

1. Трифонов В.Г.

2. 551.242

3. 01201156668

4. Тектоническая эволюция центральной части Альпийско-Гималайского коллизийного пояса в позднем кайнозое

5. Изучены новейшая стратиграфия и тектоника Центрального Тянь-Шаня, Зайсанской впадины, Сирии, Северной Армении, СЗ Кавказа. Построены тектонические карты Альпийско-Гималайского пояса для эпох 45, 25, 18, 6 млн. л.н. и квартала. Обосновано ускорение поднятий в плиоцен–квартале. С использованием сейсмотомографии создана новая модель роли астеносферы в изменении литосферы. Верхнемантийные потоки от Эфиопско-Афарского суперплюма до второй половины эоцена перемещали гондванские фрагменты к Евразии. С закрытием Тетиса до начала плиоцена коллизия замедлила их сближение, но потоки продолжили движение и достигли северного края пояса, переработав верхнюю мантию и обогащенный флюидами слой 400–700 км. Активизированные флюидами потоки обусловили магматизм, деформации и перемещения в литосфере. В плиоцен-квартале замещение литосферной мантии астеносферным веществом и ретроградный метаморфизм метабазитов разуплотнили верхи мантии и низы коры, что усилило поднятия и создало современный горный рельеф.

6. Результаты работ разделяются на две части. Первая часть объединяет результаты выполненных полевых исследований и обработки полученных материалов, а также результаты обобщения данных по неотектонической эволюции Альпийско-Гималайского пояса и усилении горообразовательных процессов в плиоцен–квартале. Вторая часть объединяет результаты сейсмотомографического исследования мантии региона, сопоставление этих данных с неотектоническим развитием пояса и обоснование роли течения астеносферного вещества в деформации и преобразовании литосферы пояса, выразившихся в развитии новейших горообразовательных процессов.

1. Неотектоническая эволюция и история новейшего горообразования в Альпийско-Гималайском поясе.

В *Центральном Тянь-Шане* (ЦТШ) детально описаны и палеомагнитно опробованы три основных разреза межгорных впадин: Нарынской (южный борт) впадины, Джумгалской (северный борт) и Иссык-кульской (южный борт). Описаны также разрезы других впадин, и выполнено предварительное (до получения всех результатов палеомагнитного опробования, сейчас оно выполнено наполовину) сопоставление разрезов с оценкой мощностей и скоростей накопления молассы в разные эпохи. В итоге, эволюция горной системы представляется следующим образом. В палеоэоцене и эоцене территория ЦТШ была пенепленом с относительными превышениями в первые сотни метров, принимаемым за предорогеновую поверхность выравнивания. Переотложенная кора выветривания слагает красноцветную, преимущественно тонкообломочную и маломощную толщу с фауной среднего–позднего эоцена и, возможно, раннего олигоцена. В ее нижней части содержатся покровы базальтов с K-Ar и Ar-Ar возрастaми 54–70 млн. лет. Олигоцен представлен мелкогалечными конгломератами и более тонкообломочными отложениями. Тот факт, что в составе гальки присутствует и местами составляет ведущую долю местный материал, доказывает, что именно в это время заложились основа современного структурного плана региона – зоны ещё низкогорных (судя по величине врезов) хребтов как области сноса и зоны впадин как области аккумуляции. В миоэоцене интенсивность движений ослабела, и скорости врезания уменьшились. Преобладают тонкообломочные (песчано-алеврито-глинистые, местами с эвапоритами) озёрные осадки, тогда как аллювиально-пролювиальные отложения занимают подчинённое место. Области осадконакопления расширились, перекрыв часть олигоценовых поднятий. Бассейны разделялись зонами плоских поднятий, служивших и

В позднем миоцене несколько увеличились скорости врезания на склонах поднятий и аккумуляции обломочного материала во впадинах. В верхнем миоцене отмечено возрастание содержания грубообломочных пород, сменяющихся более тонкообломочными вверх по разрезу. К концу плиоцена средняя высота ЦТШ, по-видимому, не превышала ~1 км, и лишь в районе Хан-Тенгри была больше. При высоте исходного пенеплена ~0,3 км поднятие в течение первого этапа горообразования (олигоцен–плиоцен) составило в среднем ~0,7 км. В течение второго этапа горообразования (последние ~2 млн. лет) происходит быстрый подъём гор ЦТШ, в который вовлекается и часть межгорных и предгорных впадин. Это доказывается возросшей интенсивностью врезания и формированием во впадинах грубой молассы. Средняя высота ЦТШ достигла ~3 км, а отдельные вершины поднялись до 6–7 км.

