

## Дискуссии

УДК 551.24.01; 551.242.1; 551.242

<https://doi.org/10.31431/1816-5524-2026-3-71-77-95>

### О НЕСООТВЕТСТВИИ ОСНОВНЫХ ПОСТУЛАТОВ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЛИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ СВОЙСТВАМ ПРИРОДНЫХ СТРУКТУР КОНТИНЕНТОВ (ЧАСТЬ 2)

© 2026 Ф.Л. Яковлев

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

Поступила в редакцию 11.04.2024; после доработки 15.09.2026; принята в печать 25.09.2026

В первой части статьи было высказано предположение, что наблюдаемый кризис в геодинамике тектоносферы связан с несоответствием основных положений тектоники плит реальным свойствам природным структур. К анализируемым известным шести положениям были добавлены еще два, которые фактически учитываются в моделях геодинамики — постоянство объема континентальной коры и расширенное понимание принципа актуализма. На примерах линейной складчатости Большого Кавказа и ряда других регионов были проверены свойства континентальных структур в масштабе осадочного чехла и коры. Во второй части анализируются статистические модели геодинамических процессов формирования складчатости и воздымания Большого Кавказа и Тянь-Шаня, а также свойства ряда современных горных сооружений. Для изученных природных объектов показано, что их параметры не соответствуют постулатам тектоники плит; для них характерны прежде всего процессы сильных изменений плотности пород коры и верхней мантии. Сделан вывод о возможности преодоления кризиса в геодинамике тектоносферы при условии отказа от нереалистичных теоретических положений тектоники плит при разработке уточненных моделей геодинамики.

*Ключевые слова: геодинамика, континентальная кора, тектоника плит, складкообразование, горообразование.*

#### ВВЕДЕНИЕ

В статье, в ее двух частях, анализируется общее состояние методологии геодинамики тектоносферы, которое, как мы считаем, является кризисным, поскольку в решении основных проблем геотектоники за последние десятилетия большого прогресса не наблюдалось. Было сделано предположение (Яковлев, 2026), что причина такой ситуации лежит в том, что реальные свойства природных структур сильно отличаются от тех параметров, которые им предписаны теоретическими моделями тектоники плит, в частности — содержатся в известных шести положениях, носящих характер постулатов (Хаин, Ломизе, 2005). В связи с этим в первой

части статьи (Яковлев, 2026) анализируются геометрические аспекты складчато-разрывной структуры осадочного чехла ряда регионов (Большой Кавказ, Тянь-Шань), а также строение континентальной коры и верхней мантии этих и других регионов. Во второй части статьи, опираясь на полученные результаты, выявляются геодинамические механизмы формирования как складчатости, так и горных сооружений Большого Кавказа, Тянь-Шаня и других структур. Во всех случаях проверяется соответствие выявляемых параметров природных структур тем свойствам, которые для них предполагаются в существующих геодинамических моделях.

Теоретическую основу геодинамики тектоносферы, как известно, составляет концепция

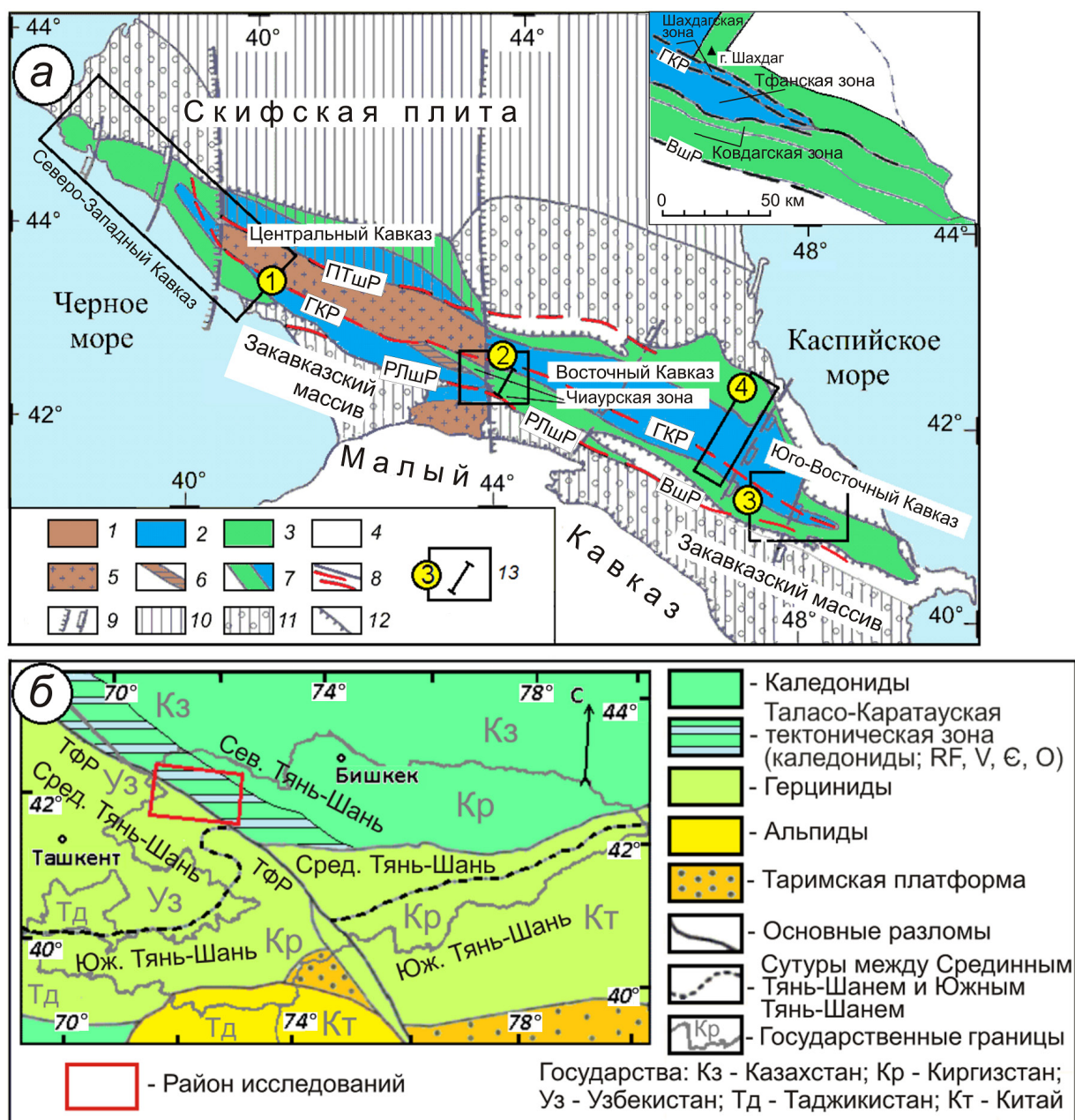
тектоники плит, появившаяся около 50 лет назад в науках о развитии Земли, и быстро сменившая в качестве основной научной парадигмы господствовавшую до нее концепцию геосинклинального развития. Широкие возможности разработки и применения разнообразных количественных моделей в рамках тектоники плит выгодно отличали этот методический подход от пути длительного накопления эмпирического наблюдательного материала при «геосинклинальном» подходе, на котором так и не появилось убедительной теоретической схемы, объясняющей, в частности, основные механизмы формирования континентальной земной коры. Напомним, что одним из основных достижений геосинклинальной концепции можно считать феноменологическое описание циклического развития складчато-надвиговых поясов (Белюсов, 1948; Смирнов, 1965; Шатский, 1947; Stille, 1941). При этом развитии сначала накапливается мощный чехол специфических «геосинклинальных» осадочных толщ, которые потом проходят через процессы складчатости, метаморфизма и магматизма, образуя в результате новую кристаллическую кору и формируя горные сооружения. После разрушения гор блоки новой континентальной коры обычно переходят в стадию развития платформы или плиты, но могут и включиться в новый «геосинклинальный» цикл. Накопленная информация о развитии структур подвижных поясов продолжает составлять фундамент всех континентальных геотектонических построений. Последние по времени «геосинклинальные» теоретические разработки (Гончаров, 1988; Рейснер и др., 1993; Шолпо, 1978) включали в себя представления о связи таких циклов развития с процессами в верхней мантии под подвижными поясами («эндогенные режимы» (Белюсов, 1978)). В рамках тектоники плит весь цикл этих событий рассматривается сейчас как последовательность ряда процессов — прежде всего рифтогенеза с раскрытием пространства с океанической корой и накопления на ней осадков, а затем сближения континентальных блоков и поглощения океанической коры, при активности сначала структур субдукции, а затем и коллизии. Безусловно, в настоящий момент эти взгляды доминируют и составляют основу основных теоретических моделей геодинамики тектоносферы (Лобковский и др., 2004; Хаин, Ломизе, 2005; Turcotte, Schubert, 2002).

Как уже было сказано, современное состояние геодинамики тектоносферы, по нашему мнению, близко к кризисному. Это связано с тем, что за прошедшие полвека доминирования концепции тектоники плит не оправдались ожидания разрешения большинства основных проблем, которые в свое время не смогла преодо-

леть концепция геосинклинального развития, в частности — объяснения циклическости развития, причин вертикальных и горизонтальных движений блоков коры, надежного определения масштабов горизонтальных перемещений (в части конфигураций основных плит для времени древнее мезозоя), выявления источников энергии тектонических движений и так далее (Хаин, 2003; Яковлев, 2026). Появились работы, в которых уточняются или пересматриваются основные положения тектоники плит и геодинамики (Лобковский, 2016; Соколов, 2018; Хаин, Ломизе, 2005). Как уже отмечалось (Яковлев, 2026), в последние годы были опубликованы работы, критикующие концепцию тектоники плит, в первую очередь — с позиций обобщения эмпирического материала о развитии структур разного происхождения (Антонов, 2007; Блюман, 2011; Жирнов, 2011; Жирнов, Караулов, 2017; Кононов, 2007; Корнева и др., 2015; Михалев, 2005; Океанизация..., 2004; Спорные..., 2002).

В связи с этой ситуацией общей целью обеих частей настоящей статьи является проверка гипотезы о том, что главные причины общего кризисного состояния геодинамики связаны с несовпадением свойств природных структур, предписанных им теоретическими положениями, и существующими реально. Для этого подробно исследуется ряд конкретных континентальных структур, и проверяется, какие их свойства совпадают или не совпадают с параметрами, предусмотренными положениями тектоники плит. В работе (Яковлев, 2026) была показана построенная по специальному методу сбалансированная складчато-разрывная структура осадочного чехла двух исследованных регионов — альпийского Большого Кавказа и каледонского Тянь-Шаня (рис. 1). Конфигурация структуры в обоих случаях оказалась несовместимой со схемой «аккреционной призмы», обязательной для коллизионного орогена. Также было опровергнуто свойство отсутствия деформации или наличия только слабой деформации в кристаллическом слое континентальной коры в этих структурах (Яковлев, 2026). Тем самым общее предположение о том, что свойства природных структур не совпадают с их теоретически предписанными параметрами, получило подтверждение в конкретных структурах осадочного чехла.

