

Тема: Тектоническая эволюция центральной части Альпийско-Гималайского коллизионного пояса в позднем кайнозое

Научный руководитель: дгмн В.Г.Трифонов

Работы 2011 г. были сосредоточены в Альпийско-Гималайском орогеническом поясе или имели к нему непосредственное отношение и осуществлялись в трёх направлениях: (1) анализ новейших деформаций земной коры как проявлений геодинамического воздействия астеносферы, определение их пространственных и хронологических закономерностей; (2) анализ сейсмотомографических данных и сопоставление результатов анализа с проявлениями новейших геодинамических процессов в литосфере; (3) обобщение разнообразных данных наук о Земле для оценки геодинамической роли астеносферы в тектонических процессах.

В исследованиях по первому направлению различаются два аспекта: хронологически-корреляционный и структурно-геодинамический. Первый аспект наиболее трудоёмок и не даёт быстрой отдачи, но он особенно важен, поскольку сулит достижения в будущем на качественно новом научном уровне. Речь идёт о применении более точных методов датирования и корреляции тектонических и прочих геодинамических событий в орогеническом поясе. Дело в том, что возрастная привязка и корреляция молассовых толщ внутригорных и предгорных впадин пояса, как главных индикаторов происходивших там тектонических событий, до сих пор строится на качественных показателях (структурно-морфологических, гранулометрии, цвете пород) и крайне редких и порой недостаточно определённых находках фауны.

Поэтому было начато последовательное применение для целей корреляции палеомагнитных характеристик молассовых толщ Центральной Азии. Работы 2011 г. производились в Центральном Тянь-Шане. Д.М.Бачманов и Я.И.Трихунков совместно с сотрудником и студентами Лаборатории палеомагнетизма Геологического факультета МГУ детально описали и палеомагнитно опробовали разрезы кайнозойской молассы на южном борту Нарынской впадины (северный склон хр. Байбиче-Тоо, 102 образца) и южном борту Иссыккульской впадины (северный склон горы Кызыл-Тоо, 120 образцов). Сейчас образцы обрабатываются в палеомагнитной лаборатории Геологического факультета МГУ. Палеомагнитное опробование других горных систем Альпийско-Гималайского пояса и сопоставление его результатов позволят в дальнейшем существенно уточнить орогеническую историю пояса.

Другой набор средств датирования был использован В.Г.Трифоновым, Д.М.Бачмановым и Я.И.Трихунковым для восстановления истории вертикальных движений южного обрамления Альпийско-Гималайского пояса в Сирии. В долинах рек Нахр Эль-Кабир (Береговой хребет), Оронт (относительно подвижный Алеппский блок Аравийской плиты) и Евфрат в его восток-юго-восточном течении (платформенный склон Месопотамского передового прогиба) выделено пять террас. Последовательность образования террас определялась их зарегистрированным вложением одной в другую и относительными высотами. Данные предшественников о возрасте террас оказались недостаточными. Поэтому для его обоснования был собран дополнительный палеонтологический и археологический материал и выполнена корреляция этих речных террас с их морскими аналогами на Средиземном побережье. Переход отложений речной террасы в морские, установленный для II террасы и намеченный для III^b террасы Нахр Эль-Кабир, доказывает их приблизительную одновозрастность. Поскольку установлено, что чехлы морских террас формировались в эпохи межледниковий, очевидно, что чехлы речных террас имеют преимущественно тот же возраст. Палеонтологические находки были определены А.С.Тесаковым и А.Н.Симаковой в Геологическом институте РАН, а археологические – В.П.Любиным и Е.В.Беляевой в Институте истории материальной культуры РАН. Полученные результаты уточнили возраст террас.

Сопоставление высот террас позволило выявить плиоцен-четвертичные смещения террас Евфрата по продольному Евфратскому разлому и поперечной зоне разломов Расафе–Эль-Фаид и четвертичные смещения террас Нахр Эль-Кабира по продольному Латакийскому разлому, а также оценить четвертичные вертикальные движения в разных неотектонических структурах Сирии. Установлено поднятие Берегового хребта (долина Нахр Эль Кабира), умеренное поднятие Алеппского блока (долина Оронта) и очень слабое поднятие юго-западного борта Месопотамского прогиба (долина Евфрата).