На южном борту *Зайсанской впадины* (Восточно-Казахстанская область), расположенной между хребтами Тарбагатай и Саур на юге и отрогами Алтая на севере, детально описаны разрезы кайнозойской молассы по долинам рек Калмакпай, Аксыир, Кусто и Тайжузген. Проведена предварительная стратиграфическая корреляция разрезов и установлены основные закономерности в характере осадконакопления на разных этапах развития впадины. Из разрезов отобраны коллекции палеомагнитных и палеонтологических образцов. Среди последних установлено несколько новых видов миоценовых млекопитающих.

На Северо-Западном Кавказе обоснован четвертичный возраст поднятия Ахунской и Голицинской антиклиналей Сочинского района. Показано, что и в осевой части горной системы (район Ачишхо) продолжается поднятие складчатого хребта под действием четвертичного сжатия. На основе опубликованных данных восстановлена новейшая история преобразования структуры земной коры и развития горообразования в пределах всего *Большого Кавказа*. Показано, что формирование выраженных в рельефе поднятий началось с конца раннего или среднего миоцена, а наиболее интенсивное горообразование происходило с начала плиоцена.

В Северной Армении исследована история четвертичного развития Верхне-Ахурянской и Лорийской впадин и сопряжённых с ними поднятий Базумского и вулканического Джавахетского хребтов. Описаны и сопоставлены разрезы туфогенно-обломочных четвертичных отложений обеих впадин. В основании разрезов залегают базальты и андезитобазальты (К-Аг дата ~2.3 млн. лет) и, по-видимому, извергнутые позднее вулканические породы андезитового и дацитового состава (К-Аг дата 1.96 ± 0.08 млн. лет). Туфогенно-обломочные отложения разделяются на две толщи: нижнюю грубообломочную и верхнюю тонкообломочную. Выполнено палеомагнитное опробование обеих толщ, собран палеонтологический и археологический материал. Согласно палеомагнитным данным и U-Pb определениям возраста туфов по цирконам, нижняя толща формировалась во время эпизода Олдувай (1.77–1.95 млн. л.н.) и сразу вслед за ним. В толще найдены каменные изделия раннего ашеля (карьеры Карахач, Мурадово, Ёни-ёль), древнейшие в Мире. На юго-востоке Лорийской впадины низы верхней толщи сложены обратно намагниченной перемытой пемзой с U-Pb датой 1.495 млн. лет, выше пеплом с U-Pb датой 1.432 млн. лет. Выше залегает тонкообломочная часть с признаками озёрного осадконакопления, прерываемого горизонтами палеопочвы. Эта часть толщи внизу намагничена обратно, а сверху нормально. В ней найдены среднеашельские каменные изделия и костные остатки крупных и мелких млекопитающих, позволяющие датировать толщу как верхи нижнего – низы среднего плейстоцена, что согласуется с палеомагнитными данными. После отложения верхней толщи, т.е. в течение последних ~0.5 млн. лет, впадины испытали флексурно-разрывные деформации и подъём на ~0.5 км, а хребты поднялись на величину до 1 км. В ходе развития впадин произошли изменения гидросети и ландшафтной обстановки.

В Сирии тектонические поднятия, приведшие к формированию современного рельефа, начались в плиоцене. Детальное изучение строения четвертичных террас рек Евфрат, Оронт и Эль-Кабир было выполнено с использованием разнообразных методов сопоставления и датирования отложений – геолого-геоморфологического, палеонтологического, включая палинологию, археологического, палеомагнитного, радиоизотопного (К-Аг датирование базальтов и U-Th – морских террас, с которыми речные сопоставляются). Это изучение позволило определить скорости четвертичного поднятия различных тектонических провинций

Сирии: 0.22–0.28 мм/год для Берегового хребта, 0.08–0.13 мм/год для подвижного платформенного Алеппского блока и 0.025 – 0.03 мм/год для юго-западного борта Месопотамского прогиба. Выпущенная монография «Неотектоника, современная геодинамика и сейсмическая опасность Сирии» обосновывает всю технологическую цепочку от изучения неотектоники до оценки сейсмической опасности страны.

