

УДК 549.903.55(1)  
ББК 26.323  
Т 67

**Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ  
фанерозоя.** Материалы XLIII Тектонического совещания. Том 2. М.:  
ГЕОС, 2010. – 502 с.  
ISBN 978-5-89118-497-8

Материалы совещания опубликованы при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований  
по проекту № 10-05-06006 г

Ответственный редактор  
*Н.Б. Кузнецов*

*На 1-й странице обложки: Переслаивание нижнесинемюрских аргиллитов и мергелей в разрезе Восточный Квантоксхэд (Западный Сомерсет, юго-восточная Англия). Фото М.А. Рогова, июль 2007 г.*

© ГИН РАН, 2010  
© ГЕОС, 2010

г/т) отмечаются для базальтов зон закалки полудаек первой серии. Как следствие метаморфических преобразований пород намечаются две тенденции изменения содержания рассеянных элементов: понижение роли Sr и Ni и повышение Sr, Zr и Y. Геохимические особенности пород дайкового комплекса могут быть использованы для металлогенических прогнозов в отношении Cu, Ni, V. Сохранение высоких содержаний Cu в течение всего этапа формирования дайкового комплекса от ранних к поздним генерациям даек диабазов вплоть до кислых дифференциатов (альбититов), а также накопление этого элемента в зеленокаменно измененных породах дает основание предполагать перенос меди флюидами и концентрирование ее в виде сульфидов в благоприятных геохимических ловушках, как например, на контакте с серпентинитами. Присутствие Ni можно ожидать в виде изоморфной примеси в сульфидах. Эффект накопления ванадия отмечается для окварцованных и пропилитоподобных пород и усиливается на контакте с серпентинитами.

#### Литература

1. Буало Г. Геология окраин континентов. М.: Мир, 1985. 155 с.
2. Колман Р.Г. Офиолиты. М.: Мир, 1979. 261 с.
3. Куренков С.А., Перфильев А.С. Дайковые комплексы и их тектоническая интерпретация // Геотектоника. 1984. №5. С.3–14.
4. Юркова Р.М., Воронин Б.И. Подъем и преобразование мантийных углеводородных флюидов в связи с формированием офиолитового диапира // Генезис углеводородных флюидов и месторождений. М.: ГЕОС, 2006. С. 56–67.
5. Maekawa H., Yamamoto K., Teruaki J., Ueno T., Osada Y. Serpentinite seamounts and hydrated mantle wedge in the Jzu-Bonin and Mariana forearc regions // Bull. Earth Res. Inst. Univ. Tokyo. 2001. Vol. 76. P. 355–366.

Ф.Л. Яковлев<sup>1</sup>

#### Сравнение методологических подходов к решению проблемы строения зон линейной складчатости внутренних частей подвижных поясов (на примере Большого Кавказа)

«Гранитный» слой континентальной земной коры образуется (и наращивается) в результате трех основных процессов – складчатости, метаморфизма и гранитизации. Наши представления о сути развития континентальной коры зависят, таким образом, от надежности знаний о механизмах

<sup>1</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта (ИФЗ)РАН, Москва, Россия

преобразований. Из этой триады складчатость является процессом, наиболее сложным для изучения с методологической точки зрения.

Если говорить о линейной складчатости внутренних частей подвижных поясов (хорошо изученные складки и разрывы предгорных прогибов мы не рассматриваем), то существуют несколько аспектов проблемы. Реально наблюдению доступна полоса вдоль рельефа высотой около 10 м, за пределами которой складчато-разрывная структура остается неизвестной. При этом, чем точнее данные о природной структуре, тем сложнее ее «дорисовать». Дорисовку структуры, точно построенной по полевым наблюдениям, авторы пересечений обычно ограничивают 2–3 км, а «концептуальный» профиль на это же пересечение обычно охватывает до 10–15 км глубины, при этом его структура в полосе наблюдения не совпадает с природной. В таких профилях в соответствии с тектоникой плит используются схемы субдукции или надвиговых структур Фрланды. Ниже будет показана ошибочность такого подхода, поскольку параметрам «механического» характера (тип складок, мощности слоев, тип формации, общая мощность толщи и т.д.) структуры Фрланды и Фрланды радикально отличаются друг от друга.

