

РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

Заявленный план работы на весь срок выполнения проекта, методы и подходы

Предметами исследования являются два типа геологического проявления активной тектоники подвижных поясов: (1) активные разломы, (2) вертикальные движения, приведшие к плиоцен-четвертичному горообразованию. Поскольку геологические события происходят неравномерно, и их последствия сказываются по прошествии того или иного, иногда длительного времени, параметры каждого из видов активной тектоники не могут быть определены на основе только современных оценок, сделанных по результатам повторных геодезических наблюдений или анализа инструментальных материалов сейсмичности. Они требуют знаний о более длительном интервале времени развития структуры, которые могут быть получены только геологическими методами. Для активных разломов подвижных поясов таким интервалом времени является голоцен и конец плейстоцена (последние ~30 тыс. лет), хотя определение особенностей развития активных разломов требует изучения их поведение за более длительные отрезки времени, а для горообразовательных движений – плиоцен-четвертичная эпоха (последние ~5 млн. лет). В связи с различиями изучаемого интервала времени и, соответственно, сохранности следов тектонических событий, каждый из типов проявлений активной тектоники требует особого методического аппарата исследований. Вместе с тем, исследования по каждому типу включают в себя разработку или совершенствование методики, получение новых данных в узловых исследуемых регионах и обобщение полученных данных. В каждом из узловых регионов будет выполнено дешифрирование космических изображений (а для изучения активных разломов местами также аэрофотоснимков), наземные полевые работы на выбранных участках, обработка полученных материалов и экстраполяция результатов с привлечением дистанционных изображений и моделей рельефа. Рассмотрим методы, план и ожидаемые результаты работ по каждому типу проявлений активной тектоники.

(1) Методика изучения активных разломов описана в многочисленных публикациях, отчасти указанных в 4.5. Дополнительной разработки потребуют идентификация следов палеоземлетрясений и датирование сейсмических и иных тектонических событий в зонах активных разломов с привлечением методов радиоизотопных (радиоуглеродного и других), палеонтологических (включая спорово-пыльцевой), тефрохронологического, археологического и исторического (определение параметров землетрясений и других природных событий по историческим свидетельствам). Эти методические разработки будут осуществляться в узловых регионах, важных для понимания природы активного разломообразования и кинематики подвижных поясов (Камчатка, Сахалин, Крым, Северо-Западный Кавказ, Армения и Восточная Турция).

Важное место в исследовании активных разломов займёт создание уточненной и дополненной Базы данных об активных разломах Северной Евразии. Целью работ является создание динамично развиваемой (то есть, пополняемой и уточняемой по мере появления новых материалов) и единообразной системы хранения, анализа и представления данных. Для этого будут использованы современные ГИС-программы. Новая база данных будет включать в себя сведения о положении разломов, типе и величинах (и/или скоростях) позднекайнозойских движений по ним, землетрясениях в их зонах, источниках информации и др. Работа включает в себя следующие блоки-задания:

1) Существенное повышение детальности представления объектов в базе данных. Для этого при картировании структурных объектов будут использоваться космические снимки (в стереоскопическом представлении) с разрешением в первые метры, а также цифровые модели рельефа с разрешением порядка 30 м на пиксель.

2) Уточнение параметров (атрибутов) объектов базы данных в соответствии с новыми материалами. С этой же целью будут учтены новые публикации и на узловых участках подвижных поясов проведены полевые исследования.

Намечен следующий график работ:

2017 г. – приобретение космических снимков, дешифрирование космических изображений и аэрофотоснимков на узловыe участки Малого Кавказа, Крыма, Восточной Турции, Алтая, Саян, Байкало-Становой зоны и Северо-Востока Азии, экспедиционные работы в некоторых из перечисленных районов, а именно, в Крыму, Северной Армении и на Камчатке; подготовка статей, где будут представлены новые данные по разломной тектонике северных и северо-западных обрамлений Тихого океана, Северо-Западного Кавказа, Северной Армении и Восточной Турции.

2018 г. – завершение создания новой Базы данных с учетом полученных при дешифрировании данных; продолжение экспедиционных работ; подготовка статей об активной тектонике Керченско-Таманской области, о современной геодинамике северных и северо-западных обрамлений Тихого океана по данным об активных разломах.

2019 г. – подготовка публикаций в рецензируемых научных изданиях, включающих в себя описание методов выявления, параметризации и оценки сейсмического потенциала активных разломов, базы данных и карт активных разломов Северной Евразии, результатов их кинематического, геодинамического и сеймотектонического анализа, а также создание интернет-ресурса о базе данных об активных разломах Северной Евразии.

(2) В исследовании плиоцен-четвертичных вертикальных движений, приводящих к образованию современного горного рельефа, первоочередным станет получение количественных характеристик восходящих движений в подвижных поясах, выявление их стадийности и связи с элементами новейшей структуры. Работы будут проводиться преимущественно в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе и будут организованы таким образом, чтобы с учётом исследований, выполненных исполнителями проекта ранее, обеспечить данными, во-первых, полное сечение пояса в Аравийско-Кавказском регионе и, во-вторых, возможность сопоставления структур северного фланга пояса в разных сечениях, чтобы понять структурные изменения вдоль пояса и их причины. Среди проявлений вертикальных движений, ответственных за развитие горных поднятий, межгорных и предгорных впадин современных коллизионных поясов, различаются структуры, обнаруживающие связи с коллизионным взаимодействием плит и блоков литосферы, и структурные проявления, не обнаруживающие такой связи.

К первым относятся проявления надвигания пограничных структур коллизионных поясов на соседние плиты (или пододвигания плит под краевые структуры пояса) с формированием предгорных прогибов; развития присдвиговых структур и сопряжённых антиклиналей и синклиналей, выраженных в рельефе и осадконакоплении горными поднятиями и межгорными впадинами. Проявления надвигания краевых структур на соседнюю плиту будут исследованы в зоне Южно-Таврского надвига в Восточной Турции, а развитие присдвиговых структур – в Восточной Турции и Северной Армении. Начальные стадии развития молодых складчатых структур и их соотношения с разломами предполагается изучить в Сочинском районе Северо-Западного Кавказа и Керченско-Таманской области. Более полное развитие складчато-разломных форм вплоть до их зрелых стадий будет проанализировано на примерах Центрального Тянь-Шаня и Зайсанской впадины между горными системами Тянь-Шаня и Алтая.

Среди неотектонических проявлений, не обнаруживающих прямой связи с коллизионным взаимодействием плит и блоков литосферы, главным предметом исследований станет определение параметров ускорения вертикальных движений в плиоцен-четвертичное время по сравнению с более ранними стадиями новейшего этапа. Будут исследованы также межгорные впадины типа Ширакской в Северо-Западной Армении, не обнаруживающей связи с коллизионным взаимодействием плит, но связанной с глубинными преобразованиями, выраженными вулканизмом. Для этого будут выполнены полевые работы в Крыму, на Большом Кавказе и в Армении, обработаны результаты ранее выполненных полевых исследований в Восточной Турции, Армении. Возможно проведение дополнительных полевых изысканий в Восточной Турции и Тянь-Шане, если обработка полученных материалов покажет их недостаточность для определения параметров строения, развития и происхождения изучаемых структур.

Основная сложность определения происхождения плиоцен-четвертичных структур заключается в их полигенности. Например, развитие обусловленных поперечным сжатием складчатых деформаций горного пояса чётко выражается геологическими и геоморфологическими индикаторами

вертикальных движений в сопряжённых антиклиналях-поднятиях и синклиналиях-прогибах. Однако наложенное на такие дифференцированные движения общее усиление восходящих движений в плиоцен-четвертичное время, обусловленное глубинными преобразованиями, также имеет разную интенсивность в горных поднятиях и прогибах и проявляется с разной интенсивностью в разных частях подвижного пояса. Разделить проявления источников деформаций разного типа и понять причины выявляемых различий – важная задача проекта.

В исследовании плиоцен-четвертичных складчатых, блоковых и сводовых деформаций будет использован комплекс методов: выделение, картирование и сопоставление речных и морских террас и поверхностей выравнивания, измерение их деформаций, структурно-геологическое и тектонофизическое определение механизмов складкообразования и соотношений складок с активными разломами, датирование проявлений вертикальных движений разного возраста методами радиоизотопными (K-Ar, SIMS U-Pb, U-Th, 14C), палеомагнитным, тефрохронологическим, палеонтологическими, включая споро-пыльцевой анализ, археологическим. Для восстановления истории поднятий и прогибов предполагается также использовать палеогеографические реконструкции, основанные на анализе состава отложений, палеонтологических и палинологических индикаторах.

Намечен следующий график работ:

2017 г. – полевое изучение четвертичной тектоники Керченско-Таманской области и её соотношений с Горным Крымом и Северо-Западным Кавказом, а также Северной Армении и Камчатки; аналитическая обработка полученных данных; подготовка к печати статей в рецензируемых журналах по четвертичной стратиграфии, тектонике и истории тектонического поднятия Восточной Турции, по четвертичному развитию впадин Северо-Западной Армении и по четвертичному складкообразованию на Северо-Западном Кавказе.

2018 г. – Продолжение полевых работ в Керченско-Таманской области и её структурных обрамлениях, а также, возможно, в Восточной Турции, Тянь-Шане и Зайсанской впадине; аналитическая обработка полученных данных; подготовка к печати статей в рецензируемых журналах по четвертичной геологии Керченско-Таманской области, неотектонической истории Зайсанской впадины и соотношениям плиоцен-четвертичной тектоники и вулканизма в Северной Армении.

2019 г. – завершение работ по изучению плиоцен-четвертичных проявлений горообразования в узловых регионах; подготовка публикаций в рецензируемых журналах: о соотношении неотектонических событий в Центральном Тянь-Шане, Зайсанской впадине и Горном Алтае; о структурных ограничениях Керченско-Таманской зоны; о происхождении межгорных впадин Северной Армении; об общих закономерностях плиоцен-четвертичного усиления горообразования в подвижных поясах Северной Евразии.

Содержание фактически проделанной работы, полученные результаты

Как и планировалось, исследования по проекту проводились в двух направлениях – в области изучения активных разломов и в области изучения вертикальных движений плиоцена и четвертичного периода, приведших к образованию современных горных систем.