Детальные структурно-геологические исследования выполнили Я.И.Трихунков и Д.М.Бачманов на Западном Кавказе. Установили, что его осевая часть в хребте Ачишхо представляет собой поднятую крутую синклинал, сложенную среднеюрскими глинистыми сланцами и алевролитами с пластовыми телами порфириров, которые были смяты, вероятно, после раннего миоцена. В квартере синклинал испытала воздымание и дополнительное сжатие (выжимание кверху), выраженное примерно послойными взбросами на крыльях. Современное продолжение этого процесса фиксируется интенсивным формированием оползней и осыпей, несмотря на которые сравнительно непрочная осевая часть складки остаётся поднятой над выходами прочных порфириров.

В.Г.Трифонов, Д.М.Бачманов и их соавторы завершили обобщение данных по неотектонике и современной геодинамике Сирии. Законченная рукопись книги состоит из трёх частей. В части I описаны неотектоника, вулканизм и структурно-геодинамические изменения на территории Сирии в течение олигоцен–квартера на фоне позднекайнозойской эволюции всего Аравийско-Кавказского сегмента Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. Показана роль потоков астеносферного вещества в неотектоническом развитии литосферы региона. Часть II посвящена описанию активных разломов и GPS измерений современных движений по ним, деформаций позднечетвертичных морских террас, инструментальных и исторических землетрясений, архео- и палеосейсмичности и суммирующей их модели современной геодинамики Сирии. В части III представлены сейсмогенерирующие зоны Сирии и её обрамления и оценки максимальных возможных магнитуд землетрясений в этих зонах, а также детерминистическая (в баллах MSK) и вероятностные (в величинах ускорений для интервалов повторяемости 50, 100 и 1000 лет) оценки сейсмической опасности Сирии. Приложены цветные карты неотектоники, современной геодинамики (обе 1:1000000) и сейсмической опасности Сирии (1:4000000). Книга не только является вкладом в решение региональных задач, но и представляет методический интерес для неотектонистов, специалистов по новейшей геологии и сейсмичности в различных регионах сильной и умеренной сейсмичности, включая Россию. Книга представлена на получение издательского гранта РФФИ.

Выполнено также обобщение данных о неотектоническом развитии всей центральной части Альпийско-Гималайского пояса. Построены схема эоценовых структур, палеотектонические карты для олигоцена–раннего миоцена, конца раннего миоцена–среднего миоцена и позднего миоцена, а также карта плиоцен-четвертичной структуры пояса. Анализ расположения структур разного кинематического типа и построение палеотектонических карт для разных эпох показали, что с конца эоцена происходило закрытие остаточных прогибов Неотетиса и его задуговых бассейнов и развивались зоны деформаций разного направления. По их ориентировке установлено, что в олигоцене и раннем миоцене наибольшее сжатие коры было направлено на север-северо-запад, в конце раннего миоцена и среднем миоцене – на северо-восток, а в позднем миоцене – вновь на север-северо-запад. Деформации и смещения обусловили локальные утолщения коры в зонах сжатия и образование выраженных в рельефе поднятий. Относительная тонкообломочность моласс в предгорных и внутригорных впадинах пояса и расчёты возможного изостатического поднятия по выявленным амплитудам поперечного укорочения Тянь-Шаня, Памира и Гималаев, показывают, что до начала плиоцена площади поднятий возрастали, но возникавшие возвышенности за редкими исключениями были не выше среднегорных (≤ 1500 м).

В последние 2–4 млн. лет (в разных частях пояса с разного времени) начался быстрый подъём земной поверхности, установленный не только на оформившихся к плиоцену возвышенностях, но и в части внутривулканических впадин и предгорий. Высота поднятий, как минимум, удвоилась, а местами утроилась. Сформировались современные горные системы и высокие плато, в предгорных и межгорных впадинах стала накапливаться грубая моласса. В ряде горных систем (Альпы, Карпаты, Большой Кавказ) усилившийся подъём не сопровождался усилением коллизионного сжатия. В других системах (Тянь-Шань, Памир, Гималаи) выявлено усиление сжатия, но даже там, как показали расчёты, оно могло обусловить не более 10–50% изостатического поднятия поверхности.

