Итоговый развернутый научный отчет по проекту РФФИ за 2014-2016 гг.

Номер проекта: 14-05-00122

Название проекта: История новейшего горообразования в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе и роль течения и преобразования верхней мантии в этом процессе

Руководитель проекта: Трифонов Владимир Георгиевич

Объявленные ранее цели Проекта

Согласно заявке на проект, фундаментальная научная проблема, на решение которой он направлен — «Роль перемещения и преобразования верхней мантии в тектонических процессах». Конкретная фундаментальная задача в рамках проблемы, на решение которой направлен проект: «Роль перемещения и преобразования верхней мантии в тектонических процессах новейшего орогенного этапа развития Земли (олигоцен—квартер)». В ходе работ по проекту предполагалось решить следующие задачи:

- (1) Детальное сопоставление стадий формирования новейшего рельефа в Аравийско-Кавказском (Сирия, Восточная Турция, Армения, Большой Кавказ) и Гималайско-Тяньшанском (Гималаи, Тибет, Центральный Тянь-Шань, Алтай) сечениях Альпийско-Гималайского пояса в сопоставлении с сейсмотомографическими и другими геофизическими данными о строении мантии этих регионов. Цель этих работ попытаться связать историю горообразования с латеральным течением верхней мантии и преобразованием верхнемантийного и нижнекорового вещества. В Восточной Турции, Армении и на Западном Кавказе будут использованы результаты планируемых для выполнения проекта полевых работ.
- (2) Сопоставление кайнозойских тектонических событий и строения мантии в Альпийско-Гималайском поясе, на северо-востоке Африки и в Атлантике. Тектонические события должны выявляться по литературным данным с использованием результатов личных исследований авторов, а строение верхней мантии по данным сейсмотомографического профилирования.
- (3) Разработка подходов к оценке роли временных вариаций и пространственной изменчивости скорости деформаций в земной коре и верхней мантии в тектоническом течении горных масс. Цель этого исследования выявить возможность ускорения тектонического течения при концентрации деформаций в локальных зонах падения прочности пород и возрастании скорости деформаций.

Полученные в ходе выполнения Проекта важнейшие результаты

В сентябре-октябре 2016 г. участники проекта В.Г. Трифонов, А.Н. Симакова, Я.И. Трихунков и П.Д. Фролов, а также археолог Д.В. Ожерельев и турецкие учёные Х.Челик и О.Алкач проводили экспедиционные работы в Турции. Они имели целью определить интенсивность поднятия Таврского хребта в связи с перемещениями по Южно-Таврскому надвигу (северной границе Аравийской плиты) и рассекающей Тавр левосдвиговой Восточно-Анатолийской зоне разломов (ВАЗР) и их роль в плиоцен-четвертичной эволюции бассейна р. Евфрат. Был описан и опробован для определения остаточной намагниченности и спорово-пыльцевого анализа разрез плиоцен-нижнечетвертичных отложений Каранджибаши в низовьях р. Мурат, и в нём собрана коллекция моллюсков и мелких млекопитающих. Описаны и опробованы разрезы плиоцен-нижнечетвертичных отложений долины Султан-Сую (правого притока Евфрата севернее Таврского хребта) и Ерик-дере (правого притока Евфрата южнее Таврского хребта). В долине Ерик-дере впервые на востоке Турции найден череп верхнемиоценовой антилопы. Собраны и пополнены уточняющие возраст речных террас археологические коллекции развитой олдуванской культуры с некоторыми чертами ашеля (обнаружены впервые на востоке Турции), среднего ашеля и мустье.

На основе выполненных исследований доказано, что сегмент современной долины Евфрата на пересечении с Таврским хребтом является новообразованием, возникшим не ранее 0.8-0.9 млн. лет назад. До того русло Евфрата следовало вдоль его современного западного берега и далее по долине Султан-Сую и продолжалось на юг долинами современных притоков Евфрата Гёксу-чай и Ерик-дере, которые пересекали Тавр и ниже по течению (водохранилище Ататюрка) переходили в современную долину Евфрата, продолжавшуюся в Сирию (Trifonov et al., 2016₂) (рис.1 в Приложении). Долина Ерик-дере могла быть продолжением Евфрата в раннем плиоцене, а в раннем плейстоцене Гёксу-чай и Ерик-дере сменяли друг друга в этом качестве. В позднем плиоцене и позднем калабрии сток через Таврский хребет прекращался, и долина Евфрата превращалась в ряд бассейнов с застойными водами. Новообразованный сегмент Евфрата, пересекающий Тавр, смещён по ВАЗР на 12 км. Это даёт среднюю скорость сдвига 13–15 мм/год. Ранее, в плиоцене и раннем плиоцене, скорость сдвига была меньше. Одновременно происходило поднятие территории. Севернее Таврского хребта скорость подъёма в плейстоцене составляла 0.13-0.16 мм/год и возрастала с приближением к хребту. На его южной границе (зона Южно-Таврского надвига) скорость поднятия резко падала до 0.1 мм/год, что примерно совпадает с оценками скорости поднятия ниже по течению Евфрата – на ЮВ Турции и севере Сирии, которые, как и исследованный район, принадлежат Алеппскому блоку Аравийской плиты (Trifonov et al., 2014). Ещё ниже по течению Евфрата, на юго-западном борту Месопотамского прогиба, скорость подъёма за то же время уменьшалась вдвое. Она возрастала лишь в Ливанском и Береговом хребтах-антиклиналях. В последнем она определена в 0.2 мм/год за последние 4 млн лет и 0.28 мм/год со среднего плейстоцена.