Полевое изучение активных разломов и обработка полученных полевых материалов осуществлялись в пределах Центральной Камчатки – в южной части Восточно-Камчатской зоны разломов, разделяющей Центральную Камчатскую депрессию и Ганальский хребет, в восточном вулканическом поясе Камчатки, на игнимбритовом плато Широкое. В ходе изучения разломов применялся тренчинг – оценка морфологии разломов, выявление признаков и параметров палеоземлетрясений в траншеях. Для датирования сейсмических событий использовалась тефрохронологическая корреляция, при которой возраст тефры датировался радиоуглеродным и иными методами. Применялись и совершенствовались методы дистанционного изучения активных разломов Камчатки, где использование детальных космических стереопар, частично приобретенных на средства гранта РФФИ, и их фотограмметрическая обработка дополнялись съемками с квадрокоптера. В итоге определялись не только положение разломов, но и их наклон и амплитуды смещений. Геологическими наблюдениями удалось показать, что сбросы Восточно-Камчатской зоны

(основной разломной структуры Камчатки) в верхних (у поверхности) частях имеют аномально малые углы падения ($20\text{--}40^\circ$), что позволяет отнести их к классу т.н. «разломов с малыми углами падения» (low angle faults), обладающих особыми сейсмогенерирующими свойствами. Кроме того, выявлено примерное соответствие углов падения верхних частей сбросов углу (крутизне) склонов созданных ими сбросовых фасет. Рассмотрим эти исследования подробнее.

Основными параметрами разлома, в том числе, активного, определяющими положение в пространстве его плоскости, являются простирание, направление падения и угол падения. В случае разломов с движениями по падению (dip-slip faults), вторая из характеристик, если известна, позволяет отнести разлом к сбросам или взбросам, а от третьей зависит примерная оценка величины поперечного разлому сокращения или растяжения. При отсутствии геофизических данных определение угла падения, а иногда и направления падения разлома, может представлять непростую задачу. Обнажения, особенно в районах с плотным растительным покровом, редки, и потому наиболее результативной в этом смысле может показаться траншея, вскрывающая деформированные отложения и плоскость разлома. Но неопределенности при этом избежать не удастся. Причина в том, что траншеи, как правило, закладываются в поверхности молодых (плейстоцен-голоценовых) рыхлых отложений, в деформациях которых история движений запечатлена и которые могут содержать поддающийся датированию материал. Однако именно в рыхлых отложениях, вблизи земной поверхности (глубина траншеи обычно не превышает первых метров), плоскость разлома, как правило, приобретает иное, по сравнению с углом ее падения в консолидированных породах, падение. Так, обычны случаи, когда достаточно крутая, $50\text{--}60^\circ$, плоскость взбросового разлома у земной поверхности становится практически горизонтальной. В движении вдоль пологого самого верхнего отрезка плоскости может реализоваться только часть вертикальной компоненты, остальная же компенсируется, например, складчатой деформацией висячего крыла (Tsutsumi et al., 2005). Сбросы, наоборот, вблизи земной поверхности приобретают очень крутое, почти вертикальное, падение, вплоть до обратного истинному за счет "заваливания" лежащего крыла в сторону висячего (эффект toppling'a) (McClymont et al., 2009; Kozhurin, Zelenin, 2017). Из-за этого наблюдения за плоскостью сбросового разлома в неглубокой траншее могут привести к неверному заключению о его как-будто бы взбросовой кинематике.

Другой эффект наличия рыхлых отложений состоит в том, что разломный уступ в их поверхности, возникший в результате подвижки по разлому, относительно легко разрушается. При этом бровка и основание удаляются от линии разлома. Это приводит к тому, что в плане уступ со временем становится все шире, а в сечении положе, и новая подвижка по сбросовому разлому деформирует уже выположенный уступ примерно в его средней части, формируя там более крутой участок (Wallace, 1968). Итоговая (наблюдаемая) морфология разломного уступа в поверхности рыхлых отложений над сбросовым разломом зависит от числа подвижек, их вертикальной амплитуды и скорости разрушения склона. Последняя величина зависит не только от состава отложений под склоном уступа, но и ландшафтно-климатических особенностей того или иного региона. Минимальный угол поверхности разломного уступа есть угол «естественного откоса». Разрушается уступ и взбросовых разломов, но их плоскости выходят на поверхность, как правило, в нижней части склона или в его основание. Очевидно, что в случае разрушающегося уступа его крутизна, средняя для всего уступа или его фрагментов, показателем угла падения разлома быть не может.

Надежным способом определения угла падения разлома являются измерения величины отклонения линии разлома в плане от прямолинейной при пересечении им возвышенностей и впадин земной поверхности (метод «пластовых треугольников»). Ширина плоскости по падению, характеризующая итоговой величиной угла, зависит от глубины расчленения рельефа. Однако ситуация, когда не только поднятое, но и опущенное крыло разлома расчленено эрозией, не является частой. На Камчатке такие условия наблюдались на коротком сегменте Восточно-Камчатской зоны сбросовых разломов (ВКЗР), в южной части хр. Кумроч (Kozhurin, Zelenin, 2017). Измерения в южной части хр. Кумроч показали, что в пределах точности ($\pm 2\text{--}3^\circ$) угол склона фасет и угол падения плоскости сброса равны, составляя примерно 30° . Такой результат означает возможность приблизительной оценки угла падения сбросов ВКЗР по крутизне созданных ими фасет. На основе полученных значений углов падения была сделана первая оценка средней (за средне-позднечетвертичное время) скорости поперечного растяжения Центральной Камчатки, реализующегося в движениях по ВКЗР (примерно 13 мм/год) и в системе сбросов Восточного

вулканического пояса (примерно 4 мм в год). При этом полученные результаты впервые позволили связать слабую ($M=3-5$) коровую сейсмичность Центральной Камчатки с нижними, на глубине 20-25 км, частями пологих разломов ВКЗР (Kozhurin, Zelenin, 2017).

Вывод о примерном равенстве углов склонов фасет и углов падения разломов давал основу для разработки нового метода структурных исследований. Вместе с тем, он нуждался в геологическом обосновании. Подтверждением его справедливости могли бы стать задокументированные факты продолжения, без изменения угла наклона, поверхности коренных образований от основания фасеты под рыхлое заполнение депрессии. На поиск таких подтверждений были направлены работы по проекту. Исследования проводились в подножье Ганальского хребта, в местах выхода долин рек в депрессию. Обследовались все места выхода долин водотоков из поднятия хребта в депрессию. Целью их был поиск обнажений, в которых вскрывались бы коренные породы под нижней частью фасеты, рыхлые отложения заполнения депрессии рядом с основанием фасеты, и коренные отложения под ними. Сразу отметим, что обнажения, в которых наблюдались бы все желаемые сочетания форм рельефа и отложений, обнаружены не были: чаще встречались выходы коренных пород в поднятом крыле, а коренной склон долины в опущенном крыле оказывался неактивным, закрытым густой растительностью. Лишь в двух точках в подножье западного ограничения Ганальского хребта, на линии активного разлома удалось получить определенные данные об углах падения сброса. В обоих случаях удалось показать, что (1) угол падения плоскости сброса в его верхней (вблизи земной поверхности) части составляет $30-40^\circ$, и (2) угол падения плоскости примерно равен наклону созданных сбросовыми движениями фасет. Из этого сделаны выводы о том, что, 1) сбросы восточного ограничения ЦКД относятся к особому типу "разломов с малыми углами падения" (low angle normal faults, по (Collettini, 2011)), и 2) что по углу наклона нижних частей сбросовых фасет можно судить об угле падения сбросов ограничения Центральной Камчатской депрессии. Метод определения углов падения разломов по их геоморфологическому выражению, обоснованием которого послужили работы по проекту, обладает новизной и оригинальностью. Его применимость зависит от климатических и ландшафтных условий, определяющих характер и скорость деградации склонов фасет, изменения со временем их морфологии. Как показали проведенные исследования, для условий Камчатки этот метод результативен.

Полученные результаты были использованы для редактирования Новой базы данных об активных разломах Евразии (см. ниже) и частично представлены в посвященной ей статье [Бачманов и др., 2017] в виде рисунков 2–5 и Таблицы 1.

В восточном вулканическом поясе Камчатки для определения палеосейсмологических параметров разломов были картографированы отрезки разломов, смещенные единой подвижкой. На основании этих данных рассчитана возможная магнитуда землетрясения, вызванного подвижкой по разлому, $M_s = 3,7-4,7$. Измеренное по дистанционным данным накопленное смещение в пределах позднеплейстоценовых игнимбритовых плато известного возраста соответствует характерной повторяемости сейсмических событий до 1/1000 лет. Детальные палеосейсмологические результаты получены при интерпретации деформированного разреза почвенно-пирокластического чехла на позднеплейстоценовых игнимбритовых плато. Установлено, что максимальные разовые смещения не превышают 20 см, что соответствует магнитуде $M_s < 5,4$. В разрезе плато Широкого выявлены следы не менее пяти подвижек за голоцен, что соответствует оценке повторяемости по дистанционным данным [Zelenin et al., 2019].

Разработанные на Камчатке приемы дистанционного выявления и параметризации активных разломов были применены при изучении активной разломной тектоники других регионов Дальнего Востока, а также Тянь-Шаня и Зайсанской впадины Восточного Казахстана, расположенной между горными сооружениями Тянь-Шаня и Алтая. В Армении и Восточной Турции данные о позднечетвертичных смещениях использовались для кинематической идентификации плиоцен-четвертичных разломов.

Выявлены основные черты распределения активных разломов на территории между системой забайкальских впадин и Охотским морем. Разломы распределены прерывисто и сосредоточены в центральной части Станового нагорья, в системе хребтов Тукуринга-Джагды, в юго-восточном обрамлении депрессии низовьев р. Уды и на западном побережье Охотского моря. В Становом хребте выделены протяженные, простирающиеся вдоль поднятия хребта, разрывные структуры левосдвиговой кинематики – такой же, что проявлена кулисным рядом забайкальских впадин

западнее. Крупнейшим является субширотный Атугей-Нуямский-Майский (Токинский) левый сдвиг. Выделена активная Прибрежная разломная зона на побережье Охотского моря, которая, подобно другим продольным разломам Тихоокеанского пояса, является правосдвиговой. На северо-востоке она почти достигает линии Кетандинского разлома правосторонней кинематики. Видимые на снимках смещения свидетельствуют о доминировании в системе хребтов Тукуринга и Джагды разломов со взбросовой кинематикой. На востоке система взбросовых разломов Тукуринга-Джагды сочленяется с левыми сдвигами юго-восточного обрамления депрессии низовьев р. Уды.

