

## Проект РФФИ № 14-05-00122

### «История новейшего горообразования в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе и роль течения и преобразования верхней мантии в этом процессе»

#### Развернутый научный отчёт за 2015 г.

##### Объявленные ранее цели Проекта на 2015 год

- (1) Монографическое обобщение накопленных данных по истории и источникам новейших (олигоцен-четвертичных) вертикальных движений, приведших к горообразованию в Альпийско-Гималайском поясе; обобщение будет включать краткий раздел сравнения с другими подвижными поясами Земли.
- (2) Обработка накопленных материалов по неотектонике и стратиграфии новейших отложений Ближнего Востока, Кавказского региона и Средней Азии; завершение формирования новой базы данных об активных разломах Евразии.
- (3) Сбор новых данных о строении, истории развития и происхождении четвертичных впадин СЗ Армении и Восточной Турции (бассейн Евфрата).

##### Полученные в 2015 году важнейшие результаты

Первые два пункта заявленных целей исследований 2015 г. были реализованы изданием коллективной монографии В.Г. Трифонова, С.Ю. Соколова и Д.М. Бачманова «Neotectonic uplift and recent mountain building in the Alpine-Himalayan Belt» (Trifonov et al., 2015), в которой рассмотрены история и источники новейших (олигоцен-четвертичных) вертикальных движений, приведших к горообразованию в Альпийско-Гималайском поясе, а также подготовкой к печати статьи В.Г. Трифонова «Коллизия и горообразование», которая выйдет из печати в журнале «Геотектоника» (2016, № 1). Разработан и реализован GIS-формат новой базы данных об активных разломах Евразии. Дальнейшие работы в этом направлении будут сводиться к уточнению положения и параметров разломов базы данных на основе использования материалов дистанционного зондирования и новых данных, как получаемых авторами проекта, так и публикуемых другими исследователями.

Основные результаты обобщения неотектонических событий в Альпийско-Гималайском поясе, изложенного в указанной монографии, сводятся к следующему. (1) Развитие горообразовательных процессов в Альпийско-Гималайском поясе началось на большей части территории в олигоцене, а местами ещё в конце олигоцена или миоцене и состояло из двух стадий. Первая, более длительная, продолжалась до плиоцена (с вариациями от конца миоцена до конца плиоцена), а вторая, короткая, стадия охватывает последние 7–2 млн лет. В течение первой стадии возникли низко- и среднегорные поднятия в местах концентрации сжатия и поперечного укорочения структур и, соответственно, утолщения земной коры. В течение второй стадии произошло общее, хотя и дифференцированное по амплитудам быстрое поднятие большей части пояса, причём сжатие и вызванное им утолщение коры обеспечивали лишь меньшую часть этого поднятия. Остальное (в ряде изученных структур эта доля составляет от 50 до 80% общего поднятия) обусловлено разуплотнением верхов мантии за счёт частичного замещения литосферной мантии веществом астеносферы или её подвижными компонентами (Артюшков, 1993) и/или пород низов коры из-за ретроградного метаморфизма под воздействием охлаждённых астеносферных флюидов (Трифонов и др., 2008, 2012; Артюшков, 2012).

(2) 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 пояса (Соколов, Трифонов, 2012; Trifonov et al., 2015).

Глобальный анализ неотектонических и сейсмотомографических данных стал основой для предлагаемой новой модели новейшего тектогенеза (Трифонов, Соколов, 2015). Согласно этой модели, литосферные плиты движутся верхнемантийными потоками, распространяющимися от общемантийных суперплюмов (авторы выделили четыре таких суперплюма), которые служат восходящими ветвями мантийной конвекции, а её нисходящие ветви представлены не только редкими субдуцируемыми слэбами, проникающими в нижнюю мантию, но и погружающимися фрагментами плотной литосферы под кратонами и зонами коллизии. Большая часть субдуцируемых слэбов выполаживается на глубинах 400–700 км (переходный слой мантии) и продолжается под соседние континенты. Материал слэбов и переходного слоя обогащён источниками водных флюидов, которые способны удерживаться в минералах переходного слоя. При взаимодействии верхнемантийных потоков с материалом переходного слоя потоки обогащаются источниками флюидов и в орогенических поясах воздействуют на литосферу, вызывая её разуплотнение и, как результат, усиление горообразовательных вертикальных движений.

Рассматриваемые проблемы получили дальнейшее развитие в статье В.Г. Трифонова «Коллизия и горообразование», в которой соотношение этих тектонических явлений исследуется на трёх масштабных уровнях: в отдельных тектонических зонах Аравийско-Кавказского сегмента Альпийско-Гималайского пояса; в масштабе всего пояса; и в других современных горных поясах, т.е. в глобальном масштабе. Для характеристики южного обрамления Аравийско-Кавказского сегмента и его внутренних зон, имевшихся данных не доставало. Поэтому были выполнены экспедиционные работы в Восточной Турции (бассейн Евфрата) и СЗ Армении (Ширакская впадина), что было третьей целью работ 2015 г. по данному проекту РФФИ.

Задачей работ в Восточной Турции (рис. 1, 2 в Приложении) было исследование разрезов плиоценовых и четвертичных отложений, их деформаций и структурного положения по обе стороны Таврского хребта, являющегося современным выражением сутуры Неотетиса. В ходе этих работ был сделан ряд региональных открытий. Во-первых, была найдена фауна пресноводных моллюсков, рыб и грызунов в низах разреза Кованджилар и в разрезе Каранджибаши (низовья р. Мурат), описанных в 2014 г. Фауна характеризует эти отложения как нижнеплиоценовые. Во-вторых, была впервые найдена костеносная линза в верхах разреза, слагающего цоколь высокой террасы на правом берегу р. Султан-сую (см. рис. 2 в Приложении). Найденная фауна млекопитающих (в частности, поздний гиппарион) относится к середине плиоцена. В-третьих, были впервые найдены многочисленные кремнёвые предметы древнейшего палеолита в разрезе высокой террасы р. Гёксу-чай – правого притока Евфрата южнее Таврского хребта (рис. 3 в Приложении). Редкие изделия сходной раннепалеолитической индустрии, обнаруженные в 2014 г. в основании четвертичного разреза Кованджилар, залегают стратиграфически ниже слоёв, относимых по палеомагнитным данным к эпизоду Олдувай, т.е. древнее 1.95 млн лет. Полевыми исследованиями 2015 г. установлено следующее.

Субдукция Неотетиса под фронт Таврид завершилась в эоцене. Она выражена офиолитами зоны Южно-Таврского (Битлизского) надвига, по которому метаморфический комплекс Таврид (формация Малатья) надвинут сейчас на деформированные меловые и кайнозойские отложения

Аравийской плиты. В конце эоцена началась коллизия Аравийской плиты с континентальными блоками северного обрамления Неотетиса, вызвавшая деформацию внутренних зон будущего горного пояса, продолжавшуюся в олигоцене и, возможно, начале миоцена. В конце раннего и среднем миоцене на северном краю Аравийской плиты произошла морская трансгрессия. Перед фронтом Южно-Таврского надвига за счёт разрушения его аллохтонного северного крыла формировались прибрежные морские склоновые конгломерато-брекчии. В тортоне морские бассейны Средиземноморья и Персидского залива разобщаются, и в плиоцене море постепенно регрессирует, приближаясь к современным контурам береговой линии, которая в плейстоцене испытывает вариации. С конца плиоцена или начала плейстоцена перед фронтом Тавра формируется относительно маломощный предгорный шлейф, в который в плейстоцене врезаются современные долины. Средняя скорость врезания возрастает со временем. Его амплитуда достигает 120 м в бассейне р. Гёксу-чай.