Скорости вертикальных горообразующих движений в более северных районах Аравийско-Кавказского сегмента Альпийско-Гималайского пояса удалось оценить в Северной Армении с использованием данных, полученных в ходе выполнения российскоармянского проекта РФФИ 15-55-05009, и на Большом Кавказе путем анализа опубликованных данных о мезозойско-кайнозойских отложениях, их деформации и соотношений с современным рельефом. На основе исследования плиоцен-четвертичной стратиграфии и тектоники Лорийской и Верхнеахурянской впадин СЗ Армении скорость поднятия в последние 0.5 млн лет определена для этих впадин в 0.7–1.0 мм/год и для соседних Джавахетского и Базумского хребтов в 1.2–1.6 мм/год (Trifonov et al., 2016).

Для определения развития новейшего горообразования на Большого Кавказа решались три задачи: реконструкция мощности и строения земной коры к началу главной фазы альпийских деформаций (ранний-средний миоцен); оценка степени укорочения, утолщения, преобразования и подъёма коры под действием сжатия в эту фазу; выяснение характера преобразований деформированной таким образом коры в современное горное сооружение (Табл. 1 в Приложении) (Трифонов, 2016). Выполненные по опубликованным данным расчёты показали, что рассчитанное деформационное утолщение и соответствующее поднятие зоны Южного склона Большого Кавказа очень высоки, что не подтверждается геофизическими, геоморфологическими и геологическими данными. Возможно, там, как и на Восточном Кавказе в киммерийское время, уплотнение нижней части коры компенсировало деформационное утолщение, и столь значительного поднятия поверхности не произошло. На возможность такого уплотнения на Восточном Кавказе указывает наличие под поверхностью Мохоровичича с граничными скоростями V_P =8.2- $8.3~{
m km/c}$, на глубинах 59– $66~{
m km}$ слоя с Vp , уменьшенными до $7.8~{
m km/c}$, а под ним ещё одного раздела с граничной скоростью V_P =8.5 км/с (Краснопевцева, 1984). Этот раздел может быть реликтом прежней подошвы коры, над которым кора была метаморфизована и приобрела мантийную плотность. В других тектонических зонах Большого Кавказа выявлено дополнительное постскладчатое (с конца миоцена) поднятие сверх того, что обусловлено утолщением коры при сжатии. Амплитуда этого поднятия достигает 1.5–2 км на Центральном и Восточном Кавказе. На СЗ Кавказе дополнительное поднятие нивелировано эрозией, на что указывает преобладание инверсионного рельефа

(Трихунков, 2016). Пример быстрого поднятия демонстрирует разрез Мухтай II в дагестанских предгорьях Восточного Кавказа (Amirkhanov et al., 2016). В этом разрезе мощностью 117 м, содержащем изделия древнейшего палеолита, на глубине 80 м найдены костные остатки крупных и мелких млекопитающих, по которым вмещающие слои отнесены к концу акчагыла (~2 млн лет). Они обратно намагничены и расположены ниже нормально намагниченного интервала, отождествляемого с эпизодом Олдувай. По литологическим признакам слои формировались в прибрежно-морских условиях. Сейчас они находятся на высоте ~1700 м. Принимая, что в конце акчагыла уровень Каспийского моря был близок к уровню мирового океана, получаем, что за последние 2 млн лет территория поднялась на 1700 м, и поднятие происходило со скоростью 0.85 мм/год.

Позднекайнозойские вертикальные движения Аравийско-Кавказского региона дифференцированы. Наряду с поднятием горных хребтов развивались межгорные и предгорные впадины. Среди них различаются впадины и ансамбли впадин и поднятий, обусловленные коллизионным взаимодействием плит и блоков литосферы, и впадины, которые не обнаруживают связи с коллизионными процессами (Трифонов, 20162). В истории горообразования региона выделяются две стадии. Первая началась в олигоцене, местами в конце эоцена (отдельные зоны Малого Кавказа) или начале миоцена (северозапад Аравийской плиты) и продолжалась до конца миоцена или плиоцена. Вторая, короткая, стадия началась в плиоцене, местами в конце миоцена или плейстоцене и продолжается поныне, охватывая последние 2–7 млн лет. В первую стадию развивались деформационные поднятия и впадины, обусловленные коллизионным взаимодействием плит. Во вторую стадию на развитие локальных структур накладывается общее тектоническое поднятие горных систем и происходит усиление поднятия, фиксируемое приведёнными выше оценками скоростей вертикальных движений и выраженное возрастанием грубости молассовых отложений. Вклад в это поднятие коллизионного взаимодействия и процессов, не связанных напрямую с коллизией, различен в разных частях региона. В наибольшей мере поднятие, не связанное с коллизией, проявилось на Большом Кавказе, где оно происходило на фоне ослабления сжатия по сравнению с миоценовыми фазами складчатости (Трифонов, 2016).

