
Дискуссии

УДК 551.24.01; 551.242.1; 551.242

<https://doi.org/10.31431/1816-5524-2026-1-69-80-98>

О НЕСООТВЕТСТВИИ ОСНОВНЫХ ПОСТУЛАТОВ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЛИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ СВОЙСТВАМ ПРИРОДНЫХ СТРУКТУР КОНТИНЕНТОВ. ЧАСТЬ 1

© 2026 Ф.Л. Яковлев

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия, 123242; e-mail: yak@ifz.ru

Поступила в редакцию 11.04.2024; после доработки 05.03.2026; принята в печать 27.03.2026

Выдвинуто предположение, что причинами существующего последние десятилетия кризиса в геодинамике тектоносферы является нереалистичность известных шести положений, образующих основу тектоники плит, к которым добавлены свойство постоянства объема континентальной коры и расширенное понимание актуализма. С этих позиций в первой части статьи анализируются объекты двух масштабов: структура осадочного чехла Большого Кавказа и его же земная кора и литосфера. Также рассмотрены структуры каледонского Тянь-Шаня, альпийского Пиренейско-Провансальского прогиба и мезозойского Сихотэ-Алиня. Выявленные свойства структур не отвечают изучаемым положениям — деформации не сосредоточены на границах плит, «аккреционная призма» в складчатости не наблюдается, мощность континентальной коры в процессе развития структур уменьшается, принцип «актуализма» использовался некорректно. Для преодоления кризиса в геодинамике тектоносферы предлагается отказаться от использования неподтвержденных теоретических положений тектоники плит.

Ключевые слова: геодинамика, континентальная кора, тектоника плит, складкообразование, геосинклинальная концепция.

ВВЕДЕНИЕ

Около 50 лет назад в науках о развитии Земли произошла смена основной научной парадигмы — геосинклинальная концепция уступила место представлениям о тектонике литосферных плит или, более широко, — геодинамике. Замена одной парадигмы на другую была резкой и драматичной в отношении, прежде всего, основ методологии. Напомним основные черты этого перехода.

В геосинклинальной концепции развитие структуры верхних частей земной коры трактовалось в основном как последовательность событий, связанных с длительным воздействием на объект глубоких структур мантии. Развитие этой концепции привело к появлению представлений об эндогенных режимах (Белоусов, 1978),

как последнего по времени обобщения в рамках этого направления геотектоники. Выводы о такой связи делались на основе достоверно восстановленной фанерозойской истории развития крупных структур — как платформ, так и подвижных поясов; таким образом, эта система знаний имела, прежде всего, феноменологический, описательный характер. С самого начала геосинклинальная концепция включала в себя констатацию циклического характера развития подвижных поясов в виде главных циклов фанерозоя — каледонского, герцинского, альпийского, которые начинались со специфического осадконакопления и завершались складчатостью, магматизмом, метаморфизмом и горообразованием. В результате осадки, накопленные в этом цикле, наращивали кристаллический слой континентальной земной коры. Этот процесс обозначался

термином «консолидация»; в дальнейшем блоки коры, прошедшие через такие события, становились платформами или плитами. В разработку этой концепции в разное время внесли заметные вклады такие видные геологи как Дж. Дэна, Э. Ог, М. Бертран, А.Д. Архангельский, Н.С. Шатский, В.В. Белоусов, Г. Штилле, Р. ван Беммелен, М.В. Муратов, В.Е. Хаин и другие.

Как почти полная методическая противоположность этому подходу, тектоника плит в ее современном виде была исторически чрезвычайно быстро сформулирована в 1960–1970 гг. главным образом геофизиками (Г. Хесс, Р. Дитц, Д. Уилсон, Э. Буллард, Д. Морган, Д. Маккензи, К. Ле Пишон и другие). Она была основана на данных, полученных при изучении геологической структуры блоков океанической коры с применением геофизических методов, а также на результатах глубоководного бурения дна океанов. В это же время были предложены модели, ставшие затем неотъемлемыми частями концепции «новой глобальной» тектоники. К ним можно отнести деление литосферы на жесткие плиты, «плавающие» независимо друг от друга по поверхности маловязкой астеносферы; гипотезу разрастания океанической коры в срединно-океанических хребтах, и представления о молодом возрасте этой коры — не древнее мезозоя; идею о тепловой мантийной конвекции, как источнике всей тектонической активности. Важным преимуществом нового подхода (в отличие от геосинклинального, эмпирического) была возможность выдвижения проверяемых численных моделей. Довольно быстро сторонники нового методологического подхода перешли от объяснения наблюдаемых явлений в океанах к трактовкам как строения, так и истории развития континентальных структур, а также к переосмыслению всей совокупности знаний, накопленных в «доплитный» период континентальной тектоники. При этом интерпретация заключалась в приспособлении давно известной информации о строении и развитии континентальных структур к определенным канонам новой теории, а обычный путь получения новых знаний путем обобщения установленных частных фактов и выдвижения на этой основе новых моделей почти не использовался. Новая система знаний почти полностью отрицала все выводы, сделанные в «континентальной» тектонике, а в методическом отношении она не унаследовала практически ничего из достижений предшествующей концепции. Можно констатировать, что основные классические методы получения знаний в тектонике «геосинклинального» периода сейчас остаются почти забытыми. Несмотря на существующие многочисленные спорные аспекты, тектоника плит в настоящий момент

является общепризнанной основой синтеза знаний о развитии земной коры (Хаин, Ломизе, 1995, 2005; Turcotte, Schubert, 2002 и др.).

Важной частью новой системы знаний является геодинамика (здесь и везде далее имеется ввиду «геодинамика тектоносферы» (Геологический..., 2010)), в рамках которой, опираясь в основном на положения тектоники плит, строятся численные модели явлений. Позитивной стороной современной геодинамики, несомненно, является широкое использование при разработке ее моделей законов физики, химии и других точных наук.

Однако, все это не означает, что современная геодинамика тектоносферы является беспроблемной, успешно развивающейся наукой. Первоначальный успех тектоники плит был, как нам представляется, обусловлен в основном тем, что исследователи увидели возможность решения на уровне численных моделей ряда важных, если не центральных проблем геотектоники как науки — например, выявления источника энергии тектонических движений, оценки масштабов латеральных перемещения платформенных блоков, определения причин вертикальных и горизонтальных движений, объяснения цикличности тектонических событий. Прошедшие пятьдесят лет показали, что значительных успехов в геотектонике и геодинамике не случилось: все указанные проблемы по-прежнему являются дискуссионными. Более того, в последние годы все чаще в отечественных публикациях высказывается мысль о существовании серьезных кризисных явлений в геотектонике и геодинамике. Об этом говорится в обзорных публикациях, дискуссионных статьях и монографиях за авторством или под редакцией ряда исследователей (А.Ю. Антонов, Б.А. Блюман, А.М. Жирнов, В.Б. Караулов, Ю.С. Кононов, Р.Г. Корнева, Ю.М. Михалев, К.Д. Оллиер и К.Ф. Пайн, В.В. Орленок, В.Н. Шолпо). Постепенное накопление конкретного материала заставляет критически пересматривать и уточнять основные положения тектоники плит (Лобковский, 2016; Хаин, Ломизе, 2005). Как нам представляется, одним из возможных источников кризиса могло быть выдвижение в свое время таких теоретических положений, лежащих в основе моделей тектоники плит, постулируемые явления которых в природе не существуют.

В ходе многолетней разработки проблемы механизмов складкообразования на примере Большого Кавказа автор настоящей статьи обнаружил, что получаемые результаты полностью противоречат общепринятым в настоящий момент представлениям о структуре и процессах формирования этого складчатого сооружения, в том числе — некоторым важным постулатам

геодинамики. Уже целенаправленный сбор информации о строении и развитии ряда структур континентов и океанов показал, что все основные положения тектоники плит в природных структурах не соблюдаются (Яковлев, 2018). В связи с этим в качестве центральной задачи предлагаемого исследования был выдвинут систематический анализ реалистичности основных положений тектоники плит и геодинамики. С этой целью изучались конкретные структуры с позиций соответствия или несоответствия их строения и истории развития этим основным теоретическим положениям.

Объем собранного материала, включающего в себя обоснование выводов по конкретным структурам, оказался весьма обширным. В связи с этим на первом этапе (в настоящей статье, имеющей две части) будут рассмотрены только континентальные структуры. Аналогичному изучению структур с океанической корой будет посвящено отдельное исследование.

В первой части статьи рассмотрены те конкретные континентальные структуры, которые связаны с формированием линейной складчатости. Применяя новый метод построения сбалансированных складчато-разрывных структур осадочного чехла (Яковлев, 2015, 2017), а также используя определения величин деформации для них, удалось не только исследовать конфигурацию современной поверхности кровли фундамента, но и проследить изменение положения глубоких горизонтов коры и верхней мантии в процессе эволюции Большого Кавказа, Тянь-Шаня и, в общем виде — некоторых других геологических структур. Вторая часть статьи будет посвящена выявлению геодинамических механизмов, связанных с формированием складчатости, а также анализу процессов горообразования в структурах разного генезиса.

ОСНОВНЫЕ МОДЕЛЬНЫЕ ДОПУЩЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ

Основная часть теоретических схем современной геодинамики, описывающих историю формирования главных типов тектонических структур Земли, базируется на общеизвестных шести положениях ((Хаин, Ломизе, 1995, 2005), а также (Лобковский, 2016), к которым мы добавим один важный общепринятый постулат и, в качестве теоретического положения, один широко используемый методический прием. Шесть постулатов или допущений изложены кратко, а предлагаемые два дополнительных — немного подробнее.

Первым положением («1») является представление о наличии в верхней части всего разреза оболочек планеты прочной, хрупкой и высоковязкой литосферы, в которой объединяются разные

по химическому составу и плотности земная кора и расположенная над астеносферой часть верхней мантии. Литосфера образует в общем случае недеформируемые «тектонические плиты», которые перемещаются по подстилающему ее слою существенно менее вязкой астеносферы. Второе положение («2») говорит о том, что существуют восемь основных плит, а также много более мелких плит. Основным смыслом этого положения состоит в идее, что тектоническая активность в основном сосредоточена на границах плит, но не внутри них. Третье положение («3») посвящено описанию движения жестких плит по поверхности шара. Для такого описания используется теорема вращения Эйлера, согласно которой перемещение объектов «...по сфере совершается вдоль окружности, проведенной относительно оси, проходящей через центр Земли» ((Хаин, Ломизе, 2005), стр. 46); выход этой оси на земную поверхность называется полюсом вращения. Четвертое положение («4») касается характера перемещений и деформаций на границах плит. Постулируется, что здесь существует: («4а») дивергенция или раздвижение плит, («4б») конвергенция или сближение (движения, создающие структуры субдукции и коллизии) и («4в») сдвиговые перемещения. Под последними, прежде всего, понимают трансформные разломы. В структурах коллизии и субдукции складки и разрывы в осадочных породах формируются как часть «аккреционной призмы»; существование других типов складчатых структур и деформационных схем теорией не предусмотрено. Следующим важным положением является пятое («5»), согласно которому появление нового объема коры в областях спрединга всегда компенсируется поглощением коры в зонах субдукции или коллизии. Такая компенсация связывается с неизменностью площади поверхности планеты (Хаин, Ломизе, 2005), что необходимо для баланса пространства при моделировании перемещения плит. Однако, если иметь в виду следующее положение, то, на наш взгляд, в этом пункте правильнее указывать на необходимость иметь замкнутые траектории движения вещества, то есть иметь конвективные ячейки и постоянный объем таких ячеек. Шестое положение говорит об источнике тектонических движений («6») — им является тепловая конвекция в мантии, которая обеспечивает перенос глубинного тепла к поверхности Земли.

Есть интересный аспект указанных положений, хотя это практически не обсуждается, — можно утверждать, что концепция мобилизма работоспособна только при одновременном действии всех шести положений. То есть, если какое-то положение не выполняется, то соблюдение остальных для сохранения работоспособности концепции должно быть специально обосновано.