Севернее зоны Южно-Таврского надвига (Таврской кордильеры) в раннем и среднем миоцене местами возобновилось морское осадконакопление, сопровождавшееся излиянием субаэральных базальтов на соседних участках. Затем море уходит, и в конце миоцена и плиоцене здесь накапливаются тонкообломочные отложения озёрного, реже аллювиального генезиса. Они заполняли более или менее крупные депрессии, по соседству с которыми продолжались базальтовые излияния. Эти депрессии отчасти ограничены разломами, сопряжёнными с возникшей тогда же Восточно-Анатолийской левосдвиговой зоной (EAFZ). Амплитуда левосдвигового изгиба четвертичных долин Евфрата и Мурата составляет 10–12 км, что позволяет определить скорость сдвига – 4–6 мм/год. Одна из депрессий простирается на ЮЮЗ-ССВ, следуя вдоль правого берега Евфрата, а южнее вдоль долины р. Султан-сую. Литологическое изучение слагающих её плиоценовых отложений, в нижней части преимущественно тонкообломочных, даёт основание предполагать, что сначала воды депрессии (долины Евфрата) находили сток на юг через северные отроги Таврских гор и далее в бассейн Евфрата на севере Аравийской плиты. Затем осадконакопление происходило в условиях застойных вод и сочеталось с поступлением более грубообломочного материала боковых притоков, и лишь позднее установился современный сток р. Султан-сую на север, где эта река стала впадать в новообразованную долину Евфрата, сохраняющуюся поныне, но испытавшую смещение вдоль EAFZ. Эта реконструкция, в сочетании с современной гипсометрией депрессии, позволяет оценить минимальную величину поднятия Таврского хребта с середины плиоцена, т.е. за последние ~4 млн лет. В современном рельефе поверхность нижнеплейстоценовых отложений высокой террасы р. Султан-сую понижается с ЮЮЗ на ССВ от 1300 м в седловине на северных отрогах Тавра западнее г. Дованшехир до 850 м вблизи впадения реки в Евфрат. Следовательно, с момента перестройки речной сети до начала накопления нижнеплейстоценовых речных отложений, ныне слагающих высокую террасу р. Султан-сую (палеомагнитный эпизод Олдувай, ~1.8–1.9 млн. лет назад), Таврский хребет поднялся, как минимум, на 450 м. В дальнейшем произошёл врез современного русла рек Султан-сую и Евфрат в поверхность упомянутой террасы, отражающий последующее поднятие. В среднем течении р. Султан-сую врез достигает 125–130 м. Собственно в Таврском хребте, т.е. в его южной части, примыкающей к зоне надвига, амплитуда плиоцен-четвертичного поднятия была, вероятно, больше.

На северо-восточном фланге Аравийской плиты роль, аналогичную Южно-Таврскому надвику, выполнял Главный Загросский надвиг. В его зоне происходила субдукция реликтов Неотетиса, завершившаяся в среднем миоцене. Продолжавшееся надвигание вдоль Главного надвига вызвало складчато-надвиговые деформации перед его фронтом на северо-восточном краю Месопотамского передового прогиба, унаследовавшего и прежде опускавшуюся часть Аравийской плиты. Деформации, выразившиеся образованием низко-среднегорного рельефа, с позднего миоцена проградировали к центру прогиба. В плиоцен-квартере их дополнило общее поднятие внутренних зон Загроса. Усиление поднятий в плиоцене и особенно в плейстоцене

отмечено и на северо-западном фланге Аравийской плиты. В Береговом хребте Сирии скорость подъёма со среднего плейстоцена, определённая по высоте террас, составила 0.22–0.28 мм/год.

Исследования 2015 г. в СЗ Армении выполнялись в рамках российско-армянского проекта РФФИ № 15-55-05009 «Четвертичная геодинамика Северо-Западной Армении», и здесь их результаты приводятся кратко, лишь в той мере, в какой это необходимо для достижения целей данного проекта. Мезозойско-палеогеновые отложения региона в конце эоцена и олигоцене подверглись складчатости и внедрению гранитоидных интрузий. В раннем и среднем миоцене имела место фрагментарная вулканическая деятельность. В конце миоцена началась и в плиоцене-квартере усилилась вулканическая и тектоническая активность. Среди межгорных впадин, развивавшихся в плиоцене-квартере, некоторые, например, Ваназдорская, Фиолетовская, Цовагюх-Малосеванская и отчасти Большесеванская, связаны с крупной Памбак-Севан-Сюникской правосдвиговой зоной, отражающей коллизионное сжатие Малого Кавказа. Эта и другие зоны разломов, также связанные с коллизионным взаимодействием плит и блоков литосферы (Джавахетский сдвиг, Ахурянский разлом и восточная ветвь EAFZ), отчасти моделируют строение остальных впадин – Лорийской, Верхнеахурянской и крупнейшей Ширакской, но не определяют их контуров и структурных ограничений. Вместе с тем, развитие Ширакской впадины происходило синхронно с интенсивной вулканической деятельностью на её обрамлениях, южном в конце миоцена, западном (Карское плато, по данным В.А.Лебедева) в плиоцене и гелазии и вновь южном (Арагацкий центр) в калабрии и среднем плейстоцене. Пространственные и хронологические связи с вулканизмом обнаруживают также Верхнеахурянская, Лорийская и Севанская впадины. Возможно, их образование, по крайней мере, частично обусловлено глубинными магматическими процессами, которые, в свою очередь, определялись движением подлитосферных верхнемантийных потоков и их взаимодействием с литосферой. Выявлено усиление вертикальных движений в плиоцен-четвертичное время. Скорость поднятия в последние 0.5 млн лет определена в 0.7–1.0 мм/год для Лорийской и Верхнеахурянской впадин и 1.2–1.6 мм/год для соседних Джавахетского и Базумского хребтов.

Таким образом, во внутренних зонах Аравийско-Кавказского сегмента пояса отмечается усиление поднятий в плиоцен-квартере. Установлено также, что позднекайнозойские впадины региона гетерогенны. Часть их связана с коллизионным взаимодействием плит и блоков литосферы, а часть – с глубинными мантийными преобразованиями. Образование некоторых впадин может быть обусловлено сочетанием этих процессов. Для определения места горообразования в эволюции Большого Кавказа на коллизионном этапе развития решались три задачи: реконструкция мощности и строения земной коры к началу её альпийской деформации; оценка степени укорочения, утолщения, преобразования и подъёма коры под действием сжатия; выяснение характера преобразований деформированной коры в современное горное сооружение (Табл. 1 в Приложении). Выполненные по опубликованным данным расчёты показали, что расчётное деформационное утолщение и соответствующее изостатическое поднятие зоны Южного склона Большого Кавказа оказались очень высокими, 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  $V_p=8.2-8.3$  км/с, на глубинах 59–66 км, слоя с  $V_p$ , уменьшенными до 7.8 км/с, 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 которой кора была метаморфизована и приобрела мантийную плотность. В других тектонических зонах Большого Кавказа выявлено дополнительное постскладчатое поднятие сверх того, что обусловлено утолщением коры при сжатии. Амплитуда этого поднятия достигает 1.5–2 км в Центральном и Восточном Кавказе. На

СЗ Кавказе дополнительное поднятие нивелировано эрозией, на что указывает преобладание инверсионного рельефа.