В монографии «Neotectonic uplift and recent mountain building in the Alpine-Himalayan Belt» (Trifonov et al., 2015) суммированы данные об истории и источниках новейших вертикальных движений, приведших к горообразованию на всём протяжении Альпийско-Гималайском пояса от Альп, Карпат и Эгейского региона до восточного окончания Гималаев, Тибета и Тянь-Шаня. Установлено, что горообразовательные процессы во всём поясе происходили в две стадии с теми же возрастными интервалами, что и в его Аравийско-Кавказском сегменте. В первую стадию возникли низко- и среднегорные поднятия в местах концентрации сжатия и поперечного укорочения структур и, соответственно, утолщения земной коры. Во вторую стадию произошло общее, хотя и дифференцированное по амплитудам, быстрое поднятие большей части пояса, причём коллизионное сжатие и вызванное им утолщение коры обеспечили лишь меньшую часть этого поднятия. Даже в тех регионах, где сжатие и укорочение пояса усилились (Гималаи, Памир, Центральный Тянь-Шань), их доля в обеспечении поднятия не превысила 20–50%. Вместе с тем, под большинством горных систем геофизическими методами выявлено разуплотнение горных масс вблизи границы кора-мантия и на уровне литосферной мантии. Это могло быть обусловлено, во-первых, разуплотнением верхов мантии за счёт частичного замещения мантийной части литосферы веществом астеносферы или её подвижными компонентами (Артюшков, 1993, 2003) и, во-вторых, разуплотнением высокометаморфизованных пород самых верхов мантии и низов коры из-за ретроградного метаморфизма под воздействием охлаждённых астеносферных флюидов (Трифонов и др., 2008, 2012; Артюшков, 2012). Вторичной относительно этих факторов могла быть изостатическая компенсация экзогенного перераспределения вещества – эрозии поднятий и аккумуляции обломочного материала во впадинах (Ребецкий, 2015).

Сопоставление данных о новейшем горообразовании с результатами анализа сейсмотомографических данных глобальной сети привело к предположению о решающей роли в неотектоническом развитии Альпийско-Гималайского пояса верхнемантийных потоков, распространяющихся от Эфиопско-Афарского суперплюма. Широкое развитие коллизии гондванских плит с Евразийской плитой замедлило их сближение, и верхнемантийные потоки распространились под Альпийско-Гималайский пояс, способствуя деформационному утолщению отдельных зон, а позднее, во вторую стадию горообразования, обеспечили вещественные преобразования низов коры и верхов мантии. приведшие к их разуплотнению и быстрому поднятию. Активности потоков способствовало их обогащение флюидами за счёт переработки переходного слоя мантии на глубинах около 400-700 км (Trifonov et al., 2015; Трифонов, Соколов, 2015). Последний обогащён гидроксильными группами (которые могут существовать в минералах этого слоя типа ваделеита) благодаря тому, что большинство субдуцированных слэбов не погружается в нижнюю мантию, а на уровне переходного слоя выполаживается в субгоризонтальные линзы, продолжающиеся в сторону континентов. Это доказано для зон субдукции северо-западных окраин Тихого океана (Fukau et al., 2001; Жао и др., 2010) и подтверждено для Индонезийского сегмента Альпийско-Гималайского пояса (Соколов, Трифонов, 2012; Трифонов, Соколов, 2015).

Эти же факторы обусловили развитие межгорных впадин (Трифонов, 2016₂). Одни из них связаны с коллизионными процессами. Таковы впадины-синклинали, сопряжённые с хребтами-антиклиналями. Они характерны для Тянь-Шаня, Гималаев, Загроса, Большого и Малого Кавказа, горных районов Турции и Ирана. Во вторую стадию горообразования большинство таких впадин оказались вовлечёнными в поднятие, хотя и не столь интенсивное, как поднятие хребтов. С коллизионными процессами связаны также присдвиговые впадины и грабенообразные структуры горных поясов. На юге Турции присутствуют все три типа впадин, связанных с коллизией (рис. 2 в Приложении). Наряду с ними развиваются, особенно во вторую стадию горообразования, впадины, с современной коллизией напрямую не связанные. Таковы впадины Чёрного моря, Южного Каспия и отчасти Куринская, унаследованные от раннекайнозойских прогибов Паратетиса, и впадины типа Таримской, которые вовлечены в общее поднятие и являются отрицательными структурами лишь относительно быстрее поднимающихся соседних хребтов. Собственное опускание впадин могло происходить лишь из-за изостатической компенсации накопления обломочного материала в их краевых частях. Особый тип впадин, напрямую не связанных с коллизией, представляет Ширакская впадина на СЗ Армении. Её опускание сопровождалось вулканической деятельностью на обрамлениях впадины и, вероятно, обусловлено преобразованиями и перемещениями мантийного вещества. Часть позднекайнозойских впадин Западного Средиземноморья (Лигурийская и Северо-Балеарская) образованы процессами рифтогенеза или (Тирренская впадина) их комбинацией с формированием задугового бассейна. Наряду с ними выделяются овальные впадины, Альбаранская и Южно-Балеарская, со своеобразной центробежной структурой. Их происхождение может быть связано с мантийным диапиризмом, т.е. процессами, производными от перемещений и преобразований вещества на подлитосферном уровне.

Сложность определения происхождения плиоцен-четвертичных структур заключается в их полигенности (Трифонов, 2016₂). Например, происхождение Эгейской впадины обусловлено сочетанием растяжения, вызванного удлинением впадины из-за её поперечного укорочения, с мантийным диапиризмом. Развитие вызванных коллизионным сжатием складчатых деформаций горного пояса (например, на Тянь-Шане) чётко выражено геологическими и геоморфологическими индикаторами вертикальных движений в сопряжённых антиклиналях-поднятиях и синклиналях-прогибах. Вместе с тем, наложенное на такие дифференцированные движения общее усиление восходящих движений в плиоцен-четвертичное время, обусловленное глубинными преобразованиями,

также имеет большую интенсивность в горных поднятиях, чем в прогибах, и проявляется с разной интенсивностью в разных частях подвижного пояса.