Во второй части статьи, будут исследованы геодинамические процессы формирования складчатости, а также роста горных сооружений на примерах Большого Кавказа, Тянь-Шаня и ряда других активных блоков континентальной коры. Результаты этих исследований также будут сопоставлены с теоретическими моделями образования таких структур.



**Рис. 1.** Районы исследований. *а* — схема строения мегантиклинория Большого Кавказа (Шолпо, 1978; Яковлев, 2010). Показаны четыре сектора мегантиклинория (СЗК — Северо-Западный Кавказ, Центральный Кавказ, Восточный Кавказ, ЮВК — Юго-Восточный Кавказ); Скифская плита и Закавказский массив, основные разломы и некоторые тектонические зоны. На детальной карте-врезке показаны основные структуры ЮВК. 1 — палеозойские отложения; 2 — нижне и среднеюрские отложения; 3 — верхнеюрские, меловые и нижнекайнозойские отложения; 4 — кайнозойские отложения от олигоценных до четвертичных; 5 — выходы палеозойского и докембрийского фундамента; 6 — выходы палеозойских пород южнее Главного Кавказского разлома; 7 — границы основных возрастных подразделений и тектонических зон; 8 — разрывы на границах тектонических зон и всего сооружения (ПТШР — Пшекиш-Тырныаузский шовный разлом, ГКР — Главный Кавказский разлом, РЛШР — Рача-Лечхумский шовный разлом, ВШР — Вандамский шовный разлом); 9 — основные поперечные структуры на границах секторов и внутри секторов; 10 — стабильные блоки за пределами Большого Кавказа (раннекиммерийская Скифская плита, Закавказский массив); 11 — осадочные прогибы в пределах стабильных блоков; 12 — границы горных сооружений; 13 — районы исследований (1 — СЗК; 2 — Чиаурская зона, 3 — Тфанская и Шахдагская зоны ЮВК; 4 — Сланцевый и Известняковый Дагестан). *б* — тектоническая позиция района исследований каледонской складчатости Таласо-Каратауской тектонической зоны в структуре Тянь-Шаня (Voytenko, Khudoley, 2012). ТФР — Таласо-Ферганский разлом.

**Fig. 1.** Research areas. *a* — scheme of the structure of the Greater Caucasus meganticlinorium (Sholpo, 1978; Yakovlev, 2010). Four sectors of the meganticlinorium are shown (СЗК — Northwestern Caucasus, Central Caucasus,

Eastern Caucasus, ЮБК — Southeastern Caucasus); the Scythian Plate and the Transcaucasian Massif, the main faults and some tectonic zones. The detailed inset map shows the main structures of the ЮБК. 1 — Paleozoic deposits; 2 — Lower and Middle Jurassic deposits; 3 — Upper Jurassic, Cretaceous and Lower Cenozoic deposits; 4 — Cenozoic deposits from Oligocene to Quaternary; 5 — outcrops of Paleozoic and Precambrian basement; 6 — outcrops of Paleozoic rocks south of the Main Caucasian Fault; 7 — boundaries of the main age units and tectonic zones; 8 — faults at the boundaries of tectonic zones and the entire meganticlinorium (ПТШП — Pshekish-Tyrnyauz suture fault, ГKP — Main Caucasian fault, РЛШП — Racha-Lechkhum suture fault, ВШП — Vandam suture fault); 9 — main transverse structures at the boundaries of sectors and within sectors; 10 — stable blocks outside the Greater Caucasus (Early Cimmerian The Scythian Plate, Transcaucasian massif); 11 — sedimentary troughs within stable blocks; 12 — boundaries of mountain buildings; 13 — research areas (1 — СЗК; 2 — Chiaur zone, 3 — Tfan and Shahdag zones of the ЮБК; 4 — Shale and Limestone Dagestan).  $\delta$  — tectonic position of the research area of the Caledonian folding of the Talaso-Karatau tectonic zone in the structure of the Tien Shan (Voytenko, Khudoley, 2012). ТФР — Talas-Ferghana fault.

Существует шесть основных положений или постулатов тектоники плит и геодинамики тектоносферы, которые считаются общепринятыми. Вслед за (Хаин, Ломизе, 2005) они были даны в (Яковлев, 2026) в следующем порядке. Это положение (1) — о хрупкой и высоковязкой литосфере, образующей недеформируемые тектонические плиты, перемещающиеся по маловязкой астеносфере; (2) — положение о восьми больших основных плитах и о деформациях, которые сосредоточены на границах плит, но не внутри них; (3) — описание движения жестких плит по поверхности земного шара с помощью теоремы Эйлера. Положение (4) было описано подробнее — оно определяет характер деформаций на границах плит и включает в себя «4а» — зоны дивергенции (место появления новой океанической коры), «4б» — области конвергенции (и схему «аккреционной призмы» для коллизионной складчатости), «4в» — сдвиговые деформации по трансформным разломам. Следующее положение (5) говорит о компенсации появления новой коры на дивергентных границах поглощением плит в зонах субдукции или коллизии. Положение (6) о тепловой мантийной конвекции утверждает, что она является источником энергии для тектонических движений.

К этим известным шести положениям были добавлены еще два пункта (Яковлев, 2018, 2026), формально не выделяемые в качестве постулатов, но несомненно активно используемые в геодинамических моделях. Пункт (7) говорит о природе континентальной и океанической коры. В первой части пункта утверждается, что кристаллический слой континентальной коры, один раз возникнув, в дальнейшем не исчезает и всегда сохраняет свой объем. Во второй части этого пункта говорится, что новая океаническая кора может появляться только в зонах спрединга. В качестве пункта (8) привлекается расширенная трактовка принципа актуализма, согласно которой хорошо изученные современные тектонические структуры, объясняемые моделями тектоники плит, используются в качестве эталонов для объяснения формирования структур древних.

И напомним еще раз, что для выполнения задачи настоящего исследования следует изучить случаи соблюдения или несоблюдения в конкретных континентальных структурах всех восьми положений, составляющих теоретическую основу моделей геодинамики тектоносферы.

### ВЫЯВЛЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА, ДЕЙСТВУЮЩИХ В МАСШТАБЕ ЛИТОСФЕРЫ

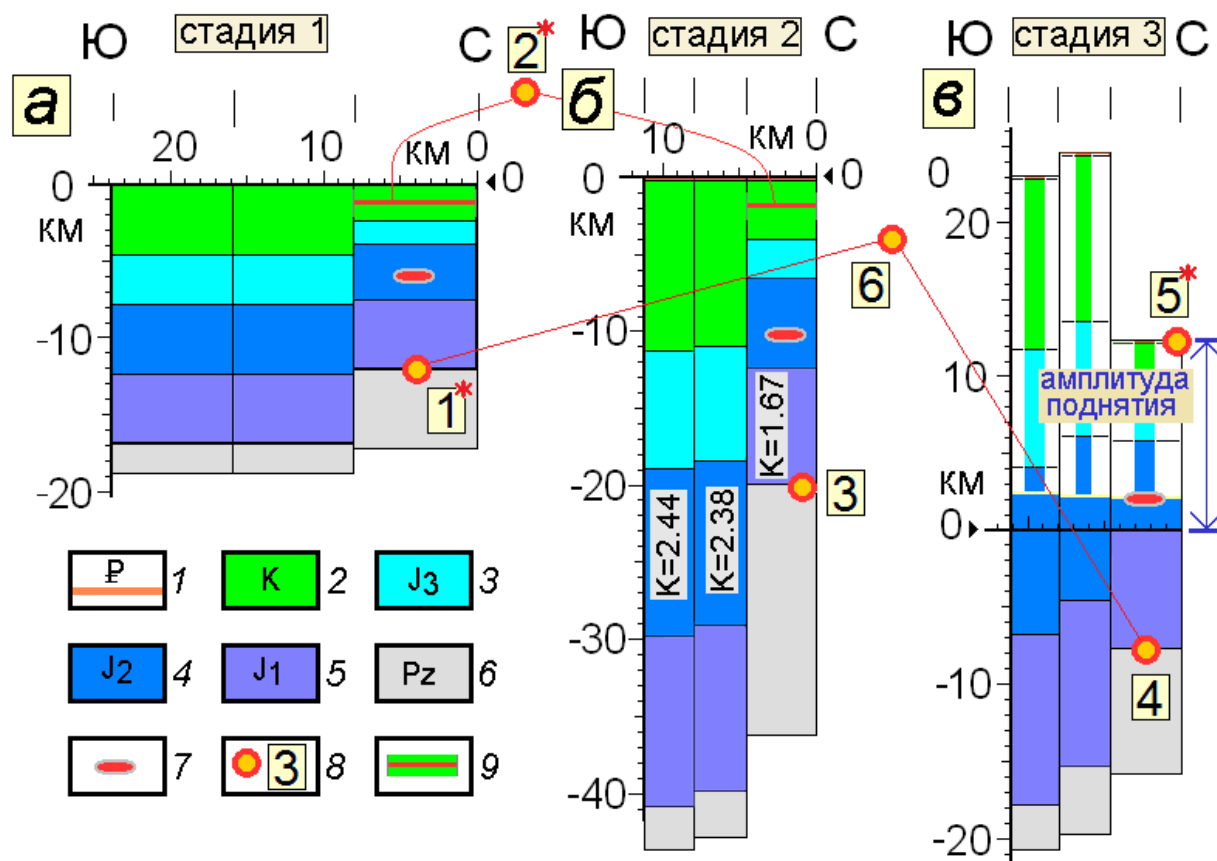
**Исходные материалы для статистического исследования.** Материалы сбалансированной модели складчатого осадочного чехла Большого Кавказа (Яковлев, 2012, 2015, 2026) были использованы не только для анализа структуры земной коры и верхней мантии до глубин 50–100 км, но и для выявления геодинамических механизмов формирования всего альпийского сооружения (Яковлев, Горбатов, 2018).

Для получения данных по сбалансированной структуре были использованы система иерархии структур линейной складчатости (Яковлев, 2008; 2015) и специальный метод реконструкции структуры «по геометрии складчатого домена» (Яковлев, 2015, 2017). Система иерархии включает в себя семь уровней объектов, которые выделяются по объему охватываемой ими слоистости. Первые два уровня представлены внутрислойными объектами и складками, охватывающие слои, уровень III — это складчатые домены, состоящие из нескольких складок и охватывающие пачки слоев, уровень IV формируют структурные ячейки, состоящие из нескольких доменов и занимающие по вертикали весь осадочный чехол. Последние три уровня — это тектонические зоны (вся кора по вертикали), складчатые системы (Большой Кавказ целиком, с охватом всей литосферы) и складчатый пояс. В методе реконструкции в качестве основного объекта используются «складчатые домены», шириной вдоль профиля 0.5–1 км, в которых измерялись элементы морфологии, связанные с эллипсоидом деформации объекта. Метод

позволяет возвращать современное положение домена к его доскладчатому состоянию, используя именно преобразования эллипса деформации. Доскладчатый профиль представляет собой последовательность таких доменов в виде отрезков линии профиля в горизонтально слоистой среде. «Структурные ячейки» выделяются внутри доскладчатого профиля путем объединения нескольких доменов.