В масштабе всего Альпийско-Гималайского пояса, как отмечено выше, также выделяются две стадии новейшего горообразования. В течение первой стадии, начавшейся в большинстве тектонических зон в олигоцене, но местами ещё в конце эоцена или, напротив, в раннем или среднем миоцене, направление максимального горизонтального сжатия изменялось со временем от ССЗ-ЮЮВ в олигоцене и начале миоцена до СВ-ЮЗ в конце раннего миоцена и среднем миоцене и вновь ССЗ-ЮЮВ или местами меридионального в позднем миоцене и позднее. Соответственно, разные тектонические зоны испытывали сжатие, укорочение и утолщение коры, и площадь деформационных поднятий возрастала со временем. Именно деформации, связанные с коллизионным взаимодействием плит и блоков литосферы, были главным источником возникновения субэзральных поднятий, которые были, как правило, не выше низко- и среднегорных. В течение второй стадии, начавшейся в разных местах 7–2 млн лет назад, скорость поднятий резко возросла, и сформировался современный горный (местами высокогорный) рельеф. Деформационное утолщение коры, как показали наши расчёты, было недостаточным, чтобы вызвать такое поднятие. Его главным источником было разуплотнение низов коры и верхов мантии, вызванное их вещественными преобразованиями. Вместе с тем, во вторую стадию сдвиги становятся главной формой реализации поперечного сжатия пояса в ущерб складчато-надвиговым деформациям, игравшим ведущую роль на первой стадии.

Все другие крупнейшие горные пояса континентов, Алтайско-Становой, северо-востока Азии, запада Северной и Южной Америки, подобно Альпийско-Гималайскому поясу, являются диффузными, т.е. рассредоточенными на сотни километров, границами литосферных плит. Отдельные части этих поясов развивались в условиях альпийской коллизии. Другие их части или целые пояса, например, Алтайско-Становой пояс, Верхоянье или Скалистые горы Северной Америки, претерпели подобные события ранее и в олигоцене-квартере испытали тектоническую активизацию в условиях постоянного или переменного по интенсивности и направлению сжатия. Во всех 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). Так, в Горном Алтае на западе Алтайско-Станового пояса ускорение поднятия в последние ~3.5 млн лет выражено составом моласс и подтверждено данными трекового анализа. В это же время возрастает контрастность рельефа Прибайкалья, где моласса становится более грубой. На северо-востоке Азии, по данным В.Н. Смирнова (2000), мощные восходящие движения проявились с конца плиоцена и охватили всю территорию в квартере. Наибольшие амплитуды поднятий (более 2 км) характерны для хребтов Верхоянского, Черского, Сунтар-Хаята и центральной части Корякского нагорья. Л.М. Парфёнов с соавторами (2001) отметили, что геодинамическая обстановка изменялась в позднем кайнозое, и поднятия усилились со среднего плейстоцена в условиях косоугольного сжатия. К.Оллиер (2006) обнаружил усиление восходящих движений в плиоцен–квартере, реже начиная с позднего миоцена на западе Северной Америки – в Скалистых горах, Береговых хребтах и Каскадах, Провинции Бассейнов и Хребтов и плато Колорадо, а также в горном поясе южно-американских Анд, возникших при взаимодействии субдукции океанских плит Восточной Пацифики под краевые структуры континента и коллизии этих структур с Южно-Американской плитой. Согласно Т.В. Романюк (2009), возникновение субэзральных деформационных поднятий началось в Центральных Андах в конце олигоцене, а в конце миоцена поднятия усилились и достигли наибольшей величины в плато Альтиплано-Пуна и Восточных Кордильерах ( $\geq 2$  км) при минимальном латеральном укорочении. Усиление поднятий во вторую стадию отмечено и на западных окраинах Пацифики.

Показательно, что во всех поясах поднятия второй стадии распространяются за пределы территорий, ранее ими охваченных. В плиоцен-квартере возникли тектонические поднятия до 1 км и более в Восточно-Африканской рифтовой системе и некоторых участках Африканской, Аравийской и Сибирской платформ. Стало быть, этот процесс охватил не только области

новейшей коллизии и иных проявлений сжатия при межплитных взаимодействиях, но и платформы. В это же время ускорилось опускание некоторых впадин, например, отдельных участков Средиземного, Чёрного и Каспийского морей, грабенов Байкала, некоторых желобов зон субдукции, где некомпенсированность прогибания осадками появилась или усилилась. Таким образом, вторая стадия горообразования отличается общим возрастанием контрастности вертикальных движений.

Чтобы оценить роль второй стадии горообразования в тектонической истории Земли, мы обратились к орогенным этапам геологического прошлого, которые показывают, что последовало за этой стадией. В герцинском Уральском орогене В.Н. Пучков выделяет «мягкую» и более позднюю «жесткую» коллизию. Если первая не является обязательной принадлежностью орогенного этапа и в определённом смысле аналогична маастрихтским коллизионным проявлениям в Аравийско-Кавказском регионе, то вторая характеризует собственно орогенный этап. Она связана с закрытием Палеоуральского океана (смыканием Восточно-Европейского и Казахстанского континентов) и выразилась в образовании бивергентного Уральского орогена с расплющиванием и выжиманием горных масс и гранитообразованием в осевой части и покровно-складчатых структурами на бортах. В южных сегментах Урала «жесткая» коллизия началась в среднем карбоне (серпуховской век). Об её омоложении к северу свидетельствует изменение возраста осевых гранитных интрузий от позднекаменноугольного до раннепермского. Соответственно изменялось и время завершения формирования орогенных поднятий, которые на севере продолжали развиваться в поздней перми, когда на юге уже формировался посторогенный пенеппен. При всех вариациях развития коллизии и субаральных поднятий на Урале выделяется раннепермская эпоха (артинский век?), когда горообразовательные процессы получили всеобщее распространение. Синхронную активизацию вертикальных движений А.А. Моссаковский и другие авторы отметили в разных частях Урало-Монгольского орогенического пояса и в других областях герцинского орогенеза. Поэтому артинский век можно рассматривать как аналог второй стадии новейшего горообразования. Ю.Г. Леонов выполнил глобальное исследование каледонского орогенного этапа. По его данным, коллизия и рост деформационных поднятий начались в конце силура. Поднятие охватило все каледонские орогены, и его проявления распространились на платформенные территории в эйфельский век, к которому, вероятно, следует относить вторую стадию каледонского горообразования.

Наиболее важным в этих сопоставлениях представляется то, что в обоих случаях вторая стадия совпала со временем глобальной перестройки плейт-тектонической системы, возможно, отражающей частичную реорганизацию конвективной системы Земли. 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 областей коллизионного взаимодействия плит. Так же, как в предшествовавшие орогенные этапы, это событие может изменить глобальную систему взаимодействия плит и её глубинных источников, но масштабы и содержание изменений мы пока оценить не можем. Если исключить орогенические проявления, связанные с эпохами деформаций типа киммерийской или ларамийской, которые, хотя и охватили обширные территории, но не были глобальными, четыре глобальных орогенических этапа (новейший, герцинский, каледонский и, вероятно, вендский, продолжавшийся до начала кембрия) занимали в течение последних 560 млн лет >30% геологического времени, а вторые стадии орогенеза, судя по трём последним этапам, длились  $\leq 7\%$  времени (рис. 4 в Приложении).

Особое место среди выполненных исследований занимает статья «Recent geodynamics of major strike-slip zones» (Современная геодинамика крупных сдвиговых зон; Trifonov et al., 2015). В ней 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. То, что представляется невозможным при средних значениях параметров среды, оказывается возможным в фазы возрастания приложенных сил.