В статье В.Г. Трифонова (2016) «Коллизия и горообразование», наряду с данными по Альпийско-Гималайскому поясу, суммированы сведения о горообразовательных движениях в других новейших подвижных поясах, развивавшихся в условиях поперечного или косого горизонтального сжатия. Таковы пояса Алтайско-Становой, северо-востока Азии, запада Северной и Южной Америки. В этих поясах выделяются те же две стадии горообразования с теми же характеристиками и в том же возрастном диапазоне, что в Альпийско-Гималайском поясе (Табл. 2 в Приложении). Усиление вертикальных движений во вторую стадию горообразования отмечается во всех новейших орогенических поясах, где оно привело к образованию современных высокогорных систем. В эту стадию поднятия охватили прежде опускавшиеся части орогенических поясов и соседние с ними территории, а также некоторые участки Африканской, Аравийской и Сибирской платформ и даже крылья рифтовых зон, например, в Восточной Африке, где усиления сжатия и соответствующего деформационного утолщения коры не было. Тогда же ускорилось опускание некоторых впадин, например, отдельных участков Средиземного, Чёрного и Каспийского морей, грабенов Байкала, некоторых желобов зон субдукции. Таким образом, вторая стадия горообразования отличается общим возрастанием контрастности вертикальных движений.

На основе анализа данных мировой сейсмотомографической сети построены разрезы мантии через различные подвижные пояса (Трифонов, Соколов, 2015). Выделены четыре общемантийных суперплюма — Центрально-Тихоокеанский, Эфиопско-Афарский, Исландский и островов Зелёного мыса. Показано, что от всех суперплюмов распространяются подлитосферные верхнемантийные потоки. Скоростные аномалии, связанные с зонами океанического спрединга, исчезают на глубинах примерно до 200 км. Под кратонами и некоторыми зонами интенсивной кайнозойской субдукции обнаружены высокоскоростные объёмы, продолжающиеся с перерывами в нижнюю мантию.

Выполнены структурные исследования, характеризующие вторую стадию горообразования. Показано, что в эту стадию возрастает роль сдвигов как формы реализации поперечного сжатия пояса в ущерб складчато-надвиговым деформациям, игравшим ведущую роль на первой стадии (Трифонов, Соколов, 2015). В Альпийско-Гималайском поясе развиваются системы сдвигов, протягивающиеся на тысячи километров (рис. 3 в Приложении). Усовершенствован GIS-формат новой базы данных об активных разломах Евразии и актуализирована часть базы данных, охватывающая Россию и соседние территории. Эти материалы использованы при создании сейсмотектонической основы нового комплекта карт Общего сейсмического районирования территории России ОСР-2016 (Общее сейсмическое районирование..., 2016), соавторами которого являются исполнители данного проекта Д.М. Бачманов и В.Г. Трифонов. Указанное исследование имеет важное народно-хозяйственное значение. В статье «Recent geodynamics of major strike-slip zones» (Trifonov et al., 20152) на отдельных примерах (сегмент Эль-Габ Трансформы Мёртвого моря, Таласо-Ферганский разлом, эпицентральная область Алтайского землетрясения 2003 г. и Западные Пальмириды в Сирии) показано, что сдвиговые перемещения в таких зонах происходят в основном при сильных землетрясениях, а в другое время геодинамическая обстановка там иная. Иначе говоря, напряжённо-деформированное состояние этих зон периодически изменяется. Не говоря о том, что такие вариации существенны для оценки сейсмической опасности, они важны для понимания механизмов структурообразования: невозможное при средних значениях параметров среды становится возможным в фазы возрастания приложенных сил.

Чтобы оценить роль второй стадии горообразования в тектонической истории Земли, в статье В.Г. Трифонова (2016) «Коллизия и горообразование» по опубликованным данным рассмотрены более ранние орогенные этапы фанерозоя. При всех вариациях проявлений коллизии и субаэральных поднятий в орогенный этап герцинского

тектонического цикла, продолжавшийся со среднего карбона до конца перми, выделяется раннепермская эпоха (артинский век?), когда горообразовательные процессы получили всеобщее распространение. В орогенный этап каледонского тектонического цикла, продолжавшийся с конца силура до начала позднего девона, сходными чертами обладал эйфельский век. Их можно рассматривать как аналоги второй стадии новейшего горообразования. В обоих случаях вторая стадия совпала со временем глобальной перестройки плейт-тектонической системы. Именно во вторую стадию герцинского орогенеза возник Тетис и зародился Атлантический океан. По аналогии с каледонским и герцинским орогенными этапами можно предположить, что вторая стадия новейшего горообразования также отражает особое планетарное событие, предопределённое широким распространением коллизионных условий, но вышедшее за пределы коллизионных областей. Так же, как в предшествовавшие орогенные этапы, это событие может изменить глобальную систему взаимодействия плит, но масштабы и содержание изменений мы пока оценить не можем.

Итак, в ходе выполнения проекта в 2014-2016 гг. сделано следующее. Получены новые данные о плиоцен-четвертичном тектоническом развитии СЗ Сирии и Восточной Турции. По-новому интерпретирована история горообразования на Большом Кавказе. Данные о развитии горообразования в Альпийско-Гималайском поясе обобщены и сопоставлены с историей горообразования в других новейших орогенических поясах. Повсеместно выделена вторая стадия горообразования (последние 7–2 млн лет), в течение которой усилились вертикальные движения, возникли современные горные системы и поднятия распространились за пределы орогенических поясов. Обнаружены вариации напряжённого состояния в зонах сдвигов, характерных для второй стадии. Выявлены аналоги второй стадии новейшего горообразования в течение орогенных этапов герцинского и каледонского тектонических циклов. Структура и развитие областей новейшего горообразования сопоставлены с глубинным строением их литосферы по геофизическим данным и строением мантии Земли по данным сейсмической томографии.