К этим основным модельным допущениям мы добавим (Яковлев, 2018) положение о природе континентальной и океанической коры («7»). По общему мнению, возникшему еще в начале XX в., ядро докембрийских платформ составляет древняя континентальная кора, исходный объем которой в целом не меняется уже более 1 млрд лет. Океаническая кора, напротив, является относительно молодой (моложе триаса), и появляется она, согласно тектонике плит, в зонах спрединга. Новая континентальная кора появляется в зонах субдукции и коллизии (А-субдукции) при формировании аккреционных призм из осадков окраин континентов и самого океана, которые проходят через процессы складкообразования, метаморфизма и магматизма (Хаин, Ломизе, 1995). Такие новые блоки континентальной коры присоединяются сбоку к более древним блокам континентальной коры (латеральная аккреция); кора этих новых блоков также не может быть разрушена. Эти взгляды означают также фактический запрет на формирование океанической коры на месте континентальной в результате ее «океанизации»; океаническая кора может быть только «раздвигового» типа, она появляется только в зонах спрединга. Заметим, что такой пункт никогда ранее специально не выдвигался в виде одного из положений тектоники плит: он не является отличительным признаком этой концепции, поскольку по этому поводу наблюдалось полное согласие между конкурирующими концепциями фиксизма и мобилизма.

В качестве восьмого важного положения, которое следует обсудить, мы рассмотрим расширенную трактовку принципа актуализма («8»), используемую тектоникой плит. Классическая формулировка этого принципа касалась фактически только геологических процессов: современные явления, в основном — условия осадконакопления, являются ключом к пониманию древних процессов (Геологический..., 2010). В рамках тектоники плит принцип актуализма стал пониматься расширенно: считается, что наблюдаемые современные тектонические, геодинамические обстановки необходимо трактовать как эталонные структуры, а все древние тектонические события следует интерпретировать через сопоставление с этими эталонами (Хаин, Ломизе, 1995). Например, образцом современной континентальной коллизии считается Альпийско-Гималайский подвижный пояс (включая Гималаи и Большой Кавказ), сформированный на месте закрывшегося океана Тетис (Хаин, Ломизе, 1995). Надо заметить, однако, что правомерность такого расширения принципа прямо оспаривается (Геологический..., 2010).

Далее рассмотрим строение и эволюцию ряда конкретных континентальных структур по собственным или литературным данным.

Основные выводы такого рассмотрения во всех случаях касаются того, насколько реальные свойства этих природных структур совпадают или не совпадают с указанными выше теоретическими допущениями (постулатами, положениями), которые предусмотрены для них тектоникой плит и геодинамикой тектоносферы.

СБАЛАНСИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Поскольку, как известно, кристаллическая часть континентальной земной коры формируется в конце тектонических циклов в результате действия геологических процессов складчатости, метаморфизма и магматизма (Соколов, 2016), то изучать структуры коры и механизмы ее формирования логичнее, по нашему мнению, в первую очередь по чисто геологическим материалам — по данным структурных пересечений через складчатые сооружения и по сведениям о геологической истории развития этих регионов.

Для мегантиклинория Большого Кавказа в результате многолетних специальных полевых работ несколькими авторами были составлены детальные структурно-геологические профили через складчатый осадочный чехол (Гиоргобиани, Закарая, 1989; Рогожин, Яковлев, 1983; Шолпо и др., 1993), хорошо отражающие реальную структуру, и не имеющие отношения к идее подтверждения или отрицания каких-либо теоретических концепций строения региона (Яковлев, 2015). В данном случае из совокупности исходного материала нами намеренно как недостоверные исключаются два типа данных: профили «концептуальные», показывающие какой структура представляется автору такого профиля, и профили, составленные стандартным образом для государственных геологических карт. Поскольку каждая складка, зарисованная непосредственно в поле, несет информацию о типе и величине деформации, использование указанных специальных структурных данных для восстановления доскладчатой структуры является исключительно важным.

Альпийский осадочный чехол внутренней части Большого Кавказа представляет собой в основном толщу флишевых или флишеидных бескарбонатных и карбонатных тонкослоистых пород общей мощностью около 10–15 км и возрастом от ранней юры до конца эоцена (Большой..., 2007; Милановский, 1968; Шолпо и др., 1993; Яковлев, 2015). Основная складчатость региона сформировалась предположительно в олигоцене и нижнем миоцене, что фиксируется региональными несогласиями в подошве олигоцена по периферии сооружения. Этот этап сопровождался частичным размывом верхней части чехла, и ему

в целом соответствует толща нижней молассы, накопленная в предгорных и межгорных прогибах Большого Кавказа в виде тонкозернистых терригенных пород майкопской серии. Начиная с сармата (ранний миоцен) здесь же накапливается верхняя моласса, которая содержит конгломаты, указывающие на начало роста современной горной системы. Основной материал используе-

мых в настоящей статье детальных структурных профилей был получен в регионах Северо-Западного Кавказа, в Чиаурской зоне на южном ограничении центрального сектора и в двух тектонических зонах Юго-Восточного Кавказа (рис. 1). Складчатая структура Большого Кавказа, таким образом, была изучена по материалам 24 профилей, имеющих общую длину более 500 км.

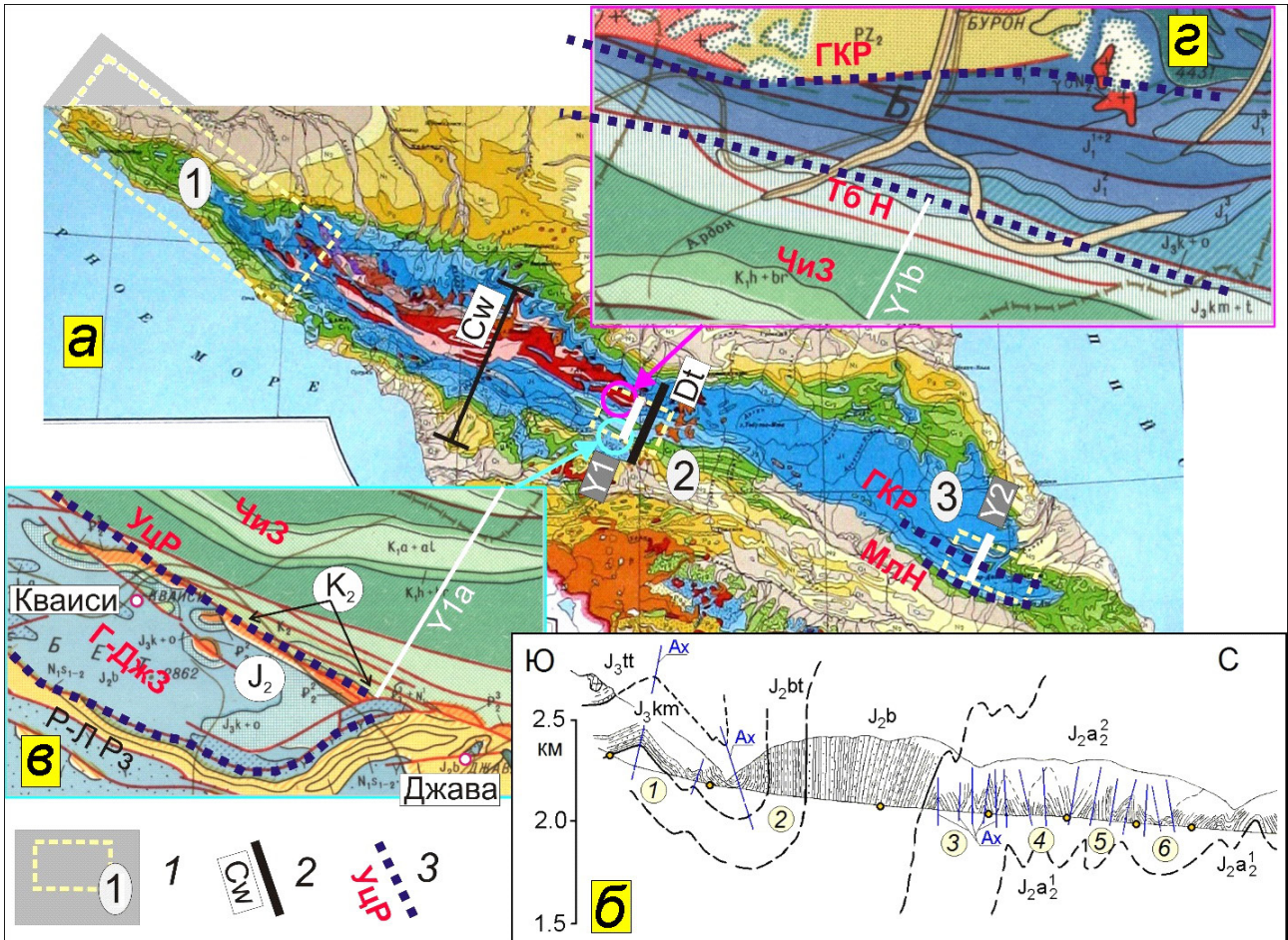


Рис. 1. Структура Большого Кавказа и использованные материалы. *а* — общая геологическая карта (Горкин и др., 1937): 1 — районы исследования (цифры в овалах: 1 — Северо-Западный Кавказ, 2 — Чиаурская зона, 3 — Юго-Восточный Кавказ); 2 — структурные профили (Cw — профиль из (Cowgil et al., 2016), Y1 — собственный, Чиаурская зона, Y2 — собственный, Юго-Восточный Кавказ, this study. Dt — из (Дотдуйев, 1987)); 3 — крупные разломы. *б* — характер складчатости и ее отражение в структурных профилях (структурный профиль, Тфанская зона, Юго-Восточный Кавказ (Яковлев, 2015), показаны: деление профиля на 6 доменов и часть схемы замеров структурных параметров). *в* — структура южной границы Большого Кавказа, геологическая основа из (Геологическая..., 1978). *г* — Северная часть Чиаурской зоны, геологическая основа: (Геологическая..., 1978). ГКР — Главный Кавказский разлом, Г-ДжЗ — Гагро-Джавская зона, МлН — Малкамудский надвиг, Р-ЛРЗ — Рача-Лечхумская разломная зона (северная граница Закавказского срединного массива), Т6Н — Тибский надвиг (аналог Малкамудского), УцР — Уцерский разлом (южное ограничение Большого Кавказа), ЧиЗ — Чиаурская зона.

Fig. 1. The structure of the Greater Caucasus and the materials used. *a* — general geological map (Gorkin et al., 1937): 1 — study areas (numbers in ovals: 1 — North-Western Caucasus, 2 — Chiaur zone, 3 — South-Eastern Caucasus); 2 — structural profiles (Cw — profile from (Cowgil et al., 2016), Y1 — Chiaur zone, this study, Y2 — South-Eastern Caucasus, this study. Dt — from (Dotduyev, 1987)); 3 — major faults. *б* — the pattern of folding and its reflection in structural profiles (Tfan zone, South-Eastern Caucasus, profile after (Yakovlev, 2015), the division of the profile into 6 domains and part of the scheme for measuring structural parameters are shown). *в* — the structure of the southern border of the Greater Caucasus, the geological basis from (Geologicheskaya..., 1978). *г* — the northern part of the Chiaur zone, geological basis: (Geologicheskaya..., 1978). ГКР — Main Caucasian fault, Г-ДжЗ — Gagro-Java zone, МлН — Malkamud thrust, Р-ЛРЗ — Racha-Lechkhum fault zone (northern border of the Transcaucasian median massif), Т6Н — Tib thrust (analog of the Malkamud one), УцР — Utsera fault (southern border of the Greater Caucasus), ЧиЗ — Chiaur zone.

О НЕСООТВЕТСТВИИ ОСНОВНЫХ ПОСТУЛАТОВ

В качестве теоретической базы процедур восстановления структуры осадочного чехла в рамках метода «балансирования структуры по геометрии складчатых доменов» использовалась концепция иерархического строения складчатых структур хинтерланда (Яковлев, 2015; Yakovlev et al., 2023) (таблица), а для корректного описания деформаций «складчатого домена» (III уровень

иерархии, рис. 1б, 2а, 3а) применялся эллипсоид деформаций. Детальность исходного материала является высокой — в указанных профилях были выделены около 500 доменов размером 0.5–2 км. Параметры каждой складки, имеющей размер 50–200 м, фактически были измерены сначала в поле, перенесены на профиль на бумагу, а потом измерялись на бумажном профиле.