Для диагностики геодинамических процессов формирования коры, независимых от влияния заранее предписанных геодинамических моделей, необходимо иметь такие наблюдаемые параметры природных структур, которые имеют отношение к их развитию; изучаемые «структурные ячейки», соответственно, имеют шесть параметров структуры, связанных с ее эволюцией. Для того, чтобы эволюция структуры

отражалась в данных, для алгоритма вычислений была принята схема развития структурных ячеек, имеющая три стадии и удобная для расчетов всех параметров: стадия 1 — доскладчатая постседиментационная, стадия 2 — постскладчатая доорогенная, стадия 3 — посторогенная современная (рис. 2). В шесть параметров, соответственно, входят: «1» — глубина кровли фундамента для стадии 1, «2» — величина сокращения, которая обеспечила формирование складчатости на стадии 2, «3» — глубина кровли фундамента для стадии 2, «4» — глубина кровли фундамента на стадии 3, современной, «5» — амплитуда «неотектонического» поднятия и размыва кровли осадочного чехла, «6» — разница между глубинами кровли фундамента на стадиях 3 и 1. Из этих признаков три являются измеряемыми, природными — «1», «2», «5». Последний параметр, «5»,



**Рис. 2.** Реконструкция осадочного чехла в масштабе «структурных ячеек» (по (Яковлев, 2012), с изменениями и дополнениями). Показаны три стадии развития структуры (а, б, в) для трех ячеек профиля «Кудиалчай», Тфанская тектоническая зона Юго-Восточного Кавказа. 1–6 — стратиграфические подразделения и их возраст; 7 — позиция стратиграфического маркера (средняя стратиграфическая глубина ячейки); 8 — основные параметры ячеек, используемые для статистической диагностики геодинамических механизмов в масштабе литосферы (1–6, перечислены в тексте); измеряемые параметры (1, 2, 5) помечены «\*»; 9 — длина ячейки вдоль профиля для стадий 1 и 2; используется для вычисления величины укорочения.

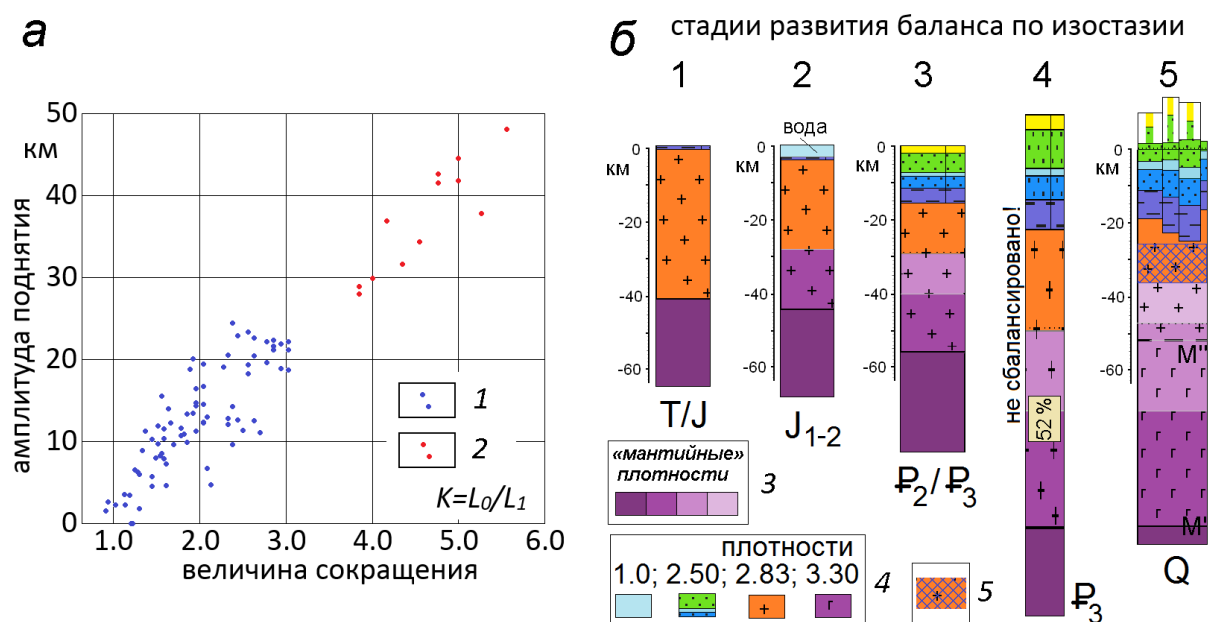
**Fig. 2.** Reconstruction of the sedimentary cover architecture at the «structural cells» scale modified after (Yakovlev, 2012). Three evolutionary stages (а, б, в) for three cells along the Kudialchai profile, the Tfan tectonic zone of the Southeastern Caucasus, are shown. 1–6 — stratigraphic units and their age; 7 — marker of bedding position (average stratigraphic depth of a cell); 8 — basic cell parameters used for statistical diagnostics of lithospheric-scale geodynamic mechanisms (parameters 1–6 listed in the text); measured parameters (1, 2, 5) marked with «\*»; 9 — cell length along profile for stages 1 and 2; used to calculate shortening magnitude.

определяется положением в стратиграфической колонке тех пород, которые в современной структуре выходят в обнажениях на линии профиля (рис. 2, знак 7). Остальные три признака вычисляются. Достаточно очевидно, что все шесть признаков связаны с процессами формирования структуры, активными на протяжении всего цикла, в данном случае — альпийского. Эти процессы контролировали осадконакопление, формирование складчатой структуры Большого Кавказа (его сокращение) и определяли его поднятие как горного сооружения. Эти геодинамические процессы должны были оставить «следы» в статистической картине распределения значений параметров для множества объектов, поскольку все объекты среди этого множества обязательно имеют разную длину пройденного пути на вполне определенном эволюционном тренде.

**Применение факторного анализа для изучения структур Большого Кавказа.** В качестве исходного материала статистического анализа в предлагаемом исследовании были использованы 78 структурных ячеек, выделенных ранее в пределах Большого Кавказа (Яковлев, 2015; Яковлев, Горбатов, 2018). На первом этапе были рассчитаны матрицы корреляций, которые

показали для некоторых пар признаков высокие значения связей; было понятно, что часть таких связей могла иметь генетический смысл. Например, была обнаружена сильная связь амплитуды поднятия и величины сокращения ( $R = 0.818$ , рис. 3а, условное обозначение 1). Однако, парные корреляции могли формироваться в результате действия нескольких процессов, поэтому их прямая интерпретация без учета характера других корреляций могла привести к ошибкам.

Известно, что генетический характер взаимных связей ряда параметров, может быть выявлен с помощью факторного анализа, который позволяет находить в совокупности парных корреляций неявные общие закономерности. Такой метод первоначально был использован для анализа складчатых структур Большого Кавказа (Яковлев, Горбатов, 2018, 2023). Основная дисперсия всех шести параметров для 78 ячеек (табл. 1, версия 1) нашла объяснение через два фактора, имеющих почти одинаковые веса — 0.466 и 0.402. Предполагается, что эти факторы отражают реальные природные процессы, которые отвечают за геодинамическое развитие Большого Кавказа и формируют совокупность значений шести параметров в 78 объектах. В интерпретации результатов факторного ана-



**Рис. 3.** Материалы по геодинамическим механизмам формирования структуры Большого Кавказа. а — диаграмма рассеяния, показывающая связь величины сокращения и амплитуды поднятия и размытия для двух регионов. 1 — для Большого Кавказа, 78 ячеек (по материалам (Яковлев, 2015; Яковлев, Горбатов, 2023)); 2 — для Тянь-Шаня, по (Яковлев, Горбатов, 2023). б — реконструкция строения коры и мантии Чиаурской тектонической зоны для нескольких стадий развития при условии сохранения ее изостатического баланса (по материалам (Яковлев, Горбатов, 2018)). Стадии (номера 1–5, показаны сверху, время показано индексами внизу колонок): (1) — перед осадконакоплением; (2) — погружение структуры, начало юры; (3) — после накопления всего осадочного чехла, до образования складчатости; (4) — новые мощности частей структуры после сокращения всего осадочного чехла (52 %), но без учета баланса по изостазии; (5) — современная структура, после поднятия и размытия верхней части осадочного чехла. 3 — породы, имеющие плотность мантийных, разного времени образования (слева направо расположены последовательно более молодые);

4 — плотности пород, принятые для расчетов изостатического баланса (вслед за (Trifonov, Sokolov, 2014)); 5 — породы, вернувшие себе плотность коровых на стадии поднятия и размыва структуры.

**Fig. 3.** Evidence for geodynamic mechanisms of formation of the Greater Caucasus structure. *a* — scatterplot correlating shortening magnitude with uplift/denudation amplitude for two regions. 1 — for Greater Caucasus, 78 cells (Yakovlev, 2015; Yakovlev, Gorbato, 2023); 2 — for Tien Shan (Yakovlev, Gorbato, 2023). *b* — crust-mantle reconstruction for Chaur tectonic zone for several stages of its development, assuming that its isostatic balance is preserved (Yakovlev, Gorbato, 2018). Stages (numbers 1–5, shown at the top, time is shown by indexes at the bottom of the columns): (1) — pre-deposition, (2) — early Jurassic onset of subsidence, (3) — full cover accumulation (pre-folding), (4) — new thickness of parts of the structure after shortening of the entire cover (52%) without balance of isostasy, (5) — present-day structure, after uplift and erosion of the upper part of the sedimentary cover. 3 — rocks having a density of mantle, of different times of its formation (it are sequentially younger from left to right); 4 — rock densities used for isostatic balance calculations (after (Trifonov, Sokolov, 2014)); 5 — rocks re-acquiring crustal densities during uplift and erosion.