Полученные данные показывают необходимость модернизации теории тектоники литосферных плит с учётом трёх особенностей строения и развития подвижных поясов (Трифонов, Соколов, 2015). Это, во-первых, диффузность субдукционных и коллизионных границ плит, охватывающих области деформаций шириной в сотни, иногда более тысячи километров (рис. 4 в Приложении). Во-вторых, тектоническая расслоенность литосферы, т.е. различия типов, а иногда и ориентировки одновременных деформаций на разных её уровнях. В-третьих, переход большинства субдуцируемых слэбов в субгоризонтальные линзы на уровне переходного слоя мантии. Вместе с тем, усиление вертикальных движений во вторую стадию горообразования и некоторые особенности движения плит не объяснимы только их взаимодействием и находят объяснения в допущении перемещений и преобразований вещества на уровне подлитосферной мантии.

Предложена новая модель тектогенеза, названная тектоникой мантийных течений (Трифонов, Соколов, 2015; Трифонов, 2016). Она включает в себя следующие положения.

- 1) Тектонические процессы обусловлены общемантийной конвекцией.
- 2) Восходящую ветвь конвекции образуют общемантийные суперплюмы типа Эфиопско-Афарского и Центрально-Тихоокеанского.
- 3) От общемантийных плюмов распространяются подлитосферные верхнемантийные потоки, которые из-за вязкого трения перемещают литосферные плиты. В местах расхождения плит возникают зоны спрединга, которые изменяют пространственное положение и, как правило, не связаны непосредственно с общемантийными плюмами. В местах схождения плит возникают зоны субдукции и коллизии.
- 4) Поскольку большинство зон субдукции переходит в субгоризонтальные линзы на уровне переходного слоя мантии (400–700 км), они не вносят решающего вклада в нисходящую ветвь конвекции. Она более рассеяна, чем восходящая ветвь, и реализуется

путём отрыва и погружения плотных нижнелитосферных масс под кратонами и областями наиболее интенсивной коллизии.

- 5) В эпохи широкого распространения коллизии она замедляет движение плит, и подлитосферные потоки распространяются дискордантно к плитам под соседние с коллизией области. Перерабатывая переходный слой мантии, потоки обогащаются флюидами. Активизированная таким образом мантия частично замещает мантийную часть литосферы, а флюиды потоков вызывают метаморфические преобразования литосферы, приводящие к её разуплотнению. Это является причиной резкого усиления вертикальных движений во вторую стадию горообразования.
- 6) Аналоги второй стадии выделяются внутри орогенных этапов в конце герцинского (артинский век) и каледонского (эйфельский век) тектонических циклов. Эти стадии, занимающие \leq 7% геологического времени (рис. 5 в Приложении), были эпохами перестройки системы движения плит и, возможно, системы мантийных течений.

Предлагаемая модель объясняет все проявления тектоники плит и, вместе с тем, геодинамические процессы, ею не объясняемые.

Результаты работ отражены в книге В.Г. Трифонова (2016₂) «Неотектоника: учебник».

Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем

Все результаты, полученные в ходе полевых наблюдений в Восточной Турции и СЗ Армении и обработки данных этих наблюдений, находятся на уровне передовых отечественных и зарубежных технологий и получены путём комплексного использования широкого спектра современных методов исследований (см. 3.7). Корреляции и обобщения, касающиеся истории новейшего горообразования в контексте кайнозойского развития орогенических поясов, причин горообразования и его места в фанерозойской тектонической эволюции Земли, относятся к кругу важнейших задач современной геотектоники и геодинамики, занимающему видное место в мировых фундаментальных исследованиях. Большинство специалистов, занимающихся этой проблемой в России и за рубежом, пытаются решить её, не выходя за рамки плейт-тектонической теории, и не могут объяснить всех особенностей новейшего горообразования, в частности, его резкого ускорения в плиоцене-квартере. Единственный известный нам исследователь, который выполнил широкое обобщение по истории позднекайнозойского горообразования и поставил вопрос о том, что этот процесс выходит за рамки плейт-тектоники – К.Д. Оллиер (Ollier, 2006). Наши работы показывают, что для объяснения этого явления необходимо принять во внимание кроме процессов, осуществляемых в рамках плейт-тектонических взаимодействий, глубинные преобразования на уровне верхней мантии и их воздействия на литосферу. Преимуществом наших исследований является привлечение к решению обсуждаемой проблемы сейсмотомографических данных о строении мантии.

Методы и подходы, использованные в ходе выполнения Проекта

Особенностью выполненных исследований является мультидисциплинарность — привлечение разнообразных методов и подходов к решению поставленных задач. При проведении полевых работ в Турции и Армении и обработке полевых данных применялись методы геолого-геоморфологической корреляции разрезов, литологического и геохимического изучения горных пород, датирования вулканических и осадочных пород методами радио-изотопным, палеомагнитным, палеонтологическим, включая споровопыльцевой анализ, и археологическим. Каждый из применяемых методов не является оригинальным, но они редко используются при проведении подобных работ в столь же полном объёме и применительно к столь же сложно развивающимся объектам, и в этом состоит новизна наших работ. Разнообразие подходов использовалось и при обобщении истории новейшего горообразования, выяснении его соотношений с коллизионными процессами и причин выявленных особенностей горообразования. Реконструкция истории горообразования производилась на разных масштабных уровнях. При исследовании

отдельных тектонических зон и ключевых объектов в их пределах определялись скорости поднятий (по строению и высоте террас и поверхностей выравнивания, величинам их деформаций) и соотношения поднятий с новейшей структурой. На менее детальных масштабных уровнях особенности разных стадий горообразования определялись отчасти путём обобщения данных по ключевым участкам, но главным образом с применением более общих критериев, например, изменений состава молассовых комплексов и стиля новейших деформаций (возрастание роли сдвигов в ущерб складчато-надвиговым деформациям). При объяснении причин усиления вертикальных движений использовались геофизические, в частности, сейсмотомографические данные. Для выяснения места орогенных этапов в фанерозойской тектонической эволюции Земли привлекались данные по орогенным этапам палеозоя.