Многоранговый деформационный анализ структур линейной складчатости [7], разработанный в рамках тектонофизического подхода, позволяет давать количественное описание деформаций объектов разного размера без пропуска уровней, от отдельных складок до мегантиклинальных, что обеспечивает возможность диагностики механизмов и восстановления доскладчатой и современной структуры. Для прогноза современной структуры поверхности «осадочный чехол / кристаллический фундамент» используются уровни «складчатый домен» и «структурная ячейка». В домене измеряются наклоны осевых поверхностей складок, наклон зеркала серии складок и величина укорочения складок в направлении перпендикулярно осевой плоскости. Деформации домена могут быть описаны как эллипс деформаций [10].

Отрезок линии профиля (измеряются его наклон и длина) может быть приведен к доскладчатой ситуации путем трех кинематических операций: 1) поворот до горизонтального зеркала складок, 2) простой горизонтальный сдвиг до вертикального положения осевых поверхностей и удлинение до исчезновения складок (эллипс при этом становится кругом). Структурная ячейка охватывает весь осадочный чехол и объединяет несколько доменов от ядра локальной крупной антиклинальной складки до ядра синклиальной. Зная длины современных и доскладчатых отрезков линии профиля в этих доменах, легко определить величину укорочения для ячейки. Для Северо-Западного Кавказа ранее были представлены детальные структурные пересечения [1, 4], по данным кото-

рых в структуре было выделено 244 домена и 42 структурные ячейки. Обобщенные для ячеек данные о мощности стратиграфических подразделений и полученные величины укорочения позволили оценить глубину до подошвы чехла в ячейках.

Фактически тем самым была составлена сбалансированная по мощности осадочного чехла и по величинам деформаций квазитрехмерная модель осадочного чехла Северо-Западного Кавказа. В имеющихся «концептуальных» моделях [9, 2] показано положение границы чехол/фундамент на глубинах 5–10 км и общий наклон этой границы к северу или ее горизонтальное положение. Пододвигание жесткого фундамента в целом указано именно по этому уровню. Полученная нами модель показывает резко расчлененный рельеф этой границы с центральным прогибом в западных и восточных пересечениях и ее сильное погружение в югу в центральных. Средняя современная глубина поверхности чехол/фундамент при этом составляет 13 км, меняясь от 5–7 км до 25–30 км. В целом структура поверхности такова, что исключает возможность проведения какой-либо единой плоскости срыва, предусмотренной указанными «концептуальными» моделями.

Тем же методом была исследована структура перехода от Закавказского срединного массива к Чиаурской зоне Большого Кавказа [6]. По материалам структурного пересечения к западу от Рокского перевала было выделено 26 доменов и 4 структурных ячейки. По величинам укорочения для ячеек и по уровню стратиграфии были определены глубины поверхности чехол/фундамент в ячейках (с юга на север – 19, 22, 25, 17 км), а в Закавказском срединном массиве к югу от разделяющего их Рача-Лечхумского разлома – только 5–7 км. Таким образом, амплитуда сброса по Рача-Лечхумскому разлому составляет 10–15 км, что абсолютно исключает возможность «пододвигания» жесткого Закавказского массива под структуры Большого Кавказа. Одновременно эти данные подтверждают в целом «пластичный» стиль альпийских деформаций фундамента [3] (поскольку величина его укорочения совпадает с укорочением структур чехла), а также показывают, что «механические» причины для существования детачмента полностью отсутствуют. Разработана геометрическая схема развития такой структуры, объясняющая существование наблюдаемых в районе надвигов (локальных, в пределах опущенных блоков массива), ошибочно принимаемых исследователями за регионально значимые.