С.Ю.Соколов и В.Г.Трифонов обработали мировую базу данных по сейсмической томографии и построили серию сейсмотомографических профилей мантии через Эфиопско-Афарский суперплюм, север Индийского океана и Альпийско-Гималайский орогенический пояс. Подобный профиль построен и вдоль оси пояса. Выявлены верхнемантийные потоки, распространяющиеся от Эфиопско-Афарского суперплюма до северных окраин орогенического пояса. Чтобы оценить роль этих потоков в перемещении, деформации и преобразовании земной коры и литосферы в целом, обобщены данные о мезозойско-кайнозойской истории пояса с учётом упомянутого выше обобщения данных о неотектоническом этапе его развития (олигоцен–квартер). В итоге сделан вывод о важной роли течения верхнемантийного вещества в формировании структуры пояса, причём воздействия этого течения были различными на разных стадиях его развития: доорогенной, раннеорогенной (с конца эоцена до начала плиоцена) и позднеорогенной.

Сложившиеся представления о важной роли течения верхнемантийных масс в перемещении, деформации и преобразовании литосферы в предварительном виде таковы. Плиты «плывут» на потоках подлитосферной мантии в рамках мантийной конвекции, трансформирующейся на уровне верхней мантии. Трансформация выражается двояко. С одной стороны, потоки глубинного вещества, восходящие в суперплюмах типа Эфиопско-Афарского из низов мантии, проникают на уровне низов астеносферы под зоны спрединга, обеспечивая перемещение плит в сторону зон субдукции и коллизии на потоках вещества верхней астеносферы. С другой стороны, подавляющее большинство субдуцируемых слэбов продолжается на уровне переходного слоя (~400–700 км) субгоризонтальными высокоскоростными линзами, распространяющимися под континенты. Шпинелевидные силикаты этого слоя способны удерживать гидроксильные группы, которые в дальнейшем могут служить источниками водосодержащих флюидов астеносферы. В этом же переходном слое гидроксильные группы могут возникать за счёт соединения части кислорода с водородом, поступающим из низов мантии в восходящих потоках суперплюмов.

Для формирования Альпийско-Гималайского орогенического пояса решающее значение имели латеральные потоки от Эфиопско-Афарского суперплюма, который, как можно предполагать по его геологическим проявлениям, длительно (по меньшей мере, с конца палеозоя) существовал в виде меридионально вытянутой зоны, верхняя часть которой сейчас протягивается от Малави до Красного моря, а нижняя проецируется на Южную Африку. Верхнемантийные потоки от суперплюма сейчас достигают на севере Большого Кавказа, а на северо-востоке Тянь-Шаня под утолщённой литосферой Индийской плиты и Высокой Азии. До начала кайнозоя части Гондваны, оказывавшиеся над суперплюмом, испытывали рифтинг, перераставший в спрединг. Отчленившиеся гондванские фрагменты подхватывались такими латеральными потоками и перемещались в северных и северо-восточных румбах в составе новообразованной океанской литосферы Тетиса. Там океанская литосфера субдуцировала, и возникавшие слэбы переходили на глубинах 400–700 км в горизонтальные высокоскоростные линзы. Гондванские фрагменты причленились к Евразии, и зоны субдукции перемещались в их тыловые части. Прежнее положение таких зон отмечено сутурами, аккреционными телами и проявлениями магматизма. Следы Палео-, Мезо- и Неотетиса фиксируют стадии процесса.

Такой «талассократический» режим воздействия верхнемантийных течений на литосферу сохранился до наших дней в Индонезийском сегменте Альпийско-Гималайского пояса, где сейсмотомографические данные фиксируют переход субдуцируемых слэбов в субгоризонтальные высокоскоростные тела переходного слоя. В более западных сегментах пояса (западнее «Зоны 104° в.д.») режим изменился на орогенный в эоцене, когда Тетис закрылся и произошла коллизия гондванских плит с Евразией, что замедлило их дрейф. Но астеносферные потоки продолжили прежнее движение и распространились дальше в северных румбах, достигнув в конечном счёте северных окраин современного орогенического пояса. Перерабатывая структуру верхней мантии пояса, астеносферные потоки обогащались водосодержащими флюидами, прежде концентрировавшимися в слое 400–700 км. Активизированные таким образом потоки воздействовали на литосферу пояса, обеспечивая проникновение в неё подвижных и, прежде всего, флюидных компонент астеносферы. В участках локальной декомпрессии литосферы, включая низы коры, куда проникали эти компоненты, возникали, согласно Ф.А.Летникову, магматические очаги, которые проявились вулканизмом, а в Памиро-Гималайском сегменте пояса также грандиозным по масштабу гранитообразованием, продолжавшимся до миоцена. Под воздействием флюидов происходили метаморфические преобразования, деструкция и, согласно Е.В.Артюшкову, размягчение литосферы. Последнее сделало возможным её интенсивные деформации и усилило её тектоническое расслоение, обеспечившее большие латеральные перемещения. Положение зон вулканизма, деформаций и смещений, изменявшееся в течение неотектонического этапа, отмечает распространение и ориентировку астеносферных потоков.