Участие в 2016 году в научных мероприятиях по тематике Проекта

48-е тектоническое совещание «Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ». Москва. Февраль. Устный доклад.

4-я тектонофизическая конференция. Москва. 3–8 октября. Два устных доклада. INQUA–SEQS Section on European Quaternary Stratigraphy Workshop 03–11 September, 2016, Yerevan. Bridging Europe and Asia: Quaternary stratigraphy and Paleolithic human оссираtion in Armenia and Southern Georgia. Два устных доклада.

Библиографический список всех публикаций по Проекту в 2014-2016 годах

- 1) Трифонов В.Г. Неотектоника: учебник. Дубна: Гос. ун-т «Дубна», 2016. 311 с.
- 2) Trifonov V.G., Sokolov S.Yu., Bachmanov D.M. Neotectonic uplift and recent mountain building in the Alpine-Himalayan Belt. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2015. 156p.
 - 3) Трифонов В.Г. Коллизия и горообразование // Геотектоника, 2016. № 1. С. 3–25.
- 4) Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. На пути к постплейт-тектонике // Вестник РАН. 2015. Т.85, № 7. С. 605–615.
- 5) Трихунков Я.И. Неотектонические преобразования кайнозойских складчатых структур Северо-Западного Кавказа // Геотектоника. 2016. № 5. С. 67–81.
- 6) Trifonov V.G., Bachmanov D.M., Simakova A.N., Trikhunkov Ya.I., Ali O., Tesakov A.S., Belyaeva E.V., Lyubin V.P., Veselovsky R.V., Al-Kafri A.-M. Dating and correlation of the Quaternary fluvial terraces in Syria, applied to tectonic deformation in the region // Quaternary International. 2014. Vol. 328-329. P. 74–93.
- 7) Trifonov V.G., Lyubin V.P., Belyaeva E.N., Lebedev V.A., Trikhunkov Ya.I., Tesakov A.S., Simakova A.N., Veselovsky R.V., Latyshev A.V., Presnyakov S.L., Ivanova T.P., Ozhereliev D.V., Bachmanov D.M., Lyapunov S.M. Stratigraphic and tectonic settings of Early Paleolithic of North-West Armenia // Quaternary International. 2016. Vol. 420. P. 178–198.
- 8) Trifonov V.G., Sokolov S.Yu. Late Cenozoic tectonic uplift producing mountain building in comparison with mantle structure in the Alpine-Himalayan Belt // International Journal of Geosciences. 2014. Vol. 5. C. 497–518.
- 9) Trifonov V.G., Korzhenkov A.M., Omar Kh.M. Recent geodynamics of major strike-slip zones // Geodesy & Geodynamics, 2015₂, vol. 6, No. 5. P. 361–383.
- 10) Трифонов В.Г. Соотношения процессов коллизии и горообразования // Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ. Мат.48 тектон. совещ. М.: ГЕОС, 2016. С. 237–241.
- 11) Трифонов В.Г. Разнообразие происхождения новейших межгорных впадин // Мат. 4-й тектонофизической конф., 3–8 октября 2016 г. Раздел 5. Общие теоретические вопросы тектонофизики и проблемы геодинамики. Москва: ИФЗ РАН, 2016₂. С. 586–591.
- 12) Трифонов В.Г., Соколов С.Ю., Бачманов Д.М., Иванова Т.П. Новейшее горообразование и тектоника мантийных течений // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты. Мат. 47 тектон. совещ., т. 2. М.: ГЕОС, 2015. С. 228-232.

- 13) Трихунков Я.И., Зеленин Е.А., Маринин А.В., Колесниченко А.А., Шалаева Е.А., Фролов П.Д., Ревунова А.О. Четвертичные речные террасы как индикатор тектонической активности Сочинского морфоструктурного района // Мат. 4-й тектонофизической конф., 3—8 октября 2016 г. Раздел 1. Природное напряженно-деформированное состояние горных массивов и современная геодинамика. Москва: ИФЗ РАН, 2016. С. 282—291.
- 14) Trifonov V.G., Korzhenkov A.M., Omar Kh.M. Variations of seismicity and recent geodynamics in major strike-alip zones // 8th Intern. Sympos. on Eastern Mediterranean Geology, 13-17 October, 2014. Mugla (Turkey), 2014. P. 101.
- 15) Trifonov V.G., Çelik H., Trikhunkov Ya.I., Simakova A.N., Ozhereliev D.V., Kolesnichenko A.A. The Lower Pleistocene in the Euphrates Valley of Eastern Turkey and inhabitance of earliest hominine in the Caucasus region // XIX INQUA Congress. Abstracts. Nagoya, 2015. G02-P04.
- 16) Trifonov V.G., Çelik H., Ozherelyev D.V., Simakova A.N., Bachmanov D.M., Trikhunkov Ya.I., Frolov P.D., Tesakov A.S. The Pliocene-Quaternary evolution of the Euphrates valley in the northern surrounding of the Arabian Plate // INQUA—SEQS Section on European Quaternary Stratigraphy Workshop 03–11 September, 2016. Bridging Europe and Asia: Quaternary stratigraphy and Paleolithic human occupation in Armenia and Southern Georgia. Program & Abstracts. Yerevan, 2016. P. 16.
- 17) Trikhunkov Ya.I., Zelenin E.A., Novenko E.Y., Kolesnichenko A.A., Shalaeva E.A., Frolov P.D., Revunova A.V. The Late Quaternary river terraces and archeological sites as indicator of modern tectonic deformations of the Western Caucasus // INQUA–SEQS Section on European Quaternary Stratigraphy Workshop 03–11 September, 2016. Bridging Europe and Asia: Quaternary stratigraphy and Paleolithic human occupation in Armenia and Southern Georgia. Program & Abstracts. Yerevan, 2016. P. 35.