История неотектонического поднятия (горообразования) в Альпийско-Гималайском поясе. Выполненное изучение различных районов, анализ и обобщение опубликованных данных позволили реконструировать историю новейших горообразовательных движений во всей центральной части пояса от Карпат и Эгейского региона до Гималаев и Центральной Азии. В эоцене восточная часть пояса была равнинной или слабо всхолмлённой сушей, а на западе участки суши чередовались с мелководными эпиконтинентальными морскими бассейнами, находившимися чаще всего в регрессивной фазе седиментационного цикла. На этом фоне выделялись реликты Неотетиса и задуговые бассейны с утонённой (субокеанической) корой. Среди задуговых бассейнов крупнейшей была Карпато–Кавказская система эшелонированно расположенных прогибов, протягивавшаяся от зоны Внешних Карпат до прото-Южнокаспийской впадины. Горообразование развивалось в два этапа: 1 – с олигоцена до начала плиоцена и 2 – последние ~5–2 млн. лет. Первый этап разделяется на три стадии, в течение которых ориентировка наибольшего сжатия различалась: олигоцен–ранний миоцен; конец раннего и средний миоцен; поздний миоцен и местами ранний плиоцен.

В первую стадию сжатие было ориентировано на ССЗ–ЮЮВ. На востоке региона закрылись и были перекрыты молассой субокеанские прогибы Сабзеварский и зоны Инда-Цангпо. Интенсивные деформации имели место на северо-западе Памиро-Гиндукуша, в окрестностях Кветты и Гератской зоне. Дифференцированные вертикальные движения распространились в Тянь-Шань и достигли Горного Алтая. Перед фронтом Западных Таврид субдукция конца эоцена – олигоцена завершилась их коллизией с Аравийской плитой и перекрытием аккреционной призмы нижним миоценом. Продолжалась начавшаяся в конце эоцена коллизия Адрии, Восточных Альп и Западных Карпат с Евразией, сопровождавшаяся развитием передового прогиба. Перемещение внутренних карпатских зон дало начало оформлению Карпатской дуги. Заложился грабен будущего Аденско-Красноморского рифта, что положило начало отодвиганию Аравии от Африканской плиты. В связи с этим ~20 млн. лет назад возникла Трансформа Мёртвого моря, северная часть которой тогда проходила вдоль континентального склона.

Во вторую стадию сжатие было ориентировано на СВ–ЮЗ. На востоке пояса деформации и надвигание охватили Гималаи, Каракорум и памирские зоны северо-западного простирания. В Центральном Тянь-Шане, Зайсанской впадине и Чуйской впадине Горного Алтая фиксируется ослабление движений. Интенсивные движения по Главному надвигу Загроса привели к закрытию реликтового бассейна Неотетиса между Аравийской плитой и Санандадж-Сирджанской зоной. Там начал развиваться Месопотамский передовой прогиб. В конце среднего – начале позднего миоцена на его СВ фланге началась складчатость. Произошло закрытие кавказских прогибов Паратетиса, испытавших складчатость, и надвигание Внешней зоны Восточных Карпат на Предкарпатский прогиб. В третью стадию с пиком в мессинии ориентировка сжатия вновь стала север-северо-западной или субмеридиональной. Возникла система надвигов на южном склоне Большого Кавказа и в Пальмирах. Активизировались деформации в Эллинидах и развитие надвигов на Памире. В межгорных впадинах Центрального Тянь-Шаня и Чуйской впадине возросло содержание грубообломочных пород.

В течение всех стадий первого этапа в зонах концентрации деформаций сжатия возникали выраженные в рельефе поднятия, которые, таким образом, были результатом сжатия. Площадь поднятий со временем нарастала. Судя по относительной тонкообломочности осадков и небольшой амплитуде врезов (первые сотни метров), поднятия были, как правило, не выше среднегорных.

К началу второго этапа горообразования окончательно оформился современный структурный план пояса и, в частности, сеть крупных активных разломов, перемещения по которым, преимущественно сдвиговые, указывают на субмеридиональную ориентировку оси сжатия. Главное событие второго этапа – резкое возрастание скоростей вертикальных

тектонических движений. Амплитуда поднятий удвоилась, а местами утроилась. Сформировались современные горные системы и высокие плато, а в предгорных прогибах и межгорных впадинах стала накапливаться грубая моласса. Наиболее значительное поднятие испытала Центральная Азия.