**Таблица 1.** Результаты факторного анализа параметров структурных ячеек (пояснения в тексте, по (Яковлев, Горбатов, 2018, 2023)). Версия 1 — Большой Кавказ ( $n = 78$ ), версия 2 — профиль Шильбилисай, Тянь-Шань ( $n = 12$ ), версия 3 — два региона совместно ( $n = 90$ ). ГКФ — глубина кровли фундамента. Полу жирным шрифтом выделены нагрузки параметров, использованные при интерпретации факторов

**Table 1.** Results of factor analysis of structural cell parameters (explanations in the text, according to (Yakovlev, Gorbato, 2018, 2023)). Version 1 — the Greater Caucasus ( $n = 78$ ), version 2 — profile of Shilbilisai, Tien Shan ( $n = 12$ ), version 3 — two regions together ( $n = 90$ ). ГКФ is the basement surface depth. Parameter loads used for factor interpretation are highlighted in bold

| Версии →:                                   | версия 1, $n = 78$ |              | версия 2, $n = 12$ |               | версия 3, $n = 90$ |              |
|---------------------------------------------|--------------------|--------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------|
| Параметры ↓:                                | F1                 | F2           | F1                 | F2            | F1                 | F2           |
| 1. Исходная мощность чехла, (ГКФ), стадия 1 | <b>0.790</b>       | 0.022        | 0.406              | <b>-0.792</b> | -0.210             | <b>0.787</b> |
| 2. Укорочение                               | -0.195             | <b>0.938</b> | <b>-0.988</b>      | 0.018         | <b>0.960</b>       | 0.058        |
| 3. ГКФ, стадия 2                            | 0.665              | -0.736       | -0.988             | -0.047        | 0.910              | 0.369        |
| 4. ГКФ, стадия 3                            | <b>0.982</b>       | -0.158       | 0.246              | <b>0.947</b>  | 0.066              | <b>0.995</b> |
| 5. Амплитуда поднятия                       | 0.005              | <b>0.957</b> | <b>0.909</b>       | 0.413         | <b>-0.946</b>      | 0.217        |
| 6. Разница ГКФ (3-1)                        | 0.853              | -0.219       | 0.229              | 0.955         | 0.211              | 0.873        |
| Собственные значения                        | 2.796              | 2.410        | 3.057              | 2.608         | 2.738              | 2.558        |
| Веса факторов                               | 0.466              | 0.402        | 0.551              | 0.435         | 0.456              | 0.426        |

лиза при объяснении его «физического» смысла для каждого фактора надо найти параметры с нагрузками более 0.7, для которых следует установить возможные причинно-следственные связи. Такие связи могут подсказать механизмы действующих процессов. В соответствии с этими правилами первый фактор (F1, вес 0.466) указывает на то, что на современную глубину кровли фундамента (параметр «4», зависимый, стадия 3) сильно влияет исходная мощность осадочного чехла или глубина фундамента (параметр «1», активный, стадия 1): их связывают высокие значения нагрузок параметров (их вкладов в фактор) — 0.790 («1») и 0.982 («4»). В развитии природных структур это означает, что после складчатости и сокращения пространства на стадии 2 (и соответствующего увеличения мощности чехла и земной коры), а также после неотектонического поднятия структуры на стадии 3, глубина кровли фундамента стремится занять положение, близкое к исходному, доскладчатому (на стадии 1). Этот фактор получил название «Изостазия», а важным геодинамическим выводом, основанным на интерпретации этого

фактора, является утверждение о необходимом заметном увеличении плотности пород коры, до «мантийных» значений, в больших объемах исходного кристаллического слоя коры (рис. 3б) (Яковлев, Горбатов, 2018). Это утверждение связано с распространением величины сокращения осадочного чехла («структурные ячейки», IV уровень иерархии), около  $K = L_0/L_1 = 2.0$ , на находящийся ниже объем кристаллического слоя коры, («тектоническая зона», V уровень иерархии). При этом сокращении увеличивается вертикальная мощность кристаллического слоя, и первоначальная граница Мохоровичича (40 км глубиной для времени начала юры) перемещается на глубину около 100 км (Яковлев, 2012; Яковлев, Горбатов, 2018); по соображениям сохранения изостатического баланса объемы пород в интервале глубин 50–100 км следует считать мантийными по плотности сейчас, но ранее они имели коровую плотность (Яковлев, 2026). Второй фактор (F2, вес 0.402, «Сокращение») связывает амплитуду поднятия структуры и размыв верхней части чехла на стадии 3 (параметр «5», зависимый) с величиной складчатого

укорочения на стадии 2 (параметр «2», активный). Нагрузки этих параметров составили 0.938 («2») и 0.957 («5»). В процессе «Сокращения» также играет существенную роль изменение плотности пород коры и мантии, но уже с другим знаком — это разуплотнение пород. Предположительно, часть пород мантийной плотности (из объема новообразованных мантийных) при этом процессе опять приобретает «коровую» плотность (рис. 3б, условное обозначение 5); за счет этого происходит поднятие и размыв верхней части структуры (Яковлев, Горбатов, 2018).

Примечательно, что для всех четырех ключевых параметров («1» и «4»; «2» и «5») нагрузки в «альтернативном» факторе являются контрастно минимальными (0.022 и -0.158; -0.195 и 0.005); это считается указанием на устойчивую, однозначную интерпретацию факторов. Таким образом, факторный анализ статистического материала, характеризующего складчатую структуру Большого Кавказа, и имеющего отношение к реальной, а не модельной истории его геологического развития, однозначно показал наличие только двух природных процессов, связанных главным образом с изменениями плотности пород коры и мантии. Это не означает, разумеется, что уже решены все вопросы о происхождении структуры Большого Кавказа — например, причины сокращения пространства в рамках данного исследования остались неизученными.

**Факторный анализ структур каледонской складчатости Тянь-Шаня.** Ситуация с выявленными для Большого Кавказа геодинамическими механизмами не является уникальной. Недавно полученные ограниченные по объему данные (12 ячеек (Яковлев, Фролова, 2022)) для линейной складчатости каледонской структуры Северного Тянь-Шаня (рис. 1б) были аналогичным образом проанализированы (Яковлев, Горбатов, 2023). Как это видно из соотношений параметров (рис. 3а, условное обозначение 2) и результатов факторного анализа (табл. 1, версия 2), данная структура в предварительном виде продемонстрировала точно ту же картину геодинамических механизмов «Изостазии» и «Сокращения», только в варианте преобладания второго механизма, что очевидным образом связано с исключительно большими значениями сокращения для каледонской складчатости. Объединение данных двух регионов в один массив (табл. 1, версия 3) сохранило «каледонскую» картину выявленных механизмов.

**Обсуждение геодинамических механизмов формирования орогенных структур — образования складчатости и роста горных сооружений.** В работе (Яковлев, Горбатов, 2018) была высказана идея постоянного сохранения изостатического равновесия структуры в процессе ее развития. В связи

с этим для Чиаурской зоны (рис. 1а) были рассчитаны изменения мощности кристаллического слоя коры для ряда стадий развития (рис. 3б): а) для начала осадконакопления (стадии 1, 2), б) для постседиментационной, доскладчатой (3) и в) для современной (рис. 3б, стадии 4, 5). Плотности пород слоев коры и мантии считались постоянными, изостатический баланс достигался подбором мощности кристаллического слоя коры для каждого состояния. Из расчетов (рис. 3б) видно, что на каждой стадии первичная мощность кристаллического слоя коры (40 км, стадия 1) уменьшается до нового значения. Для современной Чиаурской зоны поднятие и размыв составляет 12 км, высота рельефа — 2.5 км, глубина кровли фундамента — 21 км, мощность «кристаллической» коры — 19 км (стадия 5). При таком поднятии слой около 15 км только что уплотненной до мантийных значений пород коры должен был опять приобрести плотность коры (рис. 3б, условное обозначение 5). На схеме показано, что складчатая структура и горное сооружение Большого Кавказа могли сформироваться только при значительных изменениях плотности пород коры, в основном — в сторону увеличения плотности пород. Получается, что в процессе эволюции сооружения имело место постоянное уменьшение мощности кристаллического слоя коры, а при условии сохранения объема континентальной коры структура просто не смогла бы сформироваться. В отношении проверки реалистичности теоретических положений геодинамики это означает, что свойство постоянства объема континентальной коры (положение «7» геодинамики тектоносферы) при развитии Большого Кавказа не соблюдается.

Что касается реальной геологической истории развития Большого Кавказа в конце альпийского цикла, то при всей ее сложности и вариациях времени событий в разных частях этой крупной структуры, в целом можно выделить два этапа (Милановский, 1968; Милановский, Хаин, 1963). На первом сокращение структуры и складчатость формировались, начиная с олигоцена и примерно до конца раннего миоцена (Яковлев, 2015). Этому периоду соответствует накопленная в окружающих прогибах майкопская серия тонкозернистых терригенных пород, которая считается нижней молассой. Начиная с сармата (конец среднего миоцена) Большой Кавказ поднимается уже как горное сооружение, соответственно — накапливается верхняя моласса, и появляются первые конгломераты. Форма известных поверхностей выравнивания Большого Кавказа (Геология..., 1972; Несмеянов, 1992) не имеет заметных деформаций, что позволяет говорить об отсутствии сокращения структуры при поднятии сооружения. Таким образом,

указанная выше модельная последовательность изменения плотностей пород коры и мантии и мощностей слоев таких пород, в целом находит подтверждение в истории развития региона.

Обсудим коротко, какие механизмы вертикальных движений земной коры обычно используются в моделях геодинамики. В обзоре процессов, ответственных за вертикальные движения (Teixell et al., 2009), заявлено девять механизмов (рис. 4), в том числе — поднятие и утолщение коры вследствие сокращения, нагрузка сжатия в антиклинальном изгибе, поднятие над плюмом, опускание при остывании коры и так далее. В цитируемом обзоре нет никаких указаний на действие механизмов, связанных с изменениями плотности пород коры и пород мантии при погружении и поднятии структур. Ведущими процессами считаются механизмы «утонение при растяжении» (погружение) или «утолщение при укорочении» блоков коры (их поднятие).

Надо заметить, что идея об изменениях плотности пород коры и мантии при складчатости и горообразовании начинает использоваться в геодинамических исследованиях. В.Г. Трифонов сопоставил природные амплитуды поднятия с расчетными для модели изостатического равновесия при определенном сокращении блоков коры (Трифонов, 2012; Trifonov, Sokolov, 2014). Для Большого Кавказа им было выявлено разуплотнение пород коры и мантии относительно стандартной модели в его северной части, а в южной — заметное их уплотнение. Мы считаем, что тем самым в научный обиход был введен новый класс задач геодинамики — расчет изостатического равновесия структур складчатости при изменениях плотности пород коры и мантии.

Приведенный материал по процессам формирования Большого Кавказа показывает, что предложенное нами теоретическое положение тектоники плит и геодинамики о постоянстве объема кристаллической части древней континентальной коры (положение «7») — реально в этой природной структуре не соблюдается.