Выделение уровней иерархии объектов линейной складчатости в соответствии с масштабом слоистости, которая охвачена этими структурами (Яковлев, 2015)

Identification of hierarchical levels of linear fold structures according to the scale of layering covered by these structures (Yakovlev, 2015)

Уровень	Название/объект	Объем слоистости, типичные размеры по вертикали
I	Внутрислойный	Минеральные зерна, разного типа включения (мм, см)
II	Складки	Слой, два соседних слоя в ритме — компетентный и некомпетентный (см, метры, первые десятки метров)
III	Складчатые домены	Пакеты слоев и свиты как часть осадочного чехла (сотни метров, первые километры)
IV	Структурная ячейка	Осадочный чехол целиком (5–10–15 км)
V	Тектоническая зона	Земная кора или ее часть с осадочным чехлом (30–50 км)
VI	Складчатая система	Литосфера с земной корой (выше астеносферы)?, 200 км
VII	Подвижные пояса	Вся верхняя мантия и земная кора?, 660 км

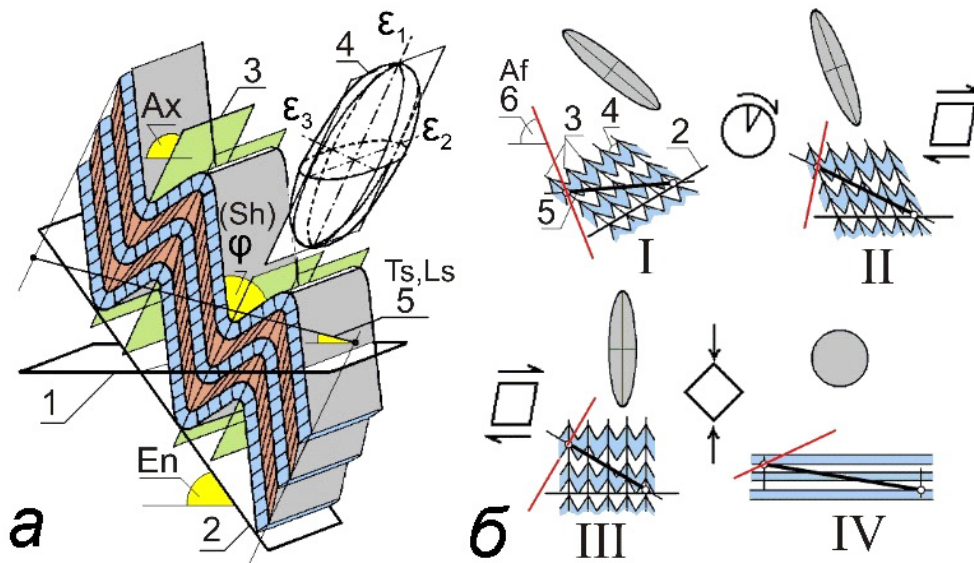


Рис. 2. Основные операции восстановления доскладчатого состояния складчатого домена. *a* — складчатый домен и его параметры (по (Yakovlev, Voitenko, 2005), с изменениями): 1 — горизонтальная плоскость; 2 — зеркало складок и его наклон (E_n); 3 — осевая плоскость складки и ее наклон (A_x); 4 — эллипсоид деформации и его деформация по короткой оси (Sh , вычисляется через угол схождения крыльев складки ϕ); 5 — отрезок линии профиля, его длина и угол наклона (T_s, L_s). *б* — три кинематические операции восстановления складчатого домена (Яковлев, 2008): от актуального (I) к доскладчатому (IV): (I–II: поворот) (II–III: горизонтальный простой сдвиг) (III–IV: чистый сдвиг, горизонтальное удлинение). Для «I» обозначения 2–5 те же, что и в «*a*»; 6 — плоскость разрыва и угол ее наклона (A_f).

Fig. 2. Basic operations for restoring the pre-folded state of a folded domain. *a* — the folded domain and its parameters (according to (Yakovlev, Voitenko, 2005), with changes): 1 — horizontal plain; 2 — folds envelope plain and its dip (E_n); 3 — axial plain of the fold and its dip (A_x); 4 — strain ellipsoid and its shortening along a short axis (Sh , calculated through the interlimb angle of the fold ϕ); 5 — the segment of the profile line, its tilting angle and the length (T_s, L_s). *б* — three kinematic operations for restoration of the folded domain (Yakovlev, 2008): from actual (I) to pre-folded state (IV): (I–II: rotation) (II–III: horizontal simple shear) (III–IV: pure shear, horizontal elongation). For «I» the designations 2–5 are the same as in «*a*»; 6 — fault plane and its dip angle (A_f).

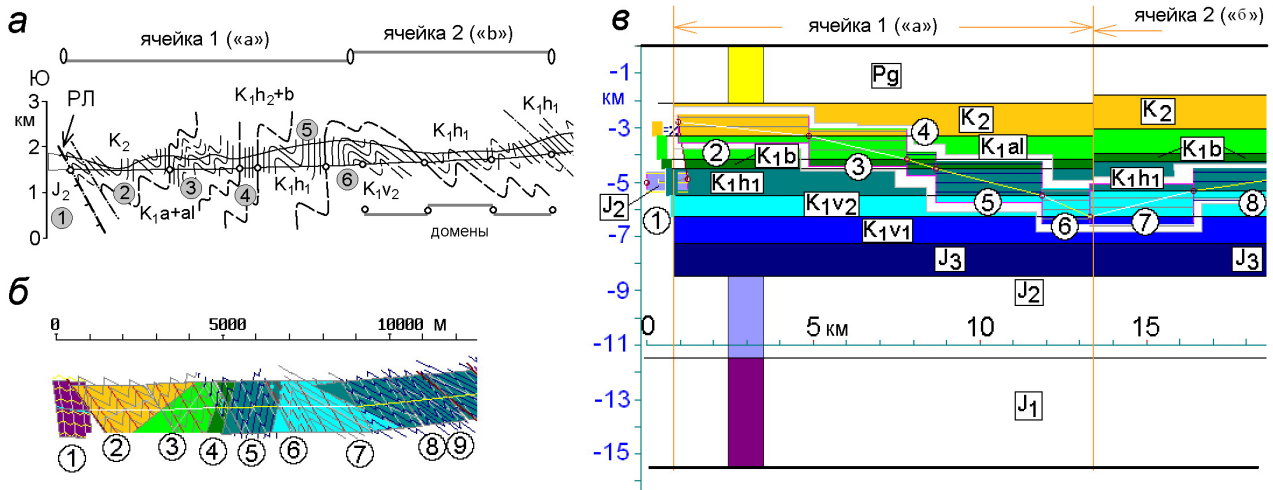


Рис. 3. Процедуры восстановления доскладчатого состояния профиля на примере части профиля «Гинат» Чиаурской зоны (Y1a, рис. 1б), Большой Кавказ (по (Яковлев, 2015)). *а* — южная часть актуального профиля; показано выделение складчатых доменов (цифры в кружках, номера 1–6) и структурных ячеек (1, 2; *а*, *б*). *б* — компьютерное изображение той же части профиля, построенное по замерам параметров. *в* — доскладчатое (восстановленное) положение профиля в полном стратиграфическом объеме (J₁–Pg) осадочного чехла (согласно стратиграфической модели, цвета модели условные), мощностью 15 км, составленное из доскладчатых доменов 1–8 (цифры в кружках); показаны структурная ячейка 1 (*а*) полностью, ячейка 2 (*б*) — частично.

Fig. 3. Procedures for restoring the pre-folded state of the profile on the example of a part of the «Ginat» profile of the Chiaur zone (Y1a, Fig. 1b), Greater Caucasus (according to (Yakovlev, 2015)). *a* — the southern part of the actual profile, folded domains (figures in circles, numbers 1–6) and structural cells (1, 2; *a*, *b*) are shown. *b* — computer image of the same part of the profile, constructed based on measurements of parameters. *v* — the pre-folded (restored) position of the profile in the full stratigraphic volume (J₁–Pg) of the sedimentary cover (according to the stratigraphic model, the colors of the model are conditional), with a thickness of 15 km, composed from pre-folded domains 1–8 (numbers in circles); structural cell 1 (*a*) is shown in full, cell 2 (*b*) — partially.

Процедуры восстановления структуры основаны на кинематическом преобразовании параметров каждого современного домена к его доскладчатому состоянию (рис. 2б, положения I и IV) (Яковлев, 2015). Теоретические основы метода, сам метод и порядок использования соответствующей компьютерной программы описаны в специальном руководстве (Яковлев, 2017). Наиболее важными элементами метода являются также деление всего доскладчатого профиля на «структурные ячейки» (IV уровень иерархии, таблица), а также предварительное создание для каждой ячейки собственной стратиграфической модели (рис. 3в). Структурная ячейка формируется путем объединения нескольких соседних доскладчатых доменов таким образом, чтобы ее ширина была примерно равна мощности самого осадочного чехла (рис. 3в). Поскольку при этих операциях становятся известными современная и доскладчатая длина ячейки вдоль профиля (рис. 3а, 3в), для нее легко определяется величина сокращения (Яковлев, 2015, 2017; Yakovlev et al., 2023).

Зная величину сокращения, исходную мощность осадочного чехла и уровень «стратиграфической глубины» пород, выходящих в обнажения на линии профиля в ячейке, можно определить ряд важнейших параметров

структуры (рис. 4), включая глубину кровли фундамента на трех стадиях развития (постседиментационная, доскладчатая; постскладчатая, доорогенная; посторогенная, современная), а также амплитуду поднятия и размыва кровли осадочного чехла (Яковлев, 2009, 2015). Модели всех трех стадий развития осадочного чехла в масштабах «структурных ячеек» имеют идентичные объемы осадков и в этом смысле являются сбалансированными (рис. 4). Метод не предусматривает восстановления всех мелких складок. Заметим важное обстоятельство. В обычных методах построения сбалансированных складчатых структур форланда (Прокопьев и др., 2004; Dahlstrom, 1969) фактически принимается, что все слои сохраняют свою длину. Для очень сложных структур хинтерланда любой слой за пределами полосы обнажений по существу может быть нарисован только произвольно. Это означает, что в этом случае будет измеряться длина слоя исключительно в авторской версии структуры. Поэтому, для реконструкции структур хинтерланда и определения величины сокращения корректно можно использовать только предлагаемый метод, но не стандартные методы балансирования разрезов (Яковлев, 2017; Yakovlev et al., 2023).