2. Строение верхней мантии и причины новейшего поднятия, приведшего к горообразованию в Альпийско-Гималайском поясе

Возникновение локальных поднятий на разных стадиях первого этапа горообразования, согласно выполненным измерениям и расчётам, было изостатической реакцией на утолщение коры коллизионным сжатием. Этот же фактор продолжал действовать во второй этап, но не мог обеспечить полностью высокую скорость поднятия. В некоторых горных системах (Большой Кавказ, Карпаты, Альпы) сжатие ослабело по сравнению с предшествовавшими стадиями максимальных деформаций. В других (Гималаи, Памир, Центральный Тянь-Шань) оно возросло, но и там обеспечило <50% амплитуды суммарного плиоцен-четвертичного воздымания. К тому же в поднятие были вовлечены и многие межгорные впадины, что невозможно объяснить сжатием. Выполненные исследования приводят к выводу, что главными источниками быстрого поднятия второго этапа были разуплотнение верхов мантии и ретроградные вещественные преобразования высоко метаморфизованных пород корового происхождения вблизи границы кора–мантия. Разуплотнение верхов мантии выявлено интерпретацией гравиметрических данных и/или результатов сейсмических исследований под Гималаями, Тибетом, Куньлуном, Памир-Гиндукуш-Каракорумским регионом, Центральным и Восточным Тянь-Шанем, Малым Кавказом, Карпатами и Альпами. Наиболее вероятная причина разуплотнения – частичное замещение мантийной литосферы менее плотным астеносферным веществом или метаморфическое преобразование её пород астеносферными флюидами. Вероятность метаморфического разуплотнения пород вблизи границы кора–мантия впервые продемонстрирована для ЦТШ. Позднее было показано, что этот фактор мог быть решающим при подъёме Б. Кавказа и Западного Тянь-Шаня.

Встаёт вопрос о причинах разуплотнения низов коры и верхов мантии.

По сейсмотомографическим материалам, полученным на основе глобальной сети (Becker, Boschi, 2002; Grand et al., 1997; Van der Hilst et al., 1997), были построены сейсмотомографические профили мантии поперёк и вдоль Альпийско-Гималайского пояса. В 2013 г. эти построения были уточнены, в частности, показано сходство строения мантии Индонезийского сегмента пояса и окраин северо-востока Азии, где большинство зон субдукции на глубинах 400–700 км переходят в горизонтальные высокоскоростные линзы, уходящие в сторону континента («большой мантийный клин», BMW). Сопоставление этих результатов с геолого-геофизическими данными о неотектоническом развитии Альпийско-Гималайского пояса позволило предложить следующую модель воздействия верхнемантийных процессов на неотектонику и горообразование.

Эфиопско-Афарский суперплюм как область пониженных скоростей сейсмических волн образует субмеридиональную зону, охватывающую пояс вулканических рифтов Восточной Африки. От него распространяются потоки верхнемантийного вещества, достигающие северных окраин Альпийско-Гималайского пояса. На профилях через Аравийско-Иранский сегмент пояса следы подлитосферного потока фиксируются пониженными скоростями сейсмических волн на всю глубину верхней мантии, тогда как на профиле через Тибет следы потока непосредственно подстилают тонкую литосферу Индийского океана, но севернее над ними находится линза с повышенными значениями dV_p , соответствующая утолщённой литосфере Индийской плиты и Высокой Азии.

Мы предполагаем, что удлинённый Эфиопско-Афарский суперплюм развивался стационарно, по меньшей мере, с конца палеозоя и до кайнозоя мог быть протяжённое, чем сейчас. Части перемещавшейся Гондваны, оказывавшиеся над суперплюмом, испытывали рифтинг, затем спрединг, который сформировал океан Тетис. Поток астеносферного вещества от суперплюма обусловил асимметрию спрединга и движение отделявшихся гондванских фрагментов на северо-восток к Евразии. Там океанская литосфера Тетиса субдуцировала, а фрагменты Гондваны причленились к Евразии, отчего зоны субдукции перемещались к их

тыловым частям. Так на месте будущего горного пояса возникла серия микроплит, разделённых сутурами, аккреционными телами и проявлениями магматизма разных стадий развития Тетиса. Строение мантии под Индонезийским сегментом, где описанный процесс продолжается до сих пор, позволяет предположить, что под другими сегментами пояса субдуцировавшие слэбы также переходили на глубинах 400–700 км в BMW, продолжавшиеся под будущий горный пояс. Реликтами BMW под Южным Тибетом могут быть утолщение верхнего высокоскоростного слоя (до 400 км) и линза слабо повышенных значений V_S на глубинах ~600 км. На профиле dV_P эти две линзы разделены слоем пониженных скоростей, который продолжает подлитосферный поток от Эфиопско-Афарского суперплюма.

