

## Дискуссии

УДК 551.24.035; 551.243.3

### ДЕФОРМАЦИОННЫЙ МНОГОРАНГОВЫЙ АНАЛИЗ И СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗЫ: СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ

© 2010 Ф.Л. Яковлев

*Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, 123995; e-mail: yak@ifz.ru*

Сравниваются методология и результаты применения двух подходов к задаче реконструкции альпийского осадочного чехла Северо-Западного Кавказа: «количественного», основанного на анализе деформаций природных многогранговых структур линейной складчатости, и «качественного» – на основе парагенетического анализа разрывных структур (концепция «содвигов»). Показана строгость и последовательность первого подхода при разработке методик и при получении результатов, имеющих в значительной степени объективный характер. Конкретные данные по рельефу кровли фундамента, полученные при количественном подходе, не подтверждают ряд общих основных черт «качественных» моделей региона (в том числе – «содвигов») – субгоризонтального положения общего detachmentа по этой границе на глубинах 5-10 км и «жесткости» фундамента в пределах большей части структуры Большого Кавказа. Выявлены методологические неточности второго подхода, непоследовательность и противоречивость выдвинутой концепции «содвигов», показана нереалистичность механизма «тектонического течения» и модели глубинного строения региона, которая соответствует предлагаемым концепции и механизму. Обсуждается назревшая необходимость создания и использования количественных моделей при проведении тектонических и геодинамических исследований.

*Ключевые слова: тектонофизика, линейная складчатость, сбалансированные разрезы, величина деформаций, геодинамика.*

#### ВВЕДЕНИЕ. ПРОБЛЕМА МЕХАНИЗМА СКЛАДКООБРАЗОВАНИЯ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Проблема механизмов образования складок и складчатости еще с XVIII века является одной из основных, тогда – для геологии вообще, а сейчас – для геотектоники и геодинамики. В середине прошлого века возникло понимание того, что чисто геологическими (тектоническими) методами ряд проблем тектоники не может быть разрешен в принципе. В.В. Белоусов, хорошо понимая эту ситуацию, инициировал развитие в СССР тектонофизических методов, интересуясь главным образом именно вопросами формирования структур складчатых. Быстрое развитие тектонофизики в последней четверти прошлого века привело к появлению ряда эффективных методов, основанных на положениях механики сплошной среды. Они

касались главным образом анализа полей напряжения, которые использовались в изучении некоторых простых платформенных структур, а также разрывов, включая проблемы сейсмичности. Этот период развития науки проходил на фоне идейной борьбы двух основных теоретических направлений – фиксизма и мобилизма. В настоящий момент при фактическом отсутствии фиксистов большая часть исследований ведется в рамках мобилизма. Однако, заметим, общепризнанного решения для проблемы происхождения складчатости так и не было найдено.

Для подходов в исследованиях на эту тему и в геодинамике, и в тектонофизике характерны попытки объяснить возникновение любой структуры каким-либо единственным механизмом, который имеет обычно словесное описание, поясняемое, в лучшем случае, самыми общими графическими иллюстрациями. Эти об-

щие иллюстрации могут включать в себя схемы строения регионов в виде карт и идеализированных (концептуальных) структурных разрезов, а также результаты тектонофизического моделирования. В частности, по Кавказу в ряду многочисленных геодинамических исследований можно назвать работы Ш.А. Адамии с соавторами (1987а, 1987б), В.В. Белоусова (1982), И.П. Гамкрелидзе (1984), Т.В. Гиоргобиани и Д.П. Закарая (1989), С.И. Дотдугева (1986), Л.М. Расцветаева (1989), М.Л. Сомина (2000) В.И. Шевченко (1984), В.Н. Шолпо (1978), В.Н. Шолпо, Е.А. Рогожина, М.А. Гончарова (1993). Важное место в таких концепциях обычно занимает интерпретация геологической истории развития исследуемых объектов. Геодинамические исследования проводятся обычно либо отдельными авторами, либо узкими коллективами единомышленников; их цель – создать внутренне согласованную концепцию, объясняющую по возможности большее число фактов строения и истории развития региона. При этом вырабатываются собственные, «индивидуально-авторские» критерии значимости отбираемых фактов. Любая другая концепция в рамках той же методологии будет иметь иные схемы строения и собственную интерпретацию истории, а также свою специальную аргументацию (перечень наиболее важных фактов или наблюдаемых в природе параметров) в пользу достоверности предлагаемых построений.

Такой стандарт «качественного» подхода с явным разнобоем в критериях достоверности повлек за собой возникновение и параллельное существование большого числа концепций возникновения складчатых структур: например, в Геологическом словаре (1978) можно найти 110 статей о терминах, характеризующих морфологию и происхождение складок и складчатости. При этом не существует никаких перспектив на объективное сопоставление таких концепций, которые могут быть предложены для какой-то конкретной структуры. Возможно, именно с этим методологическим тупиком связаны кризисные явления в теоретической тектонике, которые выражаются в том, что до сих пор имеют хождение взгляды, разработанные десятки лет назад, а новые модели практически не появляются. Заметим, что разработанные когда-то концепции, относимые и к фиксизму, и к мобилизму, создавались именно в рамках этого подхода. В истории развития любой науки такой этап является необходимым, он может быть назван «умозрительно-описательным», или «качественным». Его задача очень важна – это синтез концепций из большого числа эмпирических данных, которые по объективным причинам имеют существенные пропуски в описании природных явлений и объектов. Как известно из истории науки, только по мере создания и накопления

частных количественных моделей исследуемых явлений, создаваемых при разработках «качественных» концепций, удастся перейти к такой ситуации, при которой используются уже общие формальные критерии достоверности результатов. По такому пути когда-то прошли те науки, которые сейчас называются точными – физика, химия, астрофизика и др., успехи которых неоспоримы.

Тектонофизические исследования складчатых структур, проводившиеся во второй половине прошлого века, основаны преимущественно все же на первом, качественном подходе. Только немногие исследования могут быть отнесены к той ее части, в которой разрабатываются количественные модели процессов. Например, использование метода конечных элементов позволило рассчитать геометрию складок единичного вязкого слоя в зависимости от величины укорочения и контраста вязкости слоя и среды (Hudleston, Stephansson, 1973, и др.); простейшая математическая модель адвекции (Гончаров, 1988) связывает геометрию структуры с амплитудой формирующего ее процесса. Появление и развитие численных кинематических моделей формирования складчатых структур позволило начать комбинировать друг с другом разные механизмы (Яковлев, 1987; 2008б) с целью оценивать степень их участия в формировании структуры. В рамках последнего направления была разработана иерархия разномасштабных объектов структур линейной складчатости, а также представление о том, что для исследования каждого типа объектов нужна своя кинематическая модель. Этот подход называется «многограновым деформационным анализом» (Яковлев, 2008а), и, как представляется, он позволяет преодолеть указанный выше тупик.

Нельзя сказать, что описанная ситуация совсем не вызывает беспокойства тектонистов. В последние годы стали появляться отдельные публикации, посвященные методологическим аспектам тектоники и геодинамики (Леонов, 2009; Наймарк, 2006; Рябухин, 2006; Эз, 2009). Появились признаки возобновления интереса к геодинамике крупных складчатых структур. По многолетней традиции это касается в основном Большого Кавказа как наиболее изученной и доступной альпийской структуры в пределах России (Большой ..., 2007; Saintot et al., 2006). В этом же ряду можно рассматривать и ряд статей, опубликованных в 2008 г. в монографическом издании ИФЗ РАН (Проблемы..., 2008)<sup>1</sup>.

Рассмотрим очень кратко наиболее принципиальные черты двух сравниваемых методологий, которые условно назовем «количественной» и «качественной». При первом подходе исполь-

<sup>1</sup> Обсуждаемые статьи доступны на сайте лаборатории тектонофизики им. М.В. Гзовского ИФЗ РАН <http://yak.ifz.ru/page-book-08.html>

зуются строгие методы, основанные на логике и количественных моделях явлений, которые опираются на уже доказанные факты и теории. Обычным условием является точное описание постановки задачи. Основным критерием достоверности результата является соответствие исследования всем требованиям методической строгости, а выявление любой серьезной ошибки в логике высказываний или в постановке задачи приводит к тому, что достоверность результата ставится под сомнение. Для науки, находящейся на умозрительной, «качественной», эмпирико-описательной стадии развития важно любым способом прийти к синтезу, к обобщенному знанию как комплексному объяснению явления, или к концепции. Какие-либо строгие определения понятий и точное описание постановки задачи при этом не даются. По направлению логического следования основным является метод интерпретационный, дедуктивный (от общего к частному). Соблюдение методической строгости в ходе исследования не является обязательным, поскольку обычным критерием достоверности выступает не внутренняя логичность работы, а мнение о ней научной общественности или признанного авторитета.