Получены новые данные об активных разломах северной части Сахалина (Хейтонском, Лонгрийском, Пильтунском и др.), свидетельствующие о продолжающихся (активных) правосдвиговых движениях вдоль острова в его северной части. В центральной и южной частях острова, вдоль Тымь-Поронайской зоны активных разломов, отдельные разломы демонстрируют признаки взбросовых движений, но кулисное расположение разломов предполагает, что в движениях по зоне присутствует правосдвиговая компонента. Таким образом, на острове существует единая продольная правосдвиговая зона с меняющейся вдоль ее простирающей относительной величиной вертикальной компоненты, которая практически отсутствует на севере и велика в центре и на юге острова.

На северо-востоке Азии наиболее значимым результатом дешифрирования космических снимков стало обнаружение признаков активных правосдвиговых движений вдоль Ланково-Омолонской зоны северо-восточного простирающей (к западу от зал. Шелихова) и вдоль меридионального Кетандинского разлома (северное Приохотье).

Полученные данные использованы при редактировании Новой базы данных об активных разломах Евразии.

Выполнено и завершено создание Новой базы данных активных разломов Евразии (БД). БД объединяет и обобщает данные многих исследований в едином формате и содержит более 30000 объектов (разломов, разломных зон и связанных с ними тектонических нарушений и деформаций). Каждый объект БД снабжен координатной привязкой, достаточной, чтобы изобразить его без огрубления на картах масштаба 1: 1000000, и характеризующими объект обосновывающими и оценочными атрибутами. Обосновывающие атрибуты: NAME – название объекта; PARM – записанные в определенном формате данные о методах параметризации разлома, морфологии, кинематике и величинах смещений по разлому за различные отрезки времени, скоростях движений, установленных по данным об амплитудах смещений за определенное время, возрасте последних проявлений активности, сейсмических и палеосейсмических проявлениях, связанных с объектом; ТЕХТ – дополнительные сведения об объекте, записанные в свободной форме; AUTH – источники информации об объекте. Оценочные атрибуты представлены системой индексов, отражающих следующие характеристики. SNS1 – ведущая компонента движений по разлому согласно структурно-геологической классификации. SNS2 – второстепенная компонента движений по разлому, если она существует. SIDE – индикатор относительно поднятого крыла. RATE – три ранга скорости молодых движений по разлому ($V < 1$ мм/год; $1 < V < 5$ мм/год; $V > 5$ мм/год). CONF – четыре категории достоверности оценки объекта как активного. С помощью индексов объекты можно сравнивать друг с другом и коррелировать с любой другой оцифрованной информацией, используя программное обеспечение ArcGIS. БД создана в формате, допускающем ее пополнение, усовершенствование и ревизию. В 2019 г. получено Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019621553 «База данных активных разломов Евразии». БД доступна на сайте Геологического института РАН <http://ginras.ru/> в разделе лаборатории неотектоники и современной геодинамики <http://neotec.ginras.ru/> на странице <http://neotec.ginras.ru/database.html>, где она снабжена Объяснительной запиской и списком использованной литературы.

В области изучения плиоцен-четвертичной тектоники подвижных поясов и вертикальных движений, приведших к формированию современных горных систем, полевые работы были сосредоточены в Крымско-Кавказско-Ближневосточном регионе. Выполнена также обработка данных по новейшей структуре Зайсанской впадины Восточного Казахстана и ее горного обрамления. Исследовались стратиграфия, состав и тектоника новейших отложений. При изучении новейшей структуры использовались методы структурной геоморфологии и структурной геологии. Для определения возраста позднемиоцен-четвертичных отложений, помимо корреляции разрезов,

привлекались методы палеонтологического, палинологического, палеомагнитного, радиоизотопного и археологического датирования.

Керченско-Таманская складчатая область представляет собой деформированную южную часть Азово-Кубанского прогиба, расположенную между Горным и Степным (Равнинным) Крымом на западе и предгорьями Центрального Кавказа на востоке. В ходе полевых работ описаны многочисленные обнажения, изучены условия залегания пород, отобраны образцы на макро- и микрофауну и палеомагнитные пробы, проведены геоморфологические наблюдения как на морских четвертичных террасах, так и в областях развития более древних форм рельефа. Выполнены три поперечных пересечения этой области (через западную и восточную части Керченского п-ва и Таманский п-ов), детально изучены отдельные складки Таманского п-ва и произведены наблюдения в районе г. Крымска (предгорья СЗ Кавказа). Выполненные исследования показали, что возраст главных фаз складчатости этой области закономерно изменяется вдоль её простирания. На юго-западе Керченского полуострова майкопские отложения (олигоцен и нижний миоцен) смяты в складки, а чокракские отложения перекрывают их несогласно и залегают полого. На севере западной части и в восточной части Керченского п-ва смяты все толщи до верхнего миоцена включительно, а отложения киммерия (нижний плиоцен) и, тем более, куяльника (верхний плиоцен – гелазий), перекрывают их с несогласиями и залегают полого. На Таманском п-ве отдельные толщи неогена и квартера, хотя и разделены несогласиями или перерывами, но деформированы все, вплоть до позднеплейстоценовых. Восточнее ситуация повторяется зеркально: в районе г. Крымска киммерий залегают полого и несогласно на дислоцированных более древних толщах, а далее к востоку возраст завершения складчатости удревняется.

Таким образом, складчатость в Таманском сегменте – самая молодая в Керченско-Таманской области. Она происходила в четвертичное время и продолжается до сих пор. В обоснование четвертичного возраста складчатости Тамани опубликованы две статьи [Тесаков и др., 2019; Гайдаленок и др., 2019]. В первой статье обосновывается четвертичная стратиграфия Зародинской антиклинали и три стадии ее деформации в течение четвертичного периода. Во второй статье непрерывным сейсмоакустическим профилированием дна Таманского залива обосновывается устойчивое прогибание синклинали Таманского залива в четвертичное время.

Хотя изменение возраста складчатости вдоль Керченско-Таманской области постепенны, границы этой области и ее Таманского сегмента выражены поперечными флексурно-разломными зонами. Изучена восточная граница Таманского сегмента, образованная Анапа-Джигинской и Абрауской флексурно-разломными зонами [Трихунков и др., 2018. 2019]. По результатам анализа геологических данных, структурно-геоморфологических и структурно-геологических исследований, у этих зон опущены западные крылья, и они испытывают поперечное растяжение с компонентой правого сдвига.

Южное обрамление керченской части Керченско-Таманской области обнажено в районе пос. Орджоникидзе (между пос. Костебель и г. Феодосия). Разрез состоит из четырех толщ: верхнетриасовой, нижнеюрской (?), среднеюрской и верхнеюрской. В основании верхней и, возможно, нижележащих толщ есть несогласия и/или перерывы. Толщи наклонены в северных румбах, разделены поверхностями срыва и образуют тектонические пластины переменной мощности. Эта складчато-надвиговая зона тектонически поднята относительно Керченско-Таманской области и является продолжением Горного Крыма. К югу от Керченского пролива ей отвечает, по данным сейсмопрофилирования, выступ фундамента, где мощность чехла сокращена до 2–3 км. Восточным продолжением этой зоны является Анапский выступ, сложенный кайнозойскими отложениями Зоны южного склона Большого Кавказа.

Завершена подготовка и осуществлено издание статьи [Trikhunkov et al., 2018] о позднечетвертичном складкообразовании в прибрежном Сочинской районе СЗ Кавказа.

Плато Лагонаки расположено на западном краю высокогорного поднятия Центрального Кавказа. На северном склоне плато, в Гуамском ущелье, обнаружена мощная зоны покровно-надвиговых дислокаций. Установлено, что надвигание верхнеюрских известняков плато на отложения нижнего мела происходило в позднеальпийское время. Эти данные в сочетании с данными геологической съемки о надвигах на южном краю плато подтверждают вывод В.В. Белоусова (1948) о покровном строении плато Лагонаки в результате пододвигания под него более южных тектонических зон Кавказа.

На поверхности высокогорного плато Лагонаки исследованы и опробованы разрезы красноцветной коры выветривания, относимой Е.Е. Милановским к сармату. Разрез коры сходен с корами, которые формируются во влажном тропическом или субтропическом климате равнины на высотах, не превышающих первых сотен метров. Сейчас кора выветривания вскрыта нами на высоте 1900 м, и поверхность плато повышается к югу до 3000 м. Это указывает на интенсивное позднекайнозойское поднятие. Для оценки его возраста, амплитуд и скорости отобраны спорово-пыльцевые, палеомагнитные и геохимические образцы коры. Чтобы оценить возраст этого поднятия, изучены и опробованы разрезы террас р. Белой на отрезке Майкоп–Белореченск. Здесь выделены три свиты: блиновская, морская, относимая нами к сармату [Tesakov et al., 2017]; гавердовская (меотис-понт?), тонкообломочная, флювиальная; белореченская (киммерий-куяльник), валунно-галечная, указывающая на интенсивное поднятие соседних гор. Особый интерес представляют обследованные в 2019 г. верхнегавердовская подсвита и белореченская свита. Из них отобраны образцы для палеомагнитного, спорово-пыльцевого и фаунистического датирования, которое уточнит возраст начала интенсивного поднятия.

Исследовалась юго-восточная часть северного склона Большого Кавказа на границе Дагестана и Азербайджана. Для оценки структурно-геоморфологического положения исследуемых отложений применялся морфоструктурный анализ. Фациальный анализ позволил уточнить генезис отложений и обстановки их формирования. Для оценки относительного возраста пород отбирались пробы для палеомагнитного и фаунистического датирования. Под горой Большой Сувал выделена, описана и опробована вся толща песчано-глинистых морских ачкагыльских отложений мощностью 190–200 м, залегающая на галечниках продуктивной свиты (нижний плиоцен). Отобрано 170 палеомагнитных и 30 спорово-пыльцевых и фаунистических образцов. Полученные материалы обрабатываются.