Приложения

Табл. 1. Тектоническое поднятие и изменение мощности земной коры Большого Кавказа в позднем кайнозое

T3	М1,км	О ₁ ,км	D,%	М2,км	Н2,км	М3,км	Н3,км
I	~34 <u>+</u> 2	18 <u>+</u> 2	~50	~68 <u>+</u> 4	~4.8–5.4	35(3) – до	≤1.5 (3) – до
						45-50(Ц-В)	2.5–3.5(Ц–В)
II	~35	~14	~20	~44	~1.4	~41	1–1.5
III-1	~38?		20–30?	~48–52?	~1.5–2.1?		
III	~42	2–2.5?	10–20?	~47–52	~0.8–1.5?	50–55	2.5–3
IV-1	~38		20–30	~48–52	~1.5–2.1		
IV	~36	~11	10–20	~40–45	~0.6–1.4	54–55	<u>≥</u> 3
V-1	~36	~10	<10	~39	<0.4	~43	
V-2	~39	~5	<10	~43	< 0.6	~43	<u>0.5</u> –2
V-3	~38	~7	10–20	~42–48	~0.6–1.5	~45	<u>1</u> –2

Примечания. Т3 — тектонические зоны: I — Зона южного склона (3 — запад, Ц — центр, В — восток), II — Северо-Западный Кавказ, III — Центральный Кавказ (киммерийский), III — Центральный Кавказ (позднеальпийский), IV — Восточный Кавказ (киммерийский), IV 1 — Восточный Кавказ (позднеальпийский), V 1 — Лабино-Малкинская зона (СЗ Кавказ), V 2 — Лабино-Малкинская зона (Центральный Кавказ), V 3 — Известняковый Дагестан; M_1 — расчётная доскладчатая мощность коры; O_1 — доскладчатая мощность осадочного чехла; D — поперечное укорочение зоны; M_2 — расчётная мощность коры после главной фазы складчатости; H_2 — расчётное деформационное поднятие в результате складчатости; M_3 — современное положение поверхности M (ниже у.м.); H_3 — современное поднятие поверхности. Для киммерийского Кавказа (III и IV 1) указаны доскладчатая мощность коры в средней юре и постскладчатая мощность коры и расчётное поднятие в верхней юре. Позднеальпийская складчатость (остальные строки) отнесена к нижнему-среднему миоцену

Таблица 2. Возраст быстрых новейших поднятий вне Альпийско-Гималайского пояса, по работе [Ollier, 2006] с дополнениями (*)

	Ссылка						
Регион Возраст Ссылка Алтайско-Становой пояс							
3.5 млн лет	De Grave et al., 2007						
Алтай* 3.5 млн лет De Grave et al., 2007 Северо-восток Азии							
N_2^2 -O	Смирнов, 2000						
~	Парфёнов и др., 2001						
Q 2 Q 4	Timp quinds in Apri, 2001						
Корякии* Запад Северной Америки							
5 млн лет	Ollier, 2006						
N_2^2	Ollier, 2006						
2.5 млн лет	Ollier, 2006						
4-5 млн лет	Ollier, 2006						
5 млн лет	Ollier, 2006						
4 млн лет	Ollier, 2006						
N_2^2 –Q	Ollier, 2006						
Плато Колорадо							
N ₂ –Q	Ollier, 2006						
$N_1^3 - Q$	Ollier, 2006						
N ₂ –Q	Ollier, 2006						
N_1^3 –Q	Романюк, 2009						
N ₂ –Q	Ollier, 2006						
Другие регионы							
N ₂ –Q	Артюшков, 2012						
N ₂ –Q	Artyushkov, Hofmann,						
	1998; Partridge, 1998						
Q	Ollier, 2006						
Q	Ollier, 2006						
$N_2^2 - Q$	Trifonov et al., 2014						
2.9–2.4 млн лет Partridge, 1997							
	Возраст 3.5 млн лет N ₂ ² -Q Q ₂ -Q ₄ 5 млн лет N ₂ ² 2.5 млн лет 4-5 млн лет 4 млн лет 4 млн лет N ₂ ² -Q I) N ₂ -Q N ₁ ³ -Q N ₂ -Q N ₁ ³ -Q N ₂ -Q N ₂ -Q Q Q Q Q Q Q Q Q						