Из этого следует, что «количественный» и «качественный» методические подходы являются фактически разными системами научного мировоззрения, в которых критерии достоверности результатов никогда не будут совпадать. В данной статье нами используется «количественный» подход, и оценка достоверности полученных результатов будет делаться именно с этих позиций. Ниже будут сравниваться две тектонофизические работы: 1) исследование величин деформации структур линейной складчатости разного размера и построение на его основе квази-объемной модели структуры (Яковлев, 2008б; 2008в) и 2) более традиционное изучение полей палеонапряжений в комбинации с изучением парагенетических связей мелких структур (Маринин, Расцветаев, 2008). Сравнение удобно тем, что работы касаются одного и того же региона – Северо-Западного Кавказа (СЗК). Авторы приходят к разным выводам о строении и механизмах формирования этого региона.

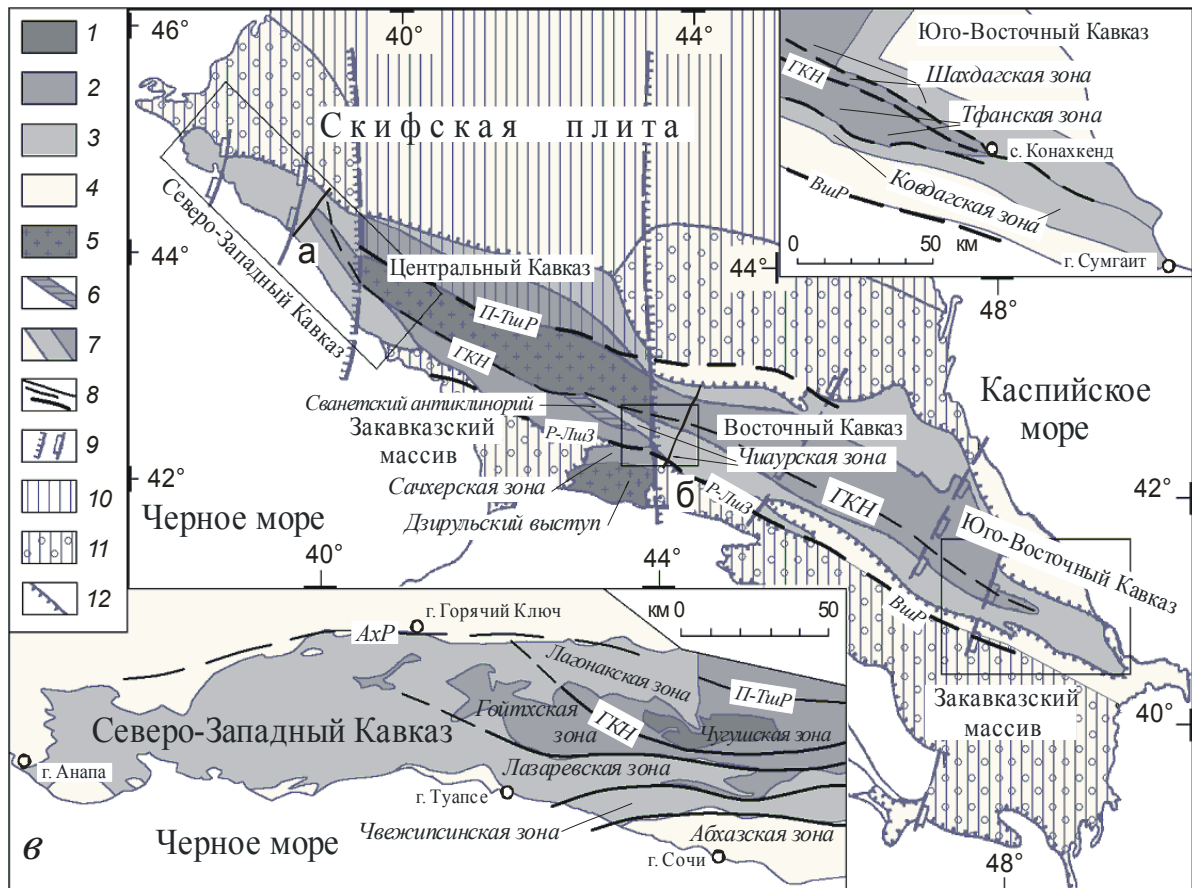
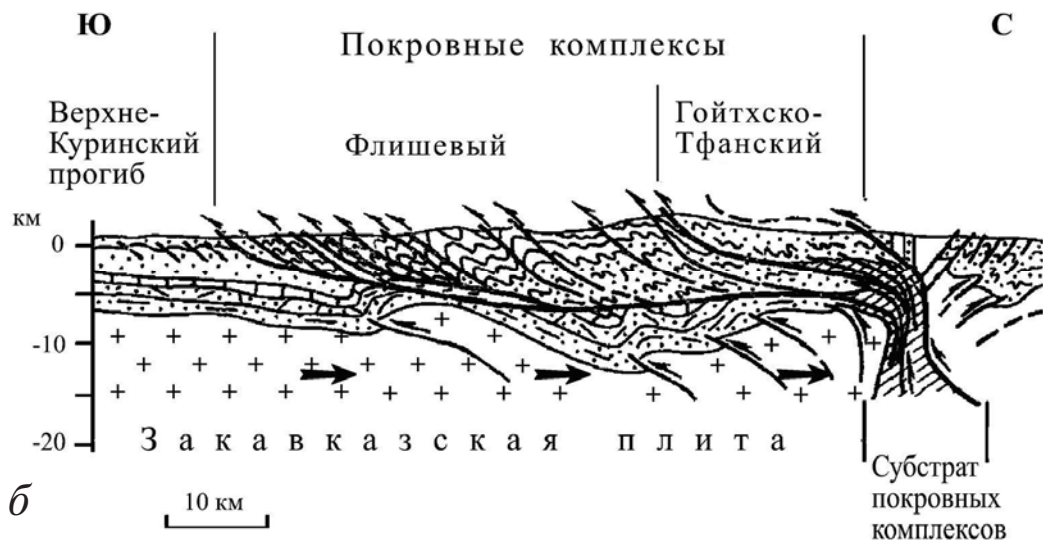
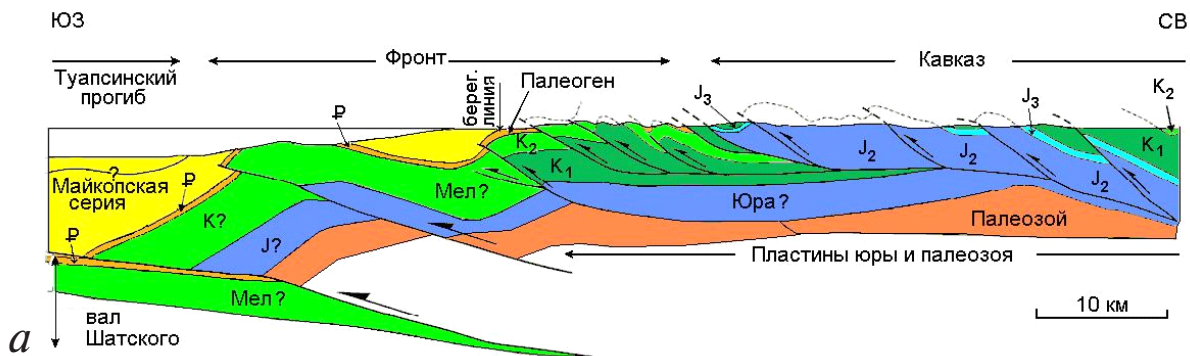
### МНОГОРАНГОВЫЙ ДЕФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЛИНЕЙНОЙ СКЛАДЧАТОСТИ

Конечной целью «количественного» подхода в рамках обсуждаемой тематики является получение как можно более точных данных о структуре складчатого сооружения в объеме всего осадочно-чехла. Существует проблема структурной геологии, отсутствие решения которой и провоцирует обилие трактовок глубинного строения структур линейной складчатости. Как известно, достра-

ивать видимый разрез вглубь и в размытую часть структуры можно по закону «параллельных» или по правилам «подобных» складок. Для областей развития мелких линейных складок прямо не подходит ни тот, ни другой способы, и геолог формально может находить некий компромисс между ними, что и вызывает появление большого числа моделей для одного и того же региона (рис. 1). Поскольку дорисовка структуры обычно связана с предполагаемым механизмом ее формирования, то в этом пункте легко возникает «логический круг» – методическая ошибка, характерная для «качественного» подхода.

**Постановка задачи.** Единственной возможностью вырваться из этого порочного круга является использование количественных данных о типе и величине деформации, при которых возникло большое число мелких складок. В рамках этого направления (Яковлев, 2008а) существует возможность «конструировать» крупную структуру из надежным образом изученных структур меньшего размера (здесь используется индукция как путь логического следования). Это позволяет игнорировать уже известные концепции и получать геометрию исследуемой структуры независимым образом. Более того, эта наиболее достоверная (и сбалансированная) структура сама может являться критерием реалистичности той или иной гипотезы или основанием для выдвижения какой-либо новой модели.