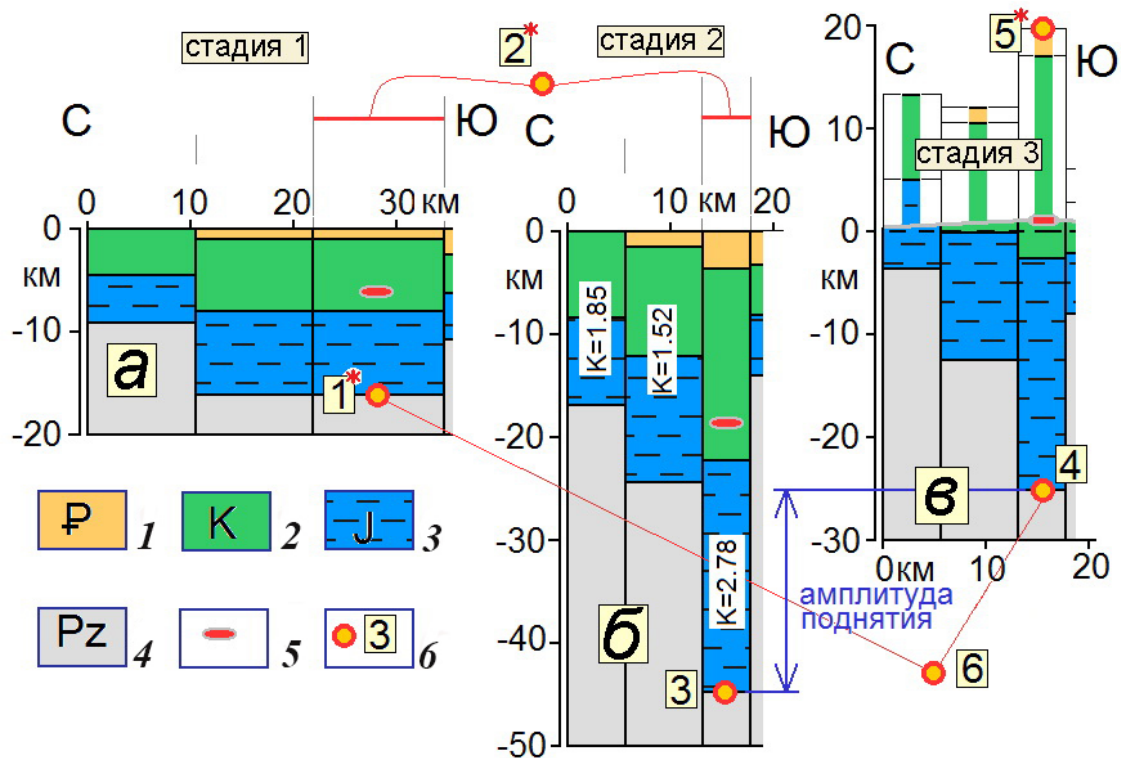


Рис. 4. Реконструкция осадочного чехла в масштабе «структурных ячеек» (по (Яковлев, 2009), с изменениями). Показаны три стадии развития структуры (а, б, в) для части одного из профилей Северо-Западного Кавказа. 1–4 — стратиграфические подразделения и их возраст; 5 — позиция стратиграфического маркера (средняя стратиграфическая глубина ячейки); б — основные параметры ячеек, используемые для диагностики геодинамических механизмов в масштабе литосферы (см. далее); измеряемые параметры (1, 2, 5) помечены «*». (1 — глубина кровли фундамента на стадии 1, 2 — величина сокращения, 3 — глубина кровли фундамента на стадии 2, 4 — глубина кровли фундамента на стадии 3, 5 — амплитуда поднятия и размыва, 6 — разница глубин кровли фундамента на стадиях 3 и 1).

Fig. 4. Reconstruction of the sedimentary cover on a «structural cell» scale (according to (Yakovlev, 2009), with changes). Three stages of the structure development (а, б, в) for a part of one of the profiles of the North-Western Caucasus are shown. 1–4 — stratigraphic units and their age; 5 — the position of the stratigraphic marker (the average stratigraphic depth of the cell); б — the main parameters of the cells used to diagnose geodynamic mechanisms on a lithospheric scale (see below); measured parameters (1, 2, 5) are marked by «*». (1 — the depth of the basement top at stage 1, 2 — the shortening value, 3 — the depth of the basement top at stage 2, 4 — the depth of the basement top at stage 3, 5 — the amplitude of uplift and erosion, 6 — difference in the depths of the basement top at stages 3 and 1).

Применение метода балансирования структуры комплексов линейной складчатости по «геометрии складчатых доменов» для структурных разрезов (Яковлев, 2015, 2017) для реконструкции трех регионов Большого Кавказа — Северо-Западного Кавказа, Чиаурской зоны и Юго-Восточного Кавказа — позволило выявить существование устойчивых по форме структур среднего размера, каждая из которых прослеживалась в нескольких соседних профилях (Яковлев, 2009, 2012, 2015). Это касалось основных параметров этих объектов — расчетной глубины кровли фундамента на разных стадиях развития, величин сокращения и амплитуд поднятия и размыва (рис. 4). Величины сокращения для структурных ячеек (IV уровень) в среднем по тектоническим зонам Большого Кавказа (V уровень) менялись от 35 % до 55 %, для отдельных ячеек — до 67%. Доскладчатая ширина Большого Кавказа

достигала 100–120 км, при достаточно однородном сокращении как осадочного чехла, так и фундамента. Глубина кровли фундамента для тектонических зон составляла от –10 до –20 км, меняясь для ячеек от –4 до –30 км. Амплитуда поднятия и размыва относительно предполагавшихся ранее (3–5 км (Милановский, 1968)) оказалась очень большой — от 9 до 19 км, максимально — до 24 км. Но здесь надо иметь в виду, что эти величины «поднятия и размыва» охватывают стадии и складчатости, и роста горного сооружения за 35 млн лет, а оценки неотектонических движений относятся к поднятиям после сарматского времени (за 15 млн лет).

Метод балансирования структуры по геометрии складчатого домена позволил определить основные черты геометрии осадочного чехла и поверхности кровли фундамента в местах, ключевых для понимания строения всего Большого

Кавказа (рис. 1, 5). В районе Рача-Лечхумского и Уцерского разломов, представляющих собой южное ограничение Большого Кавказа, непосредственно к северу от них для самой южной ячейки Чиаурской зоны в профиле «У1» была получена глубина кровли фундамента –18.8 км, (рис. 1в, 5а), при этом глубины других ячеек по этому профилю, более северных, меняются от –13.6 до –24.8 км. В сравнении с глубиной кровли фундамента Закавказского массива к югу от разлома (около –8 или –10 км в Гагро-Джавской зоне, по (Яковлев, 2015)) получается, что фундамент всего Большого Кавказа оказался ниже уровня фундамента Закавказского массива на 10–12 км, то есть этот крупный разлом на глубине кровли

фундамента является сбросом, а не надвигом. Это не противоречит, однако, известным кинематическим надвигам в верхней части структуры (рис. 1в, 5а), при которых молодой флиш верхнего мела надвинут на более древнюю среднюю юру Закавказского массива. Этими оценками глубин кровли фундамента двух соседних структур фиксируются два важнейших для интерпретации всей структуры Кавказа факта: 1) фундамент Чиаурской зоны не является жестким, он деформирован и имеет сокращение такое же, как и складчатый осадочный чехол, располагающийся выше него, и 2) Рача-Лечхумский разлом имеет субвертикальное положение плоскости сместителя с очень глубоким ее заложением.

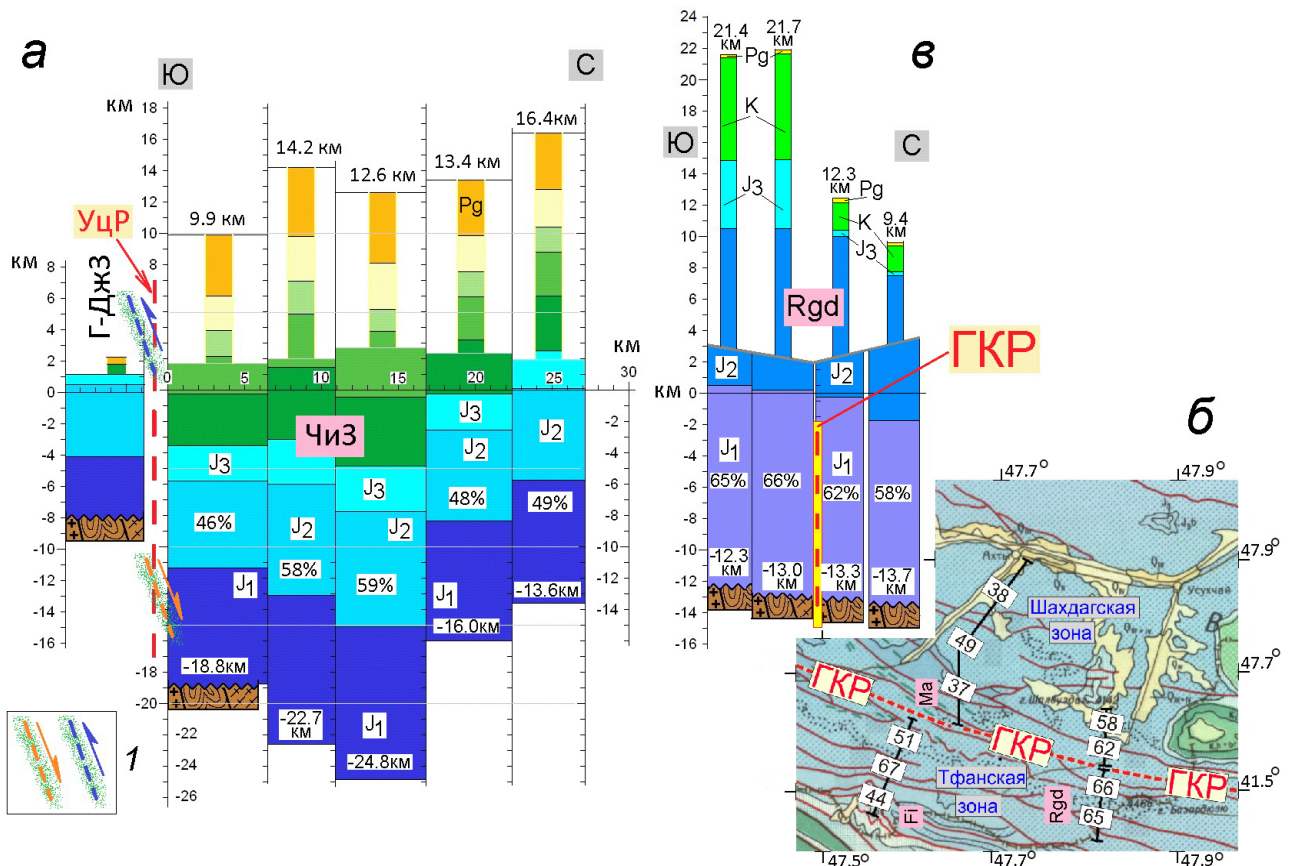


Рис. 5. Использование параметра «глубина кровли фундамента» для определения характера смещения по крупным разломам. *а* — структура осадочного чехла Чиаурской зоны и смещения в кровле и в подошве осадочного чехла на южном ограничении Большого Кавказа (по (Яковлев, 2012, 2015) с изменениями); см. рис. 1, профиль «У1»: 1 — характер движения по Уцерскому разлому на разных глубинных уровнях структуры: сброс и надвиг. *б* — геологическая карта района Главного Кавказского Разлома (ГКР) в Юго-Восточном Кавказе (использована (Геологическая..., 1978)). Профили: Fi — Фийчай, Ma — Мазачай, Rgd — Рагданчай; цифры на белом фоне — величина укорочения в процентах. *в* — реконструкция положения кровли фундамента в профиле «У2» (Рагданчай, см. рис. 1) в соседних блоках через ГКР (Яковлев, 2012, 2015). ЧиЗ — Чиаурская зона.

Fig. 5. Use the «the basement top depth» parameter to determine the configuration of displacement along major faults. *a* — structure of the sedimentary cover of the Chiaura zone and displacements in the top and in base of the sedimentary cover at the southern boundary of the Greater Caucasus (according to (Yakovlev, 2012; 2015), modified); see Fig. 1, profile «У1». 1 — movements along the Utsera fault (УЦР) at different deep levels of the structure: normal fault and thrust. *б* — geological map of the area of the Main Caucasian Fault (ГКР) in the South-Eastern Caucasus (Geologicheskaya..., 1978 used). Profiles: Fi — Fiichai, Ma — Mazachai, Rgd — Ragdanchai; numbers on a white background — shortening value in percent. *в* — reconstruction of the position of the basement top in the «У2» profile (Ragdanchai, see Fig. 1) in neighboring blocks across the GKР (Yakovlev, 2012; 2015). ЧиЗ — Chiauri zone.

Тем самым гипотетическая морфология этого разрыва как «листрического» надвига с его крутым падением у поверхности и пологим положением плоскости на глубине около 10 км, уходящим на север под Чиаурской зоной (Дотдуйев, 1986), не подтвердилась.