Материалы замеров геометрии структуры в 244 доменах Северо-Западного Кавказа включали наклоны плоскостей разрывов, а в результате восстановления их доскладчатого состояния были получены доскладчатые наклоны этих сместителей и амплитуды смещения (горизон-

ального и вертикального). Эти данные (всего 119 замеров) позволили на статистическом уровне установить закономерности проявления разрывных структур [8] в этом районе. Было обнаружено, что надвиги и сбросы развиты в равной степени (соответственно 58 и 61); при среднем наклоне в  $80^\circ$  (южная вергенция), распределение этого параметра является нормальным, средняя амплитуда составляет около 500 м надвига, а отдельно – 1838 м для надвигов и 788 м для сбросов. Выявлены только отдельные крупные надвиги с южной вергентностью в центре и на южном фланге структуры (не в каждом профиле). Эти данные опровергают для Большого Кавказа декларируемую в рамках тектоники плит закономерность строения складчатых зон, состоящую в развитии только юновергентных надвигов с общим пологим детачментом.

Анализ геометрии разрывов на границах структурно-фациальных зон выявил типичные сложности в определении амплитуд смещения – ложные сбросы и ложные крупноамплитудные надвиги [8]. Этим можно объяснить наблюдаемые «сближенные разрезы», не используя многокилометровые перемещения. Важнейшей особенностью мощных, до 10–20 км, сланцевых или флишевых толщ, образующих линейную складчатость центральных частей складчатых сооружений, видимо, является принципиальная невозможность двух-трехкратных внутренних перекрытий по надвигам. Такие дуплексы реально фиксируются в предгорных прогибах с мощностью чехла в 2–3 км: после трехкратных перекрытий вертикальная мощность там составит только 6–9 км. Однако, такое же увеличение мощности колонны осадков (до 30–60 км, соответственно) при надвигании базальных горизонтов на кровлю чехла (это является гарантией того, что деформация не реализована в складках) представляется абсолютно нереальным. Поскольку использованный метод балансирования разрезов линейной складчатости по геометрии доменов гарантирует относительно точное численное определение укорочения структуры, как целиком, так и в частях, дополнительное привлечение указанных выше соображений о «сближении разрезов» представляется неоправданным.

Встает вопрос: если схемы «А» – субдукции являются нереальными, тогда каким же образом образуются складчатые системы? На основании полученных объемно сбалансированных доскладчатых и современных структур основных тектонических зон Большого Кавказа была разработана модель развития всего мегантиклинория до глубин 70–100 км [5]. Было выявлено, что породы, ранее находившиеся на первоначальном уровне границы Мохо (40 км, конец триаса) должны были опуститься на глубину 80–110 км в южном фланге Большого Кавказа – без этого структура с современной геометрией не могла возникнуть. На основании этой модели в самом общем виде была выдвинута гипотеза, что

преобразования пород коры в породы мантии с их общим уплотнением не только обеспечивают геометрические параметры структуры, но и могут быть причиной всех деформаций. Тем самым из трех возможных процессов в рамках тектоники плит (магматогенное расталкивание в дивергентных границах, мантийные конвективные движения и гравитационное «обрушение» в конвергентных границах) приоритет отдается последнему. Если это предположение подтвердится, существующие ныне на базе тектоники плит общепризнанные закономерности формирования континентальной коры, равно как и всей тектоносферы, потребуют пересмотра.

Таким образом, выявление реально существующих закономерностей строения складчатых сооружений на основе тектонофизических подходов и количественных (кинематических) моделей формирования многогранговых структур может быть ключевым фактором создания геодинамических моделей более реалистичных, чем существующие.