Значительные экспедиционные работы были выполнены в Армении и СВ Турции. В Армении было продолжено начатое ранее изучение стратиграфии и структуры плиоцен-четвертичных толщ юго-западного побережья оз. Севан (район с. Норатуз и г. Гавар). Эти отложения и вулканические образования были сопоставлены с неоген-четвертичными толщами западного склона Гегамского нагорья (долины рек Раздан и Нурнус). Новые обнаруженные соотношения комплексов пород, отобранные образцы для радиоизотопного анализа и петролого-геохимического изучения и фаунистические находки позволили существенно уточнить стратиграфию и историю неотектонического развития региона. В долине р. Раздан изучены выходы сармата (солонатоводный морской бассейн конца среднего – начала позднего миоцена) и вышележащих озёрных отложений. Возле с. Нурнус в озёрных глинах и диатомитах найдена раннеплиоценовая фауна. Аналогичные отложения известны по скважинам на юго-западном побережье Севана. Вероятно, единый для изученного и соседних регионов сарматский морской бассейн был унаследован системой озёрных бассейнов. Такие сообщавшиеся бассейны существовали в Севанской впадине и, по меньшей мере, в западной части будущего Гегамского вулканического нагорья. Позднее они были разобщены проявлениями вулканизма.

Завершена подготовка и осуществлено издание статьи [Shalaeva et al., 2018], посвященной армянской части Ширакской впадины на СЗ Армении. Обосновывается, что Ширакская впадина развивалась как тектоническая депрессия с позднего плиоцена до начала среднего плейстоцена и была вовлечена в общее поднятие Малого Кавказа. Впадина ограничена флексурно-разломными зонами, а ее южный борт сложен позднеплиоценовыми субаэральными риолитовыми туфами и игнимбритами и базальтовыми трахиандезитами конца миоцена и раннего плиоцена. В позднем плиоцене и начале гелазия мощная толща с моллюсками каспийского типа накопилась, по данным Ю.В. Саядяна, в более северной части впадины. 2.3–2.0 млн. лет назад в северную часть впадины проникли базальтовые трахиандезиты. Обоснован возраст более молодых четвертичных свит впадины, карахачской (~1.9 – 1.7 млн лет), анийской (~1.3–0.75 млн лет) и арапийской (0.7+0.05 млн лет). Эти свиты представляют седиментационные циклы, начинающиеся озёрными глинами, алевролитами и диатомитами и заканчивающиеся аллювиальными песками и галечниками. Каждая более молодая свита вложена в более древнюю на севере впадины и распространяется на юг дальше, чем более древняя. Это доказывает прогрессирующее поднятие на севере впадины и смещение области озёрной седиментации к югу. Ограничивающие впадину флексурно-разломные зоны не связаны с главными разломами, обусловленными коллизионным взаимодействием блоков. Вместе с тем, в течение всей эпохи опускания впадины происходили вулканические извержения на её

обрамлениях. Синхронизм этих явлений указывает на генетическую связь формирования впадины с перемещениями и преобразованиями мантийного вещества, выраженными вулканизмом.

Исследования, выполненные в Восточной Турции, вместе с вышеупомянутыми работами в Армении и на Большом Кавказе, представляют собой полное пересечение Аравийско-Кавказского мегасегмента Альпийско-Гималайского орогенического пояса. Завершена подготовка и осуществлено издание статей [Trifonov et al., 2018; Ozherelyev et al., 2018]. В первой статье показано, как плиоцен-четвертичная палеогеография долины р. Евфрат изменялась из-за левосдвиговых перемещений по Восточно-Анатолийской зоне разломов (EAFZ) и поднятия Таврского хребта, обусловленного перемещениями по Южно-Таврскому надвигу. В раннем плиоцене и в конце гелазия и раннем калабрии, Евфрат пересекал Таврский хребет, следуя на юг по грабенообразному трогу современной долины р. Султан-Сую и дальше по долинам нынешних притоков Евфрата Эрикдере и частично Гёксу-чай. В конце калабрия (~0.8–0.9 млн. лет назад) воды Евфрата нашли современный сток через Таврский хребет, и прежние днища долин Евфрата и его притоков стали обширной верхней террасой. После этого Таврский хребет поднялся более чем на 350 м. Нижние террасы сформировались из-за этого поднятия, которое было более интенсивным к северу от Таврского хребта, чем к югу от него. Новообразованная современная долина Евфрата была смещена по EAFZ на 12 км, что даёт возможную скорость сдвига до 13–15 мм/год. Вторая статья подкрепляет возрастные оценки первой статьи археологическими находками. Анализируются находки доашельского раннего палеолита, которые впервые были сделаны авторами в бассейне Евфрата. В нескольких стратифицированных местонахождениях были обнаружены чопперы, пики, другие орудия и отщепы. Они сходны с каменными инструментами, найденными в Армении и Дагестане. Некоторые из местонахождений находятся в слоях ниже слоёв палеомагнитного эпизода Олдувай, т.е. имеют возраст ~2 млн. лет. Новые раннепалеолитические открытия на востоке Турции важны для изучения древнейших культур Среднего Востока и Кавказа и определения геодинамических и палеогеографических условий их формирования.

В СВ Турции детально изучена западная часть Ширакской впадины, а также обследовано строение других позднекайнозойских впадин и их структурных обрамлений. В ходе работ в плиоцен-четвертичных отложениях собрана многочисленная фауна моллюсков, найдены остатки крупных и мелких млекопитающих, изделия раннего и среднего палеолита, отобраны десятки спорово-пыльцевых проб, сотни образцов для палеомагнитного анализа и 28 образцов вулканических пород для Ar-Ar датирования и петрохимического изучения.

В турецкой части Ширакской впадины выделены те же три нижне-среднеплейстоценовые свиты (карахачская, анийская и арапийская) в том же относительном геоморфологическом положении, что и в смежной армянской части впадины. Главным результатом работ стало открытие акчагыльских морских отложений в разрезе Демиркент на юго-западе Ширакской впадины. Этот 80-метровый разрез состоит из глин, алевроитов и тонкозернистых песков. При обработке полученных материалов в низах разреза обнаружены солоновато-водные диноцисты раннеакчагыльского (поздний плиоцен) облика. Это доказывают, что раннеакчагыльская трансгрессия Каспийского моря проникла в Ширакскую впадину. Присутствие верхнеплиоценовых морских отложений каспийского типа на высоте более 1500 м позволяет оценить скорость четвертичного поднятия. Западнее Ширакской впадины изучены меньшие по размеру впадины, Сусузская и Селимская, сложенные породами того же возраста. Четвертичные толщи этих впадин тектонически подняты относительно одновозрастных им отложений Ширакской впадины более чем на 100 м. Эти свиты представляют единый крупный озёрный бассейн, позднее деформированный и разобщённый проявлениями вулканизма.

Помимо Ширакской, Сусузской и Селимской впадин обследованы другие плиоцен-четвертичные впадины СВ Турции: Араратская (на ее южном борту в районе г. Игдир), Агри (Agri), Пасинлерская (Pasinler), Эрзрумская (Erzurum), Чайирли (Çayirli), Эрзинджанская (Erzincan), Рефаие (Refahiye), Сивасская (Sivas) и Кангальская (Kangal). Изучены разрезы впадин, тектонические деформации и разломы, вулканические проявления, собраны коллекции фауны, образцы для палинологического, палеомагнитного и петрохимического анализа. Вместе с впадинами бассейна Евфрата в Восточной Турции (Кованджилар, оз. Хазар и долины Султан-Сую) и ранее исследованными впадинами Северной Армении (Лорийской, Верхнеахурянской, Большого и Малого Севана, Фиолетовской, Ванадзорской и Верхне-Памбакской), получены характеристики 22 новейших межгорных впадин, заполненных отложениями от верхнего миоцена до квартара и принадлежащих

срединой и южной частям Альпийско-Гималайского горного пояса в пределах Восточной Анатолии и Армянского нагорья.

Изучение Зайсанской впадины Восточного Казахстана находится в русле предусмотренных проектом неотектонических исследований Альпийско-Гималайского пояса, но занимает особое положение, поскольку прочие работы проводились в Аравийско-Кавказском сегменте пояса. Трихунков Я.И., Буланов С.А., Бачманов Д.М., Сыромятникова Е.В., Латышев А.В. и Кравченко М.М. на основе выполненных полевых работ подготовили статью «Морфоструктура южной части Зайсанской впадины и её горного обрамления». Представлены новые данные о стратиграфии, геоморфологии и неотектонике Зайсанской впадины, показано, что она развивается в позднем кайнозое в условиях поперечного (близкого к меридиональному) сжатия. Статья принята к опубликованию в журнале «Геоморфология».

Помимо экспедиционных работ и обработки полученных материалов, в ходе проекта проводились исследования глубинных геодинамических процессов, обуславливающих тектонические явления в земной коре. Анализировались возможные причины тех явлений, что объясняются теорией тектоники литосферных плит, а также тех, что не находят в ней объяснения, и прежде всего, интенсивного плиоцен-четвертичного поднятия горных поясов, превосходящее во многих случаях эффект коллизионного сжатия. Для этого выполнялся анализ сейсмотомографических данных мировой сети и проявлений глубинных процессов в инверсиях магнитного поля. Выявленные особенности строения мантии и изменения магнитного поля сравнивались с тектоническими явлениями, их пространственным и хронологическим распределением. Полученные результаты представлены в трех статьях [Трифонов, Соколов, 2017, 2018] и изложены в следующем разделе отчета.

Основные результаты выполнения проекта

В ходе выполнения проекта получены четыре главных результата:

(1) Доказано интенсивное позднечетвертичное поперечное раздвижение Центральной Камчатки, чем она отличается от Южной Камчатки и области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг; подготовлены и опубликованы статьи, обосновывающие это заключение; определено место Камчатки в строении подвижного пояса северо-западного обрамления Тихого океана.

(2) Создана Новая база данных об активных разломах Евразии; подготовлены и опубликованы статьи о содержании базы данных и ее использовании для решения задач неотектоники и современной геодинамики.