**Материалы, методы, результаты.** Ранее (Яковлев, 1997; 2008а) была разработана иерархическая система объектов складчатых структур (всего 7 уровней от минеральных зерен в слоях до складчатого пояса), в которой границы действующих кинематических моделей и объектов совпадали. Критерием для выделения таких уровней являлся объем слоистости. В обсуждаемой работе (Яковлев, 2008в) использовалось исследование объектов двух уровней – доменов (совокупностей мелких складок в рамках крупных пачек слоев размером в 1-2 км в среднем) и структурных ячеек (до 5-10 доменов, охватывается весь осадочный чехол, размер в доскладчатом состоянии – до 15 км вкост простирания структуры). Исходным материалом служили детальные структурные профили, составленные Т.В. Гиоргобиани и Е.А. Рогожиным (Гиоргобиани, Закарая, 1989; Шолпо и др., 1993), в которых и выделялись домены (рис. 2). В доменах измерялись три параметра: наклон осевых поверхностей складок (к ней принадлежит ось удлинения эллипсоида деформации, перпендикулярная к шарниру складки), угол при вершине складок (или величина укорочения в направлении перпендикулярно к осевой плоскости складки, это же направление – ось укорочения эллипсоида) и наклон зеркала складок как ориентировка исходной слоистости. Кроме этого измерялись длина



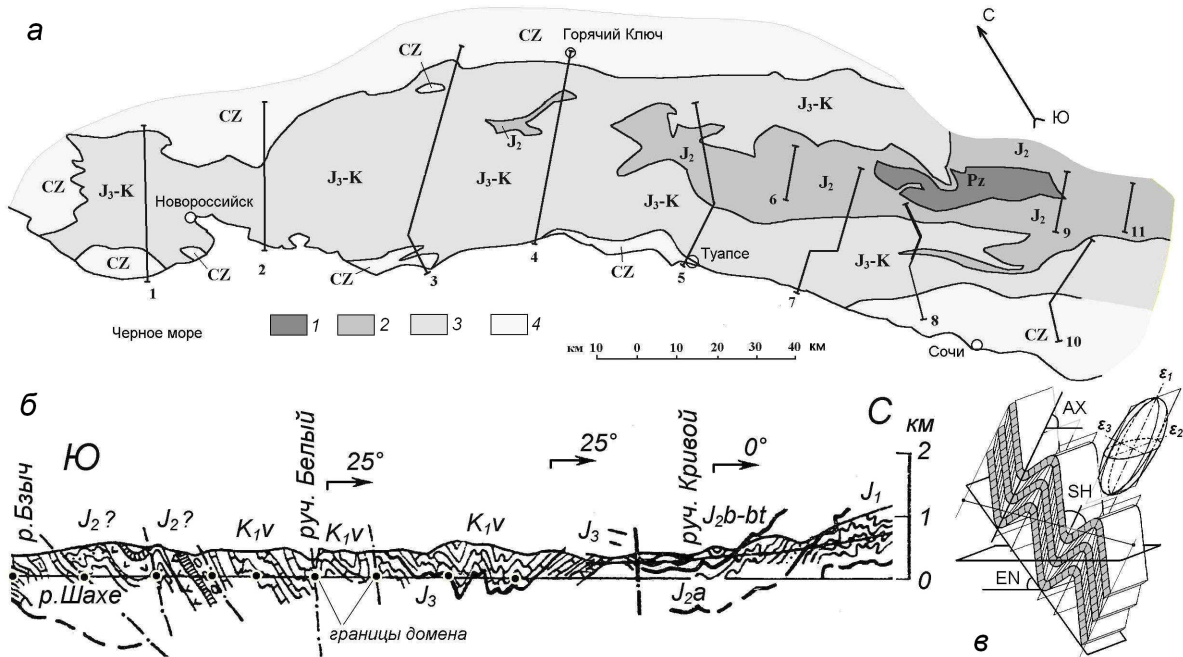
отрезка линии профиля и ее наклон. Деформация домена считается плоской. Для каждого домена по трем кинематическим операциям производилось восстановление доскладчатого положения его отрезка линии профиля в среде с горизонтальной слоистостью (рис. 3). На следующем этапе домены объединялись в доскладчатый профиль с учетом смещений по разрывам. Всего для 11 профилей общей длиной в 350 км (от 5-10 до 50-55 км каждый профиль) было выделено 244 домена.

Определение тектонического укорочения, свободного от влияния дисгармонии, обеспечивалось вычислением этого параметра для 42 структурных ячеек, в которые были объединены все домены. Величина укорочения для ячеек варьировала от 10-15 до 67 % (трехкратного) при среднем укорочении 35 %. Для этой операции предварительно были собраны данные о мощностях осадков во всех структурных зонах, включая литературные данные (Гиоргобиани, Закарая, 1989; Шолпо и др., 1993) и измерения мощностей на конкретных структурных профилях. С учетом интерполяции и экстраполяции были получены мощности всего чехла для каждого домена и (усредненно) для всех структурных ячеек. Эти цифры составляли около 17 км на западе района и уменьшались к востоку до 7-10 км при средней величине 13.4 км. Данные о доскладчатой ширине всех ячеек и осредненные мощности чехла в них позволили построить доскладчатую квази-трехмерную модель (первая стадия) всего Северо-Западного Кавказа, фактически – по 42-м точкам. Кроме этого, были построены еще две модели для двух стадий – для постскладчатой доорогенной (второй) и для посторогенной современной (третьей). Основанием для выделения этих стадий послужили известные представления о двух важных рубежах в истории геологического развития Большого Кавказа: основной складчатости на границе эоцена и олигоцена (на что указывает широко распространенное угловое несогласие) и о начале воздымания горного сооружения в сарматском веке

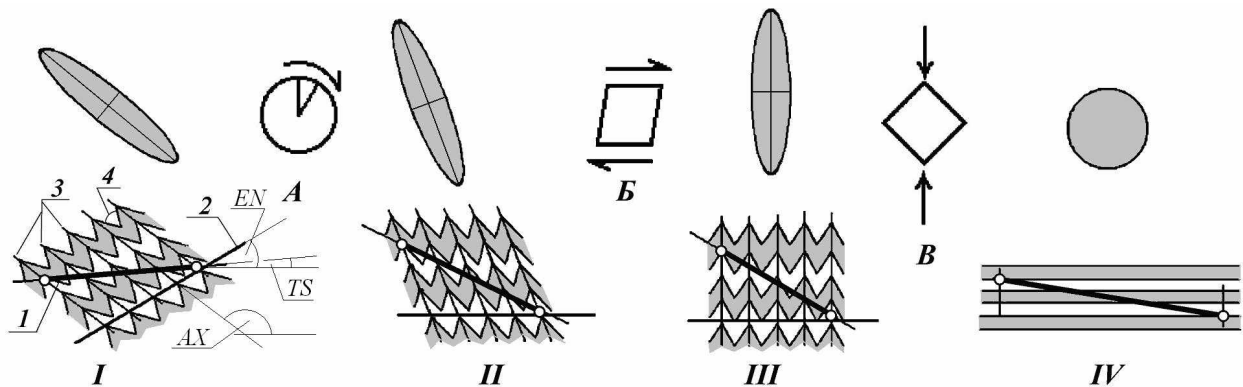
(появление первых конгломератов). Для простоты нами считалось, что размыва кровли чехла между этими событиями не происходило. Исходя из неизменности объема пород чехла, их доскладчатой мощности и величины укорочения, для 42 ячеек были вычислены глубины погружения кровли фундамента для второй стадии, что обеспечивало геометрически формирование складчатости. Поскольку для каждого домена фактически составлялась своя модель стратиграфической колонки и была известна позиция в ней линии профиля, то для ячейки легко вычислялась мощность той части постскладчатой колонны осадков, которая была размыва. Эти мощности могут считаться амплитудами неотектонического поднятия фундамента в каждой ячейке (поднятие относительно второй стадии). Добавляя эти амплитуды к полученным для второй стадии глубинам кровли фундамента, получаем (Яковлев, 2008в) современные глубины кровли фундамента на третьей стадии развития региона (рис. 4).

Вдоль простирания Северо-Западного Кавказа в этой расчетной (прогнозной) структуре рельефа кровли фундамента легко выделяются три разных участка. В западном виден центральный прогиб, глубина которого по кровле фундамента составляет 19-23 км при глубине в северных ячейках 12-13 км. В центральном участке, имеющем общий наклон («перекос») к югу, появился выступ фундамента на вторых с севера ячейках с глубиной 7-9-13 км, а глубина южных ячеек, максимальная для региона в целом, составляет 27-32 км. В восточном участке опять появляется центральный прогиб с меньшей глубиной (до 13-25-15 км), а оба его борта имеют глубины от 2.2-6 км на севере до 7-10 км на юге. Средняя глубина фундамента для региона в целом составляет 13.4 км. Хорошо видно, что рельеф фундамента СЗК не позволяет провести единую субгоризонтальную поверхность срыва по границе «чехол / фундамент». Так как в геодинамических схемах, использующих идею пододвигания южных жестких блоков

**Рис. 1.** Некоторые «концептуальные» пересечения Большого Кавказа, основанные на действии разных предполагаемых механизмов (без расшифровки легенд): *a* – Северо-Западный Кавказ, пододвигание южных блоков (Robinson et al., 1996), *б* – пододвигание жесткого фундамента Закавказской плиты в Центральном Кавказе (Дотдугев, 1986), *в* – схема строения мегантиклинория Большого Кавказа; использован рисунок из (Шолпо, 1978). Показаны четыре сектора – Северо-Западный Кавказ, Центральный Кавказ, Восточный Кавказ, Юго-Восточный Кавказ; Скифская плита и Закавказский массив, основные разломы, тектонические зоны и линии приведенных профилей (*a*, *б*); тремя прямоугольниками и двумя врезками показаны районы собственных исследований; *1* – палеозойские отложения; *2* – нижне и среднеюрские отложения; *3* – верхнеюрские, меловые и нижнекайнозойские отложения; *4* – кайнозойские отложения от олигоценовых до четвертичных; *5* – выходы палеозойского и докембрийского фундамента; *6* – выходы палеозойских пород южнее Главного Кавказского надвига; *7* – границы основных возрастных подразделений и тектонических зон; *8* – разрывы на границах тектонических зон и всего сооружения (П-ТшР – Пшекиш-Тырныаузский шовный разлом, АхР – Ахтырский разлом, ГКН – Главный Кавказский надвиг, Р-ЛшЗ – Рача-Лечхумская шовная зона, ВшР – Вандамский шовный разлом); *9* – основные поперечные структуры на границах секторов и внутри секторов; *10* – стабильные блоки за пределами Большого Кавказа (раннекимерийская Скифская плита, Закавказский массив); *11* – осадочные прогибы в пределах стабильных блоков; *12* – границы горных сооружений.



