континентальными областями и своеобразная северо-западная пограничная область являются неотектоническим образованием. Эта область выражена сочетанием горных хребтов с ориентированным на северо-восток куличным рядом субширотных новейших впадин, Ферганской, Нарынско-Атбашинской (разделившейся в плейстоцене на Нарынскую и Атбашинскую), Иссык-Кульской, Илийской, Алакульской, Зайсанской и Чуйской (на Алтае). К этому куличному ряду можно было бы отнести и Афгано-Таджикскую депрессию, но по истории развития она скорее является восточным окончанием Паратетиса.

На основе геоморфологического профилирования (см. рис. 1–3) и анализа данных предшественников и авторов Проекта делается вывод о последовательном изменении стиля новейших деформаций западной части Центральной Азии с юга на север. На юге, в пределах Пенджабского синтаксиса, доминируют новейшие складчато-надвиговые деформации, Они же, в сочетании с элементами срыва и дисгармонии, определяют строение осадочного чехла Афгано-Таджикской депрессии. К образованиям того же типа относятся новейшее пододвигание Тарима под Южный Тянь-Шань и связанные с ним складчато-надвиговые деформации. Они проявлены в неотектонических образованиях, наблюдаемых в Южном Тянь-Шане [Трифонов и др., 2008] и на севере Таримской впадины [Yin et al., 1998], а также в данных сейсмопрофилирования земной коры [Li Zhiwei et al., 2009] и результатах сейсмотомографического изучения верхней мантии (см. рис. 6). Севернее, в Тянь-Шане, доминируют складки основания, ограниченные и осложненные взбросами и взбросо-сдвигами [Шульц, 1948; Макаров, 1977]. Далее к северу наблюдается постепенный переход от складок основания к глыбовым формам, которые характерны для Горного Алтая и выражены блоками основания, разделенными взбросами и взбросо-сдвигами. Между двумя указанными районами, в Джунгарском Алатау и Сауре, выявлены переходные формы (см. рис. 3).

Выполнено сопоставление развития впадин куличного ряда. Эпоха от конца мела до раннего олигоцена характеризовалась на Тянь-Шане пенепленизацией, формированием кор выветривания и локальным переотложением их материала. Мощность этих отложений, обычно не превышающая десятков метров, возрастает на отдельных участках Иссык-Кульской и Илийской впадин до 300–600 м, свидетельствуя об их начавшемся опускании. Более отчетливо выражено обособление впадин в конце олигоцена – начале миоцена появлением местного грубообломочного материала в их краевых разрезах [Трифонов и др., 2008]. Оно свидетельствует о росте и эрозии соседних поднятий. Относительное прогибание впадин продолжалось в миоцене и плиоцене. Скорости накопления обломочного материала, составлявшие вначале сотые доли миллиметра в год, в конце миоцена возросли до 0.1–0.6 мм/год. Одновременно возрастали скорости роста соседних поднятий, фиксируемые высотой коррелируемых с отложениями впадин ярусов рельефа [Трофимов, 1973; Макаров, 1977; Крестников и др., 1980; Чедия, 1986]. Этот процесс замедлился в раннем-среднем миоцене, что отмечено возрастанием тонкозернистости осадков, и усилился в конце миоцена. После плиоценового замедления резкое усиление поднятия в четвертичное время выражено интенсивным врезанием на склонах хребтов, ускорившимся со среднего плейстоцена. В поднятие было вовлечено большинство впадин, где стал отлагаться грубообломочный материал. Бассейновое осадконакопление сменилось формированием террас во всех впадинах кроме центральных частей Иссык-Кульской и Илийской. Четвертичное поднятие Тянь-Шаня ускорилось по сравнению с олигоценем и неогеном почти на порядок и составило в среднем ~2 км [Трифонов и др., 2008].