### АЛЬПИЙСКОЕ ГОРООБРАЗОВАНИЕ В ЗОНАХ «КОЛЛИЗИИ», ЕГО ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И РАСШИРЕННОЕ ПОНИМАНИЕ ПРИНЦИПА АКТУАЛИЗМА

**Принцип актуализма.** Классический вариант «актуализма», как метода познания, был введен в обиход еще в XIX в., он используется главным образом в литологии и касается выяснения условий осадконакопления прошлого на основе достоверных знаний о соответствующих современных процессах (Геологический..., 2010). В моделях геодинамики тектоносферы актуализм (включенный в наше исследование как теоретическое положение «8» тектоники плит) понимается расширенно — считается, что: 1) современные геодинамические процессы и условия формирования основных типов тектонических структур хорошо известны и надежно установлены и 2) эти условия сохраняются практически неизменными в течение многих сотен миллионов лет. Соответственно, современные тектонические структуры, генезис которых считается установленным, рассматриваются как эталоны для интерпретации структур древних (Хаин, Ломизе, 2005). Заметим, что такой «актуалистический подход» подвергается критике (Геологический..., 2010; Оллиер, Пайн, 2019).



**Рис. 4.** Вертикальные движения литосферы: девять механизмов опускания и поднятия структур («А» — «И») в масштабе тектонических плит (Teixell et al., 2009), пояснения в тексте. Вертикальный и горизонтальный масштабы не совпадают, толщина земной коры и литосферы показаны вне масштаба. М — подошва земной коры, граница Мохоровичича; ГЛА — граница литосферы и астеносферы.

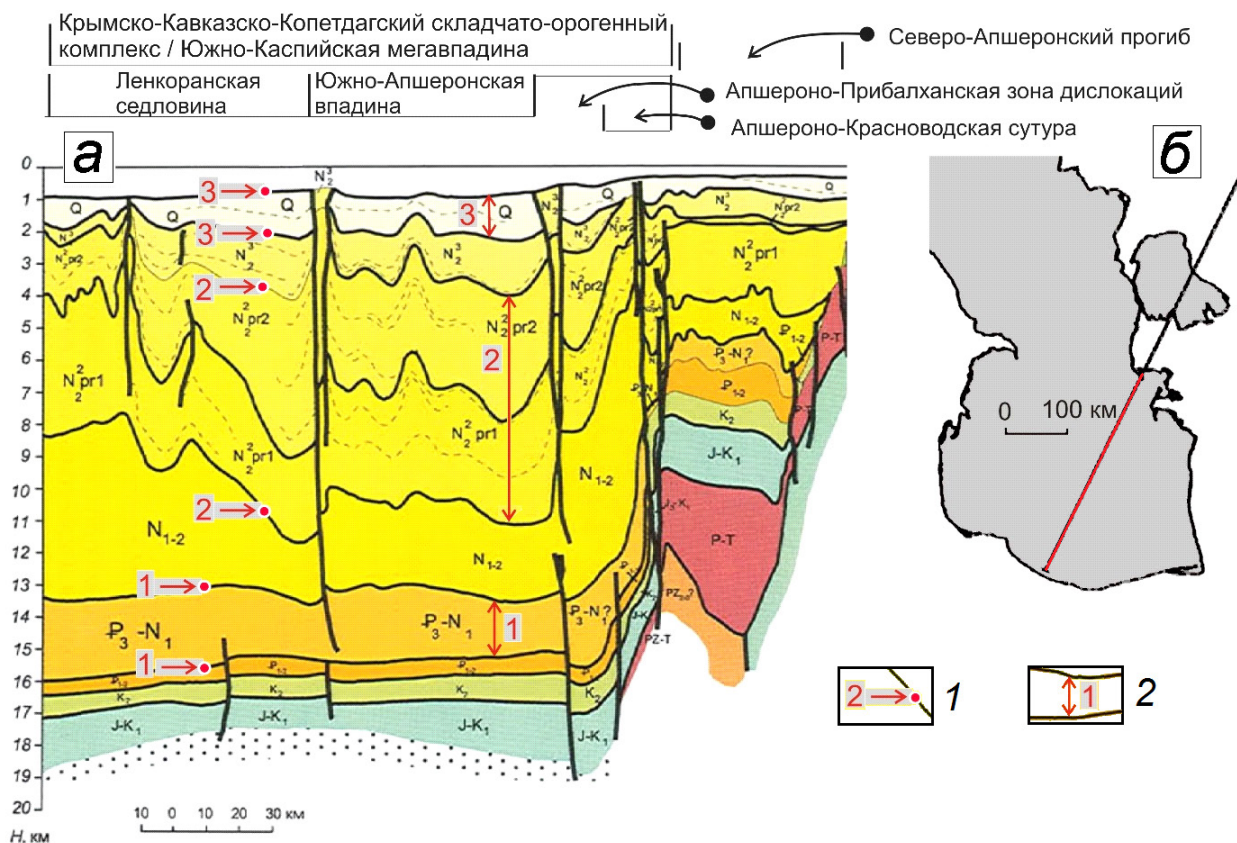
**Fig. 4.** Lithospheric vertical motions: nine subsidence and uplift mechanisms (labeled «A» — «I») at the plate scale (Teixell et al., 2009), explanations in the text. Note unequal vertical/horizontal scales; crustal/lithospheric thickness not to scale. М — Moho; ГЛА — lithosphere-asthenosphere boundary.

Основные черты явления горообразования на новейшем этапе развития земной коры описаны в статье (Оллиер, Пайн, 2019). Собранный цитируемыми авторами опубликованный материал по более чем 50 регионам мира, имеющим горный рельеф и относящимся ко всем геотектоническим типам структур (платформы, зоны коллизии, активные и пассивные окраины и т.д.) продемонстрировал две важных черты явления. Это прежде всего наличие «плана́ции, *planation*», предшествующей последнему неотектоническому поднятию. Это означает, что ранее всегда существовал этап стабильного вертикального положения структуры, во время которого процессы абразии и эрозии за длительное время, часто — десятки миллионов лет, примерно на высоте уровня моря сформировали плоский рельеф. Соответственно, по мнению авторов обзора, время формирования горной системы — это возраст начала поднятия этой геоморфологической поверхности, но не время складчатости. Это же означает, что современный горный рельеф является редким событием — на протяжении десятков и сотен миллионов лет на поверхности Земли он отсутствовал. Эта черта накладывает «ограничения на возможные теоретические механизмы в тектонике и геоморфологии» (Оллиер, Пайн, 2019), а мы укажем в связи с этим на недоказанное свойство неизменности во времени, униформизма тектонических процессов (условие 2 справедливости «актуалистического подхода», указанное ранее). Вторая черта — это то, что такие поднятия в интенсивном виде проявились около 6 млн лет и еще раз ускорились около 2 млн лет назад. Авторы цитируемой публикации указывают на то, что эта неотектоническая активизация является глобальной, и она никак не зависит от принадлежности горного сооружения к какому-либо типу геотектонической структуры — ей оказались подвержены все типы. При обсуждении результатов исследования авторы пришли к выводу, что тектоника плит не имеет генетической связи с горообразованием: процесс субдукции, основной в тектонике плит, зависит от мантийной конвекции и теоретически является постоянно действующим с некоторой скоростью в течение десятков миллионов лет, и не может быть причиной глобального начала поднятия гор и его ускорения в последние 6–2 млн лет. Авторы обзора (Оллиер, Пайн, 2019) резко критикуют сторонников тектоники плит за их позицию в разрешении противоречия «данные геоморфологии vs теоретические модели тектоники плит» в описании процесса формирования гор — они практически отрицают наблюдательные данные геоморфологии, считая их ошибочными.

**Большой Кавказ.** Это крупное горное сооружение хорошо изучено в геоморфологическом отношении (Милановский, 1968; Несмеянов, 1992; Трихунков и др., 2020). Например, для Юго-Восточного Кавказа было выделено восемь поверхностей выравнивания (Геология..., 1972), из них самая древняя, раннесарматская (12 млн лет), находится на высоте 4.2 км, что дает среднюю скорость поднятия около 0.3 мм/год. Поверхности датировались путем корреляции с новейшими осадочными комплексами в смежных прогибах, а также на основании обнаруженных новейших осадков на уровне пенепленов. Если судить по данным о высотах поверхностей выравнивания и их возрасте, то заметное ускорение поднятия происходило около 4 млн лет назад (до 1.3 мм/год) и в плейстоцене. Для северного склона горы Шахдаг (рис. 1а) по наличию морских осадков акчагыла (3.6–1.9 млн лет) на высоте 2.5 км был недавно обнаружен рост скорости поднятия до 2.5 мм/год (Трихунков и др., 2020), начиная с апшерона, 0.8 млн лет. В районе Шахдага накопление грубообломочных пород в смежном прогибе указывает на эти же два эпизода ускорения поднятия (4 и 1 млн лет). Пенеплены на Юго-Восточном Кавказе не имеют складок и надвигов, которые могли бы указывать на сокращение структур в период роста гор.

Если рассматривать осадконакопление в прогибе Южного Каспия (Глумов и др., 2004) как отражение процесса роста гор Кавказа, то в кайнозой обнаруживаются те же эпизоды ускорения вертикальных движений. В наиболее прогнутой части Южно-Каспийской впадины (рис. 5) можно видеть небольшую (2–3 км) мощность нижней молассы — майкопской серии, олигоцен-нижний миоцен (рис. 5, отметки «1», скорость прогибания 0.15 мм/год), над которой накопилась очень мощная (10–12 км) верхняя моласса (миоцен-квартер, 0.71 мм/год). Продуктивная толща в ее составе имеет до 7 км мощности (рис. 5, отметки «2», 5.8–2.5 млн лет, скорость накопления — 2.1 мм/год, максимальная), четвертичные отложения — до 1.5 км (рис. 5, отметки «3», 1.3 мм/год).

**Тянь-Шань, Памир, Тибет.** Для исследования процессов горообразования в пределах Тянь-Шаня и Памира ранее были измерены величины сокращения двумя способами — по изгибам поверхностей выравнивания и по увеличению мощности коры (Yakovlev, Yunga, 2001). Для Тянь-Шаня была найдена прямая корреляция между этими значениями, но при завышении вдвое величин сокращения по второму методу. Из этого цитируемыми авторами был сделан вывод о действии здесь одновременно не одного, а двух механизмов воздымания — 1) за счет сокращения и пропорционального роста мощности



**Рис. 5.** Строение осадочного чехла впадины Южного Каспия и Апшеронского порога (по (Глумов и др., 2004), с изменениями). *а* — профиль по линии, показанной на врезке «б» (красная часть), вверх показано тектоническое районирование структуры. 1 — отметки подошвы и кровли стратиграфических подразделений «1», «2», «3», для которых рассчитаны мощности и скорости погружения. 2 — места замеров мощности подразделений (пояснения в тексте).

**Fig. 5.** The structure of the sedimentary cover of the South Caspian basin and Absheron threshold (modified after Glumov et al., 2004). *a* — profile along the line shown in inset «б» (red segment). 1 — marks for sole and top of stratigraphic units «1», «2», «3», for which the thickness and subsidence rates are calculated.. 2 — thickness measurement points (see text for explanations).