(3) Исследована плиоцен-четвертичная структура отдельных тектонических областей Крымско-Кавказского региона и Восточной Турции; подготовлены и опубликованы соответствующие статьи. Определены средние скорости интенсивного четвертичного поднятия Малого Кавказа и южной части северо-западного склона Большого Кавказа.

(4) Разработана модель воздействия процессов в мантии и ядре Земли на тектоническое развитие литосферы, объясняющая как все плейт-тектонические взаимодействия, так и особенности новейшего орогенного этапа и усиление горообразовательных движений в плиоцен-квартере; результат опубликован.

Рассмотрим эти результаты подробнее.

(1) Поперечное раздвижение Центральной Камчатки выявлено в полосе от Восточного вулканического пояса до Срединного хребта. Оно складывается из образования зон растяжения, вдоль которых расположены цепи современных и позднечетвертичных вулканов, и смещений по продольным разломам с преобладающей сбросовой составляющей движений. Выявлено широкое распространение пологих сбросов (20–40°) и листрических сбросов, что указывает на значительное позднечетвертичное раздвижение. Его средняя скорость оценена величиной около 17 мм/год (~13 мм/год в Восточно-Камчатской зоне и ~4 мм/год в системе сбросов Восточного вулканического пояса). В Южной Камчатке, являющейся структурным продолжением курильской части островной дуги, скорость сокращается до 1.6 мм/год, а в области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской

островных дуг сменяется поперечным укорочением из-за пододвигания края Алеутской дуги под хребет Кумрач. Таким образом, скорости деформаций увеличиваются к северному окончанию Курило-Камчатской зоны субдукции, что соответствует модели растяжения из-за отступления желоба (так называемый «роллбэк») у края субдуцирующей плиты. Полученные новые данные опубликованы в статьях [Зеленин, 2017; Zelenin et al., 2019]. По результатам исследований Е.А. Зеленин защитил в 2018 г. диссертацию «Активная разломная тектоника областей современного вулканизма Камчатки» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Анализ активной тектоники соседних с Камчаткой регионов показал, что правосдвиговая продольная зона Сахалина представляет собой не границу малой литосферной плиты (Охотской), а элемент системы правосдвиговых структур северной и западной периферии Тихого океана (переходной зоны), развивающихся из-за неортогонального сближения Тихоокеанской плиты с Евразийской и Северо-Американской. Система разломов Станового нагорья и системы разломов хребтов Тукуринга-Джагды выглядят, в целом, как транспрессионная левосдвиговая зона, причем асимметричная, с более широким южным взбросо-надвиговым обрамлением. Она не может быть определена как трансформная, и для объяснения причин ее формирования и эволюции надо искать другие механизмы. Следует отметить подобие, почти до деталей, соотношений внутриконтинентальных и периокеанических структур в системах «грабены Лаптевоморского шельфа – разлом Улахан – Ланково-Омолонская зона» и «грабены байкальских впадин – Токинский разлом – Прибрежная зона». Важным представляется выделение Прибрежной правосдвиговой зоны, в движениях по которой, возможно, реализуется часть движений вдоль северо-сахалинских правых сдвигов и Кетандинского правого сдвига к северу от Охотского моря. Полученные результаты имеют предварительный характер и нуждаются в уточнении, детальной проработке, в том числе, с привлечением дополнительных независимых данных.

(2) Активными называют разломы, по которым выявлены признаки тектонических движений конца плейстоцена и голоцена, что дает основание подозревать продолжение активности в ближайшем будущем. Новая база данных об активных разломах Евразии (БД) объединяет и обобщает данные многих исследований в едином формате и содержит более 30000 объектов (разломов, разломных зон и связанных с ними тектонических нарушений и деформаций). Каждый объект БД снабжен координатной привязкой, достаточной, чтобы изобразить его без огрубления на картах масштаба 1: 1000000, и характеризующими его обосновывающими и оценочными атрибутами (см. раздел 1.3). Получено Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019621553 «База данных активных разломов Евразии». База данных доступна на сайте ГИН РАН <http://ginras.ru/> в разделе лаборатории неотектоники и современной геодинамики <http://neotec.ginras.ru/> на странице <http://neotec.ginras.ru/database.html>, где она снабжена Объяснительной запиской и списком использованной литературы. Принципы и методы создания и содержание базы данных изложены в статье [Бачманов и др., 2017].

Содержащиеся в БД сведения об активных разломах важны для оценки сейсмической опасности и решения задач неотектоники и современной геодинамики. Методы и примеры использования данных об активных разломах для регистрации палеоземлетрясений и оценки сейсмической опасности описаны в публикациях многих авторов, в том числе, и участников данного проекта. Менее разработано применение данных об активных разломах в неотектонике и современной геодинамике, и почти отсутствуют примеры использования для этой цели результатов программной обработки баз данных об активных разломах. Подходы к решению последней задачи и примеры такого решения приведены в статье [Бачманов и др., 2019]. Содержащийся в ней сравнительный анализ активных разломов различных тектонических провинций Кавказско-Анатолийского региона Альпийско-Гималайского подвижного пояса дал возможность уточнить позднекайнозойские кинематические характеристики этих провинций. Для анализа были использованы розы-диаграммы простираний разломов разной кинематики, построенные с учетом длин, скоростей перемещений и достоверности выделения активных разломов. Для Кавказского региона рассчитаны направления осей горизонтального удлинения и укорочения. Для всей центральной части Альпийско-Гималайского пояса техникой 100-км скользящего окна рассчитаны величины горизонтального удлинения и укорочения 10-8 м²/м²/год. Расчеты направлений и величины деформации помогают оценить особенности тектонического течения верхней части земной коры в четвертичное время. Для той же территории техникой 100-км скользящего окна рассчитано

распределение сдвиговой деформации 10-9 радиан/год для оценки параметров вращения блоков. Перспективным оказалось сравнение роз-диаграмм для достоверных (категории А и В) и предполагаемых (категории С и D) активных разломов. Дело в том, что разломы с предполагаемой позднечетвертичной активностью были достоверно активными в более ранние эпохи плиоцен-квартера, что дает возможность сравнить напряженно-деформированное состояние в эти эпохи и позднечетвертичное время. В одних провинциях оно изменилось слабо, в других претерпело существенные изменения, и можно оценить их геодинамический смысл.

(3) Подготовлены и опубликованы девять статей по плиоцен-четвертичной тектонике Крымско-Кавказского региона и Восточной Турции:

Статья [Гайдаленок и др., 2019]: Гайдаленок О.В., Шматков А.А., Шматкова А.А., Ольховский С.В. Результаты сейсмоакустического профилирования дна Таманского залива в районе античного города Фанагория // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т.18, № 4. С. 15–21. (English version: *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2019, vol. 55, iss. 11. ISSN: 0001-4338 (Print), 1555-628X (Online). <https://link.springer.com/journal/volumesAndIssues/11485>). На основе непрерывного сейсмопрофилирования обосновано устойчивое прогибание синклинали Таманского залива в четвертичное время.

Статья [Тесаков и др., 2019]: Тесаков А.С., Гайдаленок О.В., Соколов С.А., Фролов П.Д., Трифонов В.Г., Симакова А.Н., Латышев А.В., Титов В.В., Щелинский В.Е. Тектоника плейстоценовых отложений северо-восточной части Таманского полуострова, Южное Приазовье // Геотектоника. 2019. № 5. С. 12–35. (English version: *Geotectonics*. 2019. Vol. 53, No. 5. P. 548–568). Обосновывается четвертичная стратиграфия Зародинской антиклинали и три стадии ее деформации в течение четвертичного периода.

Статья [Трихунков и др., 2018]: Трихунков Я.И., Гайдалёнок О.В., Бачманов Д.М., Маринин А.В. Морфоструктура зоны сочленения Северо-Западного Кавказа и Керченско-Таманской области // Геоморфология. 2018. № 4. С. 77–92. Приведено структурно-геоморфологическое обоснование Анапа-Джигинской и Абрауской флексурно-разломных зон с опущенными западными крыльями, ограничивающих с востока Анапский выступ и Таманский сегмент Керченско-Таманской складчатой области.

Статья [Трихунков и др., 2019]: Трихунков Я.И., Бачманов Д.М., Гайдаленок О.В., Маринин А.В., Соколов С.А. Новейшее горообразование в зоне сочленения структур Северо-Западного Кавказа и Керченско-Таманской области // Геотектоника. 2019. № 4. С. 78–96. (English version: *Geotectonics*. 2019. Vol. 53, No. 4. P. 517–532). Приведены геологические, геоморфологические, тектонофизические и геофизические обоснования того, что вдоль восточной границы Таманского сегмента простираются Анапско-Джигинская и выделенная авторами Абрауская поперечные зоны новейших деформаций с признаками правого сдвига, растяжения и опускания западного (Таманского) крыла.

Статья [Trikhunkov et al., 2018]: Trikhunkov Ya.I., Zelenin E.A., Shalaeva E.A., Marinin A.V., Novenko E.Yu., Frolov P.D., Revunova A.O., Novikova A.V., Kolesnichenko A.A. Quaternary river terraces as indicators of the Northwestern Caucasus active tectonics // *Quaternary International*. 2019. Vol.509. P. 62–72. Обосновано позднечетвертичное складкообразование в прибрежном Сочинской районе СЗ Кавказа.

Статья [Tesakov et al., 2017]: Tesakov A.S., Titov V.V., Simakova A.N., Frolov P.D., Syromyatnicova E.V., Kurshakov S.V., Volkova N.V., Trikhunkov Ya.I., Sotnikova M. V., Krusko S.V., Zelenkov N.V. Tesakova E.M. Palatov D.M. Late Miocene (Early Turolian) vertebrate faunas and associated biotic record of the Northern Caucasus: Geology, taxonomy, paleoenvironment, biochronology // *Fossil Imprint*. 2017. V. 73, № 3–4. P. 383–444. Статья посвящена стратиграфической привязке и анализу фауны позднемиоценовых отложений долины р. Белой в западной части северного склона Большого Кавказа. В стратиграфической части статьи приведены результаты обработки и анализа палеомагнитных данных, полученных Я.И. Трихунковым в 2017 г. в рамках работ по данному проекту РФФИ.