Различия сегментов пояса связаны с их разной кайнозойской историей. Если в Индонезийском сегменте его островодужная структура сохраняется до сих пор, то в других сегментах реликты Неотетиса и его задуговых бассейнов закрылись в интервале с конца эоцена до среднего миоцена. Соответственно, процессы субдукции и формирования BMW сменились коллизией литосферных плит Евразии и гондванского ряда. Это замедлило их сближение, но «горячий» астеносферный поток от Эфиопско-Афарского суперплюма, вероятно, продолжил прежнее движение и постепенно распространился под весь орогенический пояс. Это происходило постепенно. Так, подлитосферный слой пониженных скоростей утоняется под Большим Кавказом, что могло быть связано с тем, что до среднего миоцена кавказские прогибы Паратетиса пододвигались, по данным Ю.Г. Леонова, под Малый Кавказ, и субдукция препятствовала проникновению подлитосферного потока к северу.

«Горячий» подлитосферный поток переработал верхнюю мантию Альпийско-Гималайского пояса. Это выразилось в пониженных усреднённых V_P верхов мантии под всеми горными системами пояса, кроме части Гималайско-Тибетского региона. Понижение скоростей можно интерпретировать как утонение литосферы за счёт астеносферы и/или разуплотнение литосферной мантии и низов коры под воздействием астеносферы. Под Высокой Азией, где литосфера наиболее утолщена кайнозойскими деформациями, над слоем пониженных V_P сохранился высокоскоростной слой до 300 км.

Изучение магматических пород мантийного происхождения свидетельствует о крайне низком содержании воды в магматических источниках. Вместе с тем, скорости сейсмических волн возрастают с глубиной, причём на определённых рубежах изменяются на доли км/с. Такие скачки связывают с изменением плотности пород, которое не может быть достигнуто только их уплотнением или разуплотнением под нагрузкой вышележащих слоёв, но предполагает изменение кристаллохимии минералов. Согласно данным, приводимым Ю.М. Пущаровским и Д.М. Пущаровским, на глубинах 50–100 км пироксены метабазитов и ультраосновных пород начинают переходить в более плотные гранаты. Ниже наиболее чёткими и повсеместными являются сейсмические разделы на глубинах ~410 км и ~670 км, ограничивающие «переходный» слой мантии. С верхним из этих разделов связан переход оливина с ромбической сингонией в его разновидности со шпинелевой структурой (вадслеит, переходящий на глубине ~520 км в рингвудит), что увеличивает плотность минерала до 8%. Примерно на той же глубине клинопироксен трансформируется в вадслеит и стишовит. В интервале глубин от 410 до 500 км пироксены приобретают более компактную структуру типа ильменита. Глубже 670 км минералы замещаются более плотными перовскитоподобными фазами, на долю которых приходится ~80% объёма нижележащей мантии. Приводятся аргументы в пользу того, что кристаллохимическая структура вадслеита и рингвудита допускает замену части анионов кислорода этих безводных минералов на гидроксильные группы. Их источником могут быть субдуцируемые слэбы, которые содержат амфиболиты и метаосадочные породы и полностью или частично переходят в BMW на уровне 410–670 км, а также поступления глубинного водорода. На присутствие флюидов указывают сильное затухание поперечных волн при слабом изменении их скорости и повышенная электропроводимость.

В процессе движения подлитосферный поток обогащался источниками водных флюидов, которые могли происходить из прежних BMW, связанных с зонами субдукции. Активизированная ими астеносфера или её флюиды, проникавшие в литосферу, вызвали в позднем кайнозое ряд процессов. Они спровоцировали формирование литосферных, в том числе коровых, магматических очагов и, согласно Е.В. Артюшкову, обусловили размягчение

литосферы, что привело на первом этапе к её интенсивным деформациям, тектоническому расслоению, большим латеральным перемещениям и, как результат, поднятиям поверхности. Деформации, метаморфизм и коровый магматизм первого этапа обусловили консолидацию земной коры к началу плиоцена. Она выразилась отсутствием крупных послемiocеновых гранитных массивов, локализацией вулканизма в сдвиговых зонах, а также тем, что сдвиги стали ведущей формой реализации сокращения пояса, тогда как складчато-надвиговые деформации сконцентрировались во впадинах с мощным осадочным чехлом. Под консолидированной корой воздействие астеносферы на литосферу усилилось. Именно этим воздействием обусловлены разуплотнение верхов мантии под многими горными сооружениями и предполагаемые ретроградные преобразования высоко метаморфизованных пород корового происхождения вблизи границы кора–мантия. Разуплотнение верхов мантии и низов коры резко ускорило тектонический подъём и формирование горных систем.