### **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, поскольку получены путём комплексного использования широкого спектра современных методов исследований: геолого-геоморфологической корреляции разрезов, литологического и геохимического изучения горных пород, датирования вулканических и осадочных пород методами радио-изотопным, палеомагнитным, палеонтологическим, включая спорово-пыльцевой анализ, и археологическим. Описанные выше 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. Вместе с тем, 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. 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. Единственный известный нам зарубежный 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). 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. Это относится к конкретным полевым исследованиям в Турции и Армении и обработке полевых данных (см. раздел 3.6). Каждый из применяемых методов не является оригинальным, но они редко применяются 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.

### **Вклад каждого члена коллектива в выполнение Проекта в 2015 году**

Трифонов В.Г. – будучи командирован в Турцию, участвовал в изучении плиоцен-четвертичной стратиграфии и тектоники бассейна р. Евфрат в районе Таврского хребта; участвовал в обработке полевых материалов; докладывал результаты работ по проекту на 47 тектоническом совещании (Москва); принял решающее участие в подготовке упомянутых выше публикаций, вышедших из печати и сданных в печать в 2015 г.

Бачманов Д.М. – выполнил указанные выше исследования по созданию GIS-формата новой базы данных об активных разломах Северной Евразии; будучи командирован в Турцию, участвовал в описании разрезов плиоцен-четвертичных отложений бассейна р. Евфрат в районе Таврского хребта и отборе из них палеомагнитных образцов; участвовал в подготовке упомянутых выше публикаций, вышедших из печати и сданных в печать.

Колесниченко А.А. – участвовал в обработке материалов полевых работ, подготовке к определению собранных образцов для палеомагнитного и химического анализов и К-Аг датирования; завершил участие в работах по проекту в декабре 2015 г.

Симакова А.Н. – будучи командирована в Турцию, участвовала в описании разрезов плиоцен-четвертичных отложений бассейна р. Евфрат в районе Таврского хребта и отбирала образцы для палинологического анализа; выполнила такой анализ для разрезов Кованджилар, Султан-сую, Гёксу-чай и Кахраманмараш; определила возраст образцов и обстановку осадконакопления; участвовала в подготовке двух публикаций по проекту.

Соколов С.Ю. – используя мировую базу сейсмотомографических данных, сделал по оригинальной методике три новых скоростных разреза мантии, выделив суперплюмы и отходящие от них верхнемантийные потоки; участвовал в подготовке трёх публикаций по проекту.

Тесаков А.С. – выполнил определения возраста плиоценовых и четвертичных отложений Восточной Турции и СЗ Армении по найденной фауне грызунов; организовал определение других фаунистических находок; деятельно участвовал в подготовке двух публикаций по проекту.

Трихунков Я.И. – будучи командирован в Турцию, деятельно участвовал в отборе палеомагнитных образцов из разрезов плиоцен-четвертичных отложений бассейна р. Евфрат в районе Таврского хребта; подготовил их для палеомагнитных определений и организовал их; докладывал результаты работ по проекту на XIX Конгрессе INQUA в г. Нагоя, Япония.

Артюшков С.Е. – готовил отобранные образцы для К-Аг и химического анализов; завершил участие в работах по проекту в марте 2015 г.

### **Участие в 2015 году в научных мероприятиях по тематике Проекта,**

47-е тектоническое совещание «Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты». Москва. Февраль. Устный доклад.

XIX Congress INQUA. Session G02: Interdisciplinary Quaternary research. Nagoya. August. Poster.

Всероссийская научная конференция «Естественнонаучные методы исследований и парадигма современной археологии». Москва. Декабрь. Устный доклад.



**Библиографический список всех публикаций по Проекту в 2015 году, в порядке значимости: монографии, статьи в научных изданиях, тезисы докладов и материалы съездов, конференций и т.д.**

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.

Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. На пути к постплейт-тектонике // Вестник РАН. 2015. Т.85, № 7. С. 605–615.

Trifonov V.G., Korzhenkov A.M., Omar Kh.M. Recent geodynamics of major strike-slip zones // Geodesy & Geodynamics, 2015, vol. 6, No. 5. P.361–383.

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 Intern. 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.019>.

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.

Любин В.П., Беляева Е.В., Трифонов В.Г. Симакова А.Н., Ожерельев Д.В., Хохлова О.С., Носова А.А., Сазонова Л.В., Колесниченко А.А., Гольева А.А., Трихунков Я.И., Тесаков А.С., Бачманов Д.М., Шалаева Е.А., Фролов П.Д. Динамика природной среды и формирование древнейших раннепалеолитических культур Юго-Западной Азии // Естественнонаучные методы исследований и парадигма современной археологии. Мат. Всеросс. науч. конф. // М.: Ин-т археологии РАН, 2015. С. 45–49.

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 inhabitation of earliest hominine in the Caucasus region // XIX INQUA Congress. Abstracts. Nagoya, 2015. G02-P04.

Руководитель проекта

Трифонов В.Г.

## Аннотации опубликованных работ

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.

В книге описаны тектонические поднятия, приведшие к горообразованию в Альпийско-Гималайском поясе. Этот процесс начался в олигоцене формированием локальных поднятий в зонах концентрации деформаций коллизионного сжатия и ускорился в плиоцене-квартере как изостатическая реакция на разуплотнение верхов мантии и низов коры в результате частичного замещения литосферной мантии астеносферным материалом и ретроградного метаморфизма высоко метаморфизованных пород корового происхождения под воздействием астеносферных флюидов. Эти преобразования возбуждались и поддерживались подлитосферными верхнемантийными потоками, которые распространялись, по сейсмотомографическим данным, от Эфиопско-Афарского суперплюма и в ходе перемещений обогащались под будущим горным поясом источниками флюидов, перерабатывая промежуточный слой мантии на глубинах 400–700 км. Верхнемантийные потоки не только перемещали литосферные плиты со всеми вытекающими из этого плейт-тектоническими последствиями, но также инициировали преобразования литосферы, которые обусловили вертикальные движения, приведшие к горообразованию. Книга рассчитана на широкий круг специалистов в науках о Земле.

Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. На пути к постплейт-тектонике // Вестник РАН. 2015. Т.85, № 7. С. 605–615.

Полвека назад были впервые сформулированы принципы теории тектоники литосферных плит, или плейт-тектоники. С тех пор теория существенно усложнилась, и обозначились тектонические процессы и явления, теорией не описываемые. Это относится к некоторым типам вертикальных движений, прежде всего к новейшим поднятиям, приведшим к образованию современных горных систем. Сопоставление геологических процессов (как описываемых плейт-тектонической теорией, так и не находящихся объяснения) с данными сейсмической томографии мантии позволило наметить новую тектоническую модель, согласно которой источником наблюдаемых тектонических проявлений служат латеральные потоки верхнемантийного вещества, распространяющиеся от суперплюмов – потоков вещества и энергии, восходящих из низов мантии. Эти латеральные потоки не только перемещают литосферные плиты, но и обуславливают структурно-вещественные преобразования литосферы и верхней подлитосферной мантии, приводящие к вертикальным движениям и горообразованию.

Trifonov V.G., Korzhenkov A.M., Omar Kh.M. Recent geodynamics of major strike-slip zones // *Geodesy & Geodynamics*, 2015, vol. 6, No. 5. P.361–383.