Полученными материалами (Яковлев, 2009, 2012, 2015) охарактеризована и другая важная структура — Главный Кавказский разлом (ГКР) (рис. 1а, 5б, 5в). Восточный и Юго-Восточный Кавказ имеют сложную историю развития — северные блоки (Шахдагская зона, Известняковый Дагестан), расположенные севернее ГКР перед поздней юрой испытали складчатость, и после этого здесь накапливались мелководные карбонатные толщи параплатформенного типа (их мощность — 1–2 км), что резко контрастировало с накоплением мощного (~8 км) карбонатного флиша южнее — в Тфанской и Ковдагской (аналог Чиаурской) зонах. В Юго-Восточном Кавказе (рис. 1, район исследования «3») Шахдагская зона на севере («надвинутая», как считается, крыло ГКР) охарактеризована двумя профилями (Мазачай и Рагданчай-север), имеющими пять структурных ячеек, а Тфанская зона на продолжении этих пересечений южнее разлома имеет также два профиля (Фийчай и Рагданчай-юг) с пятью ячейками (рис. 1а, 5б, 5в). Глубина кровли фундамента по двум направлениям (Яковлев, 2012, 2015) с юга на север составляет в парах смежных, через разлом, ячеек –10.3 км/–7.6 км (разница –2.7 км) и –13.0/–13.3 (+0.3 км). На южном склоне г. Шалбуздаг (профиль Рагданчай-север) плоскость обсуждаемого разлома (ГКР) имеет падение на юг 50°, и ааленские толщи Тфанской зоны по разлому надвинуты на более древние тоарские отложения зоны Шахдагской. Таким образом, данные по расчетным глубинам кровли фундамента этих двух блоков, а также конкретные движения по ГКР никак не соответствуют

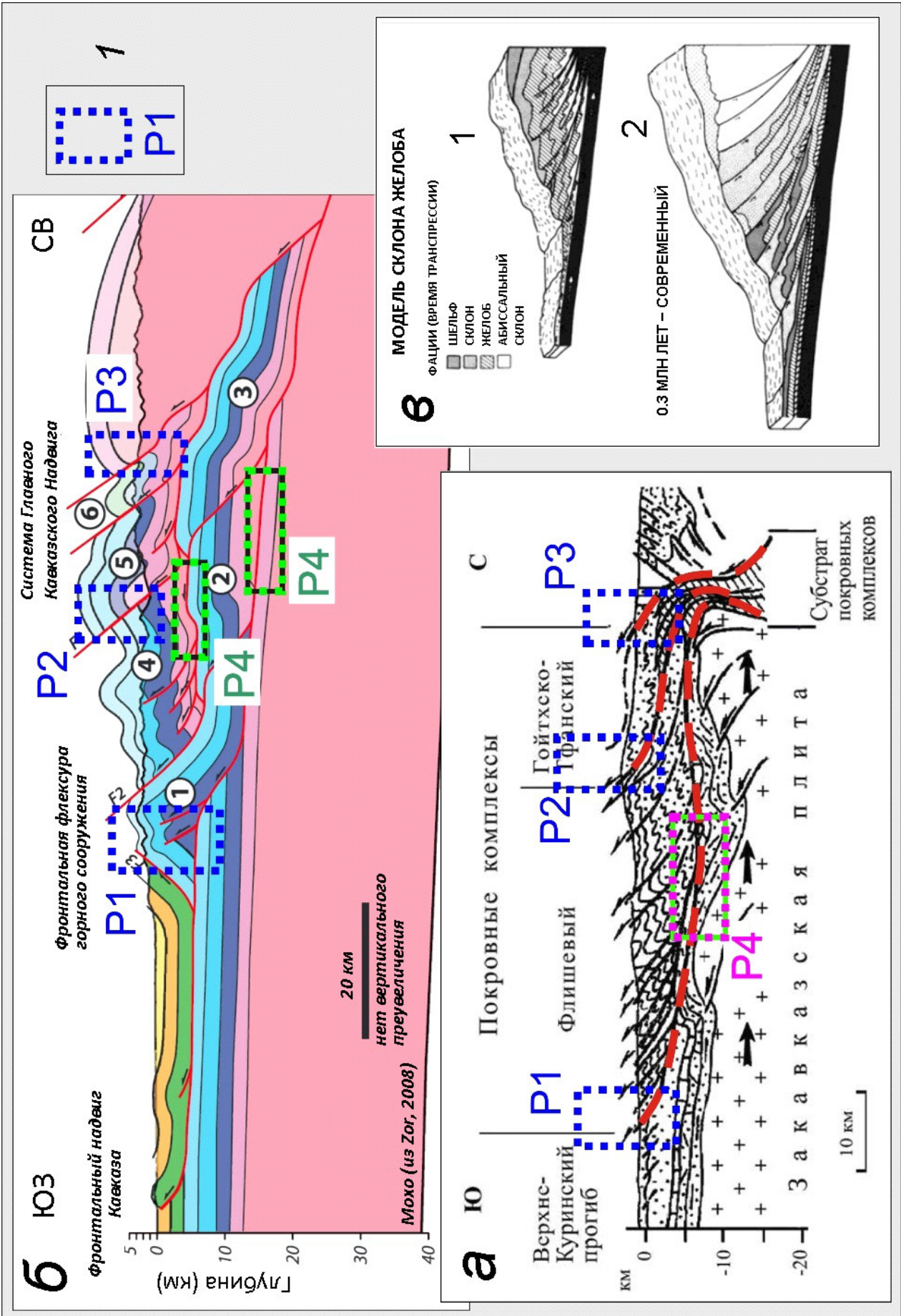
схеме надвигания северной «тектонической пластины» на южный блок с амплитудой в десятки километров, как указано в работе (Дотдуйев, 1986).

Расчетная сбалансированная структура (Яковлев, 2009, 2012, 2015) прямо противоречит общепринятым в настоящее время представлениям о строении Большого Кавказа (Дотдуйев, 1986; Cowgill et al., 2016 и др.). В наиболее цитируемой модели С.А. Дотдуйева (1986) использована в общем виде схема аккреционной призмы, в которой сокращение с амплитудой не менее, чем в 200 ± 50 км реализовано в основном по двум крупным пологим разломам. Основой модели является пододвигание жесткой плиты Закавказского массива под Большой Кавказ (рис. 6а) с выходом на поверхность плоскостей смещения в Рача-Лечхумском разломе (южный детачмент) и в Главном Кавказском надвиге (северный детачмент). В публикации (Cowgill et al., 2016) эта схема повторена в профиле, который авторами считается сбалансированным (рис. 6б). В этих двух пересечениях на южном фланге структуры есть аналог Рача-Лечхумского разлома (рис. 6а, 6б, разлом «P1»), с очень большой амплитудой перемещения, и Главный Кавказский надвиг с относительно небольшой амплитудой («P3», там же). В обеих моделях выделен Тибский надвиг между двумя зонами (рис. 6а, 6б, разлом «P2»). Для схемы характерен пологий детачмент под «флишевым комплексом» (рис. 6а, 6б, разлом «P4»), один у С.И. Дотдуйева и два в (Cowgill et al., 2016). Сокращение пространства в профиле оценивается в (Cowgill et al., 2016) примерно в 230 км (минимально — 130 км).

Надо заметить, что предложенная структура (Дотдуйев, 1986; Cowgill et al., 2016) отличается от обычной схемы «аккреционной призмы» (рис. 6в). Обобщая встречающиеся в литературе схемы (Kulm, Fowler, 1974), следует отметить следующие типичные черты «аккреционной призмы».

Рис. 6. Использование кинематической схемы аккреционной призмы для интерпретации структуры и истории развития Большого Кавказа. а — схема структуры при пододвигании жесткого фундамента под Большой Кавказ (по (Дотдуйев, 1986), с изменениями), рис. 1а, профиль «Dt». б — структура Большого Кавказа по (Cowgill et al., 2016), рис. 1а, профиль «Cw». Цифры 1–6 в кружках — последовательность покровных пластин с юга на север. Для а и б: 1 — положения основных разломов; P1, P2, P3 — выходы детачментов на поверхность, P4 — субгоризонтальное положение детачмента. в — общая схема аккреционной призмы (по (Kulm, Fowler, 1974), с изменениями): 1 — обозначения основных фаций в аккреционной призме, 2 — последняя пятая стадия развития структуры (Kulm, Fowler, 1974), указано время ее формирования.

Fig. 6. Use of a kinematic accretion prism model to interpret the structure and evolution of the Greater Caucasus. а — scheme of the structure during underthrusting of a rigid basement under the Greater Caucasus (according to (Dotduyev, 1987), with changes), Fig. 1а, profile «Dt». б — the structure of the Greater Caucasus according to (Cowgill et al., 2016), Fig. 1а, profile «Cw». The numbers 1–6 in the circles — sequence of cover plates from south to north. For а and б: 1 — the positions of the main faults, P1, P2, P3 — detachment outcrops, P4 — subhorizontal position of the detachments. в — the general scheme of the accretion prism (according to (Kulm, Fowler, 1974), with modifications). 1 — designations of the main facies in the accretionary prism, 2 — the last fifth stage of the structure's development (Kulm and Fowler, 1974), the time of its formation is indicated. 1 — designations of the main facies in the accretionary prism, 2 — the last fifth stage of the structure's development (Kulm, Fowler, 1974), the time of its formation is indicated.



В первую очередь это наличие большого числа надвигов с повторением почти полного стратиграфического разреза в пластинах; такие надвиги внизу всегда объединяются в общий пологий детачмент (рис. 6б). От «океана» к «континенту» внутри призмы должно наблюдаться: увеличение мощности всей призмы, а также соответствующий этому рост величины сокращения пространства; смена пологих надвигов на более крутые, смена более молодых надвиговых структур на более древние. В модели важно наличие большого пространства с «океанической корой» под осадками; такая кора должна исчезнуть в зоне субдукции при сокращении и формировании призмы. Это связано с тем, что если кора под осадками будет «континентальной», то она будет не погружаться в мантию, а «скупиваться», и тогда надо объяснять, почему нет роста мощности кристаллической коры в аккреционной призме и соответствующего сильного поднятия горного сооружения. В обсуждаемых структурах Большого Кавказа из перечисленных признаков в явном виде присутствуют надвиги, у современной версии (Cowgill et al., 2016) частично проявлена смена структур древних на молодые. Если иметь в виду описание истории развития структуры, то наличие океанической коры в виде задугового бассейна для Большого Кавказа, в явном виде декларируется в (Adamia et al., 2011; Cowgill et al., 2016), но в (Дотдурев, 1986) и у многих других авторов ничего не говорится о природе уже субдуцированной коры.

Обсуждаемые модели (Дотдурев, 1986; Cowgill et al., 2016) противоречат геологической карте (Геологическая ..., 1978) и известным данным. В районе пос. Кваиси около Уцерского разлома (рис. 1б) описаны фациальные переходы отложений верхнего эоцена, с юга на север от субплатформенной «нормально-осадочной свиты» (мощность 20–150 м) к глыбовой брекчии (800–1000 м), имеющей флишевый облик (Леонов, 1975). Обломки поступали с юга на север с платформы к флишевой зоне; уступ в рельефе фактически фиксировал субвертикальный разлом на границе двух зон. Здесь же наблюдается надвигание флиша верхнего мела (молодые породы) с севера на юг через Уцерский разлом на среднюю юру (древние породы) платформы Закавказского массива (рис. 1б), то есть по возрасту пород двух блоков разлом на этом уровне остался сбросом. Общая структура Чиаурской зоны в этом регионе воздымается к западу, и за пределами карты в Сванетском антиклинории обнажается палеозой. Согласно моделям (Дотдурев, 1986; Cowgill et al., 2016) здесь на дневную поверхность должны выходить горизонтальные детачменты (рис. 6а, 6б; знак «Р4»), но их нет на карте и в природе. Наши данные приведенным

фактам геологического строения не противоречат. Отметим также, что многочисленные надвиги «южного склона», используемые в обсуждаемых моделях, существуют только к востоку от пос. Джава, в зоне развития Куринской депрессии (рис. 1б), но к западу от пос. Кваиси нет депрессии и нет многочисленных надвигов, что уже отмечалось в (Шолпо и др., 1993). Это означает, что надвиги южного склона являются структурой поверхностной и локальной, а не региональной, глубинной.