Статья [Shalaeva et al., 2018]: Shalaeva E.A., Trifonov V.G., Lebedev V.A., Simakova A.N., Avagyan A.V., Sahakyan L.H., Arakelyan D.G., Sokolov S.A., Bachmanov D.M., Kolesnichenko A.A., Latyshev A.V., Belyaeva E.V., Lyubin V.P., Frolov P.D., Tesakov A.S., Sychevskaya E.K., Kovalyova G.V., Martirosyan M., Khisamutdinova A.I. Quaternary geology and origin of the Shirak Basin, NW Armenia // *Quaternary International*. 2019. Vol. 509. P. 41–61. Статья посвящена строению, стратиграфии плиоцен-четвертичных отложений и истории формирования армянской части Ширакской впадины СЗ Армении. Обосновывается корреляция ее развития с вулканизмом на соседних территориях как проявление связи формирования впадины с перемещениями и преобразованиями мантийного вещества.

Статья [Trifonov et al., 2018]: Trifonov V.G., Çelik H., Simakova A.N., Bachmanov D.M., Frolov P.D., Trikhunkov Ya.I., Tesakov A.S., Titov V.V., Lebedev V.A., Ozherelyev D.V., Latyshev A.V., Sychevskaya E.K. Pliocene – Early Pleistocene history of the Euphrates valley applied to Late Cenozoic environment of the northern Arabian Plate and its surrounding, eastern Turkey // *Quaternary International*. 2018. Vol. 493. P. 137–165. Обоснована перестройка долины р. Евфрат из-за левого сдвига по Восточно-Анатолийской зоне разломов и поднятия Таврского хребта в результате движений по Южно-Таврскому надвигу на границе Альпийско-Гималайского пояса с Аравийской плитой. Описаны вдавленная впадина Кованджилар и впадина растяжения Султан Сую, связанные с Восточно-Анатолийской зоной.

Статья [Ozherelyev et al., 2018]: Ozherelyev D.V., Trifonov V.G., Çelik H., Trikhunkov Ya.I., Frolov P.D., Simakova A.N. Early Palaeolithic evidence from the Euphrates River basin, Eastern Turkey // *Quaternary International*. 2019. Vol. 509. P. 73–86. Описаны первые находки доашельских каменных изделий и другие археологические свидетельства, подкрепляющие возрастные оценки предыдущей статьи и важные для определения геодинамических и палеогеографических условий формирования древнейших каменных индустрий Среднего Востока и Кавказа.

Для оценки амплитуды и скорости четвертичного поднятия Малого Кавказа принципиальное значение имеет обнаружение морских нижнеакчагыльских (верхнеплиоценовых) отложений на юго-западной краю Ширакской впадины. Здесь в разрезе Демиркент описана толща глин, алевролитов и тонкозернистых песчаников мощностью более 70 м. В нижней половине толщи найдены диноцисты, сходные с теми, что содержатся в морских раннеакчагыльских отложениях Каспийской впадины. Нормальная намагниченность отложений свидетельствует о том, что вся она принадлежит верхнему плиоцену. Уровень максимальной раннеакчагыльской трансгрессии, вероятно, превышал современный уровень мирового океана (у.м.) примерно на 100 м и снизился до 0 м к началу четвертичного периода (2.58 млн лет назад) (Попов и др., 2010). Сейчас кровля верхнеплиоценовых морских отложений разреза Демиркент находится на высоте 1565 м. Отсюда следует, что эти отложения поднимались в течение четвертичного периода со средней скоростью ~0.6 мм/год.

На эту среднюю оценку накладывались эффекты локальных тектонических движений, связанных с опусканием впадин и поднятием соседних структурных форм и в значительной мере обусловленных перемещениями по разломам и флексурно-разломным зонам. В скважине 12 возле Мармашенского монастыря (армянская часть Ширакской впадины) кровля акчагыльских отложений находится на глубине 72 м (1443 м над у.м.), а глубина этих отложений в забое скважины достигает 198 м (1317 м над у.м.). Эти отложения сходны с толщиной разреза Демиркент. На глубинах 76–80 м были найдены верхнеакчагыльские моллюски каспийского типа, а на глубинах 115–198 м – морские моллюски нижнего акчагыла (верхнего плиоцена) (Саядян, 2010). Следовательно, кровля нижнеакчагыльских отложений скважины 12 находится на отметках от 1435 м до 1400 м и опущена относительно кровли нижнего акчагыла в разрезе Демиркент на 130–165 м. Это смещение обусловлено движениями по разломам Ахурянскому и Джамушлу и произошло не позднее конца калабрия, поскольку анийские (верхний калабрий) озерно-аллювиальные отложения, с размывом перекрывающие раннеакчагыльские отложения Демиркента, находятся на той же высоте, что и в соседней опущенной части Ширакской впадины.

Опускание Ширакской впадины относительно ее северного обрамления по Капской флексурно-разломной зоне выражено изменением высоты кровли анийской свиты от 1695–1700 м до 1665–1670 м и затем 1610–1615 м. Из-за смещений по флексурно-разломной зоне Джарджиоглу кровля анийской свиты (верхний калабрий) расположена в Ширакской впадине на 100–120 м ниже, чем в

соседней к западу Сусузской впадине, хотя в анийское время эти впадины были частями единого озерного бассейна. По Сарыкамьшскому левому взбросо-сдвигу, ограничивающему Сусузскую впадину с северо-запада и севера, поверхность карахачской свиты (граница гелазия и калабрия) на северном обрамлении впадины поднята относительно ее положения к югу от разлома с 1814 м до 1985 м. Из-за таких локальных вариаций средняя скорость четвертичного поднятия может быть определена в пределах 0.6 ± 0.1 мм/год.

Данные о строении и распространении куртанской свиты (стратиграфический аналог анийской и арапийской свит Ширакской впадины) в Лорийской впадине и долине р. Дебед на северо-западе Армении дают возможность оценить поднятие в течение более короткого интервала времени – последних 0.65–0.6 млн лет. Типичные фации куртанской свиты состоят из тонкозернистых песков, алевроитов и суглинков, которые отлагались застойными водами в озерах и/или разветвленных протоках с очень медленным течением. Это означает, что топографический градиент в единой области осадконакопления был мал или отсутствовал. Сейчас высотные отметки обнажений куртанской свиты снижаются на протяжении 25 км от 1300 м на юго-востоке Лорийской впадины вниз по течению рек Дзорагет и Дебед до 610 м к северо-востоку от г. Алаверди. Накопление куртанской свиты завершилось 0.65–0.6 млн лет назад. Следовательно, юго-восточная часть Лорийской впадины поднялась с этого времени на 690 м или чуть меньше относительно района г. Алаверди, и средняя скорость этого поднятия превысила 1 мм/год. Запад Лорийской впадины поднялся за то же время на 200 м относительно юго-восточной части впадины, а в более западной Верхнеахурянской впадине куртанская свита залегает на 200 м выше, чем на западе Лорийской впадины (Trifonov et al. 2016). Поднятие соседних хребтов, Базумского и Джавахетского, было еще более интенсивным. Таким образом, поднятие этой части Малого Кавказа ускорилось в последние 0.65–0.6 млн лет до 1–2 мм/год.

Изложенные оценки представлены в статье: Trifonov V.G., Simakova A.N., Çelik H., Tesakov A.S., Shalaeva E.A., Frolov P.D., Trikhunkov Ya.I., Zelenin E.A., Aleksandrova G.N., Bachmanov D.M., Latyshev A.V., Ozherelyev D.V., Sokolov S.A., Belyaeva E.V. “The Upper Pliocene – Quaternary geological history of the Shirak Basin (NE Turkey and NW Armenia) and estimation of the Quaternary uplift of Lesser Caucasus”, принятой для опубликования в журнале “Quaternary International”.

Для оценки скорости четвертичного поднятия Большого Кавказа важное значение имеет изучение разреза под горой Большой Сувал на севере Азербайджана. Это толща мощностью 190–200 м песчано-глинистых морских акчагыльских отложений, залегающих на галечниках продуктивной свиты (нижний плиоцен). В кровле акчагыльского разреза найден слой ракушняка, в котором обнаружены виды-индикаторы морского акчагыла – *Cerastoderma Dombra* (Andrusov, 1902) и *Aktschagyliya Karabugasica* (Andrusov, 1902), обитавшие 2–3 млн лет назад. Сейчас эти морские отложения находятся на высотах до 1770 м. Как отмечено выше, максимальный уровень раннеакчагыльского моря достигал ~100 м над уровнем современного океана и снизился примерно до 0 м к началу четвертичного периода (2.58 млн лет назад). Анализ отобранных палеомагнитных, спорово-пыльцевых и фаунистических образцов уточнит стратиграфическое положение описанных отложений в разрезе акчагыла, но уже сейчас на основе полученных данных можно оценить среднюю скорость четвертичного поднятия южной части северо-восточного склона Большого Кавказа в пределах 0.6–0.9 мм/год. В осевой части Большого Кавказа она, вероятно, была выше.

Изучение 22 новейших межгорных впадин, заполненных отложениями от верхнего миоцена до квартера и характеризующих Альпийско-Гималайский горный пояс в пределах Восточной Анатолии и Армянского нагорья, позволяет предварительно наметить геодинамические факторы, повлиявшие на образование впадин. Выявленные факторы можно разделить на историко-геологические, структурные и глубинные.

К историко-геологическим факторам можно отнести опускания, обусловленные повышенной плотностью коры из-за присутствия в ней значительных фрагментов более древней океанской коры, маркируемых офиолитовыми зонами. На месте таких опусканий в условиях сжатия могут формироваться вдавленные новейшие впадины. Впадины Лорийская, Верхнеахурянская, Фиолетовская, Ванадзорская, Агри, Хорасанская, Эрзрумская, Чайирли, Эрзинджанская, Рефаие и Сивасская полностью или частично расположены на офиолитовом субстрате.