**Рис. 2.** Схематическая геологическая карта Северо-Западного Кавказа (а) и пример структурного пересечения (б), составленного Е.А. Рогожиным (Шолпо и др., 1993), дается по (Яковлев, 2009б), с изменениями. Показаны границы доменов (б) и их геометрические параметры (в): зеркало складок EN, осевые плоскости AX, величина укорочения SH. Возрасты отложений на карте: 1 – палеозой; 2 – нижняя и средняя юра; 3 – верхняя юра, мел, палеоцен, эоцен; 4 – кайнозой, начиная с олигоцена.



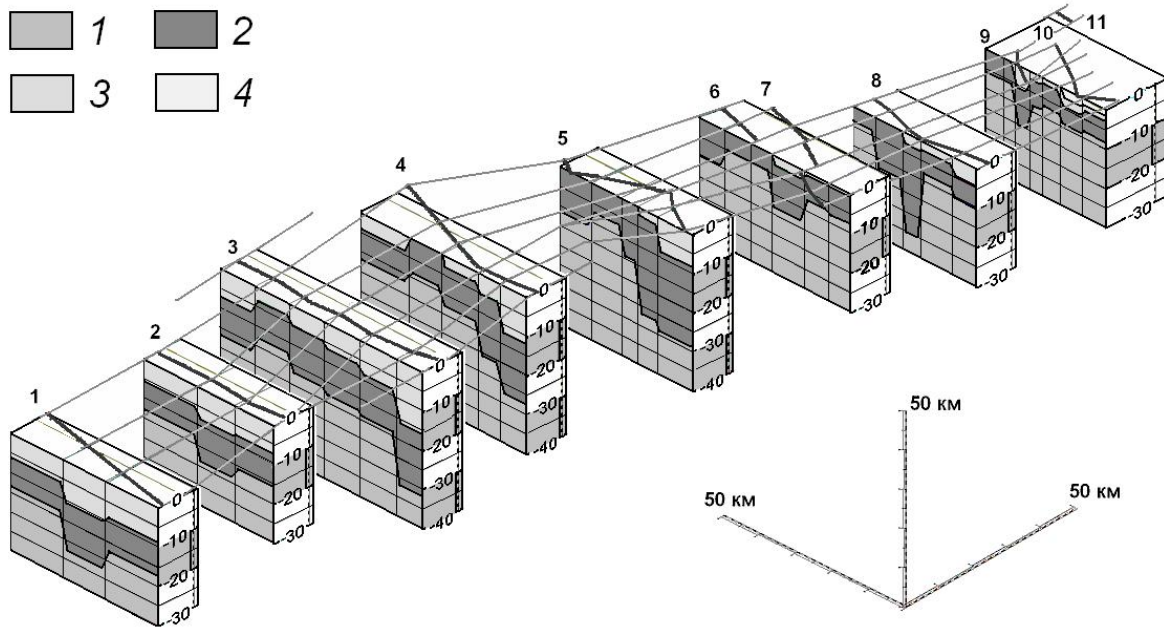
**Рис. 3.** Схема трех кинематических операций, позволяющих восстановить доскладчатое положение структурного домена (Яковлев, 2008). Показаны символические изображения складчатой структуры домена (1–4) для состояний от современного (I) к доскладчатому (IV), эллипсы деформаций, соответствующие тем же состояниям домена, и виды операций: а – поворот (от состояния I к состоянию II), б – горизонтальный простой сдвиг (от II к III), в – растяжение (вертикальный чистый сдвиг, от III к IV); 1 – отрезок линии профиля (измеряются длина и наклон TS); 2 – линия зеркала складок (измеряется наклон EN); 3 – осевые поверхности складок (измеряется наклон AX); 4 – угол схождения крыльев (соответствует величине сокращения складок).

под Большой Кавказ, кровля фундамента располагается субгоризонтально или слабонаклонно к северу на глубинах 5-10 км (рис. 1), то статья завершается утверждением о том, что такие схемы ошибочны (Яковлев, 2008в). Основные этапы метода подробно описаны в более поздней публикации (Яковлев, 2009б).

Вывод об отсутствии общего detachment был подтвержден данными по исследованию статистических характеристик разрывных структур Северо-Западного Кавказа (Яковлев, 2009а). В ис-

следованных 11 разрезах были отмечены все существенные разрывы, для которых после всех измерений и вычислений были известны наклоны сместителей и амплитуды вертикального и горизонтального смещения, что позволило достаточно просто реализовать такое исследование. Количество зафиксированных надвигов и сбросов оказалось сопоставимым, никакого доминирования пологих надвигов южной vergentности не обнаружено.

Специального упоминания заслуживают ре-



**Рис. 4.** Квази-трехмерная модель современной структуры (прогноз), построенная по результатам многоангрового деформационного анализа структур линейной складчатости с сохранением объема осадочного чехла (Яковлев, 2009в). Расположение профилей см. на рис. 2. Возраст комплексов: 1 – палеозойский фундамент; 2 – юра; 3 – мел; 4 – кайнозой.

зультаты прогноза глубинной структуры, полученные для южного ограничения Большого Кавказа в зоне перехода от флишевых структур Чиаурского синклиория к Рача-Лечхумскому разлому и Сачхерской зоне Закавказского массива в пределах Южной Осетии (Яковлев, 2006; 2009в). Было определено, что кровля фундамента в северном блоке должна быть опущена на 10–15 км относительно южного блока для того, чтобы в рамках установленных величин деформации и мощностей осадочного чехла северная складчатая структура Чиаурской зоны просто могла существовать с точки зрения баланса объемов осадочных толщ. Поскольку кровля фундамента складчатой зоны находится ниже «упоров» палеозойского фундамента соседних жестких блоков, то следует признать факт одинаковой величины укорочения чехла и фундамента в процессе основной складчатости. Это не противоречит установленным ранее конформным соотношениям чехла и фундамента к северу от Главного Кавказского разлома (Сомин, 2000) и известному факту отсутствия срывов чехла по кровле фундамента в Сванетском антиклинии. Тем самым наши данные подтверждают эти соотношения чехла и фундамента и для южного фланга Большого Кавказа. Таким образом, полностью отрицается существование срыва чехла по его подошве, который является основой всех гипотез «пододвигания». Добавим к этому тот факт, что в альпийской структуре Большого Кавказа (в пространстве между Пшекиш-Тырнаузским и Рача-Лечхумским шовными разломами) на геологических картах не зафик-

сировано ни одного сколько-нибудь значимого субгоризонтального покрова, несмотря на существующий большой суммарный вертикальный размах структуры.

Геодинамические представления о формировании складчатости в рамках полученных новых данных о структуре осадочного чехла не являются предметом дискуссии в данной статье, поскольку они заведомо гипотетичны. Читатель может найти этот материал в работе, в которой для выдвижения соответствующей гипотезы была использована построенная самая общая схема развития Большого Кавказа (Яковлев, 2008г).

Вывод: достоверность полученных глубин подошвы осадочного слоя, образующих принципиальные черты построенной структуры, основана на строгой логике исследования и на использовании адекватного задаче детального полевого структурного материала.

#### АЛЬТЕРНАТИВА – МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ПАЛЕОНАПРЯЖЕНИЙ, СТРУКТУРНЫХ ПАРАГЕНЕЗОВ И «КОНТРАКЦИОННО-СОДВИГОВАЯ» КОНЦЕПЦИЯ

А.В. Маринин и Л.М. Расцветаев (2008) представили детальное обобщение последних данных по геологическому строению Северо-Западного Кавказа, а также результаты парагенетического анализа трещин, разрывов, других малых структур и реконструкции палеонапряжений по разрывным структурам. Их статья завершается выдвижением гипотезы «содвиг» и «тектонического те-

чения» как доминирующего механизма формирования и соответствующей им схемы строения Большого Кавказа.