Ошибочная трактовка южного ограничения Большого Кавказа как пологого детачмента с пододвиганием под него блока Закавказского массива и формирования структуры «аккреционной призмы» (Дотдурев, 1986; Cowgill et al., 2016) сопровождается рядом неточностей в методологии проводившихся исследований. Отметим, прежде всего, чрезмерную схематизацию природной складчатости: структура на профиле (рис. 6б) состоит из крупных складок шириной по ≥ 2 км, в то время как в реальной структуре (рис. 1б) встречается большое число складок шириной ≤ 100 м, и даже до 5 см. Напомним, что в обсуждаемом методе сокращения пространства определяется по длине слоя в актуальном профиле, и такое огрубление структуры является фатальным для точности всех измерений. Во-вторых, авторы работы (Cowgill et al., 2016) проигнорировали то, что по ряду ограничений обычные методы построения сбалансированных разрезов (Проккопьев и др., 2004; Dahlstrom, 1969) не могут быть использованы для анализа структур хинтерланда. В-третьих, в профиле С.И. Дотдурева (1986) (рис. 6а) не показаны границы стратиграфических подразделений. Это ведет к авторскому произволу в трактовке структуры и ее искажению; ее проверка путем сравнения с геологическими картами становится невозможной. Фактически этот профиль показывает только предположения цитируемого автора о структуре «аккреционной призмы» в применении к Большому Кавказу ((Дотдурев, 1986), стр. 106: «На схеме... показано предполагаемое строение средней части горного сооружения...»). В новом обсуждаемом профиле (Cowgill et al., 2016) ситуация улучшена: чехол разделен на слои по возрасту, но слишком грубо с нашей точки зрения — выделены только 5–6 толщ при общей мощности чехла 10 км, существующие резкие изменения мощности чехла вкосте простирания в разных тектонических зонах (рис. 5а, 5б) игнорируются (рис. 6б). Заметим, что в наших данных для 10 подразделений в чехле мощностью 15 км точность позиций границ по вертикали составляет 50–100 м (рис. 3а, 3б), все границы соответствуют реальной структуре в профиле (рис. 3), и они прослежены для доскладчатого профиля шириной 60 км.

Указанные недостатки не позволяют считать критикуемые модели (рис. 6а, 6б) реалистичными, соответственно, их не следует использовать для трактовки структуры и истории развития Большого Кавказа. Можно считать, что авторы работ (Дотдугев, 1986; Cowgill et al., 2016) так или иначе допустили искажение природной структуры в пользу сходства с теоретической моделью.

По материалам изучения складчатости Большого Кавказа делаются следующие выводы методического характера (Яковлев, 2012, 2015, 2018). Результаты построения сбалансированной складчатой структуры осадочного чехла (Яковлев, 2012, 2015) в сравнении с общепринятыми моделями этого региона (Дотдугев, 1986; Cowgill et al., 2016) указывают на то, что в этой структуре не соблюдается ряд обсуждаемых теоретических положений современной геодинамики. Во-первых, это положение «4» о характере деформаций на границах плит, точнее — в части «4б» для конвергенции, при которой в условиях коллизии формируется только «аккреционная призма»: для Большого Кавказа наличие этой структуры не подтверждается. Во-вторых, это положение «2» о том, что тектоническая активность проявляется только на границах плит — для Большого Кавказа наблюдается почти однородное двукратное сокращение кристаллического фундамента при доскладчатой ширине структуры около 120 км, что означает деформирование самой «плиты», а не искажение структуры исключительно на ее границах. Третий случай некорректного использования теоретических положений касается пункта «8», расширенной трактовки принципа актуализма. Как уже указывалось выше, Большой Кавказ в составе Альпийско-Гималайского пояса считается образцом, эталоном современной коллизии (Хаин, Ломизе, 1995). Ошибочность этого суждения связана с тем, что реальная структура Большого Кавказа и процесс ее формирования не имеют отношения к гипотетической коллизии и образованию аккреционной призмы, а также к закрытию океана Тетис. То есть, Большой Кавказ не является эталоном коллизионной структуры.

СТРУКТУРА ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЛИТОСФЕРЫ КОНТИНЕНТАЛЬ- НЫХ СТРУКТУР В СВЯЗИ С ИХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ СОКРАЩЕНИЕМ

Большой Кавказ. На основании установленного факта значительного сокращения фундамента (горизонтальное сплющивание), общего с деформациями осадочного чехла в конкретных тектонических зонах (Яковлев, 2015), была составлена модель эволюции структуры на

другом масштабном уровне. Эта модель в соответствии с используемой системой иерархии объектов (таблица) охватывает иерархические уровни тектонических зон (V) и складчатой системы целиком (VI); в вертикальном направлении модель занимает всю кору и верхнюю мантию, соответственно (Яковлев, 2012; Яковлев, Горбатов, 2018). Основная идея этой схемы состояла в восстановлении структуры коры в начале альпийского цикла развития и в прослеживании истории ее изменения. В этом цикле, при самом начале осадконакопления в ранней юре, граница Моховича (рис. 7а; знак 9, граница M_1), как нам представляется с позиций актуализма, находилась на глубине около 40 км — это платформенные условия после складчатости, консолидации и размыва поверхности герцинской структуры. После этапов накопления мезокайнозойских осадков, сокращения и складчатости, а также после поднятия и размыва, породы, находившиеся ранее на глубине M_1 , в соответствии с общей деформационной картиной должны были погрузиться на глубину около 100 км (рис. 7б). Разумеется, если породы континентальной земной коры имеют соответствующую «коровую» плотность, то формирование такой структуры невозможно по соображениям соблюдения изостатического равновесия — верхняя ее часть должна была в этом случае сильно выдвинуться вверх и в значительной мере была бы эродирована. Как известно, для современной структуры граница Мохо (M_2) по оценкам скорости сейсмических волн (а не плотности пород) в пределах Большого Кавказа находится на глубине 45–50 км ((Павленкова, 2012), профиль Степное — Бакуриани). Соответственно, единственная возможность объяснить структуру коры в этих условиях — предположить значительное уплотнение пород коры (бывшей коры) в процессе эволюции структуры в альпийском цикле, причем в объемах, весьма заметных относительно их первоначального значения (рис. 7б; знак 7, объем пород между границами M_1 и M_2). Вероятно, плотность таких преобразованных пород может быть близка к мантийным. Отметим, что в предлагаемой схеме доскладчатая ширина структуры составила >100 км, что сопоставимо с мощностью всей литосферы. Это означает, что зарегистрированную в верхней части структуры почти однородную деформацию горизонтального сокращения допустимо в усредненном виде распространять на весь объем литосферы.

Надо заметить, что петрофизические механизмы такого гипотетического процесса уплотнения коровых пород пока остаются неясными, но это еще не означает, что сам процесс уплотнения невозможен в принципе. Такие эффекты изменения плотности давно используются в теоретических работах — например, при описании глубоких погружений

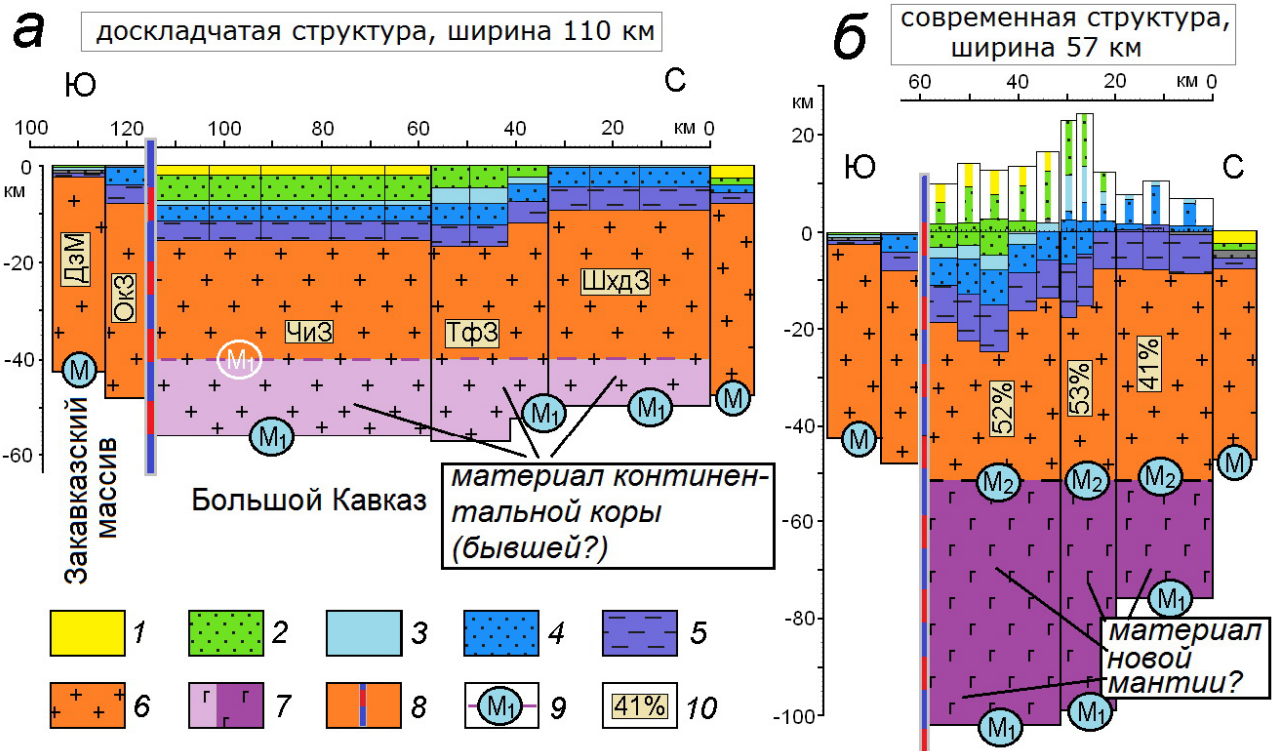


Рис. 7. Схема развития структуры коры и верхней мантии восточной части сооружения Большого Кавказа на стадиях: в конце осадконакопления перед складчатостью (а) и после укорочения и горообразования (б), по (Яковлев, 2012, 2015), с изменениями. Показаны основные тектонические зоны, величины сокращения и объемы подразделений осадочного чехла. (1–5) — осадочный чехол: 1 — палеоцен и эоцен; 2 — мел; 3 — верхняя юра; 4 — средняя юра; 5 — нижняя юра; 6 — объемы кристаллической части земной коры (по времени — на начало осадконакопления), 7 — предполагаемые объемы мантийного вещества, преобразованного из погруженной части земной коры, 8 — положение Рача-Лечхумского Разлома; 9 — положения границы Моховичича на разных стадиях развития: M_1 — породы на границе Мохо на начало юры (из расчета 40 км мощности коры, начальное положение по глубине — отметка белого цвета), M_2 — примерное современное положение Мохо по скоростям сейсмических волн; M без индекса — стабильное положение границы Мохо в Дзирульском блоке и Скифской плите; 10 — значения величин сокращения для тектонических зон. ДзМ — Даличай-Мазинская зона, ОкЗ — Окрибо-Сачхерская зона, ЧиЗ — Чианурская зона, ТфЗ — Тфанская зона, ШхдЗ — Шахдагская зона.

Fig. 7. Scheme of the development of the crust and upper mantle structure of the eastern part of the Greater Caucasus at the stages: at the end of sedimentation before folding (a) and after shortening and mountain building (b), according to (Yakovlev, 2012; 2015), with modifications. The main tectonic zones, shortening values, volumes of subdivisions of the sedimentary cover are shown. (1–5) — sedimentary cover: 1 — Paleocene and Eocene; 2 — Cretaceous; 3 — Upper Jurassic; 4 — Middle Jurassic; 5 — Lower Jurassic; 6 — volumes of the crystalline part of the earth's crust (by time — at the beginning of sedimentation), 7 — presumed volumes of mantle material transformed from the submerged part of the Earth's crust, 8 — position of the Racha-Lechkhumi Fault; 9 — positions of the Mohorovičić boundary at different stages of development: M_1 — rocks at the Moho boundary in the beginning of the Jurassic (based on 40 km of crustal thickness, initial depth position is marked by white), M_2 — approximate current position of the Moho by seismic wave velocities, M without index — stable position of the Moho boundary in the Dziruli block and the Scythian plate; 10 — values of shortening for tectonic zones. ДзМ — Dalichai-Mazinsk zone, ОкЗ — Okribo-Sachkhera zone, ЧиЗ — Chiauri zone; ТфЗ — Tfan zone; ШхдЗ — Shakhdag zone.

осадочных бассейнов Е.В. Артюшков (2010) привлекает фазовые переходы габбро в эклогиты.