Среди структурных факторов важнейшими являются разломы, ограничивающие впадины или определяющие их внутреннее строение. Наиболее ярко связь с разломами проявлена в присдвиговых

впадинах, среди которых есть впадины pull-apart (оз. Хазар, Эрзинджанская, Малого Севана) и вдавленных впадины сжатия на месте более ранних опусканий, которые мы назвали впадинами push-inside (Фиолетовская и Ванадзорская). Вдавленные впадины могут формироваться и в связи со взбросо-надвигами, опережающими крупные сдвиги (Кованджилар). Грабенообразные впадины растяжения связаны со сбросо-раздвигами, опережающими сдвиги (Султан-Сую). Менее выразительно, но ощутимо проявился структурный фактор в тех впадинах, обрамление и внутреннее строение которых частично обусловлено крупными разломами преимущественно сдвигового типа. Таковы впадины Большого Севана, Араратская, Агри, Сусузская, Селимская, Пасинлерская, Эрзрумская, Чайирли и Сивасская. К структурным факторам можно отнести также обособление относительно опущенных участков между поднятиями, активно развивающимися при надвигообразовании или складчатости. Этот фактор отчасти предопределил строение Эрзрумской, Сивасской и Кангальской впадин.

Вместе с тем, существуют впадины, не связанные с крупными новейшими разломами региона, но полностью или частично окруженные вулканическими образованиями, формировавшимися одновременно с развитием впадин. Самыми выразительными примерами таких структур являются впадины Ширакская, Верхнеахурянская, Сусузская и Селимская, окруженные вулканическими образованиями со всех сторон. Частично сложены новейшими вулканами борта впадин Большого и Малого Севана, Лорийской, Араратской, Агри, Хорасанской и Кангальской. Образование таких впадин могло быть частично или преимущественно обусловлено глубинными (мантийными) перемещениями и преобразованиями вещества, проявившимися в вулканизме.

Образование большинства впадин обусловлено воздействием нескольких факторов, например, перемещениями по разломам и глубинными преобразованиями (впадины Большого и Малого Севана). Иногда удается выявить ведущий фактор, например, связь с вулканизмом в Ширакской впадине или присдвиговую природу впадин Ванадзорской, Фиолетовской, Эрзинджанской и оз. Хазар. Детальный анализ происхождения и генетическая классификация межгорных впадин региона – задача дальнейших работ, имеющая межрегиональное значение.

Свидетельства интенсивного подъема Малого Кавказа в четвертичное время стали важным звеном в воссоздании природных и геодинамических условий расселения древнейших предков человека в Аравийско-Кавказском регионе. Проанализированы структурно-геологические, геоморфологические, литолого-геохимические, палеонтологические, палинологические, палеомагнитные и радио-изотопные данные о среде обитания вблизи главных стратифицированных местонахождений древнейшего раннего палеолита в регионе: Убейдия в Израиле, средняя часть долины р. Оронт, район Халабия-Залабия в долине р. Евфрат и Айн ал-Фил в Сирии, Дурсунду в ЮЗ Турции, Шамбят, Бостанчик, Эскималатья и Кованчилар в Восточной Турции, Карахач, Мурадово, Агворик и Джрадзор в СЗ Армении, Дманиси в Южной Грузии, пещера Азых в Нагорном Карабахе, Мухкай II в Дагестане и Кермек на Таманском п-ве. В Убейдия и Дманиси были обнаружены также антропологические свидетельства обитания древнейшего человека. Предпринятое исследование показало следующее.

Указанные местонахождения датируются в интервале времени ~2.0–1.7 млн лет назад. Рельеф этого времени был гораздо положе и ниже, чем сейчас. Высоты горных хребтов обычно не превышали 1000 м, редко 1500 м. Только отдельные вулканы и, возможно, центральная часть Большого Кавказа возвышалась до 2000 м. Соседние межгорные и предгорные впадины были не выше нескольких сотен метров, а высота некоторых из них была близка к уровню мирового океана. Климат конца гелазия был влажным и относительно теплым и создавал условия для развития лугово-степной и лесостепной растительности саванного типа во впадинах и долинах и хвойных и хвойно-широколиственных лесов в горах. Обилие растительности обеспечивалось множеством рек, озер и подземных источников в межгорных впадинах и долинах, которые в значительной мере контролировались активностью разломов. В южной части региона и на Малом Кавказе дополнительным фактором обилия растительности было обогащение почв продуктами вулканизма. Все это стимулировало широкое распространение копытных млекопитающих. Последующая относительная аридизация, которая была прервана на короткое время гумидизацией начала калабрия, привела к распространению степных и лесостепных биоценозов, но растительность оставалась благоприятной для копытных. Гоминины мигрировали вслед за копытными в позднем гелазии и раннем калабрии.

Результат опубликован в статье: Trifonov V.G., Tesakov A.S., Simakova A.N., Bachmanov D.M. Environmental and geodynamic settings of migration of the earliest hominin to the Arabian-Caucasus region: a review // Quaternary International. 2019; <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.03.008>.

(4) В рамках исследований по проекту опубликованы три статьи.

Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. Подлитосферные течения в мантии // Геотектоника. 2017. № 6. С. 3–17. (English version: Geotectonics. 2017. Vol. 51, No. 6. P. 535–548).

Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. Сопоставление тектонических фаз и инверсий магнитного поля в позднем мезозое и кайнозое // Вестник РАН. 2018. Том 88, № 1. С. 33–39. (English version: Herald of the Russian Academy of Sciences. 2018. Vol. 88, No. 1. P. 37–43).

Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. Тектонические явления и геодинамические процессы, их определяющие // Геотектоника. 2018, № 5. С. 75–89. (English version: Geotectonics. 2018. Vol. 52, No. 5. P. 564–577).

В этих статьях последовательно излагается концепция авторов, согласно которой тектоника земной коры представляет собой проявление на поверхности твердой Земли геодинамических процессов в ее мантии и ядре.

В первой статье показано, что источником разнообразных тектонических проявлений является общемантийная конвекция. Её восходящие ветви образованы суперплюмами типа Эфиопско-Афарского и Центрально-Тихоокеанского. От них распространяются верхнемантийные потоки, порождающие местами верхнемантийную конвекцию. Течения в верхней мантии обуславливают все плит-тектонические процессы, а также внутриплитный магматизм и разуплотнение континентальной литосферы, возникающее при широком распространении коллизии и приводящее к усилению поднятий в орогенные этапы и особенно их главные стадии, к которым принадлежит плиоцен-четвертичная стадия новейшего этапа. Нисходящие ветви общемантийной конвекции представлены отторженными высоко-метаморфизованными фрагментами утолщённой континентальной литосферы и частью субдупированных слэбов, погружающихся ниже переходного слоя мантии, тогда как большинство слэбов переходит в субгоризонтальные зоны на уровне переходного слоя мантии и участвует в верхнемантийной конвекции. Обоснованы и представлены оценки скоростей верхнемантийных подлитосферных течений для двух систем: Гавайи – Императорский хребет и Эфиопия–Аравия–Кавказ. Для системы Гавайи – Императорский хребет расчёт основан на прохождении астеносферного потока и перемещаемой им плиты над ответвлением Центрально-Тихоокеанского суперплюма. Скорость движения определялась по положению вулканов разного возраста (до 76 млн. лет) относительно активного вулкана Килауеа. Для системы Эфиопия–Аравия–Кавказ по возрасту вулканических извержений (от 55 до 2.8 млн. лет) определялось распространение астеносферного потока от Эфиопско-Афарского суперплюма в северных румбах. В обеих системах скорости верхнемантийных потоков варьировали в разные эпохи от 4 до 12 см/год и в среднем близки к 8 см/год. Анализ сейсмотомографических данных глобальной сети выявил под древними кратонами объёмы пород с повышенными скоростями сейсмических волн, распространяющиеся до глубин 2000–2200 км и интерпретируемые как отторженные фрагменты утолщённой континентальной литосферы. Такие объёмы по обеим сторонам Южной Атлантики погружались со средней скоростью 0.9–1.0 см/год одновременно с её раздвиганием. Полученные оценки скоростей мантийных течений уточняют деформационные свойства мантии и регламентируют расчёты численных моделей мантийной конвекции.

Во второй статье рассматриваются хронологические соотношения двух групп явлений в истории Земли за последние 150 млн. лет. Первая группа – сравнительно короткие (первые миллионы лет) тектонические фазы, или фазы складчатости, выделенные Г. Штилле в 1924 г. и характеризующиеся усилением деформаций сжатия в подвижных поясах Земли. Происходящие в течение таких фаз деформации вполне объяснимы коллизионными взаимодействиями литосферных плит. Но эти взаимодействия не объясняют синхронности фаз в разных поясах и на разных континентах. Вторая группа – частота инверсий магнитного поля, т.е. смены северного полюса на южный и наоборот. Тектонические фазы проявляются чаще в эпохи частых инверсий магнитного поля. В последние 24 млн. лет, т.е. в течение неотектонического этапа, когда инверсии были особенно многочисленными, тектонические фазы следовали одна за другой с короткими

интервалами. Для них намечается тенденция к отставанию пиков фаз на 1–2 млн. лет по отношению к интервалам наиболее частых магнитных инверсий. Выявленные хронологические соотношения указывают на то, что тектонические фазы и усиление вертикальных движений на неотектоническом орогенном этапе развития Земли обусловлены не только явлениями в литосфере, связанными с геодинамическими процессами в мантии, но и воздействием энергетических импульсов, возникающих в земном ядре и на границе ядра и мантии, где генерируется магнитное поле Земли. В геологическом масштабе времени это воздействие происходит быстро, что исключает конвективную передачу энергии. По мнению авторов, она осуществляется посредством действия на литосферу переменных объёмных сил, возникающих при изменении параметров течений в ядре, за которым следуют изменение режима вращения Земли и адаптация к нему литосферных масс. Глобальность таких воздействий объясняет синхронность проявления тектонических фаз и усиления вертикальных движений в плиоцен-четвертичное время в разных подвижных поясах на разных континентах.