Деформации и смещения олигоцена и миоцена обусловили локальные утолщения коры и образование выраженных в рельефе поднятий, которые за редкими исключениями были не выше среднегорных (≤ 1500 м). Иначе говоря, до начала плиоцена рост поднятий в пределах пояса определялся преимущественно коллизионным сжатием. Вместе с тем, к началу плиоцена деформационные, метаморфические и магматические явления привели к общей консолидации земной коры, под которой стали развиваться две группы процессов. Во-первых, отслоенная и деструктурированная литосферная мантия стала погружаться и замещаться более лёгким астеносферным веществом, что выразилось в подъёме кровли астеносферы, разуплотнении и понижении скоростей сейсмических волн в верхах мантии. Во-вторых, при воздействии астеносферных флюидов метабазиты низов коры и переходного коро-мантийного слоя испытали ретроградный метаморфизм, что привело к разуплотнению этих слоев и изменению положения поверхности Мохоровичича. Разуплотнение верхов мантии и низов коры вызвало в течение последних 2–4 млн. лет быстрое изостатическое поднятие земной поверхности, сформировавшее современные горные системы и высокие плато. Оно только на части пояса, но и там лишь частично, было обусловлено усилением коллизионного сжатия. С разуплотнением мантии связаны также погружение и деформации сохранявшихся в литосфере реликтов высокоскоростных (плотных) субдуцированных слэбов, обусловившие мантийные землетрясения вне зон современной субдукции.

Плиоцен-четвертичное усиление горообразования отмечено также на юге Сибири, северо-востоке Азии, западе Северной и Южной Америки. На северо-востоке Азии астеносферные потоки, сопряжённые с высокоскоростными линзами переходного слоя, распространяющимися от субдуцированных слэбов, являются вероятными источниками внутриплитного литосферного вулканизма и, согласно Е.В.Артюшкову, разуплотнения верхов мантии и низов коры, вызывающего локальные новейшие поднятия. Эти процессы отчасти обусловлены региональными коллизионными условиями, но могут быть связаны с закрытием Тетиса. Во все стадии развития на его северо-восточном (в современных координатах) фланге существовали зоны субдукции, компенсировавшие спрединг. Индийский океан, который частично взял на себя роль Тетиса, лишён таких зон на всём протяжении от Кипра до Андаманской дуги. Это могло изменить глобальный баланс плит.

Неотектонический этап, начавшийся в олигоцене и достигший экстремальных проявлений в

последние 4–2 млн. лет, не уникален. С.С.Шульц и Ю.Г.Леонов рассматривали его как последний из неоднократно повторявшихся в фанерозое орогенных этапов продолжительностью 20–40 млн. лет, которые обусловили традиционное деление складчатых систем на альпиды, герциниды, каледониды и т.д. Орогенным этапам свойственны морские регрессии, широкое распространение коллизионных обстановок, усиление вертикальных движений и горообразование. Их можно рассматривать как проявления автоколебаний энергетической системы Земли, периодически накладывающиеся на конвективную плейт-тектоническую систему и приводящие к её частичной перестройке.

Тема: Активная тектоника континентального обрамления Командорской котловины

Научный руководитель: кгмн А.И.Кожурин

В продолжение работ 2010 г. выполнено изучение проявления активных тектонических движений на полуострове Камчатский, Камчатка, с целью восстановления характера процессов в зоне сочленения Алеутской и Камчатской островных дуг. Внимание было обращено, прежде всего, на кинематику разлома, ограничивающего с севера блок полуострова. Разлом продолжается с суши в акваторию Берингова моря и, очевидно, достигает, по крайней мере, подножья континентального склона. При тренчинге разлома установлено, что правосдвиговые движения по нему сопровождаются поперечным разлому сокращением с формированием лежащих и опрокинутых складок. Это означает, что сдвиговые движения по разлому происходят в условиях транспрессии, по плоскости, наклоненной к северу под углом 40–60°. Таким образом, подтверждено, что вместе со взбросо-надвиговым разломом восточного ограничения хр. Кумроч (севернее р. Камчатка), изученный правосдвиговой разлом образует сочетание, свидетельствующее о сближении Алеутской и Камчатской островных дуг и их коллизионном взаимодействии.