В дополнение к примеру хорошо изученного Большого Кавказа, приведем три случая структур, имеющих значительную исходную ширину и заметное однородное или почти однородное сокращение осадочного чехла. В этих структурах, как и на Большом Кавказе, в целом отсутствуют основные морфологические признаки «аккреционной призмы», которая составляет часть

четвертого положения тектоники плит (случай конвергенции, «4б»).

Каледонский складчатый комплекс Таласского хребта Северного Тянь-Шаня. Поданным построенного сбалансированного профиля структура имеет неполную начальную ширину 120 км в профиле по р. Шильбилисай при современной его длине 26 км (Yakovlev et al., 2023), но, учитывая те части структуры, которые скрыты под смежным кайнозойским прогибом севернее, можно

ожидать ее полную ширину в два раза большую — 200–250 км. Для этой структуры было определено почти равномерное распределение вдоль профиля очень больших величин сокращения (общее $K = L_0/L_1 = 4.5$, где L_0 — исходная ширина структуры, L_1 — современная ширина). Здесь не обнаружено никаких признаков «аккреционной призмы» (Яковлев, Фролова, 2022). Подсчеты показали, что породы на бывшей границе Мохо времени начала рифея (при начальной глубине 40 км) сейчас могут находиться на глубине 190 км, а породы, уплотненные до мантийных значений, составляют около 80 % от первоначального объема коры (Яковлев, Фролова, 2022). Очевидно, что такой большой объем преобразованных пород не может быть объяснен с привлечением обычной модели фазовых переходов габбро в эклогиты.

Пиренейско-Провансальский прогиб. Здесь был построен сбалансированный профиль, проходящий через восточную часть северного предгорного прогиба Пиренейско-Провансальского складчато-надвигового пояса, образованного в параплатформенном мезозойском чехле мощностью около 3 км (Bestani et al., 2015). Структура имеет длину около 70 км и сформирована 5–7 крупными антиклинальными складами, разделенными широкими синклиналиями. Сбалансированный разрез позволил авторам найти общую величину сокращения профиля в 40 %, причем основное сокращение пришлось на южную часть структуры (до $K = 2.0 - 3.0$). Характер складок и разрывов позволил авторам работы (Bestani et al., 2015) утверждать, что существенная часть деформации была реализована в фундаменте («mixed thick- and thin-skinned structural model»). Для нас в этой структуре важными являются два результата. Во-первых, в пределах предгорного прогиба наблюдается значительная деформация коры ($K > 1.5$), которая согласно теоретическому положению «1» (прочная литосфера) не должна была быть деформированной. Во-вторых, при таком сокращении структура предгорного прогиба, имеющая рельеф не более 0.5–1.0 км высотой, не может сохранить изостатически сбалансированный первичный объем континентальной коры. Поэтому можно считать, что здесь произошло уменьшение мощности кристаллического слоя континентальной коры, а это нарушает положение «7» (постоянство объема континентальной коры). Но усиление деформации сокращения к югу, от форланда к хинтерланду, здесь совпадает с признаками аккреционной призмы; положение «4б» в этой структуре не нарушается.

Мезозойский складчатый комплекс Сихотэ-Алиня. Этот регион хорошо описан в структурном отношении (Неволин и др., 2018), он сформировался в результате нескольких фаз складчатых деформаций в меловом периоде.

Видимая ширина современной структуры вкрест простирания составляет около 300 км, величина ее сокращения авторами не оценивалась. Однако по углам схождения крыльев мелких складок, представленных на рисунках и фотографиях, мы можем такую величину охарактеризовать как $K = L_0/L_1 = 1.5-3$, то есть исходная ширина структуры могла занимать 500–800 км, что составляет 5–8 изометричных объемов литосферы в вертикальном сечении (по 100 км). Складчатость имеет в целом однородный характер, никаких признаков моновергентной структуры типа «аккреционная призма» в этом комплексе не наблюдается. Таким образом, это означает, что здесь нарушаются положения «1» (наличие жестких плит), «2» (тектоническая активность происходит только на границах плит) и «4б» (наличие аккреционной призмы в структуре конвергентной коллизионной границы).

Приведенные примеры четырех структур разного возраста, имеющих почти однородное горизонтальное укорочение в масштабе коры и верхней мантии, показали нарушения трех теоретических положений геодинамики — «4б» (наличие «аккреционной призмы» в зонах коллизии, условие нарушено для Большого Кавказа, Таласа и Сихотэ-Алиня), «2» — о тектонической активности только на границах плит (все четыре случая), и «7» — о постоянстве объема кристаллической части континентальной земной коры (также для всех четырех случаев). В Пиренейско-Провансальском прогибе нарушается положение «1» о прочной литосфере в плитах.

ОБСУЖДЕНИЕ

При обсуждении проблем современной геодинамики тектоносферы из всего многообразия аспектов выделим те основные моменты, которые связаны с рассмотренными выше континентальными структурами и с теоретическими положениями, лежащими в основе концепции тектоники плит и геодинамики. Напомним, что одной из целей статьи является анализ причин существующего кризисного положения в геодинамике, которое, как указывалось в начале первой части статьи, может быть частично связано с тем, что реальные свойства природных структур являются иными, чем это предусмотрено в теории.

Основной материал для критического рассмотрения континентальных структур, в первую очередь — складчатых, обеспечило применение методов оценки величины горизонтального сокращения и построения сбалансированных профилей для структур хинтерланда (Яковлев, 2015, 2017; Yakovlev et al., 2023). На этой же базе было составлено новое обобщенное представление о геометрических параметрах крупных

структур чехла и фундамента с последующим созданием моделей строения литосферы в целом (Яковлев, 2012, 2015; Яковлев, Горбатов, 2018). Заметим, что в методологическом отношении тем самым удалось сместить качество ключевой информации с уровня умозрительных приблизительных моделей (Дотдугев, 1986; Шолпо и др., 1993) в сторону точных количественных конструкций.

Если просуммировать те выводы о соблюдении основных допущений геодинамики (в обновленном виде их всего восемь), которые содержатся в конце разделов, рассматривавших разные континентальные структуры в масштабе осадочного чехла, кристаллического слоя коры и верхней мантии, то можно увидеть, что все положения, относящиеся в основном к свойствам континентальных структур («2», «4», «7», «8»), в природе не выполняются. Эти предварительные выводы будут уточнены во второй части статьи после рассмотрения дополнительных материалов. Приведенные в первой части статьи подробные описания структур с континентальной корой последовательно касаются объектов разного масштаба, начиная с осадочного чехла и заканчивая свойствами всей коры и верхней мантии.

Отдельная большая проблема, которую полезно обсудить — это вопрос о достоверности материала о структуре и истории развития регионов сложной складчатости внутренних частей складчатых сооружений, которым пользуются все исследователи. Для складчатости во флишевых толщах большой мощности чехла (10–15 км) характерно развитие мелких складок, размером вплоть до нескольких сантиметров. Разумеется, даже самая детальная геологическая карта не сможет отразить все важные особенности такой структуры. Это означает, что для сбора структурного материала в таких районах необходимо проводить долговременные работы с использованием специальных методов построения структурных профилей (Шолпо и др., 1993). Второе важное обстоятельство, частично уже обсуждавшееся — это невозможность корректно использовать обычные методы балансирования профилей, основанные на измерении длины слоя (Яковлев, 2015): ни один слой не может быть нарисован достоверно за пределами полосы обнажений, поэтому такие измерения смысла не имеют по причине своей полной некорректности. Эти обстоятельства приводят к тому, что для регионов сложной складчатости в настоящий момент (при отсутствии специально собранного детального материала по морфологии складчатости) фактически могут параллельно и равноправно существовать несколько умозрительных версий структуры, друг на друга не похожих

даже в своих основных свойствах. В отношении общей методологии такое тупиковое положение может быть преодолено только путем развития количественных моделей и методов изучения складчатости; пример таких исследований собственноручно, и предлагается в настоящей статье.

Если принять во внимание перечисленные выше проблемы, то следует признать, что структура тех частей хинтерланда, которые включают в себя разномасштабную складчатость тонкослоистого осадочного чехла большой мощности, остается в настоящий момент неизвестной, за редкими исключениями. В связи с этим, как нам представляется, сбор детального структурного материала и создание сбалансированных структур таких регионов с последующей их типизацией и обобщением является очень важной научной задачей на пути преодоления кризиса геотектоники.

ВЫВОДЫ

1. Детальные работы по построению сбалансированной структуры и выявлению механизмов формирования складчатости хинтерланда в альпийском Большом Кавказе и в каледонском Таласском хребте Тянь-Шаня, основанные на количественных измерениях деформации в нескольких масштабах, показали, что реальные процессы формирования континентальной земной коры не имеют ничего общего с широко применяемой в рамках тектоники плит теоретической схемой такого процесса — «аккреционной призмой».

2. Ошибочная трактовка структуры и истории развития линейных складчатых сооружений, используемая в публикациях последних десятилетий, является признаком серьезного кризиса геотектоники в части методологии проведения исследований.

3. В связи с тем, что основная информация геологического характера для континентальных структур в рамках геодинамики тектоносферы последние десятилетия намеренно или неумышленно искажалась под влиянием теоретических схем тектоники плит, предлагается вернуться к широкомасштабному сбору материала по детальной складчатой и разрывной структуре с применением методов исследования, характерных для классической «геосинклиальной» тектоники. Для выяснения реальной истории развития сложных регионов особенно важно опираться на стратиграфические последовательности осадков.

Работа выполнена в рамках тематики государственного задания Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН и государственного задания Минобрнауки России № FMWU-2025-0039.

Список литературы [References]