### Литература

1. Гиоргобиани Т.В., Закария Д.П. Складчатая структура Северо-Западного Кавказа и механизм ее формирования. Тбилиси: Мецниереба, 1989. 60 с.
2. Маринин А.В., Расцветаев Л.М. Структурные парагенезы Северо-Западного Кавказа // Проблемы тектонофизики: К 40-летию создания М.В.Гзовским Лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. М.: ИФЗ РАН, 2008. С. 191–224.
3. Сомин М.Л. О структуре осевых зон Центрального Кавказа // Докл. РАН. 2000. Т. 375, № 5. С. 662–665.
4. Шолто В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А. Складчатость Большого Кавказа. М.: Наука, 1993. 192 с.
5. Яковлев Ф.Л. Владимир Владимирович Белоусов и проблема происхождения складчатости // Геофиз. исслед. 2008. Т. 9, № 1. С. 56–75.
6. Яковлев Ф.Л. Количественные методы анализа природных механизмов формирования складок и систем линейной складчатости // Проблемы тектонофизики. К 40-летию создания М.В. Гзовским Лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. М.: ИФЗ РАН. 2008. С. 149–188.
7. Яковлев Ф.Л. Многогранговый деформационный анализ структур линейной складчатости // Докл. РАН. 2008. Т. 422, № 3. С. 71–376
8. Яковлев Ф.Л. Опыт типологии разрывов в структурах линейной складчатости на примере Большого Кавказа // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия. Иркутск. ИЗК СО РАН, 2009. С. 128–131.
9. Robinson A.G., Rudat J.H., Banks C.J., Wiles R.L.F. Petroleum geology of the Black Sea // Marine and petroleum Geology. 1996. Vol. 13(2) P. 195–223.
10. Yakovlev F.L., Voitenko V.N. Application of the deformation tensor conception for the estimation of deformations in different-scale folded structures // «Regularity of structure and evolution of geospheres», Vladivostok, 20–25 September 2005. P. 66–69.

Ф.Л. Яковлев<sup>1</sup>, С.Л. Юнга<sup>1</sup>

### О расширении представлений о механизмах горообразования на примере исследований структур Памирского синтаксиса и Большого Кавказа

Район Памирского синтаксиса имеет особенность – доолигоценовую поверхность выравнивания, которая используется в качестве репера при анализе поднятий и погружений, а также для подсчетов укорочения в складках и разрывах этой поверхности. Здесь же глубоко изучена история развития рельефа, есть хороший материал по глубинам Мохо. В качестве рабочих моделей горообразования традиционно использовались две гипотезы: 1) увеличение мощности коры при укорочении и соответствующее изостатическое поднятие и 2) наращивание мощности коры снизу (андерплейтинг). По инициативе и при участии А.Ф. Грачева [1] было проведено параллельное определение величин укорочения по данным о мощности коры для Тянь-Шаня и по геометрии пенеплена для Тянь-Шаня, Памира и Афгано-Таджикской депрессии. Было найдено, что по ориентировкам и по характеру распределения величин укорочения результаты получились очень похожими. Были обобщены величины укорочения для восьми пересечений в Тянь-Шане по обоим методам, которые показали сильную корреляцию ( $r=0.87$ ) между собой. При этом величины укорочения, получаемые по первому методу, оказались систематически выше, что позволило впервые выдвинуть гипотезу об одновременном действии обоих механизмов [6], а также оценить средний вклад наращивания коры (андерплейтинг) в 7 км или около 50% общего увеличения мощности коры. Декларировалось их одновременное действие.

Используя идею о двух действующих механизмах, группа авторов проследила их действие во времени для Центрального Тянь-Шаня [2]. Для этого исследовался рост рельефа и сравнивались современные скорости горизонтальных перемещений по GPS-данным со средними скоростями по структурно-геологическим данным за новейший этап. Были сделаны следующие выводы: 1) в позднплейстоцен-голоценовый период скорости подъема увеличились на порядок, 2) средняя скорость новейшего укорочения меньше современной (за последние 2 млн лет) только в 2–2.5 раза. Сопоставляя эти данные и определяя величину поднятия, обусловленную укорочением, авторы [2] пришли к выводу, что вплоть до рубежа ранний/поздний плейстоцен все поднятие являлось результатом укорочения, а на последнем этапе вклад укорочения в подня-

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта (ИФЗ) РАН, Москва, Россия