Предметом исследования являются те зоны сдвигов, где обычный процесс накопления деформации и её снятия при сильных землетрясениях осложняется вариациями скорости накопления сдвиговой деформации. Эти вариации выражены в сегменте Эль-Габ Трансформы Мёртвого моря и зоне Таласо-Ферганского разлома, прежде всего, тем, что скорость накопления сдвиговой деформации по GPS данным во много раз меньше скорости перемещений за голоцен и квартал или плиоцен-квартер. Вместе с тем, в обеих зонах выявлено слабое современное поперечное укорочение. Современных сильных землетрясений в этих зонах не зарегистрировано, но эпохи сильных землетрясений были в историческое время. На юге и в центре зоны Эль-Габ зарегистрировано 30 исторических землетрясений в магнитудами  $M_s \geq 5.7$  и ни одного инструментального землетрясения с  $M_s \geq 5$ . Распределение количества сейсмической энергии, выделенной этими землетрясениями, выявило сейсмические циклы в  $350 \pm 50$  лет и, вместе с тем, гиперцикл продолжительностью  $\geq 1800$  лет, начавшийся в III в. н.э., достигший максимума в XII в. и характеризующийся спадом в настоящее время. Показано, что скорость левосдвиговой деформации, вероятно, варьировала синхронно с трендом изменения

сейсмичности в течение гиперцикла. В зоне Таласо-Ферганского разлома средняя скорость правого сдвига за поздний голоцен составляет ~10 мм/год, уменьшаясь на юго-востоке до 4–4.5 мм/год. Перемещения происходили, главным образом, при сильных землетрясениях. Выделена эпоха усиления сейсмичности в XIV–XVII вв. В течение этой эпохи могло возникнуть смещение на несколько метров, и требуется несколько таких эпох, чтобы средняя скорость позднеголоценового сдвига достигла установленных значений. Те же особенности выявлены в складчатых областях, где сдвиги не играют столь заметной роли: эпицентральной области Алтайского землетрясения 27.09.2003 с  $M_s=7.0$  и Западных Пальмиридах Сирии. Главный толчок и последовавшие за ним сильнейшие афтершоки Алтайского землетрясения имели сдвиговые механизмы и выразились на поверхности образованием правого сдвига длиной ~65 км. Слабые афтершоки 2004 и 2005 годов имели преимущественно взбросовые и сбросовые механизмы. В Пальмиридах и на юге Алеппского блока Северо-Западной Сирии сильные землетрясения 1994 и 1996 годов имели сдвиговые механизмы, а более слабые землетрясения 2009–2011 годов – главным образом, сбросовые и взбросовые механизмы. Во всех описанных случаях сдвиговая деформация нарастала и реализовалась преимущественно при сильных землетрясениях. В остальное время скорость её накопления была мала, и господствовали условия поперечного укорочения, реже удлинения тектонической зоны. Эти вариации обусловлены тектоническими особенностями зон. Складчатые структуры поперечного укорочения простираются вдоль зоны Эль-Габ и Таласо-Ферганского разлома. В обоих случаях компонента укорочения становится заметной, когда скорость сдвиговой деформации падает. На другом масштабном уровне то же проявилось в эпицентральной области Алтайского землетрясения 2003 г. и Западных Пальмиридах.

Trifonov V.G., Lyubin V.P., Belyaeva E.N., Lebedev V.A., Trikhunkov Ya.I., Tesakov A.S., Simakova A.N., Veselovsky R.V., Latshev 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 Intern. 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.019>.

Исследованы стратиграфия и тектоническое развитие южной части Джавахетского нагорья и соседних Верхнеахурянской и Лорийской поднятых впадин в Северо-Западной Армении (Малый Кавказ) и геологическая позиция находок раннего и среднего ашеля. Для этого изучались геологические разрезы, проводились петролого-геохимическая корреляция лав и туфов, К-Аг датирование вулканических пород и датирование туфов методом SIMS  $^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$ , определения фаунистических остатков, спор и пыльцы и остаточной намагниченности вулканических и обломочных пород. К началу четвертичного периода сформировался низкогорный рельеф хребтов и впадин. В гелазии извержения базальтов и андезито-базальтов выровняли рельеф впадин. Эти лавовые потоки распространялись по большим речным долинам на десятки километров. В конце гелазии базальтовые излияния сменились извержениями базальтовых трахиандезитов, трахиоандезитов и дацитов. Запруживание стока р. Ахурян на юг привело к тому, что её верховья нашли сток на восток через ложбину будущего Карахачского перевала в долину Дзорагета-Дебеда. В течение палеомагнитного эпизода Олдувай (не ранее 1.9–1.85 млн лет назад) и самого начала калабрия отложилась грубообломочная туфогенно-кластическая карахачская свита. Позднее водное сообщение между Верхнеахурянской и Лорийской впадинами было прервано из-за поднятия Карахачского перевала. Вулканическая деятельность возобновлялась на короткое время в раннем калабрии (~1.7 и 1.5–1.4 млн л.н.). В конце калабрия и начале среднего плейстоцена (~1–0.5 млн л.н.) осадконакопление происходило в условиях застойных вод, частично в озёрных условиях. Оно представлено тонкообломочной куртанской свитой. За последние ~0.5 млн лет район испытал флексурно-разломные деформации и поднятие на 350–800 м. Эпоха отложения карахачской свиты характеризовалась среднегорным рельефом и гумидным климатом. Не позже 1.85 млн л.н. в район проникли древнейшие гоминиды, изготовлявшие предметы раннеашельского облика. Они представлены грубыми рубилами и другими макро-орудиями, сделанными из местного дацита и базальта (местонахождения Карахач, Столь раннее появление этих индустрий может

быть обусловлено природной делимостью дацита и базальта на плитчатые фрагменты, дававшей возможность изготовить такие орудия. Среднеашельские находки сделаны в разрезе Куртан-I куртанской свиты.

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.

В истории новейшего поднятия Альпийско-Гималайского горного пояса были две стадии. В стадию 1 (с олигоцена до конца миоцена, а местами конца плиоцена) развивались локальные поднятия (не выше среднегорных) в областях концентрации деформаций коллизионного сжатия. В стадию 2 это дополнилось разуплотнением верхов мантии и низов коры в результате замещения части литосферной мантии астеносферным веществом и ретроградного метаморфизма высокометаморфизованных пород, что резко усилило общий подъём. Сейсмотомографическое изучение мантии выявило под восточным Индонезийским сегментом пояса выполаживание субдуцированных слэбов на глубинах 400-700 км (образование структур BMW), а под более западными горными сегментами пояса – латеральные верхнемантийные потоки, распространяющиеся от Эфиопско-Афарского суперплюма. Предполагается, что эти потоки переработали BMW и, обогатившись флюидами, вызвали разуплотнение верхов мантии и низов коры и, соответственно, усиленный подъём пояса в плиоцен-квартере. Сходные черты развития горных систем и строения мантии обнаружены в других регионах. Предлагается глобальная модель тектоники мантийных течений, согласно которой плиты движутся верхнемантийными потоками, распространяющимися от суперплюмов, которые служат восходящими ветвями мантийной конвекции, а её нисходящие ветви представлены не только редкими слэбами, проникающими в нижнюю мантию, но и погружающимися фрагментами плотной литосферы под кратонами и зонами коллизии. Плэйт-тектоника – не единственный результат мантийных течений. Её дополняют тектонические процессы, связанные с глубинными фазовыми и минеральными преобразованиями, структурами BMW и результатами их переработки.