- Артюшков Е.В.* Механизм образования сверх-глубоких осадочных бассейнов. Растяжение литосферы или эклогитизация? // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. №. 12. С. 1675–1686. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.11.002> [*Artyushkov E.V.* Mechanism of formation of superdeep sedimentary basins: lithospheric stretching or eclogitization? // Russian Geology and Geophysics. 2010. V. 51. № 12. P. 1304–1313].
- Белоусов В.В.* Эндогенные режимы материков. М.: Недра, 1978. 232 с [*Belousov V.V.* Endogennye rezhimy materikov. Moscow: Nedra, 1978. 232 p. (in Russian)].
- Большой Кавказ в альпийскую эпоху: монография / Отв. ред. Ю.Г. Леонов. М.: ГЕОС, 2007. 368 с. [*Bol'shoj Kavkaz v al'pijskuyu epohu: monografiya / Otv. red. Yu.G. Leonov.* Moscow: GEOS, 2007. 368 p. (in Russian)].
- Геологическая карта Кавказа. Масштаб 1:500000 // Под ред. Д.В. Наливкина и др. – Министерство Геологии СССР. ВСЕГЕИ. М.: Аэрогеология, 1978 [Geologicheskaya karta Kavkaza. Masshtab 1:500000 // Pod red. D.V. Nalivkina et al. – Ministerstvo Geologii SSSR. VSEGEI. Moscow: Aerogeologiya, 1978 (in Russian)].
- Геологический словарь. В трех томах, Издание 3 / Гл. ред. О.В. Петров. Т1. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ. (2010 А–Й), 2010, 432 с. [Geologicheskij slovar'. V trekh tomah, Izdanie 3 / gl. red. O.V. Petrov. T1. SPb: Izd-vo VSEGEI. (2010 A–J), 2010, 432 p. (in Russian)].
- Гиоргобiani Т.В., Закарая Д.П.* Складчатая структура Северо-Западного Кавказа и механизм её формирования. Тбилиси: Мецниереба, 1989. 60 с. [*Giorgobiani T.V., Zakaraya D.P.* Skladchataya struktura Severo-Zapadnogo Kavkaza i mekhanizm eyo formirovaniya. Tbilisi: Mecniereba, 1989. 60 p. (in Russian)].
- Горкин А.Ф., Шмидт О.Ю., Мотылев В.Е.* и др. Большой Советский Атлас Мира, М: Научно-издательский институт Большого советского атласа мира. Т. 1, 1937 [*Gorkin A.F. SHmidt O.YU., Motylev V.E. et al.* Bol'shoj Sovetskij Atlas Mira, M: Nauchno-izdatel'skij institut Bol'shogo sovetskogo atlasa mira. V. 1. 1937. (in Russian)].
- Дотдуйев С.И.* О покровном строении Большого Кавказа // Геотектоника. 1986. № 5. С. 94–106 [*Dotduyev S.I.* Nappe structure of the Greater Caucasus Range // Geotectonics, 1987. 20 (5). P. 420–430].
- Леонов М.Г.* Дикий флиш Альпийской области. М.: Тр. ГИН АН СССР, 1975. Вып. 199. 140 с. [*Leonov M.G.* Wildflysh of the Alpine region. Moscow: Trudy GIN AN SSSR, 1975. Vyr. 199. 140 p. (in Russian)].
- Лобковский Л.И.* Тектоника деформируемых литосферных плит и модель региональной геодинамики применительно к Арктике и Северо-Восточной Азии // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. №. 3. С. 476–495. <https://doi.org/10.15372/GiG20160302> [*Lobkovsky L.I.* Deformable plate tectonics and regional geodynamic model of the Arctic region and Northeastern Asia // Russian Geology and Geophysics. 2016. V. 57. № 3. P. 371–386].
- Милановский Е.Е.* Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. 483 с. [*Milanovskij E.E.* Novejshaya tektonika Kavkaza. Moscow: Nedra, 1968. 483 p. (in Russian)].
- Неволин П.Л., Митрохин А.Н., Уткин В.П.* Сихотэ-Алинская складчатая система: общие особенности строения и некоторые аспекты контроля золотого оруденения (на примере Центрального Сихотэ-Алиня) (часть вторая) // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле, 2018. Т. 39. № 3. С. 74–89. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2018-3-39-74-89> [*Nevolin P.L., Mitrokhin A.N., Utkin V.P.* The Sikhote-Alin fold system. General structural features and certain aspects of control of gold mineralization: a case study for central Sikhote-Alin, Russia (Part 2) // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2018. № 3(39). P. 74–89 (in Russian)].
- Павленкова Г.А.* Строение земной коры Кавказа по профилям ГСЗ Степное-Бакуриани и Волгоград-Нахичевань (результаты переинтерпретации первичных данных) // Физика Земли. 2012. № 5. С. 16–25 [*Pavlenkova G.A.* Crustal structure of the Caucasus from the Stepnoe-Bakuriani and Volgograd-Nakhichevan DSS profiles (reinterpretation of the primary data) // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2012. V. 48. № 5. P. 375–384. <https://doi.org/10.1134/S1069351312040040>].
- Прокопьев А.В., Фридовский В.Ю., Гайдук В.В.* Разломы: (Морфология, геометрия и кинематика): Учебное пособие / Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2004. 148 с [*Prokop'ev A.V., Fridovskij V.YU., Gajduk V.V.* Razlomy: (Morfologiya, geometriya i kinematika): Ucheb. posobie / Yakutsk: YAF Izd-va SO RAN, 2004. 148 p. (in Russian)].
- Рогожин Е.А., Яковлев Ф.Л.* Опыт количественной оценки морфологии складчатости Тфанской зоны Большого Кавказа // Геотектоника, 1983. №3. С. 87–98 [*Rogozhin E.A., Yakovlev F.L.* Opyt kolichestvennoj ocenki morfologii skladchatosti Tfanskoj zony Bol'shogo Kavkaza // Geotektonika, 1983. № 3. P. 87–98 (in Russian)].
- Соколов С.Д.* Тектонические циклы // Большая российская энциклопедия. Т. 31. Москва, 2016. 764 с. [*Sokolov S.D.* Tektonicheskie cikly // Bol'shaya rossijskaya enciklopediya. V. 31. Moscow: 2016. 764 p. (in Russian)].
- Хаин В.Е., Ломизе М.Г.* Геотектоника с основами геодинамики: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1995. 480 с. [*Hain V.E., Lomize M.G.* Geotektonika s osnovami geodinamiki: Uchebnik. Moscow: Izd-vo MGU, 1995. 480 p. (in Russian)].
- Хаин В.Е., Ломизе М.Г.* Геотектоника с основами геодинамики. 2-е изд., испр. и доп. М.: Книжный дом Университет, 2005. 560 с. [*Hain V.E., Lomize M.G.* Geotektonika s osnovami geodinamiki. 2-e izd., ispr. i dop. Moscow: Knizhnyj dom Universitet, 2005. 560 p. (in Russian)].
- Шолпо В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А.* Складчатость Большого Кавказа. М.: Наука, 1993. 192 с. [*Sholpo V.N., Rogozhin E.A., Goncharov M.A.* Skladchatost' Bol'shogo Kavkaza. Moscow: Nauka, 1993. 192 p. (in Russian)].
- Яковлев Ф.Л.* Владимир Владимирович Белоусов и проблема происхождения складчатости // Геофи-

- зические Исследования. 2008. Т. 9. № 1. С. 56–75 [Yakovlev F.L. Vladimir Vladimirovich Belousov and the problem of folding formation // Geophysical Research, 2008. V. 9. № 1. P. 56–75 (in Russian)].
- Яковлев Ф.Л. Реконструкция структур линейной складчатости с использованием объемного балансирования // Физика Земли. 2009. № 11. С. 1023–1034 [Yakovlev F.L. Reconstruction of linear folding structures with the use of volume balancing // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2009. V. 45. № 11. P. 1025–1036].
- Яковлев Ф.Л. Опыт построения сбалансированной структуры восточной части альпийского Большого Кавказа по данным количественных исследований линейной складчатости // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. Вып. 19. № 1. С. 191–214 [Yakovlev F.L. Opyt postroeniya sbalansirovannoy struktury vostochnoy chasti al'pijskogo Bol'shogo Kavkaza po dannym kolichestvennyh issledovaniy lineynoy skladchatosti // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2012. № 1(19). P. 191–214 (in Russian)].
- Яковлев Ф.Л. Многограновый деформационный анализ линейной складчатости на примере альпийского Большого Кавказа / диссертация на ученую степень д.г.-м.н. по специальности 25.00.03 «Геотектоника и геодинамика» / М.: ИФЗ РАН, 2015. 472 с. [Yakovlev F.L. Mnogorangovyy deformacionnyy analiz lineynoy skladchatosti na primere al'pijskogo Bol'shogo Kavkaza / dissertatsiya na uchenuyu stepen' d.g-m.n. po special'nosti 25.00.03 «Geotektonika i geodinamika» / Moscow: IFZ RAN, 2015. 472 p. (in Russian)].
- Яковлев Ф.Л. Реконструкция складчато-разрывных структур в зонах линейной складчатости по структурным разрезам. М.: Изд. ИФЗ РАН, 2017. 60 с. [Yakovlev F.L. Reconstruction of folded and faulted structures in zones of the linear folding using structural cross-sections. Moscow: Izd. IFZ RAN, 2017. 60 p. (in Russian)].
- Яковлев Ф.Л. К попытке методологического анализа реалистичности основных модельных допущений современной геодинамики // Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. Материалы I Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2018. С. 349–353 [Yakovlev F.L. K popytke metodologicheskogo analiza realistichnosti osnovnykh model'nykh dopushcheniy sovremennoy geodinamiki // Problemy tektoniki i geodinamiki zemnoy kory i mantii. Materialy I Tektonicheskogo soveshchaniya. V. 2. Moscow: GEOS, 2018. P. 349–353 (in Russian)].
- Яковлев Ф.Л., Горбатов Е.С. Об использовании факторного анализа для исследования геодинамических процессов формирования Большого Кавказа // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9. № 3. С. 909–926. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-3-0376> [Yakovlev F.L., Gorbatov E.S. On using the factor analysis to study the geodynamic processes of formation of the Greater Caucasus // Geodynamics & Tectonophysics. 2018. V. 9. № 3. P. 909–926 (in Russian)].
- Яковлев Ф.Л., Фролова Н.С. О строении земной коры каледонского и современного Таласского Алатау по профилю Шильбилисай — по данным предварительного определения величин соскладчатого горизонтального сокращения / Материалы всероссийской научной конференции «Геотектоника и геодинамика сейсмоактивных районов», М.: Изд-во «Перо», 2022. С. 490–500 [Yakovlev F.L., Frolova N.S. O stroenii zemnoy kory kaledonskogo i sovremennogo Talasskogo Alatau po profilyu SHil'bilisaj — po dannym predvaritel'nogo opredeleniya velichin soskladchatogo gorizontalnogo sokrashcheniya / Materialy vserossiyskoj nauchnoj konferencii «Geotektonika i geodinamika sejsmoaktivnyh rajonov», M: Izd-vo «Pero», 2022. P. 490–500 (in Russian)].
- Adamia S., Alania V., Chabukian A. et al. Great Caucasus (Cavcasioni): a long-lived north-Tethyan back-arc basin // Turkish Journal of Earth Sciences, 2011. V. 20. № 5. P. 611–628. <https://doi.org/10.3906/yer-1005-12>
- Bestani L., Espurt N., Lamarche J. et al. Structural style and evolution of the Pyrenean-Provence thrust belt, SE France // Bulletin de la Société géologique de France, 2015. V. 186. № 4–5. P. 223–241. <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.186.4-5.223>
- Cowgill E., Forte A.M., Niemi N. et al. Relict basin closure and crustal shortening budgets during continental collision: An example from Caucasus sediment provenance // Tectonics. 2016. V. 35. № 12. P. 2918–2947. <https://doi.org/10.1002/2016TC004295>
- Dahlstrom C.D.A. Balanced cross sections // Canadian journal earth science. 1969. V. 6. № 4. P. 743–757. <https://doi.org/10.1139/e69-069>
- Kulm L.D., Fowler G.A. Oregon continental margin structure and stratigraphy: a test of the imbricate thrust model / The Geology of Continental Margins. (Eds.) Burke C.A., Drake C.L. New York: Springer, 1974. P. 261–284.
- Turcotte D.L., Schubert G. Geodynamics. UK Cambridge: Cambridge university press, 2002. 214 p.
- Yakovlev F., Gaidzik K., Voytenko V. et al. Balanced cross-section restoration in a complicated folded hinterland structure: Shilbilisaj profile, Talas ridge, Caledonian Tien Shan // Terra Nova. 2023. V. 35. № 1. P. 1–14. <https://doi.org/10.1111/ter.12614>
- Yakovlev F.L., Voitenko V.N. Application of the deformation tensor conception for the estimation of deformations in different-scale folded structures // Proceedings of VII International Interdisciplinary symposium and International Geoscience Programme (IGCP-476) «Regularity of structure and evolution of geospheres», Vladivostok, 20–25 September 2005. Vladivostok: Pacific Oceanological Institute FED RAS, 2005. P. 66–69.

ЯКОВЛЕВ
**ON THE INCONSISTENCY OF THE BASIC POSTULATES
OF MODERN CONCEPTS OF THE FORMATION AND DEVELOPMENT
OF THE EARTH'S LITHOSPHERE WITH THE PROPERTIES
OF NATURAL STRUCTURES.
PART 1 – CONTINENTAL CRUST**

F.L. Yakovlev

O.Yu. Schmidt Institute of Earth Physics, RAS, Moscow, Russia, 123242

Received April 11, 2024; revised March 05, 2026; accepted March 27, 2026

It has been suggested that the causes of the crisis in geodynamics of the tectonosphere that has existed for the last decades are the unreality of the six known propositions that form the basis of plate tectonics, to which are added the property of constancy of the volume of the continental crust and an expanded understanding of actualism. From this perspective, the first part of the article analyzes objects on two scales: the structure of the sedimentary cover of the Greater Caucasus and its crust and lithosphere. The structures of the Caledonian Tien Shan, the Alpine Pyrenean-Provençal trough, and the Mesozoic Sikhote-Alin are also considered. The identified properties of the structures do not correspond to the studied positions: deformations are not concentrated at plate boundaries, no «accretionary prism» is observed in the folding, the thickness of the continental crust decreases during the development of structures, and the principle of «actualism» has been used incorrectly. To overcome the crisis in the geodynamics of the tectonosphere, it is proposed to abandon the use of unconfirmed theoretical positions of plate tectonics.

Keywords: geodynamics, continental crust, plate tectonics, folding, geosynclinal concept, crustal consolidation.