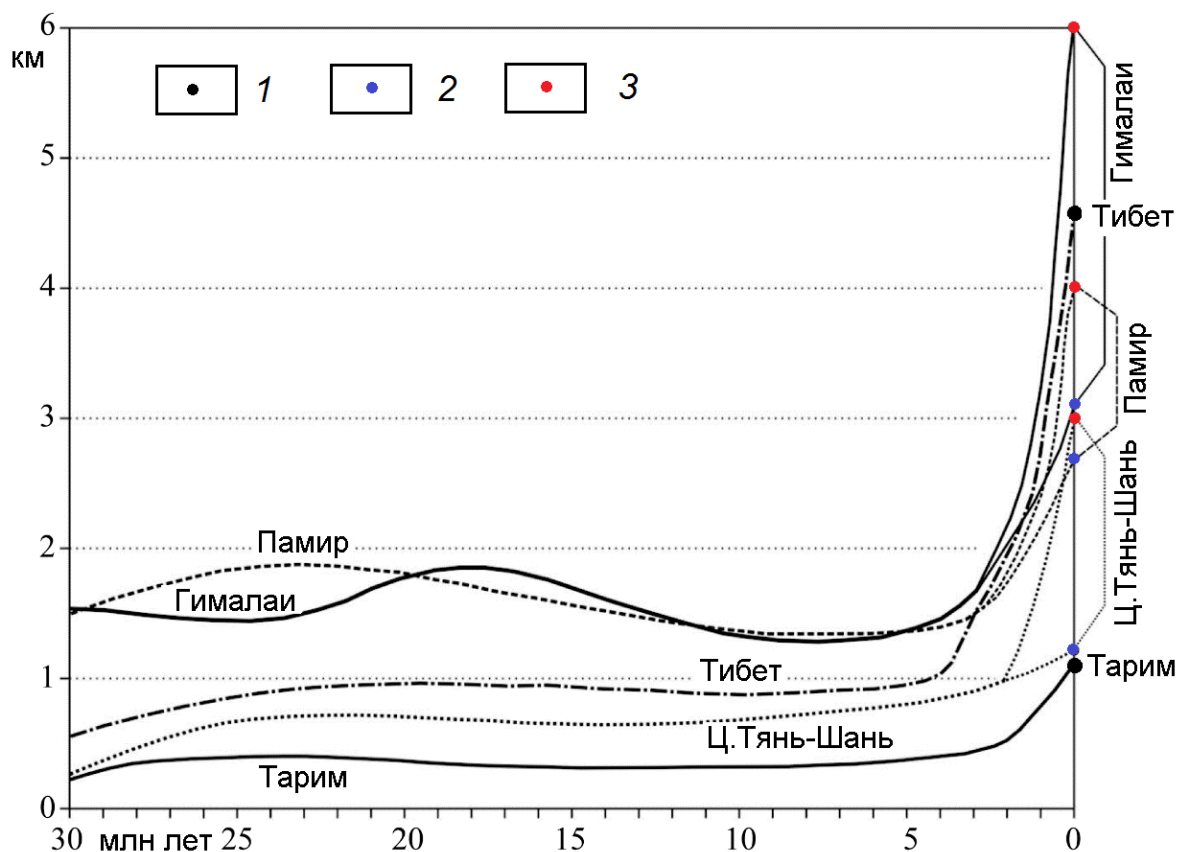
коры, а также 2) в результате наращивания коры снизу (Yakovlev, Yunga, 2001).

Для Памира по геоморфологическим данным никакого сокращения пространства не было найдено, несмотря на значительный рост мощности коры (Yakovlev, Yunga, 2001), что указывает на действие здесь в основном второго механизма (Яковлев, Юнга, 2003).

В более поздних публикациях (Трифонов и др., 2008; Trifonov, Sokolov, 2014) было отмечено действие этих же двух механизмов, и определена их последовательность — сначала в основном реализуется сокращение (и возникает небольшой пропорциональный этому рост гор), а затем возникает «лишнее» наращивание мощности коры и рост гор без влияния сокращения. Время деформаций сокращения, предваряющее основной рост гор, было установлено по деформациям кайнозойских пород во впадинах Тянь-Шаня (Трифонов и др., 2008). Было показано также систематическое отклонение вверх графиков высоты рельефа в координатах «высота

рельефа — время» относительно линии чистого механизма «горизонтального сокращения и увеличения мощности коры» (Trifonov, Sokolov, 2014), начиная с плиоцена (рис. 6), что говорит о дополнительном росте мощности коры в это время для Тянь-Шаня и ряда других регионов.

В ряде публикаций (Артюшков, 2012; Оллиер, Пайн, 2019; Trifonov, Sokolov, 2014) указано, что около 5 млн лет назад плато Тибет имело небольшую высоту (1.5 км), его климат был теплым и влажным, согласно остаткам флоры и фауны и характеру осадков в озерах, длительное время здесь существующих. Вслед за этим периодом в разных частях сооружения началось воздымание, местами очень резкое, до высоты около 5 км, с появлениями 1 млн лет назад валунных конгломератов в предгорных прогибах. Скорости поднятия здесь достигают 4.5 мм/год. Рост гор в Тибете сопровождался смещениями по сбросам (Оллиер, Пайн, 2019), что исключает возможность привлечения механизма «сжатия» для объяснения роста



**Рис. 6.** Рост высоты горных сооружений Высокой Азии во времени, от олигоцена до четвертичного периода (по (Trifonov, Sokolov, 2014), с изменениями). 1 — увеличение высоты структур, не связанное с сокращением; 2 — расчетный рост высоты структур, связанный с их поперечным сокращением (Тянь-Шань, Гималаи, Памир\*); 3 — рост высоты наблюдаемый, «избыточный» относительно наблюдаемого сокращения, что связано с механизмом разуплотнения пород коры и мантии (по (Trifonov, Sokolov, 2014)). (\* — по нашим данным (Yakovlev, Yunga, 2001), Памир на неотектоническом этапе сокращения не испытывал).

**Fig. 6.** Growth of High Asia mountains from the Oligocene to the Quaternary (modified after Trifonov, Sokolov, 2014). 1 — height increase unrelated to shortening; 2 — calculated elevation gain due to shortening (Tien Shan, Himalayas, Pamirs\*); 3 — observed excess elevation relative to calculated shortening, attributed to crust/mantle decompaction (Trifonov & Sokolov, 2014). (\* — according to (Yakovlev, Yunga, 2001), the Pamirs experienced no shortening at the neotectonic stage).

мощности коры. Если обращаться к эволюции строения земной коры по модели сохранения изостатического равновесия (рис. 3б), то получается, что за 4 млн лет мощность кристаллического слоя коры должна была увеличиться примерно с 45 до 75 км. Очевидно, что «коллизийные» механизмы «сдвигания» коры или пододвигания дополнительных пластин коры выше границы Мохоровичича (один из видов «андерплейтинга») такие изменения не могли обеспечить. Нарастивание мощности коры на 30 км несомненно связано с изменениями плотности пород: по геофизическим данным в мантии этого региона обнаруживается астеносферный материал (Trifonov, Sokolov, 2014). Заметим, что разуплотнение пород коры, мантии и астеносферы, в том числе — в Тибете, Е.В. Артюшков (2012) объясняет процессами диафореза в связи с воздействием мантийных флюидов.

**О модели горообразования в результате коллизии и о корректности использования актуалистического подхода к интерпретации древних тектонических структур.** Напомним, что согласно моделям геодинамики, структуры коллизии возникают при столкновении континентальных масс в зонах конвергенции. Различают коллизию «мягкую», при которой появляются складки и надвиги, и «жесткую», вызывающую рост гор. Как отмечается в (Staal, Zagorevski, 2020), условия формирования и перехода структур первого стиля во второй не вполне понятны по механизму, но ясны по возникшему результату. В частности, указывается на «реологическое сцепление» — при низком сцеплении развита «мягкая» коллизия, при сильном — «жесткая». Например, для Большого Кавказа (Cowgill et al., 2016) выделяют мягкую коллизию в олигоцене и жесткую коллизию, начиная с плиоцена. Механизм роста гор

в этих геодинамических моделях основан на деформационном увеличении мощности коры и немедленном изостатическом поднятии структуры.

Сопоставляя теоретические положения современной геодинамики тектоносферы с изложенным материалом об основных свойствах явления горообразования в реальных структурах, вывод о корректности использования «актуалистического подхода» (положение «8») для интерпретации формирования структур прошлых тектонических циклов может быть только негативным по двум причинам.

Во-первых, условия возникновения и механизмы формирования современных горных областей являются уникальными на отрезках времени в сотни млн лет — они существенно проявились только в последние 10 млн лет. То есть, условия образования таких тектонических структур не существовали ранее, на предыдущих стадиях альпийского цикла. Эта информация в целом давно известна (Оллиер, Пайн, 2019). Рассматривая эту ситуацию с позиции общей методологии исследований, надо подтвердить, что актуалистический подход в обсуждаемом виде практически отрицает достоверно установленную цикличность тектонических процессов.

Во-вторых, апелляция принципа актуализма к коллизионной природе горообразования неверна по сути — современное горообразование в целом является кратковременным глобальным процессом, не связанным с теоретически постоянными во времени горизонтальными движениями континентальных масс вследствие мантийной конвекции. Анализ механизмов роста горных сооружений в рассмотренных выше случаях (Большой Кавказ, Тянь-Шань, Памир, Тибет) показал, что они оказались связаны с процессами изменения плотности пород коры и мантии и либо не имеют отношения к укорочению структур, либо такая связь является в значительной мере опосредованной, поскольку рост гор отстает по времени от процесса сокращения.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Переходя к анализу представленной информации по формированию и преобразованию континентальной земной коры, которая была показана в первой (Яковлев, 2026) и во второй (настоящая работа) частях статьи, и которая составляет основу геодинамики тектоносферы, следует иметь в виду также ряд аспектов, уже обсуждавшихся в конце первой части исследования. Напомним также, что в первую очередь в этой информации нас будет интересовать совпадение или несовпадение выявленных реальных свойств конкретных природных структур с теми

параметрами, которые им приписываются в рамках общепринятых теоретических положений («Введение» настоящей статьи и (Яковлев, 2026)). Результаты такого анализа, как предполагается, могут помочь обнаружить причины кризисного положения, существующего в геодинамике.