Кайнозойские отложения Зайсанской впадины залегают на палеоценовой (?) коре выветривания. Разрез отложений впадины снизу вверх таков [Ерофеев, 1969; Яхимович и др., 1993]: (1) северо-зайсанская свита палеоцена – нижнего эоцена – преимущественно глины; (2)

турангинская и тузкабакская свиты эоцена – глины и алевриты; (3) ашутасская свита олигоцена и аральская свита нижнего и среднего миоцена – песчано-глинистые отложения; (4) сарыбулакская свита верхнего миоцена – песчаники, реже гравелиты; (5) павлодарская свита верхнего миоцена – нижнего плиоцена – глины и алевриты; (6) вторушкинская свита плиоцена (и гелазия?) – переслаивание алеврито-песчаных и гравийно-галечных отложений с фаунистическими остатками, датированными поздним миоценом – ранним плиоценом [Вангенгейм и др., 1993]; (7) красноярская свита нижнего-среднего плейстоцена – валунно-галечные отложения. В свитах 1–3 и 5 доминируют озерные отложения. В свитах 4 и 6 они сочетаются с аллювиальными образованиями, тогда как красноярская свита 7 во всех обследованных береговых разрезах имеет аллювиальное происхождение. Наибольшая мощность кайнозойских отложений 1575 м установлена скважиной на востоке впадины возле пос. Даирово [Ерофеев, 1969]. На южном борту впадины в долине Калмакпай свиты разделены несогласиями и содержат песчано-гравийные прослои, указывающие на снос обломочного материала с зародившегося Саурского поднятия. Разрез сокращен до ~500 м и начинается с тузкабакской свиты, залегающей на коре выветривания.

Новейшая история Горного Алтая запечатлена в разрезах Чуйской впадины, заложенной на эрозионном пенеплене с корой выветривания [Зыкин, 2012]. Разрезы общей мощностью до 1200 м начинаются олигоценовой карачумской свитой. Свита представлена либо субэральными красноцветами (не менее 40 м), либо озерными глинами и алевритами (до 75 м) с гравийными линзами, образованными впадающими в озеро водотоками. Оба типа разрезов свидетельствуют о начавшемся росте обрамляющих впадину поднятий. В конце олигоцена и раннем миоцене (кошагачская свита озерно-болотных слоистых угленосных глин, алевритов и тонкозернистых песков мощностью до 250 м) снос с соседних поднятий ослабевает. Озерный бассейн существовал в Чуйской впадине в течение всего неогена при возрастающем со временем воздействии соседних поднятий. Средний миоцен (туерькская свита) представлен алевритами, глинами и мергелями с линзами песков и галечников в прибортовых частях. В позднем миоцене – раннем плиоцене (кызылгирская свита мощностью не менее 40 м, не древнее 6 млн лет) содержание песков возрастает. В отложениях плиоцена (бекенская свита, не менее 140 м) площадь озерной седиментации сокращается, и в верхней части доминируют флювиальные пески и галечники. Вышележащие грубообломочные толщи залегают несогласно. Красноцветная терекская свита глин и суглинков с большим количеством щебня (до 100 м) отнесена к верхнему плиоцену (3.0–2.6 млн лет). Башкауская свита нижнего плейстоцена сложена аллювиальными галечниками до валунных. Грубообломочный материал доминирует и в составе более молодых четвертичных отложений. Резкое погрубение обломочного материала отражает усилившийся рост поднятий в конце плиоцена и квартере.

Таким образом, обнаруживаются сходные черты развития новейшей структуры Тянь-Шаня и Алтая: дифференциация поднятий и впадин в олигоцене, импульс активизации движений в конце миоцена и общее четвертичное воздымание территории. Те же рубежи выделяются в районе Зайсанской впадины, но первые признаки опускания здесь, как и в некоторых впадинах Центрального Тянь-Шаня, появились еще в эоцене.

В Центральном Тянь-Шане горные хребты возвышаются над днищами соседних впадин до 3–5 км, а максимальный размах рельефа доорогенной поверхности достигает 10 км. В Зайсанской впадине доорогенная поверхность, покрытая корой выветривания, погружена на глубину до 1575 м, а на соседнем к югу хребте Саур поднята до 3816 м, т.е. размах рельефа составляет 5390 м. В районе Чуйской впадины Алтая высоты рельефа изменяются от ~1740 м на дне впадины до ~3640 м на соседних хребтах. Таким образом, намечается снижение контрастности рельефа с юга на север.