Любин В.П., Беляева Е.В., Трифонов В.Г. Симакова А.Н., Ожерельев Д.В., Хохлова О.С., Носова А.А., Сазонова Л.В., Колесниченко А.А., Гольева А.А., Трихунков Я.И., Тесаков А.С., Бачманов Д.М., Шалаева Е.А., Фролов П.Д. Динамика природной среды и формирование древнейших раннепалеолитических культур Юго-Западной Азии // Естественнонаучные методы исследований и парадигма современной археологии. Мат. Всеросс. науч. конф. // М.: Ин-т археологии РАН, 2015. С. 45–49.

Исследовались древнейшие палеолитические культуры Юго-Западной Азии в контексте геоэкологической динамики раннего и среднего плейстоцена. Представлены результаты: (1) междисциплинарных исследований колонок культурных отложений этого времени на ранне- и среднеашельских памятниках Лорийской межгорной впадины в СЗ Армении; (2) итоги поисков и характеристика аналогов этих разрезов в Верхнеахурянской и Ширакской впадинах СЗ Армении для выяснения распространения подобных индустрий и палеогеографических реконструкций; (3) результаты поисков и анализа геологического и археологического материала по раннему плейстоцену и древнейшему палеолиту других регионов Юго-Западной Азии от Сирии и Восточной Турции до Южной Грузии и предгорий Большого Кавказа на территории России для определения времени, ареалов, геодинамических и палеогеографических условий расселения создателей самых ранних палеолитических индустрий.

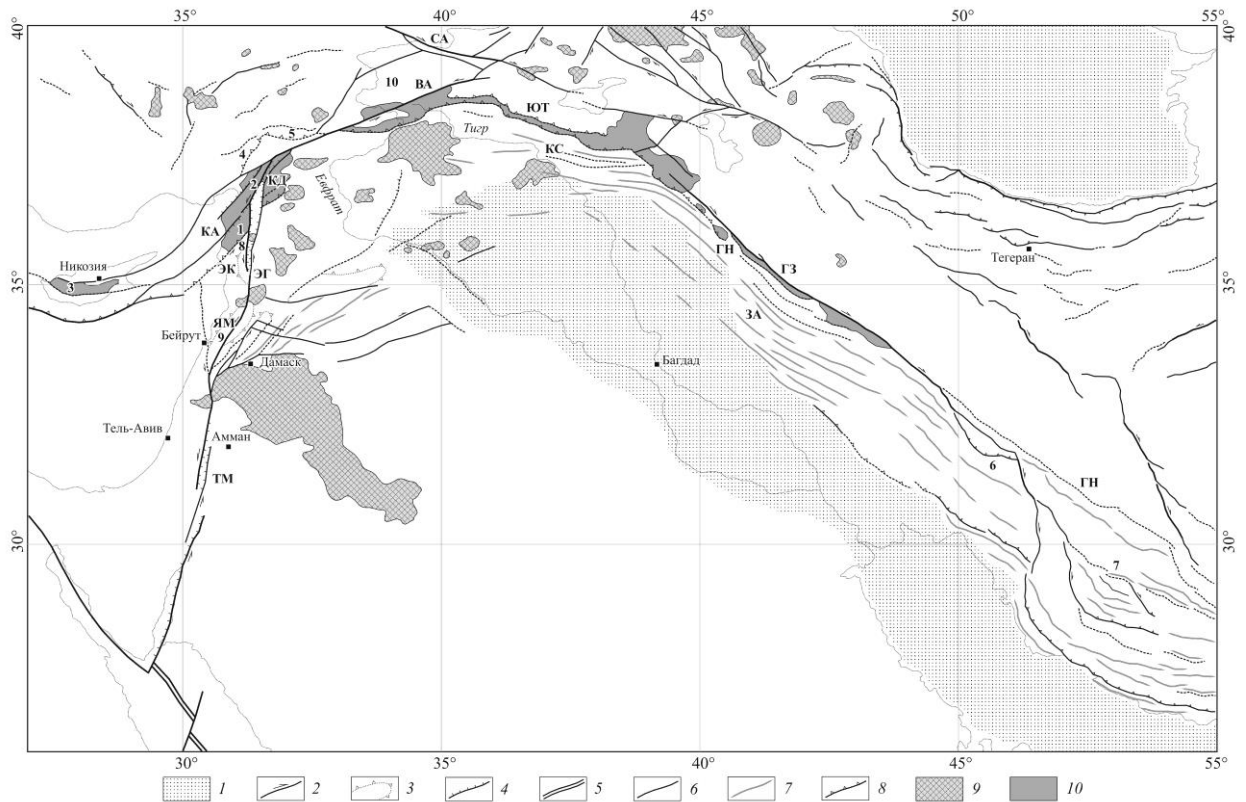


Рис. 1. Структурные обрамления севера Аравийской плиты

1 – Месопотамский прогиб; 2–6 – позднекайнозойские разломы: 2 – сдвиги, 3 – надвиги, 4 – сбросы; 5 – ось Красноморского рифта; 6 – прочие разломы; 7 – оси позднекайнозойских антиклиналей; 8 – раннекайнозойские надвиги; 9 – неоген-четвертичные вулканы; 10 – офиолиты Неотетиса. Цифры на карте: 1 – Бассит, 2 – Антакия, 3 – Кипр, 4 – Мисис-Андириин, 5 – Чаджляянсерит, 6 – Дезфул, 7 – Фарс, 8 – Береговой хребет, 9 – Ливанский хребет, 10 – район Элязиг–Малатья. ВА – Восточно-Анатолийская зона разломов, ГЗ – Главный современный разлом Загроса, ГН – Главный надвиг Загроса, ЗА – Загрос, КА – прогиб Киликия–Адана, КД – Курд-Даг, КС – краевые складки Турции, СА – Северо-Анатолийская зона разломов, ТМ – Трансформа Мёртвого моря, ЭГ – зона разломов Эль-Габ Трансформы Мёртвого моря, ЭК – прогиб Эль-Кабир, ЮТ – Южно-Таврская надвиговая зона, ЯМ – разлом Яммуне Трансформы Мёртвого моря