**Постановка задачи и ее критика.** В отношении к финальной геодинамической модели обсуждаемая статья построена таким образом, что все ее части представлены как последовательные и необходимые этапы исследования: за короткой постановкой проблемы и теоретической частью идут история исследований, очерк геологического строения, результаты анализа тектонической трещиноватости и разрывов (поля напряжений); показаны особенности структуры и глубинного строения осадочного чехла. Далее обсуждаются величина складчатого сокращения и общие проблемы формирования коллизионных орогенов.

Таким образом, внешне основным методом в статье выступают исследования палеонапряжений по смещениям в трещинах и разрывах в варианте парагенетического анализа (Расцветаев, 2002).

Схема строения региона в такой постановке задачи может оказаться недостоверной. В сколовых трещинах относительно легко находятся направления смещений, но не их амплитуды. Поэтому определение величины деформации, даже собственно «разрывной», по этим данным является крайне сложным делом, а с учетом того, что основная деформация в данном районе реализована в складках, а не в разрывах (Яковлев, 2009а), полную деформацию (что необходимо для анализа геометрии структуры) этим методом определить невозможно.

**Региональные материалы.** Важными и полезными разделами статьи А.В. Маринина и Л.М. Расцветаева (2008) являются очерк истории исследований и сводка региональных стратиграфических и тектонических материалов по Северо-Западному Кавказу. Этот район длительное время служил объектом разнообразных региональных и специальных исследований. Его строение отличается значительной сложностью, что сказалось при выделении структурно-фациальных зон – возникло большое число частных схем строения, которые не всегда согласуются друг с другом. Последние две работы, в которых приводились обобщения по структуре этого региона (Гиоргобиани, Закарая, 1989; Шолпо и др., 1993), не отличались детальностью в представлении тектоники, а также стратиграфии и литологии отложений, поскольку имели свои специальные цели. Многолетние усилия авторов по сбору и систематизации региональных материалов позволили составить компактную геологическую карту, простую тектоническую схему и шесть литолого-стратиграфических колонок для основных структурных элементов с мощностями подразделений. Эта часть статьи представляет собой лучший на сегодняшний день справочный материал по геологии и тектонике Северо-Западного Кавказа.

**Парагенетический анализ.** В статье (Маринин, Расцветаев, 2008) указывается, что в отличие от других исследователей авторы используют парагенетический подход, в рамках которого (Расцветаев, 2002) привлекаются дополнительные данные: трещины раздвижения (жилы) и «содвижения» (в том числе стилолитовые швы). Получаемый дополнительный материал касается типов реологического поведения пород и диагностики природы отдельных членов парагенезов. Поэтому в качестве основных результатов для региона как виды данных указываются ориентировки трех осей главных напряжений, ориентировки надвигов, правых и левых сдвигов, а также жил и стилолитовых швов.

На основании всех материалов делается вывод о существовании трех режимов сжатия: 1) ССВ-ЮЮЗ, вкрест простирания структур; 2) С-Ю, меридионального, косого по отношению к структуре и 3) СЗ-ЮВ, совпадающего с простиранием структур. Пространственные и временные соотношения между ними остались не вполне выясненными. Предполагается, что эти режимы действуют попеременно или совместно, но если одновременно, то в разных местах. В целом информацию по этому разделу следует признать хорошо обоснованной, и она может представлять интерес для регионально-геологических и исследовательских работ.

В конце раздела на фоне обсуждения широкой распространенности правых и (меньше) левых сдвигов приводится упоминание о выделяемых авторами «структурных рисунках», связь которых с выявленными полями напряжений не показана. Сами рисунки являются частью геодинамической модели. Таким образом, результаты исследования полей напряжений в разработке и обосновании самой модели «содвигов» не используются.

**Геодинамическая модель.** Рассматривая проблему происхождения структуры альпийского Большого Кавказа, авторы упоминают только две концепции строения как альтернативные: «субдукционно-поддвиговую» и собственную «контракционно-содвиговую» (Расцветаев, 2002). Иные существующие модели и концепции ими во внимание не принимаются. Для отрицания одной концепции и выдвижения собственной, с точки зрения авторов, достаточно было просто высказать мнение об отсутствии субгоризонтальных покровов и надвигов в приосевых зонах СЗК и об их наличии южнее Главного Кавказского надвига (Маринин, Расцветаев, 2008; с. 195). Никаких данных в обоснование этого положения не приведено. Заметим, что этот аргумент вызывает сомнения: статистические данные (Яковлев, 2009а) говорят, что таких структур нет и южнее тоже. На с. 214 (Маринин, Расцветаев, 2008) приводятся рисунки, поясняющие основной механизм, формирующий складчато-надвиговую структуру

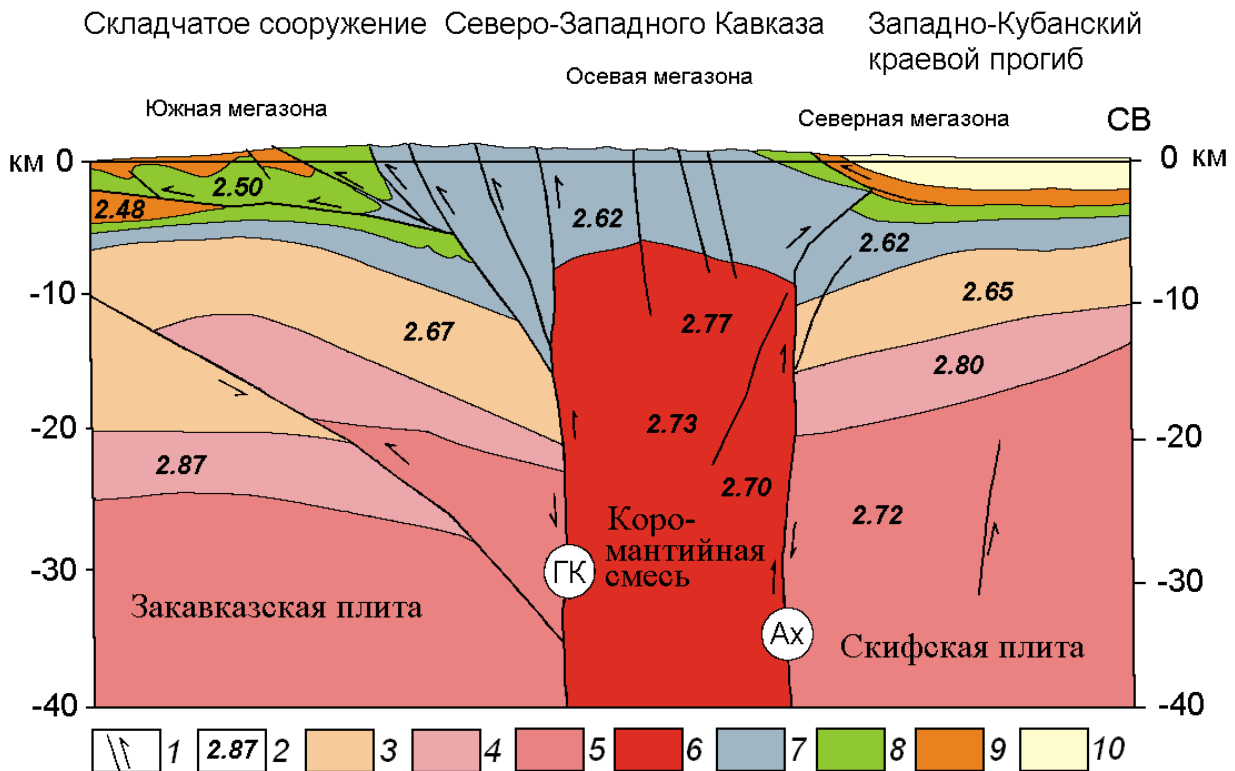


(а именно «тектоническое течение»), а также разрез, несущий принципиальные черты существующего, по мнению авторов, глубинного строения Большого Кавказа (рис. 5).

**Анализ теоретической обоснованности процесса «тектонического течения».** Рассмотрим, насколько обоснован теоретически основной декларируемый механизм. Авторы статьи (Маринин, Расцветаев, 2008) предполагают, что образование всей структуры СЗК и, видимо, любых локальных структур обусловлено действием единственного механизма – «тектонического течения». Чем является «тектоническое течение» в понимании авторов и какие именно структуры в каких случаях этот механизм формирует, никак не определяется. Если обратиться к литературе, в которой упоминается «тектоническое течение» (Гончаров и др., 2005; Лукьянов, 1991), то можно найти и определение, которое ничем не отличается от характеристики полной деформации (это совокупность перемещения, вращения и изменения формы тела), и требование различать «полную деформацию» и «течение». Заметим, что такая ситуация с теоретической базой при постановке задачи с позиций «количественного» подхода

является неприемлемой. Действительно, в данном случае нет возможности установить масштаб структур, формируемых «течением», отделить структуры «течения» от образований иного генезиса (например, «пластических деформаций» А.В. Лукьянова (1991)), разделить все эти структуры по разной амплитуде процесса и т.д. Рассмотрим с этой точки зрения основную структурную единицу сооружения Северо-Западного Кавказа, несомненно существующую, а именно – складку как изгиб слоя. Во всех учебниках можно найти как минимум два механизма ее формирования – продольный изгиб и сплющивание (для компетентного слоя), а также варианты нескольких дополнительных – скалывание, послойное перетекание и др. Автор анализируемой концепции «содвигов», Л.М. Расцветаев, полагаем, должен был прокомментировать свое отношение к этим механизмам, когда предлагал в качестве общего механизма «тектоническое течение»: может ли образоваться складка в результате «течения», или «течение» образует не складки, а какие-то другие структуры.