Третья статья суммирует и развивает представления, изложенные в двух первых статьях. Приведены характеристики общемантийной и производной от нее верхнемантийной конвекции, ответственных за проявления плейт-тектонических взаимодействий и орогенических явлений, в том числе усиления восходящих движений в плиоцен-четвертичное время; обоснования воздействия течений вещества в земном ядре на тектонику земной коры в виде синхронных глобальных тектонических фаз, наложения орогенических явлений на проявления плейт-тектоники и усиления вертикальных движений в главные стадии орогенных этапов, к которым относится плиоцен-квартер. Дается оценка соотношений между воздействиями геодинамических процессов в ядре и мантии на тектонику земной коры. Интенсивное плиоцен-четвертичное поднятие во многих горных системах превышает, часто существенно, эффект укорочения и утолщения земной коры, вызванный коллизионным сжатием. Это превышение обусловлено разуплотнением мантийной части литосферы в результате ее замещения астеносферной мантией (Артюшков, 1993) и метаморфически уплотненных пород корового происхождения в результате ретроградного метаморфизма под воздействием верхнемантийных флюидов (Трифонов и др., 2008; Артюшков, 2012). Их появление в верхней мантии орогенических поясов связано с дегидратацией субдупцировавших слэбов, часто продолжающихся в переходный слой мантии. Частота тектонических фаз (коррелируемых с инверсиями магнитного поля как отражения преобразований в земном ядре) возрастает в новейший орогенный этап и особенно в его плиоцен-четвертичную стадию, способствуя указанным глубинным преобразованиям и, как следствие, усилению вертикальных движений и обеспечивая их глобальную синхронность.

Перечень публикаций по проекту за весь срок выполнения проекта

1. Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. (Bachmanov D.M., Kozhurin A.I., Trifonov V.G.) **База данных активных разломов Евразии** Геодинамика и тектонофизика Т. 8. № 4. С. 711–736. (2017 г.) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#)
2. Зеленин Е.А. (Zelenin E.A.) **Позднечетвертичные деформации Южной Камчатки** Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле № 3. Вып. 35. С. 103–111 (2017 г.) [РИНЦ](#)
3. Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. (Trifonov V.G., Sokolov S.Yu.) **Подлитосферные течения в мантии** Геотектоника № 6. С. 3–17 (2017 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#)
4. Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. (Trifonov V.G., Sokolov S.Yu.) **Сопоставление тектонических фаз и инверсий магнитного поля в позднем мезозое и кайнозое** Вестник Российской академии наук Том 87, № 12. С. 1091–1097 (2017 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#)
5. Шалаева Е., Трифонов В., Авагян А., Саакян Л., Симакова А., Трихунков Я., Фролов П., Соколов С., Тесаков А., Лебедев В., Титов В., Беляева Е. (Shalaeva E., Trifonov V., Avagyan A., Sahakyan L., Simakova A., Trikhunkov Ya., Frolov P., Sokolov S., Tesakov A., Lebedev V., Titov V., Belyaeva E.) **Comparison of Quaternary Sedimentary Sequences of the West Sevan Basin and Basins of NW Armenia** Quaternary stratigraphy and hominids around Europe: Tautavel (Eastern Pyrenees) : International conference INQUA SEQS 20 17, (Tautavel, France , September 10– 15, 2017) p. 54 (2017 г.)
6. Тесаков А.С., Титов В.В., Симакова А.Н., Фролов П.Д., Сыромятникова Е.В., Куришаков С.В., Волкова Н.В., Трихунков Я.И., Сотникова М.В., Крусков С.В., Зеленков Н.В., Тесакова Е.М., Палатов

Д.М. (Tesakov A.S., Titov V.V., Simakova A.N., Frolov P.D., Syromyatnicova E.V., Kurshakov S.V., Volkova N.V., Trikhunkov Ya.I., Sotnikova M. V., Kruskop S.V., Zelenkov N.V. Tesakova E.M. Palatov D.M.) **Late Miocene (Early Turolian) vertebrate faunas and associated biotic record of the Northern Caucasus: Geology, taxonomy, paleoenvironment, biochronology** Fossil Imprint V. 73. № 3–4. pp. 383–444 (2017 г.) [SCOPUS](#)

7. Зеленин Е.А. (Zelenin E.A.) **Активная разломная тектоника областей современного вулканизма Камчатки** Автореферат диссертации (2018 г.)

8. Ожерельев Д.В., Трифонов В.Г., Челик Х., Трихунков Я.И., Фролов П.Д., Симакова А.Н. (Ozherelyev D.V., Trifonov V.G., Çelik H., Trikhunkov Ya.I., Frolov P.D., Simakova A.N.) **Early Palaeolithic evidence from the Euphrates River basin, Eastern Turkey** Quaternary International (2018 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#) [Q1](#)

9. Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. (Trifonov V.G., Sokolov S.Yu.) **Тектонические явления мезозоя и кайнозоя и геодинамические процессы, их определяющие** Геотектоника № 5, с. 75–89 (Vol. 52, No. 5, pp. 564–577) (2018 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#)

10. Трифонов В.Г., Челик Х., Симакова А.Н., Бачманов Д.М., Фролов П.Д., Трихунков Я.И., Тесаков А.С., Титов В.В., Лебедев В.А., Ожерельев Д.В., Латышев А.В., Сычевская Е.К. (Trifonov V.G., Çelik H., Simakova A.N., Bachmanov D.M., Frolov P.D., Trikhunkov Ya.I., Tesakov A.S., Titov V.V., Lebedev V.A., Ozherelyev D.V., Latyshev A.V., Sychevskaya E.K.) **Pliocene – Early Pleistocene history of the Euphrates valley applied to Late Cenozoic environment of the northern Arabian Plate and its surrounding, eastern Turkey** Quaternary International V. 493. pp. 137–165 (2018 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#) [Q1](#)

11. Трихунков Я.И., Гайдаленок О.В., Бачманов Д.М., Маринин А.В. (Trikhunkov Ya.I., Gaidalenok O.V., Bachmanov D.M., Marinin A.V.) **Морфоструктура зоны сочленения Северо-Западного Кавказа и Керченско-Таманской области** Геоморфология №4, с. 77–92 (2018 г.) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#)

12. Трихунков Я.И., Зеленин Е.А., Шалаева Е.А., Маринин А.В., Новенко Е.Ю., Фролов П.Д., Ревунова А.О., Новикова А.В., Колесниченко А.А. (Trikhunkov Ya.I., Zelenin E.A., Shalaeva E.A., Marinin A.V., Novenko E.Yu., Frolov P.D., Revunova A.O., Novikova A.V., Kolesnichenko A.A.) **Quaternary river terraces as indicators of the Northwestern Caucasus active tectonics** Quaternary International (2018 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#) [Q1](#)

13. Шалаева Е.А., Трифонов В.Г., Лебедев В.А., Симакова А.Н., Авагян А.В., Саакян Л.Х., Аракелян Д.Г., Соколов С.А., Бачманов Д.М., Колесниченко А.А., Латышев А.В., Беляева Е.В., Любин В.П., Фролов П.Д., Тесаков А.С., Сычевская Е.К. и др. (Shalaeva E.A., Trifonov V.G., Lebedev V.A., Simakova A.N., Avagyan A.V., Sahakyan L.H., Arakelyan D.G., Sokolov S.A., Bachmanov D.M., Kolesnichenko A.A., Latyshev A.V., Belyaeva E.V., Lyubin V.P., Frolov P.D., Tesakov A.S., Sychevskaya E.K. et al.) **Quaternary geology and origin of the Shirak Basin, NW Armenia** Quaternary International (2018 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#) [Q1](#)

14. А.С. Тесаков, О.В. Гайдаленок, С.А. Соколов, П.Д. Фролов, В.Г. Трифонов, А.Н. Симакова, А.В. Латышев, В.В. Титов, В.Е. Щелинский (A. S. Tesakov, O. V. Gaidalenok, S. A. Sokolov, P. D. Frolov, V. G. Trifonov, A. N. Simakova, A. V. Latyshev, V. V. Titov and V. E. Shchelinskii) **Тектоника плейстоценовых отложений северо-восточной части Таманского полуострова, Южное Приазовье** Геотектоника № 5, с. 12–35 (2019 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#) [Q1](#)

15. Бачманов Д.М., Зеленин Е.А., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. (Bachmanov D.M., Zelenin E.A., Kozhurin A.I., Trifonov V.G.) **Использование базы данных активных разломов Евразии при решении тектонических задач** Геодинамика и тектонофизика (2019 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#)

16. Гайдаленок О.В., Шматков А.А., Шматкова А.А., Ольховский С.В. (Gaydalenok O.V., Shmatkov A.A., Smatkova A.A., Olkhovsky S.V.) **Результаты сейсмоакустического профилирования дна Таманского залива в районе античного города Фанагория** Геофизические процессы и биосфера Т. 18, № 4. С. 184–190 (2019 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#)

17. Зеленин Е.А., Кожурин А.И., Пономарева В.В., Портнягин М.В. (Zelenin E., Kozhurin A., Ponomareva V., Portnyagin M.) **Tephrochronological dating of paleoearthquakes in active volcanic arcs: A case of the Eastern Volcanic Front on the Kamchatka Peninsula (northwest Pacific)** Journal of Quaternary Science (2019 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#) [Q1](#)

18. Трифонов В.Г., Тесаков А.С., Симакова А.Н., Бачманов Д.М. (Trifonov V.G., Tesakov A.S., Simakova A.N., Bachmanov D.M.) **Environmental and geodynamic settings of the earliest hominin migration to the Arabian-Caucasus region: A review** Quaternary International (2019 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#) [Q1](#)

19. Трихунков Я.И., Бачманов Д.М., Гайдаленок О.В., Маринин А.В., Соколов С.А. (Trikhunkov Ya. I., Bachmanov D.M., Gaydalenok O.V., Marinin A.V., Sokolov S.A.) **Новейшее горообразование в зоне сочленения структур Северо-Западного Кавказа и Керченско-Таманской области** Геотектоника №4, стр. 78 - 96 (2019 г.) [WOS](#) [SCOPUS](#) [РИНЦ](#) [Q1](#)

Возникли исключительные права на результаты интеллектуальной деятельности (РИД), созданные при выполнении проекта:

Авторы РИД: Бачманов Дмитрий Михайлович (RU), Трифонов Владимир Георгиевич (RU), Кожурин Андрей Иванович (RU), Зеленин Егор Александрович (RU)

Вид РИД: База данных.

Название РИД: База данных активных разломов Евразии

Дата заявки на регистрацию РИД / Реквизиты документа об охране прав: 12.07.2019 / Свидетельство о государственной регистрации № 2019621553

Перечень правообладателей: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН) (RU)