Новейшие поднятия от складок основания тяньшанского типа до разделенных разломами глыбовых форм Алтае-Саянской горной системы геодинамически сходны. Кинематический анализ разломов, ограничивающих и нарушающих крупнейшие поднятия обеих групп, показал, что они возникли в условиях горизонтального сжатия. Их морфологические различия обусловлены различными свойствами деформируемой среды. Единство условий образования подчеркивается сходством строения межгорных впадин. Они, как правило, удлинены в близширотном направлении, и надвигание на их длинных бортах сопровождается деформацией осадочного чехла до вертикального залегания слоев на юге Зайсанской впадины и их запрокидывания на северном

фланге и бортах некоторых впадин Тянь-Шаня и северном борту Чуйской впадины Алтая [Деев, 2018]. На северном фланге Тянь-Шаня, южном борту Зайсанской впадины и северном борту Чуйской впадины складки и надвиги в олигоценовых и неогеновых слоях несогласно перекрыты слабее деформированными четвертичными отложениями. Это доказывает, что деформация позднекайнозойских отложений происходила в условиях сжатия не только в четвертичное время усиления поднятий, но и на более ранних стадиях новейшего этапа.

Разрезы верхней мантии Центральной Азии, составленные на основе объемной модели вариаций скоростей продольных (Р) волн МПТ-P08 [Li et al., 2008], показали отличия западной пограничной области от более восточных районов Центральной Азии. Там верхняя мантия характеризуется пониженными скоростями Р-волн, т.е. в большей или меньшей степени разуплотнена. Это обусловлено воздействием подлитосферных потоков, расходящихся от двух внутримантийных плюмов, Тибетского и Хангайского, восходящих с глубин, соответственно, ~1600 и ~1250 км. Разуплотнение верхней мантии в значительной мере обусловило поднятие земной коры в плиоцене и квартере. Вдоль западных и северо-западных границ Центральной Азии, под Западным Тянь-Шанем, Джунгарским Алатау и Горным Алтаем сейсмические скорости в верхней мантии повышены (см. рис. 4–6), Источником деформаций здесь могло быть коллизионное взаимодействие консолидированных блоков литосферы, и поднятия ниже, чем в горных системах с разуплотненной верхней мантией.

Статья: Трифонов В.Г., Зеленин Е.А., Соколов С.Ю., Бачманов Д.М. «Активная тектоника Центральной Азии в сопоставлении со строением верхней мантии» посвящена, в первую очередь, кинематике активных разломов региона и ее соотношениям со строением верхней мантии. Выполненный обзор показывает, что по кинематике активных разломов различаются северо-восток региона (от Срединного Тибета до Восточного Саяна) и его южная и западная части (Гималаи, Памиро-Пенджабский синтаксис и область к северу от него до Горного и Монгольского Алтая). На северо-востоке доминируют субширотные левые сдвиги, а на юге и западе – правые сдвиги и надвиги северо-западного и широтного простираний.

Кобдинский разлом является главным в срединной зоне разломов Монгольского Алтая (рис. 7). По нему скорость правого сдвига со среднего плейстоцена и в течение голоцена достигает 4–5 мм/год [Трифонов, Макаров, 1988; Хилько и др., 1985]. В центральной и северной частях разлом наклонен под углами 60–80° ЮЗ, и взбросовая компонента смещений многократно уступает сдвиговой. На севере, в Горном Алтае, разлом веером разделяется на несколько ветвей. Почти широтная западная ветвь сохраняет правосдвиговую компоненту смещений, но сопровождается надвигами того же простирания на северном борту Чуйской впадины. По разлому запад-северо-западного простирания на южном борту впадины произошел правый сдвиг на 2 м при Алтайском землетрясении 2003 г. [Рогожин, 2012].