На последнем пункте надо остановиться особо. В структуре Северо-Западного Кавказа можно выделить большое число типов структур – складки



**Рис. 5.** Геолого-геофизическая модель глубинного строения Северо-Западного Кавказа (Туапсинское пере- сечение) по результатам исследования методами магнитно-теллурического зондирования и обменных волн землетрясений (Маринин, Расцветаев, 2008): 1 – разрывные нарушения (стрелки указывают направление относительного перемещения блоков; буквами обозначены основные глубинные швы Северо-Западного Кавказа: ГК – Главный Кавказский, Ах – Ахтырский); 2 – расчетные значения средней плотности слоя, г/см<sup>3</sup>; 3 – верхний слой консолидированной коры (предположительно, сиалические породы); 4-5 – более глубокие слои консолидированной коры: предположительно, фемические или фемосиалические породы большей (4) и меньшей (5) плотности; 6 – коромантийная смесь; 7-10 – осадочные и осадочно- вулканогенные толщи юры (7), нижнего мела (8), верхнего мела и палеогена (9) и неогена – четверти (10).

нескольких порядков размером от сантиметров до 5-10 км, разрывы нескольких типов, будинаж, зоны дробления и т.д. Целью тектонофизического и тектонического исследования должно быть детальное (по возможности) объяснение механизмов формирования каждой такой структуры отдельно и указание на особенности процессов в каждом случае. Попытка охватить единым объяснением в виде одного механизма («тектонического течения») формирование всех типов структур направлена в «противоположную» сторону и выглядит, как минимум, преждевременным обобщением. Очевидно, что каким-либо единственным механизмом объяснить формирование мультимасштабных складчатых структур и разрывов никак нельзя. Даже для отдельной складки «подобного» типа ее морфологию нельзя объяснить единственным процессом для всех слоев сразу. Но если говорить не о каком-то одном механизме, а о нескольких процессах, то для их разделения потребуется вводить количественные модели изменения формы структур в зависимости от «амплитуды» этих процессов, что является уже частью «количественного» подхода. Это означает, что «качественный» подход, оперирующий единственным «умозрительным» механизмом, в применении к складчатости неэффективен в принципе.

Таким образом, возможность «тектонического течения» должна быть доказана прежде всего теоретически, чего, к сожалению, сделано не было.

**Анализ достоверности природных структур, образуемых «тектоническим течением».** Конкретные структуры «латерального перемещения» представлены в статье (Маринин, Расцветаев, 2008, рис. 9, с. 214) в разделе «О некоторых особенностях геологической структуры и глубинного строения Северо-Западного Кавказа». К сожалению, не приведено описание типа (типов) структурных данных, позволивших авторам эти структуры оконтурить. Например, неясно, чем отличается внутреннее строение структур течения от вмещающего их матрикса и насколько достоверно могут быть установлены эти отличия в поле. Упоминаются только поперечные структуры (флексуры, разломы?), которые выступают в роли «упоров» для частных «кометообразных» структур течения. Что именно позволяет считать зону разлома существенно более вязкой (а не наоборот, как обычно), чем окружающие ее породы, не объясняется. Использование этой информации создает серьезные внутренние противоречия в концепции «сдвигов». Так, утверждается, что существенный по объему отток горных масс за пределы всего сооружения в горизонтальном направлении (по простиранию) приводит к укорочению литосферы (с. 195). Но «естественные барьеры» в виде поперечных разломов (с. 216) должны препятствовать этому потоку. Условия

поперечного сжатия (подтверждаемые полями напряжений) действительно могут формировать зоны «оттока» структур латерального течения, но это же поперечное сжатие в других местах должно блокировать возникновение «зон аккумуляции» и расширение структуры вкост простирания, необходимое для них. Еще одна логическая и фактическая ошибка концепции была замечена ранее (в работе (Большой..., 2007), с. 339). В тектонических зонах к северу от Главного Кавказского надвига после основной складчатости на рубеже средней и поздней юры сформировалась карбонатная платформа, и там отсутствовали заметные позднеальпийские деформации, но это игнорируется в концепции, поскольку именно эта часть структуры составляет главное «тело» постэоценового «сдвига», которое обеспечило основное укорочение структуры.

Наша оценка «сдвиговой» концепции (в том виде, в каком она была представлена), сделанная с позиций «количественного» подхода, состоит в следующем. В условиях отсутствия теоретического описания явления «тектонического течения», ясных критериев выделения в природе «структур течения», а также в свете внутренних противоречий и содержащихся в концепции фактических ошибок нельзя признать достоверными как предложенные структуры, так и само явление.

**Некоторые замечания по поводу «тектонического течения».** В этом месте изложения имеет смысл дать необходимые комментарии и по поводу «тектонического течения», и по поводу гипотетического удлинения структуры в латеральном направлении. Если опираться на физическую суть течения вообще, а именно на возникновение больших углов сдвига при простом сдвиге (это то, что отличает жидкость от твердого тела), то к течению в геологических структурах следует относить явление межслоевого проскальзывания, разломы и зоны дробления. Деформации сдвига в этих структурах велики, и измерить их (по углу сдвига) чаще всего невозможно. При таком взгляде все встает на свои места: есть складчатая структура без нарушения сплошности всей толщи, которую можно картировать и регистрировать в профилях (в ней «течения» нет), а также существуют разрывы и зоны дробления, которые могут быть отражены общеизвестными способами и на картах, и на разрезах. Тогда деформацию структуры (складчатую) можно и нужно измерять, а разрывы имеют амплитуды смещения, которые желательнее как-то оценивать. То есть обычных структурных методов исследований вполне достаточно, а предлагаемое в работе (Маринин, Расцветаев, 2008) выделение «структур течения» и механизма «тектонического течения» оказывается избыточным.

Тем не менее проведем мысленный эксперимент — определим, какие структуры может

формировать предлагаемое «тектоническое течение», и посмотрим, существуют ли они в пределах Большого Кавказа. Заметим, что, возможно, где-то такие структуры есть. Если имеет место регионально распространенное удлинение структуры вдоль шарниров многочисленных мелких складок, обеспечивающее удаление больших объемов пород за пределы всего сооружения, то это должно приводить к нескольким структурным следствиям. 1) На уровне видимых в обнажении структур это будут будинаж и трещины отрыва, перпендикулярные шарнирам складок. На Большом Кавказе нет таких структур, выраженных регионально, нет и публикаций с описаниями таких деформаций. Опираясь на собственные наблюдения в Тфанском антиклинории и Чиатурском синклинории, на основании этих признаков можно говорить максимум о 1-2 % удлинении, да и то только местами. 2) В региональном плане для структуры длиной 1250 км и начальной шириной около 100 км (Большой Кавказ) любое смещение в сторону от некоторой центральной позиции (к западу — на запад, к востоку — на восток) на 10 % (т.е. общее удлинение всего на 10 %, а не многократное, как в концепции) должно приводить к суммарному смещению на 60 км всего объема складчатого сооружения относительно недеформированных блоков к северу и югу (а именно относительно Скифской плиты и Закавказского массива) на меридианах обеих периклиналей Большого Кавказа. В этом случае должны существовать либо два разлома (региональных сдвига) с указанной амплитудой сдвига на границах жестких блоков (но таких структур на Кавказе просто нет), либо мы должны видеть пластическое сдвигание с примерно удвоенной амплитудой (100 км смещения на 25 км ширины зоны, т.е. для половины поперечника) относительно центральной оси структуры. Последнее должно приводить к широчайшему развитию складок с вертикальными шарнирами, вертикальных трещин отрыва, диагональных к структуре, и т.д. Такие структуры на Большом Кавказе тоже отсутствуют. 3) По концепции содвигов весь выжатый материал (в объеме в 2-4 раза больше существующего, см. ниже) удален за пределы периклиналей. Поскольку в этом процессе сдвиговая компонента течения теоретически нарастает к периклиналям, то, очевидно, именно в периклиналях мы должны видеть наиболее деформированные и дезинтегрированные породы. Однако там, наоборот, находятся наиболее просто устроенные складки с минимальным поперечным сокращением (в районе с. Конахкенд на Юго-Восточном Кавказе и на поперечнике г. Анапы в СЗК, см. рис. 1а). 4) Что касается предполагаемого вертикального «выноса» пород «тектоническим течением», то здесь это легко фиксируется определенным возрастным и страти-

графическим уровнем пород в обнажениях. Этот аспект мы проанализируем ниже, при обсуждении необходимости сохранения баланса объемов пород.