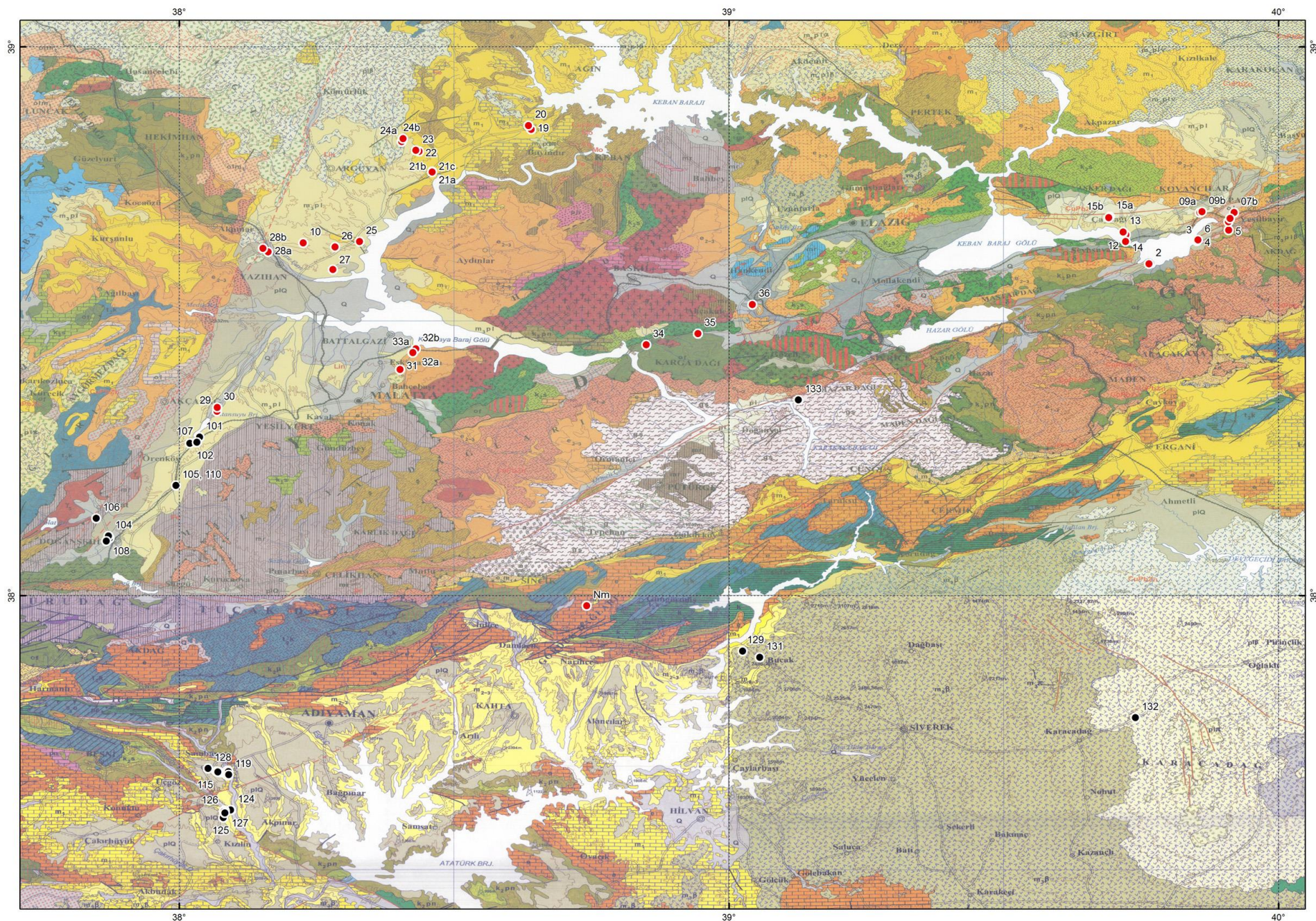


Рис. 2. Геологическая карта бассейна р. Евфрат в Восточной Турции с пунктами наших наблюдений в 2014–2015 гг.

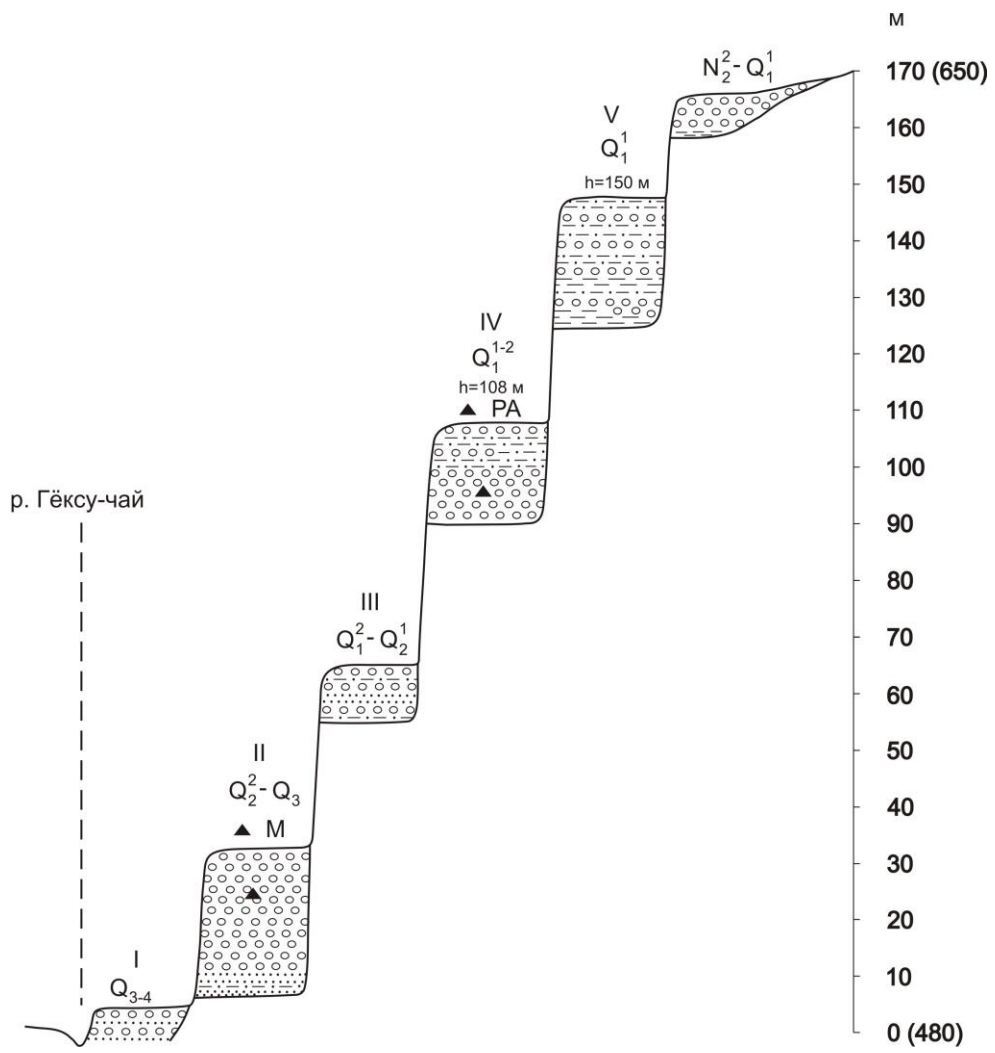


Рис. 3. Террасы р. Гёксу-чай, правого притока р. Евфрат на севере Аравийской плиты, Восточная Турция

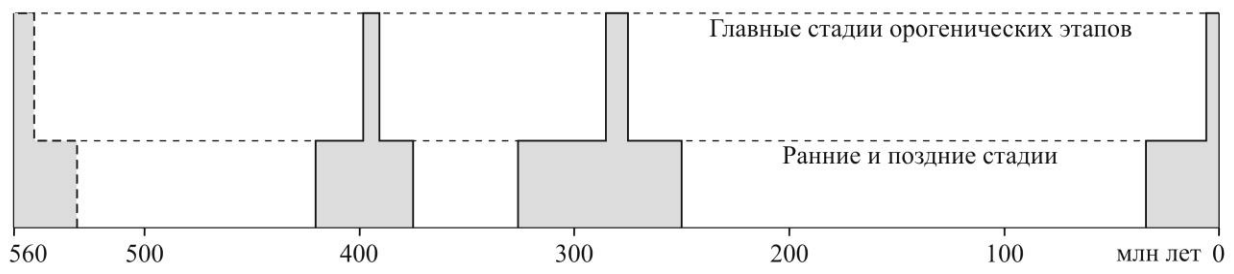


Рис. 4. Хронологическое положение орогенических этапов в фанерозойской истории Земли



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

ТЗ	М <sub>1</sub> ,км	О <sub>1</sub> ,км	D,%	М <sub>2</sub> ,км	Н <sub>2</sub> ,км	М <sub>3</sub> ,км	Н <sub>3</sub> ,км
I	~34±2	18±2	~50	~68±4	~4.8–5.4	35(З) – до 45–50(Ц–В)	≤1.5 (З) – до 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	≥3
V-1	~36	~10	<10	~39	<0.4	~43	
V-2	~39	~5	<10	~43	<0.6	~43	0.5–2
V-3	~38	~7	10–20	~42–48	~0.6–1.5	~45	1–2