Сначала уточним некоторые формулировки и смыслы основных теоретических положений относительно структур, рассмотренных в двух частях исследования. Допущение «4» о перемещениях и деформациях на границах плит нас интересует в основном для случая «4б» — о структурах на конвергентных границах. Здесь выделяются два варианта — а) субдукция океанических плит с несколькими типами, связанными с составом континентального блока, например, «японский тип» и «андский тип», а также б) коллизионное столкновение двух континентальных блоков (А-субдукция (Хаин, Ломизе, 2005)). В описании структур коллизии подразумевается, что их возникновению всегда предшествует этап пододвигания, субдукции обширной океанической плиты под один из блоков; при этом по причине большой плотности пород океанической коры (их значения близки к мантийным) она легко погружается в верхнюю мантию и там поглощается. Перемещение второго континентального блока вместе с океанической плитой к главному континентальному блоку (упору) и «столкновение» с ним (коллизия), должно вызывать складчатую деформацию осадков, находившихся между ними, с возникновением «обязательной» аккреционной призмы. Складчатость сопровождается метаморфизмом и магматизмом, в результате формируются блоки новой континентальной коры (Хаин, Ломизе, 2005). Океаническая (субокеаническая) плита, остается недеформированной до зоны субдукции и удовлетворяет постулату «1» о жестких плитах, а возникновение аккреционной призмы в осадках над этой плитой и перед основным континентальным блоком соответствует положению «2» о тектонической активности только на границах плит. Это можно видеть в известных моделях Большого Кавказа (Cowgill et al., 2016). Однородное сокращение структур с континентальной корой в рамках обычных моделей тектоники плит не отрицается, но оно ограничено явлением изостазии — укорочение приводит к росту мощности «легкой» коры и немедленному росту гор (Molnar, Tapponnier, 1975; Teixell et al., 2009). Максимальные мощности континентальной коры в горных странах ограничены величинами 75–80 км, поэтому в обычных моделях однородное сокращение, если оно оценивается количественно, не может превышать  $K = L_0/L_1 = 1.5\text{--}2$  раза. Заметим, что в этих моделях по существу участвует предложенное нами положение «7»

о постоянстве объема древней континентальной коры. Важно также, что никаких иных типичных структур, кроме моновергентной аккреционной призмы, в моделях тектоники плит для зон коллизии не предусмотрено.

Детальное изучение складчатости Большого Кавказа показало, что фундамент сооружения испытал ту же деформацию сокращения (около  $K = L_0/L_1 = 2.0$ ), что и альпийский чехол; кровля фундамента самого Большого Кавказа находится ниже кровли фундамента соседнего Закавказского массива, что исключает субдукцию Закавказской плиты под Большой Кавказ с юга на север и возможность существования общего detachmentа над фундаментом (Яковлев, 2026). Рассмотрение истории развития структуры, начиная с накопления осадков, с позиций сохранения ее изостатического равновесия на всех этапах развития (Яковлев, Горбатов, 2018) показало неизбежность преобразования материала коры в мантийные породы по параметру плотности в объеме до 50–60 % от первоначального (Яковлев, 2026), а также рис. 3б и раздел «выявление геодинамических...» настоящей статьи). Для Таласской каледонской структуры, имеющей сокращение  $K = L_0/L_1 = 4.5$  (Яковлев, Фролова, 2022), современный объем новой мантии, бывшей континентальной коры, может достигать 80 % от исходного дорифейского объема (Яковлев, 2026). Изменение плотности пород коры (что противоречит положению «7») — уплотнение и разуплотнение, оказалось сутью двух основных геодинамических механизмов, определяющих развитие Большого Кавказа (раздел о факторном анализе в настоящей статье). Полученные данные в совокупности разрушают приведенную выше общепринятую схему строения и развития складчатых сооружений — в изученных структурах не было океанических структур, не было субдукции, нет «аккреционной призмы» и нет сохранения объема континентальной земной коры. То есть, в образовании новой континентальной коры через явление складчатости, метаморфизма и магматизма, участвуют механизмы, геодинамической теорией не предусмотренные. Поэтому применение прежних схем для объяснения формирования континентальных структур не имеет смысла, поскольку не приводит к появлению корректных моделей.

Как в первой части статьи (Яковлев, 2026), так и в настоящей работе в описании каждой конкретной континентальной структуры показано, как ее свойства соотносились с параметрами, которыми она должна была теоретически обладать. В (Яковлев, 2026) рассматривались геометрические параметры структур масштаба от осадочного слоя до коры и верхней мантии, а настоящем исследовании даются описания

геодинамических механизмов формирования структур в объеме литосферы. В табл. 2 показано в каких структурах какие положения не соблюдены. Из таблицы следует, что для четырех обобщенных случаев все основные теоретические положения (за исключением трех «океанических») так или иначе не выполняются. Наиболее часто это касается положений о конвергентных границах плит (положение «4б», об участии «аккреционной призмы» в структурах коллизии), о сохранении объема кристаллического слоя континентальной коры (положение «7») и о корректности применении расширенного принципа актуализма (положение «8»).

Основной целью теоретической геотектоники является «изучение закономерностей строения тектоносферы и создание аргументированных представлений о происхождении и развитии структур земной коры и литосферы» (Геологический..., 2010). Как нам представляется, кризис в геотектонике и геодинамике тектоносферы, возникший в последние десятилетия, выражается в том, что существующие все это время модели развития земной коры не находят своего подтверждения, а новые модели не появляются. Можно утверждать, что одной из причин указанного кризиса как раз и является активное применение при разработке геодинамических моделей таких теоретических представлений о характере природных структур (которые и составляют ядро тектоники плит), которые природным континентальным структурам реально не свойственны. Это означает, что при неизменности существующей теоретической базы кризис сохранится.

## ВЫВОДЫ

В (Яковлев, 2026) были сделаны три вывода, справедливых и для обеих частей исследования — о том, что реальные процессы формирования складчатости не имеют ничего общего с теоретически предписанными, и об ошибочности трактовки структуры и истории развития складчатых сооружений, что является признаком серьезного кризиса геотектоники. В связи с этим в третьем выводе предлагалось вернуться к сбору материала по реальной складчатой и разрывной структуре с применением классических «геосинклинальных» методов исследований, что обеспечивает получение информации, не связанной с умозрительными моделями геодинамики.

По результатам двух частей работы делаются следующие выводы.

Анализ основных шести теоретических положений тектоники плит и геодинамики тектоносферы, касающихся в основном континентальных структур, показал необходимость их уточнения

**Таблица 2.** Результаты анализа континентальных структур в отношении соблюдения в них теоретических положений тектоники плит и геодинамики, для двух частей статьи (1 часть — (Яковлев, 2026); 2 часть — настоящая статья)

**Table 2.** Assessment of whether continental structures comply with the theoretical tenets of plate tectonics and geodynamics across both parts of the study (Part 1 — (Yakovlev, 2026); Part 2 — current article).

| Части статьи | Теоретические положения (см. примечание) →                                                    | 1 | 2 | 3* | 4 «6» | 5* | 6* | 7 | 8 |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|----|-------|----|----|---|---|
|              | Изученные объекты ↓                                                                           |   |   |    |       |    |    |   |   |
| 1            | Сбалансированная модель осадочного чехла Большого Кавказа                                     |   | × |    | ×     |    |    |   | × |
| 1            | Структура земной коры и литосферы в связи с ее горизонтальным сокращением (4 региона)         | × | × |    | ×     |    |    | × |   |
| 2            | Геодинамические механизмы формирования Большого Кавказа в масштабе литосферы                  |   |   |    |       |    |    | × |   |
| 2            | Связь горообразования с сокращением и коллизией в Большом Кавказе, Тянь-Шане, Памире и Тибете |   |   |    |       |    |    |   | × |

Примечание. Знак «×» показывает, что данное положение в структуре не соблюдается. Краткое изложение положений тектоники плит и их номера (Яковлев, 2026): 1 — есть жесткие литосферные плиты и менее вязкая астеносфера под ними; 2 — есть 8 основных плит и много мелких; активность сосредоточена на их границах; 3 — движения плит на поверхности Земли описываются теоремой вращения Эйлера; 4 — есть три типа движений на границах плит: расхождение, схождение (случай «4б» — складчатость в аккреционных призмах) и трансформные перемещения; 5 — спрединг и появление новой океанической коры компенсируется коллизией и субдукцией, мантийные конвективные ячейки имеют замкнутые линии тока; 6 — источником энергии движений плит является тепловая мантийная конвекция; 7 — положение о древности континентальной коры, постоянстве объема ее блоков; о молодости океанической коры, о ее только «раздвиговом» характере (добавлено); 8 — расширенный принцип актуализма — использование схем современной геодинамики для объяснения механизмов образования структур прошлых эпох (добавлено). Положения со звездочкой, «3\*», «5\*» и «6\*», относятся к свойствам структур океанической коры, которые в частях 1 и 2 настоящей статьи не изучались.

Note. The «×» sign indicates that this position is not complied in the structure. Summary of plate tectonics postulates (numbering follows (Yakovlev, 2026)): 1 — there are rigid lithospheric plates and a less viscous asthenosphere beneath them; 2 — there are 8 main plates and numerous minor ones; activity concentrated at their boundaries; 3 — plate motions on the Earth's surface are described by Euler's rotation theorem; 4 — there are three types of displacements at plate boundaries: divergence, convergence (case «4b» — a folding in accretion prisms), transform shifts; 5 — the spreading and new oceanic crust generation is compensated by collision and subduction; mantle convective cells have closed streamlines; 6 — energy source for plate motion is thermal mantle convection; 7 — the postulate regarding the antiquity of the continental crust and the constancy of the volume of its blocks, the youth of the oceanic crust and its only «spreading» origin (added); 8 — extended understanding of actualism — application of modern geodynamic schemes to explain the formation mechanisms of ancient structures (added). Postulates marked with an asterisk (e.g., 3\*, 5\*, 6\*) refer to the oceanic crust properties, which were not studied in Parts 1 and 2 of this article.

в целях достижения их логической завершенности. Важную роль здесь играет предложенное положение «7» о природе континентальной и океанической коры — о постоянстве объема древней континентальной коры и о появлении молодой океанической коры «раздвигового» типа только в зонах спрединга. Неявным образом это положение уже используется во всех моделях тектоники плит.

Анализ структуры и истории геологического развития около десяти регионов в континентальных структурах разного возраста и разного масштаба показал соблюдаются или нет в них шесть известных теоретических положений и два добавочных. Все положения, связанные с континентальными структурами, в разных комбинациях в этих структурах не соблюдались. Это «1» и «2» — о жестких плитах и о проявлении тектонической активности только на границах плит; «4б» — о формировании складчатости

на конвергентных границах по схеме «аккреционной призмы»; «7» — о постоянстве объема континентальной коры; «8» — о корректности применении расширенной версии «актуализма». Положения («3», «4а, в», «5», «6»), связанные с океаническими структурами, будут рассмотрены в специальной работе.

Несоблюдение в изученных континентальных природных структурах части основных теоретических положений тектоники плит и геодинамики указывает на наличие серьезного кризиса, поскольку основные модели строения и развития континентальных структур оказываются некорректными. Успешное решение основных задач тектоники и геодинамики на основе таких некорректных моделей невозможно.