Доказано, что величина разовой (за один акт смещения) подвижки по разлому достигает 5 м, что соответствует моментной магнитуде генерируемого подвижкой землетрясения порядка 7,6–7,8. Последняя такая подвижка, как показывают предварительные заключения о возрасте смещаемых и перекрывающих ее образований, произошла примерно 3500 радиоуглеродных лет назад.

Получены данные о скорости правосторонних движений по субширотному разлому в юго-восточной части полуострова. Разлом также продолжается под водой, по крайней мере, до подножья континентального склона. Выявлены смещения как аллювиальных, так и, в береговой зоне, голоценовых морских террас. Полученная предварительная (до окончательного датирования смещенных форм рельефа методом тефростратиграфии) оценка скорости сдвига по разлому – порядка 10 мм в год (разлом «быстрый»). Она позволяет сравнивать разлом по кинематическим параметрам с продольными правыми сдвигами Командорского сегмента Алеут, а также с имеющимися данными спутниковых геодезических измерений (GPS).

В южной части Камчатки проведено полевое обследование активных региональных и локальных разломов в районе вулкана Горелого (Южная Камчатка). Внимание было уделено системе разломов, связанных с внедрением даек, которые питали последние эффузивные извержения вулкана Горелого. Для этой системы разломов были выполнены детальные картировочные и топографические (профилирование при помощи тахеометра) работы, а также проходка нескольких каналов вкострости разломов. Основной задачей было изучение структур замыкания магмоподводящей трещины, которое позволило бы понять, каким именно образом сходят на нет раздвиговые движения в ней. Выполненные исследования позволили выявить общие структурные закономерности замыкания трещин растяжения, которые можно

использовать для интерпретации тектонических структур как в вулканических, так и в невулканических районах. При физическом моделировании роста трещин растяжения принято считать, что в плане они имеют эллиптическую форму. Установлено, однако, что ограничивающие трещину сбросовые разломы остаются параллельными друг другу, но на определенном расстоянии от окончания трещины (в данном случае – 600 м) между ними появляются перпендикулярные им взбросо-надвиговые деформации. Их появление свидетельствует не о постепенном уменьшении (вплоть до исчезновения) амплитуды раздвига, а о перемещении, своего рода нагнетании, вещества самых верхних горизонтов коры внутрь трещины, что компенсирует ее раскрытие. Выявленные структурные закономерности имеют немасштабный характер и могут служить основой геодинамической интерпретации различных по площадному охвату структурных проявлений тектонических процессов. Прежде всего, речь может идти о расшифровке взаимосвязи движений сокращения в пределах континентальных блоков земной коры и раздвиговых в достигшей края континентального блока спрединговой системе (пример – срединно-океанический хребет Гаккеля и внутриконтинентальная подвижная система хребтов Момский-Черский на северо-востоке Евразии).

Научно-организационная работа

В.Г. Трифонов – член редколлегии журнала «Геотектоника»; член редколлегии журнала «Исследование Земли из космоса», член Диссертационного совета ГИН РАН по геологии, геотектонике и геодинамике.

Участие в Российских и международных совещаниях

В.Г. Трифонов – участие в V Международном симпозиуме «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов» (Бишкек, Научная станция РАН, 19–24 июня); участие в XVII Всероссийской конференции «Проблемы сейсмоструктоники» (Москва, ИФЗ РАН, 20–22 сентября) с пленарным докладом; участие во II Молодёжной школе-семинаре «Современная тектонофизика. Методы и результаты» в качестве лектора (Москва, ИФЗ РАН, 17–21 октября).

Д.М. Бачманов и Я.И. Трихунков – участие во II Молодёжной школе-семинаре «Современная тектонофизика. Методы и результаты» (Москва, ИФЗ РАН, 17–21 октября).

Сведения о заграничных командировках (ФИО, страна, цель поездки, сроки)

1) Кожурин А.И., Германия, устный доклад на рабочей встрече по Российско-Германскому проекту KALMAR-Phase I, 15-22 мая 2011 г.

2) Трифонов В.Г., Бачманов Д.М., Трихунков Я.И., Сирия, полевые работы, 02–23 апреля 2011 г.