В западной зоне Монгольского Алтая ведущая роль принадлежит Эртайскому правому сдвигу север-северо-западного простирания, с которым связано Фуюнское землетрясение 1931 г. По голоценовым, позднечетвертичным и плиоцен–четвертичным смещениям скорость сдвига оценивается в интервале 4–18 мм/год, а геодезически измеренная современная скорость сдвига – 4–12 мм/год [Ding Guoyu, 1984; Molnar, Deng Qidong, 1984; Shi Jianbang et al., 1984]. От его северной части ответвляется на северо-запад правый сдвиг Кекетуохай (Коктокай) с небольшим поднятием северо-восточного крыла. На его северо-западном продолжении находится Иртышский разлом, со скоростью сдвига 0.3–0.5 мм/год [Vaize et al., 2019]. Зона взбросо-сдвигов Тарбагатай–Саура дугой огибает Зайсанскую впадину с юго-запада [Трихунков и др., 2020]. Восточный взбросо-сдвиг зоны, Манрак-Саурский, простирается широтно. Южнее выделяются Джунгарский и Западно-Джунгарский (Солдатсайский) правые сдвиги, у которых сдвиговая компонента смещений многократно преобладает над взбросовой. Скорость голоценового и позднечетвертичного сдвига по Джунгарскому разлому – 3–5 мм/год [Трифонов и др., 2002]. Северо-западный сегмент разлома служит границей Алакульской впадины.

Крупнейшим правым сдвигом Тянь-Шаня является Таласо-Ферганский разлом. Он протягивается на 900 км, из которых на протяжении 400 км пересекает горное сооружение Тянь-Шаня. Амплитуды и скорости движений невелики на северо-западе разлома в хребте Каратау. На границе с Таласским хребтом Тянь-Шаня они резко возрастают. Суммарное смещение с конца

раннего плейстоцена составляет 10–12 км [Trifonov et al., 2015]. Выявлены смещения среднеплейстоценовых ледниковых форм и отложений, но наиболее полные сведения об интенсивности движений получены на основе изучения позднеголоценовых смещений [Burtman et al., 1998; Trifonov et al., 2015]. Согласно им, скорости движений достигают 10–18 мм/год в северной части Тянь-Шаня на стыке Таласского и Чаткальского хребтов. Юго-восточнее скорости составляют 7–11 мм/год и на юго-востоке тяньшаньской части разлома снижаются до 5–8 мм/год, затем 4–4.5 мм/год. К югу от Тянь-Шаня разлом затухает и на востоке Памира кулисно подставляется с запада зоной Памиро-Каракорумского (Каракорумского) правого сдвига. На северо-западе, где его оперяют правые сдвиги Юго-Восточного Памира, скорость послеледникового сдвигового перемещения по Памиро-Каракорумскому разлому составляет 15–20 мм/год. Юго-восточнее она возрастает до 27–35 мм/год [Liu et al., 1991].

Западнее Памиро-Каракорумского сдвига, в пределах Памиро-Пенжадбского синтаксиса и его северного обрамления, доминируют активные надвиги и взбросы. Они выявлены вдоль тектонических зон Каракорума, Восточного Гиндукуша, Памира, Западного Тянь-Шаня и Джунгарского Алатау [База данных, 2019]. Вдоль западной границы Памиро-Пенжадбского синтаксиса протягивается система левых сдвигов и взбросо-сдвигов север-северо-восточного простирания. На севере ее представляет Дарвазский разлом Дарваз-Алайской зоны активных нарушений со скоростью голоценового сдвига 15–16 мм/год [Трифонов и др., 2002]. Близкие скорости сдвига определены по более южному разлому системы, Чаманскому [Nakata et al., 1991; Taropnier, Molnar, 1979]. Чаманский разлом кулисно подставляется с юго-востока зоной нарушений, по разломам которой (Инаятулла-Карез, Газабанд, Аундара) скорость позднечетвертичного сдвига близка к 8 мм/год.

Выполненный по данным об активных разломах расчет деформации северо-западной пограничной области Центральной Азии показал ее горизонтальное укорочение в меридиональном, реже ЮЗ–СВ направлениях. Анализ скоростей Р-волн в верхней мантии выявил ее скоростную неоднородность при общем повышении скоростей по сравнению с более восточными районами Центральной Азии (рис. 8). Это можно интерпретировать как сочетание объемов верхов мантии с разной, но в целом повышенной плотностью.