Реализации указанных процессов способствует периодическое возрастание действующих в земной коре тектонических сил. Оно выявлено в активных зонах Альпийско-Гималайского пояса изменениями сейсмичности с периодами 1300–1800 лет. Установлено, что такие изменения в зоне разлома Эль-Габ, Сирия, коррелируются с вариациями скорости накопления упругой деформации, отражающими изменения напряженно-деформированного состояния региона.

Итак, на примере Альпийско-Гималайского пояса и его соотношений с Эфиопско-Афарским суперплюмом предложена новая модель геодинамического воздействия течения астеносферы на перемещения и деформации литосферы и подъем земной поверхности в новейший орогенный этап. Предлагаемое решение объясняет резкое усиление горообразования в последние 5–2 млн. лет. Впервые выявлены изменения сейсмичности с периодами 1300–1800 лет, которые коррелируются с вариациями скорости накопления упругой деформации, вероятно, отражающими изменения напряженно-деформированного состояния. Впервые для Восточного Средиземноморья и Закавказья использован столь широкий набор методов для датирования четвертичных отложений и оценки вертикальных движений. На примере Сирии впервые продемонстрировано столь широкое использование неотектонических данных для оценки сейсмической опасности.

7. Трифонов В.Г., Додонов А.Е., Бачманов Д.М., Иванова Т.П., Караханян А.С. и др.

Неотектоника, современная геодинамика и сейсмическая опасность Сирии / Отв. ред. В.Г.

Трифонов. Тр. Геол. ин-та, вып. 598. М.: ГЕОС, 2012. 216 с.+12 с. цв. вклейки+4 п.л. цв.

вкладок. Версия на англ. яз.: *Trifonov V.G., Dodonov A.E., Bachmanov D.M., Ivanova T.P.,*

Karakhanian A.S. et al. Neotectonics, recent geodynamics and seismic hazard of Syria/Ed. by

V.G.Trifonov. Trans. of Geol. Inst., vol. 598. Moscow, GEOS, 2012. 204 p.+4 sh. color insert.

Trifonov, V.G., Dodonov, A.E., Sharkov, E.V., Golovin, D.I., Chernyshev, I.V., Lebedev, V.A., Ivanova,

T.P., Bachmanov, D.M., Rukieh, M., Ammar, O., Minini, H., Al Kafri, A.-M., Ali, O. New data on the

Late Cenozoic basaltic volcanism in Syria, applied to its origin // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2011.

Vol. 199. P. 177–192.

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.

Трифонов В.Г., Иванова Т.П., Бачманов Д.М. Эволюция центральной части Альпийско-

Гималайского пояса в позднем кайнозое // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 3. С. 289–304.

Трифонов В.Г., Иванова Т.П., Бачманов Д.М. Новейшее горообразование в геодинамической

эволюции центральной части Альпийско-Гималайского пояса // Геотектоника. 2012. № 5. С. 3–21.

Трифонов В.Г. Цикличность позднеголоценовой сейсмичности в Альпийско-Гималайском поясе

// Геотектоника. 2013. № 6. С. 3–17. DOI: 10.7868/S0016853X13060064.

Буланов С.А. Трихунков Я.И. Инверсия складчатого рельефа как показатель тангенциального

сжатия земной коры // Геоморфология. 2013. № 1. С. 68–73.

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*. 2013; doi: 10.1016/j.quaint.2013.10.063.

Trifonov, V.G., Bachmanov, D.M., Ali, O., Dodonov, A.E., Ivanova, T.P., Syas'ko, A.A., Kachaev, A.V., Grib, N.N., Imaev, V.S., Ali, M., Al-Kafri, A.M. Cenozoic tectonics and evolution of the Euphrates valley in Syria. In: Robertson, A.H.F, Parlak, O., & Ünlügeng, U.C. (eds). *Geological Development of Anatolia and the Eastmost Mediterranean Region*. Geological Society, London, Special Publications, 2012. Vol. 372; doi: 10.1144/SP372.4.

Трифонов В.Г. Проблемы горообразования (Альпийско-Гималайский пояс) // *Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле*, т. 1. М.: ИФЗ РАН, 2012. С. 99–109.