Таким образом, анализ возможных структурных следствий процесса «тектонического течения» для Большого Кавказа как на локальном, так и на региональном уровнях не дает возможности считать его достоверным.

#### АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ ВЫДВИНУТОЙ МОДЕЛИ ГЛУБИННОЙ СТРУКТУРЫ, СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ КОНЦЕПЦИИ «СОДВИГОВ»

Рассмотрение модели глубинной структуры (основного результата в свете поставленной в настоящей статье задачи) удобнее проводить после изложения информации, содержащейся в следующем важном разделе статьи — «О величине горизонтального сокращения литосферы...» (Маринин, Расцветаев, 2008, с. 218). Используя метод оценки укорочения по геометрии доменов (дана ссылка на (Яковлев, 2002)), авторы определили величины укорочения в четырех пересечениях, составившие от 4.7 до 24.3 км (от 8 до 44 %). Упомянута также оценка по избыточной длине слоя (со ссылкой на работу М.В. Муратова (1940)). Далее отмечается, что эти данные относятся только к южной «мегазоне», а в «осевой мегазоне» можно ожидать «...значительно большие величины горизонтального сокращения». В конце этого раздела говорится уже, что амплитуда сокращения «... по-видимому, превышала 200 км» (там же, с. 219), а по палеомагнитным данным составляла от 300 до 900 км. Складывается общее впечатление, что, по мнению авторов, сокращение 200 км является наиболее реальным, хотя они готовы принять и большую величину. То, что здесь в один ряд ставятся совершенно разнородные данные, имеющие разную точность, является некорректным приемом. На наш взгляд, определение укорочения по геометрии структурных доменов является наиболее точным и должно иметь приоритет именно по типу данных: величина укорочения прямо замеряется по геометрии структуры и деформационным параметрам доменов. Соответственно, использование всех других сведений, косвенных по сути, и дающих приблизительные результаты, в частности палеомагнитных данных, может быть оправданным только при отсутствии таких прямых измерений. В разделе не упомянуты известные авторам более полные и точные данные, полученные тем же методом анализа геометрии доменов (наша квази-трехмерная модель осадочного чехла (Яковлев, 2008в), см. раздел настоящей статьи выше). Полагаем, что правильнее было бы либо не приводить никаких оценок сокращения

по нашему методу, либо упомянуть наши данные и указать, на основании чего они авторами не принимаются. Характерно, что никак не описан сам метод получения оценки сокращения в 200 км как наиболее отвечающей концепции «тектонического течения». По устному сообщению Л.М. Расцветаева, эта оценка получена по объемам осадочных толщ в предгорных прогибах, в предположении, что они попали туда в результате размыва пород, выдвинутых вверх механизмом «тектонического течения». То, что метод получения столь важной оценки никак не объяснен, не позволяет оценить обоснованность его результатов.

С позиций «количественного» подхода материал, изложенный в разделе, может быть оценен как методически некорректный, а основной результат (200 км укорочения) — как недостоверный.

Перейдем к характеристике собственно самой модели глубинного строения Северо-Западного Кавказа, отвечающей концепции «содвигов» (рис. 5). Как оказалось, предметом отдельного расследования здесь может выступать авторство конкретной прорисовки этой структуры. С одной стороны, модель составлена по данным геофизических исследований, а потому она, с позиции авторов, видимо, принимается как объективная, «точная». С другой стороны, в нее внесены коррективы (к сожалению, какие именно и на каких основаниях — осталось неясно), в том числе добавлена поверхностная структура. Здесь опять обнаруживаются серьезные противоречия — либо надо предъявить читателю чисто «геофизическую» структуру как точную, полученную объективным методом (и указать, кстати, точность этих данных), либо прямо сказать, что приводимая схема строения является ее авторской (Расцветаев, 2002) интерпретацией. Последнее, вероятно, соответствует реальному положению дел, но в этом случае, во избежание ошибки типа «логического круга», нельзя указывать, что эта структура «точно» отражает природу и подтверждает концепцию «содвигов». Кроме того, заметим, что показанные на схеме пологие срывы на глубинах 7-10 км, которые дают основание говорить о реальности необходимого для концепции «содвигов» многократного укорочения пространства, отсутствуют в структурных профилях, приведенных в этой статье ранее. Это противоречие авторами, к сожалению, тоже никак не комментируется.

В этом месте изложения удобно обсудить проблему сохранения объема вещества при складчато-разрывных деформациях. Напомним, что необходимость сохранения баланса объемов диктуется физическим законом сохранения вещества. Это означает, что при условии неизменности плотности пород их объем должен сохраняться. Как было обосновано выше, перетеканиями вещества вдоль шарниров

складок при анализе линейной складчатости на структурных пересечениях Большого Кавказа можно пренебречь, т.е. все деформации являются в первом приближении плоскими. Рассмотрим обсуждаемую концепцию «содвигов» и выдвинутую модель глубинной структуры с этих позиций. Поскольку исходная доскладчатая мощность чехла в среднем составляла 13 км, то при декларированном укорочении в 200 км и современной длине пересечения в 50 км (что дает пятикратное укорочение) результат составит 65 км постскладчатой вертикальной мощности пород чехла, которые в настоящий момент либо должны быть большей частью размывы (на 50-55 км, что нереально), либо погружены на очень большую глубину (но это противоречит схеме глубинного строения, поскольку подошва чехла на рис. 5 занимает глубины только 7-10 км). Заметим также, что существует вполне конкретная «глубина структуры», связанная с уровнем стратиграфии пород на высоте линии каждого профиля в каждой точке на геологической карте, что в обсуждаемой «содвиговой» структуре (рис. 5) в ее конкретной прорисовке никак не учитывается. Таким образом, в структуре, предъявленной как свидетельство реальности «содвигов» (Маринин, Расцветаев, 2008; с. 217), игнорируются сохранение объема вещества и региональные геологические данные.

С позиций «количественного» подхода по совокупности степени обоснованности сделанных в рамках концепции «содвигов» оценок сокращения пространства (200 км), обоснованности глубинной структуры и ее соответствия балансу объемов пород осадочного чехла модель глубинного строения, приведенную в статье, нельзя считать достоверной.

В завершение анализа «контракционно-содвиговой» концепции Л.М.Расцветаева (2002) рассмотрим логическую взаимосвязь всех частей исследования (Маринин, Расцветаев, 2008). Добротный региональный геологический материал (включая анализ поля напряжений), как оказалось, никак не был использован при разработке механизма «тектонического течения», а информация о полях напряжений не имеет отношения к оценкам сокращения пространства. При оценке величины сокращения пространства приоритет отдан не анализу структурных данных, как можно было бы ожидать, а способу, основанному на анализе мощностей осадков в предгорных прогибах. Надежность таких оценок ничем не доказана. При разработке модели глубинной структуры были проигнорированы важные геологические и тектонофизические данные. Поэтому есть возможность утверждать, что оценка сокращения пространства в 200 км была дана заранее из общих соображений в соответствии со схемами

тектоники плит, а выдвигание механизма «тектонического течения» имело целью обосновать соответствующее исчезновение колоссальных объемов пород. Таким образом, конечные выводы по модели строения региона и механизму его формирования могли быть сделаны заранее и только умозрительным образом, исходя из общих теоретических представлений, т.е. обычным для «качественного» подхода способом.

Итак, всесторонняя оценка данной концепции позволяет сделать следующие выводы. В ней не сформулированы определения механизма «тектонического течения», не анализируется, какие структуры им могут быть образованы, а также не приводятся фактические данные, которые могли бы обосновать модель глубинного строения. В связи с этим «контракционно-сдвиговую» концепцию, проанализированную выше, можно квалифицировать как не отвечающую требованиям достоверности. Следовательно, и использование ее для описания строения региона не представляется приоритетным.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

На тему о положении дел в методологии геологических и тектонических исследований последнее время вышло несколько публикаций (Леонов, 2009; Наймарк, 2006; Рябухин, 2006; Эз, 2009). Так, в статье А.А. Наймарка (2006) речь идет о сопоставлении концепций в рамках фиксизма и мобилизма и о том, что методологический уровень исследований в тектонике и структурной геологии в части разработки геодинамических моделей не позволяет принимать обоснованные заключения об «истинности» той или иной концепции. В целом соглашаясь с этим мнением, хотелось бы сделать важное к нему дополнение. Вышесказанное справедливо в отношении результатов, полученных в рамках «качественного», умозрительно-эмпирического подхода, при котором любая концепция имеет собственные, часто индивидуально-авторские критерии достоверности (мы относим к «умозрительному» уровню и фиксизм, и мобилизм, в том числе «контракционно-сдвиговую» концепцию). Только когда методология исследований выйдет на количественный уровень, можно будет использовать обычные для точных наук процедуры оценки достоверности результатов, имеющие относительно универсальный характер. Комплекс предлагаемых количественных методов исследования складчатых структур в самом первом приближении, как нам представляется, соответствует требованиям такого уровня: здесь уже можно использовать общепринятые в точных науках критерии достоверности, позволяющие принимать или не принимать

результаты. С удовлетворением заметим, что понимание необходимости изменения общей методологии тектоники и перехода от описательных концепций к формальным и количественным моделям уже существует: например, в работе Ю.Г. Леонова (2009, с. 24) специально указывается на важную роль в этом именно тектонофизики, «... если относиться к ней, как к симбиозу геологии и физики».