Р. Фройнд [Freund, 1974] разделил сдвиги на трансформные (transform) и транскуррентные (transcurrent). Первые отличаются выдержанностью простирания и амплитуды смещений и наличием компенсирующих структур сжатия или растяжения на окончаниях разлома. У вторых простирания и смещения вдоль разлома менее выдержаны и вырождаются к его окончаниям. Мы выделяем две категории разломов со сходными характеристиками, называя их сдвигами перемещения и вращения. Примером правого сдвига перемещения является Джунгарский разлом. Он сопряжен на северо-западном окончании с Алакульской впадиной растяжения. На юго-востоке сдвиг отгибается к востоку, теряя сдвиговую компоненту смещений и становясь продольным относительно новейших складок основания Восточного Тянь-Шаня. Палеомагнитные исследования не обнаружили вращения в крыльях разлома и соседних блоках пород [Thomas et al., 2002].

Таласо-Ферганский разлом является северо-западным звеном грандиозной системы активных правых сдвигов. Он надстраивается на юго-восток Памиро-Каракорумским сдвигом и южно-тибетским кулисным рядом правых сдвигов, продолжающимся на юго-восток разломом Красной реки и на юг разломом Сагаинг (см. рис. 1). В пользу отнесения разломов этой системы к сдвигам перемещения свидетельствует ее большая протяженность, выдержанность простираний типа смещений. Вместе с тем, Таласо-Ферганский разлом обнаруживает признаки сдвига вращения. Амплитуды и средние скорости перемещений изменяются вдоль его зоны. Постепенное падение скоростей сдвига на юге Центрального Тянь-Шаня согласуется с тем, что к разлому примыкают с востока субширотные надвиги со значительными скоростями движений [Абдрахматов и др., 2001], снимающие часть перемещения. Однако резкое падение скорости сдвига на северо-западе Центрального Тянь-Шаня трудно объяснить только причленением к разлому с юго-запада нескольких надвигов, поскольку скорости движения по ним сравнительно невелики. Исследование палеомагнетизма меловых и олигоцен-миоценовых отложений обрамлений Ферганской впадины обнаружило признаки вращения ферганского крыла Таласо-Ферганского разлома против часовой стрелки [Vazhenov, 1993; Thomas et al., 1993], что могло

значительно повысить скорость сдвига. Признаки вращения против часовой стрелки выявлены также в кайнозойских отложениях Чуйской впадины Алтая [Thomas et al., 2002] и менее надежно Иссык-Кульской впадины [Thomas et al., 1993].

Памиро-Каракорумская и Чамано-Дарвазская системы сдвигов отражают перемещение горных масс Памиро-Пенджабского синтаксиса в северных румбах. Скорости движения в Памиро-Каракорумской системе выше, чем в Чамано-Дарвазской, с чем, возможно, связаны вращение Северного Памира против часовой стрелки [Vazhenov, Burtman, 1986]. Давление, оказываемое Памиром на северную часть Афгано-Таджикской депрессии, стало причиной выжимания горных масс восточной части депрессии к западу, что проявилось в ее складчатой деформации и правом сдвиге на границе депрессии с Южным Тянь-Шанем. Возникающий при этом вращательный момент выразился во вращении палеомагнитных склонений отложений депрессии и соседней части Памира против часовой стрелки [Klootwilk et al., 1994; Thomas et al., 1994].

Таким образом, активные правые сдвиговые и взбросо-сдвиговые смещения происходили по разломам западной части Центральной Азии, где скорости сейсмических волн возрастают, указывая на неравномерно распределенное повышение плотности верхней мантии. При общем сжатии региона в близких к меридиональному направлениях и пространственных различиях плотности литосферы происходили вращения отдельных блоков. В итоге, хрупкие деформации земной коры, определяемые генеральным полем напряжений, дополнялись эффектами вращения, обуславливая изменчивость сдвиговых смещений и их соотношений с взбросо-надвиговой составляющей движений.

Итак, все обязательства по Проекту на 2020 год выполнены, несмотря на несостоявшиеся полевые работы в Зайсанской впадине. «Сверх плана» выполнен анализ новейшей структуры и активной тектоники пояса впадин на северо-западе Центральной Азии и их соотношений со строением верхней мантии. Сданы в журнал две статьи на эту тему, что по общему плану реализации Проекта предполагалось сделать позднее.