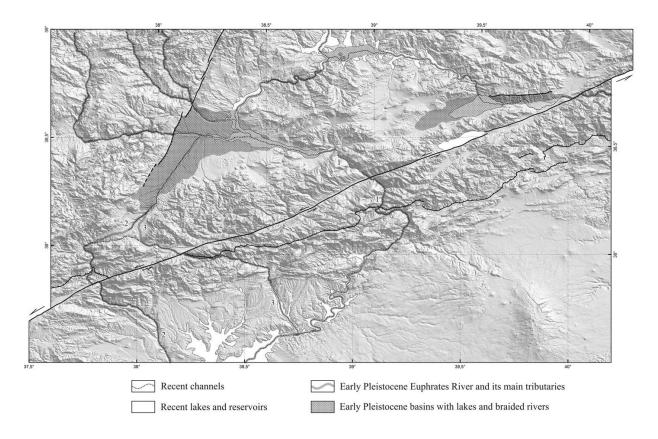


Рис.1. Реконструкция дренажной сети бассейна р. Евфрат в раннем плейстоцене с удалённым левосдвиговым смещением по Восточно-Анатолийской зоне разломов на 12км 1 — современная долина р. Евфрат на пересечении с Таврским хребтом; 2 — долина р. Гёксу; 3 — долина р. Ерик

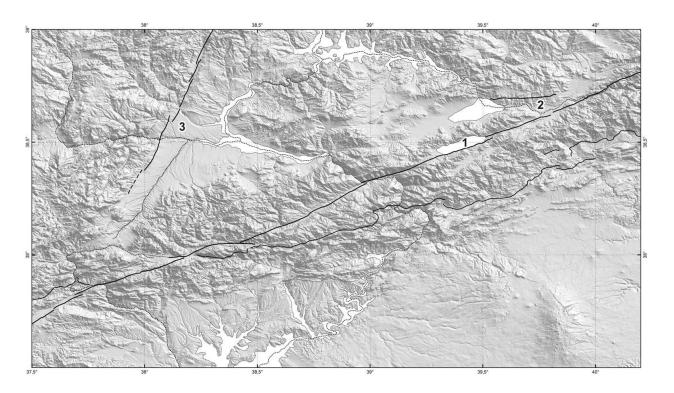


Рис. 2. Новейшие разломы и межгорные впадины ЮВ Турции на фоне современного рельефа

1 — впадина оз. Хазар типа pull-apart; 2 — конседиментационная синклиналь сжатия, сопряжённая с соседней антиклиналью; 3 — грабен растяжения долины р. Султан-Сую

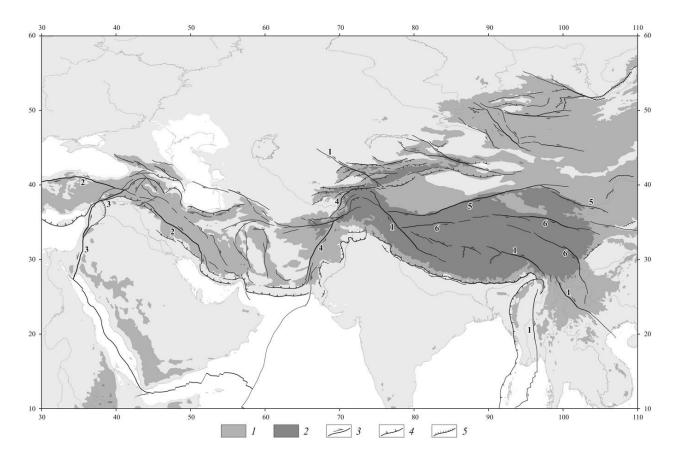


Рис. 3. Крупнейшие системы сдвигов в Альпийско-Гималайском поясе I — возвышенности 1000—3000 м; 2 — горы и нагорья выше 3000 м; 3—5 — крупные активные разломы: 3 — сдвиги, 4 — надвиги и взбросы, 5 — сбросы. Крупнейшие системы правых сдвигов: 1 — от Таласо-Ферганского разлома до разломов Сагаинг и Красной реки, 2 — Северо-Анатолийская и Главного современного разлома Загроса. Крупнейшие системы левых сдвигов: 3 — Левантско-Восточно-Анатолийская, 4 — Чаманско-Дарвазская, 5 — Алтынтагская, 6 — Кунлунь-Юннаньская

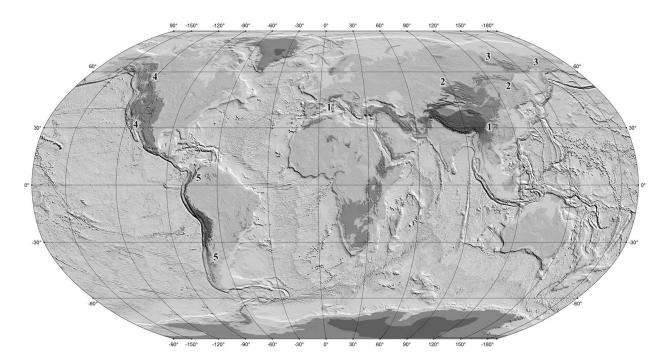


Рис. 4. Диффузные границы плит (подвижные пояса) Евразии Пояса (серый цвет): I – Притихоокеанский; II – Альпийско-Гималайский; III – Алтайско-Становой; IV – Момско-Черский. Показаны крупнейшие активные разломы

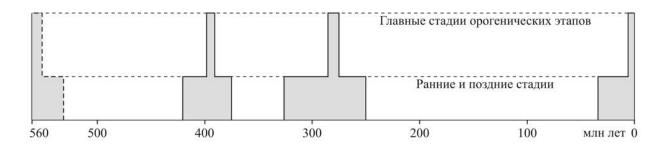


Рис. 5. Хронологическое положение орогенических этапов в фанерозойской истории Земли [Трифонов, 2016]