#### Список литературы

- Адамия Ш.А., Беридзе М.А., Кипиани Я.Р. и др.* Проблема альпийской геодинамики Большого Кавказа // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. М.: Наука, 1987а. С. 55-61.
- Адамия Ш.А., Кипиани Я.Р., Чичуа Г.К.* Проблема происхождения складчатости Большого Кавказа // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. М.: Наука, 1987б. С. 40-47.
- Белоусов В.В.* Большой Кавказ как тектоническая лаборатория // Проблемы геодинамики Кавказа. М.: Наука, 1982. С. 9-13.
- Большой Кавказ в альпийскую эпоху / Отв. ред. Ю.Г. Леонов. М.: ГЕОС, 2007. 368 с.
- Гамкрелидзе И.П.* Тектоническое строение и альпийская геодинамика Кавказа // Ер. ГИН АН ГССР. 1984. № 86. С. 105-184.
- Геологический словарь. М.: Недра. 1978. Т. 1. 487 с.; Т. 2. 456 с.
- Гиоргобиани Т.В., Закарая Д.П.* Складчатая структура Северо-Западного Кавказа и механизм ее формирования. Тбилиси: Мецниереба, 1989. 61 с.
- Гончаров М.А.* Механизм геосинклинального складкообразования. М.: Недра, 1988. 264 с.
- Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С.* Введение в тектонофизику: учебное пособие / Отв. ред. Н.В. Короновский. М.: КДУ, 2005. 496 с.
- Дотдугев С.И.* О покровном строении Большого Кавказа // Геотектоника. 1986. № 5. С. 94-106.
- Леонов Ю.Г.* О некоторых особенностях геологии на современном этапе // История наук о Земле. Институт истории естествознания и техники РАН. М.: ИИЕТ РАН, 2009. С. 9-27.
- Лукьянов А.В.* Пластические деформации и тектоническое течение в литосфере. М.: Наука, 1991. 144 с.
- Маринин А.В., Расцветаев Л.М.* Структурные парагенезы Северо-Западного Кавказа // Проблемы тектонофизики. К сорокалетию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. Отв. ред. Ю.Л. Ребецкий. М.: Изд. ИФЗ, 2008. С. 191-224.
- Милановский Е.Е., Хаин В.Е.* Геологическое строение Кавказа. М.: Изд-во МГУ, 1963. 357 с.
- Муратов М.В.* Очерк тектоники окрестностей минеральных источников р. Чвижепсе (южный

- склон Главного Кавказского хребта) // Бюл. МОИП, отд. геол. 1940. Т. XVIII(2). С. 3–36.
- Наймарк А.А.* Полвека дискуссии фиксизмов и неомобилистов: анализ реальности или гипотез, поиски истины или «удобной» теории? // Вестник КРАУНЦ. 2006. № 2. С. 177–187.
- Проблемы тектонофизики. К сорокалетию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН / Отв. ред. Ю.Л. Ребецкий. М.: Изд. ИФЗ, 2008. 468 с.
- Расцветаев Л.М.* Сдвиги и альпийская геодинамика Кавказского региона // Геодинамика Кавказа. М.: Наука, 1989. С. 109–112.
- Расцветаев Л.М.* О некоторых актуальных проблемах структурной геологии и тектонофизики // Тектонофизика сегодня / Отв. ред. В.Н. Страхов, Ю.Г. Леонов. М.: Изд-во ИФЗ, 2002. С. 333–373.
- Рябухин А.Г.* «Фиксизм – мобилизм» – дискуссия о приоритете вертикальных и горизонтальных движений в тектоносфере Земли (методологические аспекты) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2006. № 3. С. 35–41.
- Сомин М.Л.* О структуре осевых зон Центрального Кавказа // ДАН. 2000. Т. 375. № 5. С. 662–665.
- Шевченко В.И.* Происхождение структур горизонтального сжатия в складчатом сооружении (на примере Большого Кавказа). М.: Наука, 1984. 158 с.
- Шолто В.Н.* Альпийская геодинамика Большого Кавказа. М.: Недра, 1978. 176 с.
- Шолто В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А.* Складчатость Большого Кавказа. М.: Наука, 1993. 192 с.
- Эз В.В.* Заблуждения и предрассудки в анализе тектонических структур // В.В. Эз. Научные труды. М.: ИФЗ РАН, 2009. С. 111 – 180.
- Яковлев Ф.Л.* Исследование кинематики линейной складчатости (на примере Юго-Восточного Кавказа) // Геотектоника. 1987. № 4. С. 31–48.
- Яковлев Ф.Л.* Диагностика механизмов образования линейной складчатости по количественным критериям ее морфологии (на примере Большого Кавказа). М.: ОИФЗ РАН, 1997. 76 с.
- Яковлев Ф.Л.* Исследования процессов и механизмов развития пликативных деформаций в земной коре (обзор существующих методических подходов) // Тектонофизика сегодня / Отв. ред. В.Н. Страхов, Ю.Г. Леонов. М.: Изд-во ИФЗ, 2002. С. 311–332.
- Яковлев Ф.Л.* О построении рельефа поверхности раздела чехол-фундамент Большого Кавказа на основе определения величин сокращения складчатых структур // Области активного тектогенеза в современной и древней истории Земли. Материалы XXXIX тектонического совещания. Т. II / Отв. ред. Ю.В. Карякин. М., 2006. С. 411–415.
- Яковлев Ф.Л.* Многограновый деформационный анализ структур линейной складчатости // ДАН. 2008а. Т. 422. № 3. С. 371–376.
- Яковлев Ф.Л.* Количественные методы анализа природных механизмов формирования складок и систем линейной складчатости // Проблемы тектонофизики. К сорокалетию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН / Отв. ред. Ю.Л. Ребецкий. М.: Изд-во ИФЗ, 2008б. С. 149–188.
- Яковлев Ф.Л.* Первый вариант трехмерной модели строения осадочного чехла Северо-Западного Кавказа по данным поля складчатых деформаций // Проблемы тектонофизики. К сорокалетию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН / Отв. ред. Ю.Л. Ребецкий. М.: Изд-во ИФЗ. 2008в. С. 335–345.
- Яковлев Ф.Л.* Владимир Владимирович Белоусов и проблема происхождения складчатости // Геофизические исследования. 2008г. Т. 9. № 1. С. 56–75.
- Яковлев Ф.Л.* Опыт типологии разрывов в структурах линейной складчатости на примере Большого Кавказа // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия / Ред. Е.В. Скляр, С.И. Шерман. Иркутск: 2009а. С. 128–131.
- Яковлев Ф.Л.* Реконструкция структур линейной складчатости с использованием объемного балансирования // Физика Земли. 2009б. № 11. С. 1023–1034.
- Яковлев Ф.Л.* Тектонофизические методы оценки величины конечной деформации для структур линейной складчатости разного ранга: примеры решения геотектонических задач // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. Материалы конференции. / Отв. ред. – Ю.Л. Ребецкий. М.: Изд-во ИФЗ РАН. 2009в. Т. 1С. 133–146.
- Hudleston P.J., Stephansson O.* Layer shortening and foldshape development in the buckling of single layers // Tectonophysics. 1973. V. 17. № 4. P. 299–321.
- Robinson A.G., Rudat J.H., Banks C.J., Wiles R.L.F.* Petroleum geology of the Black Sea // Marine and petroleum Geology. 1996. V. 13(2). P. 195–223.
- Saintot A., Brunet M.-F., Yakovlev F. et al.* The Mesozoic–Cenozoic Tectonic Evolution Of The Greater Caucasus // Gee, D.G., Stephenson, R.A. (eds) European Lithosphere Dynamics. Geological Society. London. Memoirs. 2006. V. 32. P. 277–289.

ДЕФОРМАЦИОННЫЙ МНОГОРАНГОВЫЙ АНАЛИЗ  
**STRAIN MULTIRANK ANALYSIS AND A STRUCTURAL PARAGENESIS:  
THE COMPARISON OF APPROACHES AND RESULTS**

**F.L. Yakovlev**

*Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, 123995, GSP-5, Russia, Moscow*

The paper describes comparison of methodology and results of application of two approaches. The “quantitative” approach is based on the analysis of strain of natural multirank linear folded structures. The “qualitative” approach is based on an example of the paragenetic analysis of fracture structures. The paper shows accuracy and technique of the first approach for creating of methods and collecting results. The author revealed methodological errors of the second approach (regarding a suggested concept “sodvigs” or “convergent faults”). The quantitative data on a relief of a top of the Paleozoic basement collected at the first accurate approach do not confirm the main statements of some “qualitative” models (including – “convergent faults”) – subhorizontal position of the common detachment on this border on depths of 5-10 km and “rigidity” of the basement within of whole structure of the Greater Caucasus. Necessity of creation of quantitative models for tectonic and geodynamic research is under discussion now.

*Keywords: tectonophysics, structural geology, balanced sections, strain value, geodynamics*