Примечания. ТЗ – тектонические зоны: I – Зона южного склона (З – запад, Ц – центр, В – восток), II – Северо-Западный Кавказ, III-1 – Центральный Кавказ (киммерийский), III – Центральный Кавказ (позднеальпийский), IV-1 – Восточный Кавказ (киммерийский), IV – Восточный Кавказ (позднеальпийский), V-1 – Лабино-Малкинская зона (СЗ Кавказ), V-2 – Лабино-Малкинская зона (Центральный Кавказ), V-3 – Известняковый Дагестан; М<sub>1</sub> – расчётная доскладчатая мощность коры; О<sub>1</sub> – доскладчатая мощность осадочного чехла; D – поперечное укорочение зоны; М<sub>2</sub> – расчётная мощность коры после главной фазы складчатости; Н<sub>2</sub> – расчётное деформационное поднятие в результате складчатости; М<sub>3</sub> – современное положение поверхности М (ниже у.м.); Н<sub>3</sub> – современное поднятие поверхности. Для киммерийского Кавказа (III-1 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

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

Регион	Возраст	Ссылка
<b>Алтайско-Становой пояс</b>		
Алтай*	3.5 млн лет	De Grave et al., 2007
<b>Северо-восток Азии</b>		
Хребты Верхоянский, Черский, Сунтар-Хаята, центр Корякии*	$N_2^2-Q$ $Q_2-Q_4$	Смирнов, 2000 Парфёнов и др., 2001
<b>Запад Северной Америки</b>		
Скалистые горы	5 млн лет	Ollier, 2006
Береговые хребты	$N_2^2$	Ollier, 2006
Береговые хребты Канады	2.5 млн лет	Ollier, 2006
Каскады	4–5 млн лет	Ollier, 2006
Сьерра-Невада	5 млн лет	Ollier, 2006
Бассейны и Хребты	4 млн лет	Ollier, 2006
Плато Колорадо	$N_2^2-Q$	Ollier, 2006
<b>Запад Южной Америки (Анды)</b>		
Колумбия	$N_2-Q$	Ollier, 2006
Эквадор	$N_1^3-Q$	Ollier, 2006
Боливия	$N_2-Q$	Ollier, 2006
Центральные Анды (стык Боливии, Чили, Аргентины)*	$N_1^3-Q$	Романюк, 2009
Чили	$N_2-Q$	Ollier, 2006
<b>Другие регионы</b>		
Север Сибирской платформы*	$N_2-Q$	Артюшков, 2003
Южная Африка*	$N_2-Q$	Artyushkov, Hofmann, 1998; Ollier, 2006
Восточная Австралия	Q	Ollier, 2006
Антарктида	Q	Ollier, 2006
Северо-запад Аравии*	$N_2^2-Q$	Неотектоника, 2012; Trifonov et al., 2014
Эфиопский рифт	2.9–2.4 млн лет	Ollier, 2006

## Подписи к рисункам в Приложении

Рис. 1. Структурные обрамления севера Аравийской плиты

1 – Месопотамский прогиб; 2–6 – позднекайнозойские разломы: 2 – сдвиги, 3 – надвиги, 4 – сбросы; 5 – ось Красноморского рифта; 6 – прочие разломы; 7 – оси позднекайнозойских антиклиналей; 8 – раннекайнозойские надвиги; 9 – неоген-четвертичные вулканы; 10 – офиолиты Неотетиса. Цифры на карте: 1 – Бассит, 2 – Антакия, 3 – Кипр, 4 – Мисис-Андири, 5 – Чаджляансерит, 6 – Дезфул, 7 – Фарс, 8 – Береговой хребет, 9 – Ливанский хребет, 10 – район Элязиг–Малатья. ВА – Восточно-Анатолийская зона разломов, ГЗ – Главный современный разлом Загроса, ГН – Главный надвиг Загроса, ЗА – Загрос, КА – прогиб Киликия–Адана, КД – Курд-Даг, КС – краевые складки Турции, СА – Северо-Анатолийская зона разломов, ТМ – Трансформа Мёртвого моря, ЭГ – зона разломов Эль-Габ Трансформы Мёртвого моря, ЭК – прогиб Эль-Кабир, ЮТ – Южно-Таврская надвиговая зона, ЯМ – разлом Яммуне Трансформы Мёртвого моря

Рис. 2. Геологическая карта бассейна р. Евфрат в Восточной Турции с пунктами наших наблюдений в 2014–2015 гг.

Рис. 3. Террасы р. Гёксу-чай, правого притока р. Евфрат на севере Аравийской плиты, Восточная Турция

Рис. 4. Хронологическое положение орогенических этапов в фанерозойской истории Земли

## Список литературы, упомянутой в Отчете и таблице 2

1. *Артюшков Е.В.* Физическая тектоника. М., Наука, 1993, 456 с.
2. *Артюшков Е.В.* Резкое размягчение континентальной литосферы как условие проявления быстрых и крупномасштабных тектонических движений // Геотектоника, 2003, № 2, с. 39–56.
3. *Артюшков Е.В.* Новейшие поднятия земной коры как следствие инфильтрации в литосферу мантийных флюидов // Геология и геофизика. 2012. Т. 53, № 6. С. 738–760.
4. Неотектоника, современная геодинамика и сейсмическая опасность Сирии / Под ред. В.Г. Трифонова. М.: ГЕОС, 2012. 216 с.
5. *Парфёнов Л.М., Прокопьев А.В., Спектор В.Б.* Рельеф земной поверхности и история его формирования // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфёнова и М.И. Кузьмина. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. С. 12–32.
6. *Романюк Т.В.* Позднекайнозойская геодинамическая эволюция центрального сегмента Андийской субдукционной зоны // Геотектоника. 2009. № 4. С. 63–83.
7. *Смирнов В.Н.* Северо-восток Евразии // Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии / Под ред. А.Ф. Грачёва. М.: ОИФЗ РАН/ГЕОН, 2000. С. 120–133.
8. *Соколов С.Ю., Трифонов В.Г.* Роль астеносферы в перемещении и деформации литосферы (Эфиопско-Афарский суперплюм и Альпийско-Гималайский пояс) // Геотектоника. 2012. № 3. С. 3–17.
9. *Трифонов В.Г., Артюшков Е.В., Додонов А.Е., Бачманов Д.М., Миколайчук А.В., Вишняков Ф.А.* Плиоцен-четвертичное горообразование в Центральном Тянь-Шане // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 2. С. 128–145.
10. *Трифонов В.Г., Иванова Т.П., Бачманов Д.М.* Новейшее горообразование в геодинамической эволюции центральной части Альпийско-Гималайского пояса // Геотектоника. 2012. № 5. С. 3–20.
11. *Artyushkov E.V., Hofmann A.* The Neotectonic crustal uplift on the continents and its possible mechanisms. The case of Southern Africa // Surv. Geophys. 1998. Vol.15. P.515–544.
12. *De Grave J., Buslov M.M., Van der Haute H.* Distant effects of India–Eurasia convergence and Mesozoic intracontinental deformation in Central Asia: Constraints from apatite fission-track thermochronology // J. Asian Earth Sci. 2007. Vol.29. P.188–204.
13. *Ollier C.D.* Mountain uplift and the Neotectonic period // Annales of Geophysics. 2006. Supplement to Vol. 49. N. 1. P. 437–450.
14. *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.