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

## Список литературы [References]

- Антонов А.Ю. Критический обзор представлений по главным геодинамическим направлениям современной геологической науки и степень информативности основных рекламных российских научных изданий (часть вторая) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 2 Вып. 10. С. 118–128 [Antonov A.Yu. Critical survey of presentation for general geodynamic directions of the modern geology science in the information context of the Russian main promotional scientific publications (part 2) // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2007. № 2 (10). P. 118–128 (in Russian)].
- Артюшков Е.В. Новейшие поднятия земной коры как следствие инфильтрации в литосферу мантийных флюидов // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 6. С. 738–760 [Artyushkov E.V. Neotectonic crustal uplifts as a consequence of mantle fluid infiltration into the lithosphere // Russian Geology and Geophysics. 2012. V. 53. № 6. P. 566–582].
- Белоусов В.В. Общая геотектоника: Учебное пособие для вузов. М.-Л.: Госгеолиздат, 1948. 600 с. [Belousov V.V. Obshchaya geotektonika: Uchebnoye posobiye dlya vuzov. Moscow-Leningrad: Gosgeolizdat, 1948. 600 p. (in Russian)].
- Белоусов В.В. Эндогенные режимы материков. М.: Недра, 1978. 232 с. [Belousov V.V. Endogennyye rezhimy materikov. Moscow: Nedra, 1978. 232 p. (in Russian)].
- Блюман Б.А. Земная кора океанов (по материалам международных программ глубоководного бурения в Мировом океане). СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. 347 с. [Blyuman B.A. Zemnaya kora okeanov (po materialam mezhdunarodnykh programm glubokovodnogo bureniya v Mirovom okeane). SPb.: Izd-vo VSEGEI, 2011. 347 p. (in Russian)].
- Геологический словарь. В трех томах, Издание 3. Т. 1 / гл. ред. О.В. Петров. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, (2010 А-И), 2010. 432 с. [Geologicheskij slovar'. V trekh tomah, Izdanie 3. T. 1 / gl red. O.V. Petrov. SPb: Izd-vo VSEGEI, (2010 A-J), 2010. 432 p. (in Russian)].
- Геология СССР. Т. XLVII, Азербайджанская ССР (геологическое описание). М.: Недра, 1972. 520 с. [Geologiya SSSR. V. XLVII, Azerbajdzhanskaya SSR (geologicheskoe opisanie). Moscow: Nedra, 1972. 520 p. (in Russian)].
- Гончаров М.А. Механизм геосинклинального складкообразования. М.: Недра, 1988. 264 с. [Goncharov M.A. Mekhanizm geosinklinalnogo skladkoobrazovaniya. Moscow: Nedra, 1988. 264 p. (in Russian)].
- Глумов И.Ф., Маливицкий Я.П., Новиков А.А. и др. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: Недра, 2004. 342 с. [Glumov I.F., Malovickij YA.P., Novikov A.A. et al. Regional geology and oil and gas content of Caspian sea. Moscow: Nedra, 2004. 342 p. (in Russian)].
- Жирнов А.М. Мифы мобилизма и реальная тектоника // Отечественная геология. 2011. № 2. С. 87–94 [Zhirnov A.M. Mobilistic myths vs. real tectonics // Otechestvennaya Geologiya. 2011. № 2. P. 87–94 (in Russian)].
- Жирнов А.М., Караулов В.Б. Тектоника плит и российская геология // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2017. № 4. С. 79–84 [Zhirnov A.M., Karaulov V.B. Plate tectonics and Russian geology // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2017. № 4. P. 79–84 (in Russian)].
- Кононов Ю.С. О состоянии отечественной геотектоники // Отечественная геология. 2007. № 2. С. 90–95 [Kononov Yu.S. O sostoyanii otechestvennoj geotektoniki // Otechestvennaya geologiya. 2007. № 2. P. 90–95 (in Russian)].
- Корнева Р.Г., Хортон А.В., Шлезингер А.Е. Историко-геологические и палинспастические реконструкции с позиции методологии и фактического материала начала XXI века // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2015. Т. 90. № 1. С. 3–6 [Korneva R.G., Chortov A.V., Shlezinger A.E. Historical-geological and palinspastic reconstructions in context of methodology and factual data of beginning of XXI century // Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody. Otdel geologicheskij. 2015. V. 90. № 1. P. 3–6 (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. T. 57. № 3. P. 371–386]. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.03.002>
- Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е. Современные проблемы тектоники и геодинамики. М.: Научный мир, 2004. 612 с. [Lobkovsky L.I., Nikishin A.M., Khain V.E. Current problems of geotectonics and geodynamics. Moscow: Nauchnyj mir. 2004. 612 p. (in Russian)].
- Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. 483 с. [Milanovskij E.E. Novejshaya tektonika Kavkaza. Moscow: Nedra, 1968. 483 p. (in Russian)].
- Милановский Е.Е., Хаин В.Е. Геологическое строение Кавказа. М.: Изд-во МГУ, 1963. 357 с. [Milanovskij E.E., Hain V.E. Geologicheskoe stroenie Kavkaza. Moscow: Izd-vo MGU, 1963. 357 p. (in Russian)].
- Михалев Ю.М. Кризис новой глобальной тектоники // Отечественная геология. 2005. № 2. С. 81–87 [Mikhalev Yu.M. Crisis of new global tectonics // Otechestvennaya geologiya. 2005. № 2. P. 81–87 (in Russian)].
- Несмеянов С.А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа. М.: Недра, 1992. 254 с. [Nesmeyanov S.A. Neostrukturное rajonirovanie Severo-Zapadnogo Kavkaza. Moscow: Nedra, 1992. 254 p. (in Russian)].
- Океанизация Земли — альтернатива неомобилизма / Ред.: Орленок В.В., Калининград: Изд. КГУ, 2004, 268 с. [Okeanizaciya Zemli - al'ternativa neomobilizma / Red.: Orlenok V.V., Kaliningrad: Izd. KGU, 2004, 268 p. (in Russian)].
- Оллиер К.Д., Пайн К.Ф. Неотектоническое поднятие гор и геоморфология // Геоморфология. 2019. № 4.

- C. 3–26 <https://doi.org/10.31857/S0435-4281201943-26> [Ollier C.D., Pain C.F. Neotectonic mountain uplift and geomorphology // Geomorfologiya. 2019. № 4. P. 3–26].
- Рейснер Г.И., Иогансон Л.И., Рейснер М.Г. и др. Типизация земной коры и современные геологические процессы. М.: ИФЗ РАН, 1993. 209 с. [Reisner G.I., Ioganson L.I., Reisner M.G. et al. Tipizatsiya zemnoy kory i sovremennyye geologicheskiye protsessy. M.: IFZ RAN, 1993. 209 p. (in Russian)].
- Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1965. 590 с. [Smirnov V.I. Geology of mineral deposits. Moscow: Nedra, 1965. 590 p. (in Russian)].
- Соколов С.Ю. Тектоника и геодинамика Экваториального сегмента Атлантики // Труды ГИН РАН. № 618. М.: Научный мир, 2018. 269 с. [Sokolov S.Yu. Tectonics and Geodynamics of the Atlantic Equator Segment. Transactions of the Geological Institute. Moscow: Scientific World, 2018. 269 p. (in Russian)].
- Спорные аспекты тектоники плит и возможные альтернативы / Шолпо В.Н. (Ред.). М.: ОИФЗ РАН, 2002. 236 с. [Spornye aspekty tektoniki плит i vozmozhnye al'ternativy. Sbornik nauchnykh statej / (Red.). Sholpo V.N. Moscow: OIFZ RAN, 2002. 236 p. (in Russian)].
- Трифонов В.Г. Проблемы горообразования (Альпийско-Гималайский пояс) // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Материалы Третьей тектонофизической конференции. М.: ИФЗ РАН, 2012. Т. 1. С. 99–109 [Trifonov V.G. Problemy gorooobrazovaniya (Alpiysko-Gimalayskiy po yas) // Tektonofizika i aktualnyye voprosy nauk o Zemle: Materialy Tretyey tektonofizicheskoy konferentsii. Moscow: IFZ RAN, 2012. V. 1. P. 99–109 (in Russian)].
- Трифонов В.Г., Артюшков Е.В., Додонов А.Е. и др. Плиоцен-четвертичное горообразование в Центральном Тянь-Шане // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 2. С. 128–145 [Trifonov V.G., Artyushkov E.V., Dodonov A.E. et al. Pliocene-Quaternary orogeny in the Central Tien Shan // Russian geology and geophysics. 2008. T. 49. № 2. P. 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2007.06.012>].
- Трихунков Я.И., Кенгерли Е.Н., Фролов П.Д. и др. Оценка плиоцен-четвертичного поднятия Восточного Кавказа на основе изучения акчагыльских морских отложений // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. М.: «Геос», 2020. Т. 2. С. 347–352 [Trihunkov Ya.I., Kengerli E.N., Frolov P.D. et al. Otsenka pliotsen-chetvertichnogo podnyatiya Vostochnogo Kavkaza na osnove izucheniya akchagyl'skikh morskikh otlozheniy // Fundamentalnyye problemy tektoniki i geodinamiki. Moscow: «Geos», 2020. V. 2. P. 347–352 (in Russian)].
- Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии. М.: Научный Мир, 2003. 348 с. [Khain V.E. Main problem of modern geology. Moscow: Scientific World, 2003. 348 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)].
- Шатский Н.С. О структурных связях платформ со складчатыми геосинклинальными областями. Сравнительная тектоника древних платформ. Статья 3 // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1947. № 5. С. 37–56 [Shatskiy N.S. O strukturnykh svyazyakh platform so skladchatymi geosinklinalnymi oblastyami. Sravnitel'naya tektonika drevnikh platform. Statya 3 // Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Geological Series. 1947. № 5. P. 37–56 (in Russian)].
- Шолпо В.Н. Альпийская геодинамика Большого Кавказа. М.: Недра, 1978. 176 с. [Sholpo V.N. Alpiyskaya geodinamika Bolshogo Kavkaza. Moscow: Nedra, 1978. 176 p. (in Russian)].
- Яковлев Ф.Л. Многограновый деформационный анализ структур линейной складчатости // Доклады Академии Наук. 2008. Т. 422. № 3. С. 371–376. [Yakovlev F.L. Multirank strain analysis of linear folded structures // Doklady Earth sciences, 2008. V. 422. № 1. P. 1056–1061. <https://doi.org/10.1134/S1028334X08070118>].
- Яковлев Ф.Л. Деформационный многограновый анализ и структурные парагенезы: сравнение подходов и результатов. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. Т. 16. № 2. С. 179–193 [Yakovlev F.L. Strain multirank analysis and a structural paragenesis: the comparison of approaches and results // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2010. V. 16. № 2. P. 179–193 (in Russian)].
- Яковлев Ф.Л. Опыт построения сбалансированной структуры восточной части альпийского Большого Кавказа по данным количественных исследований линейной складчатости // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. Т. 19. № 1. С. 191–214 [Yakovlev F.L. Reconstruction of the balanced structure of the eastern part of alpine Greater Caucasus using data from quantitative analysis of linear folding — case study // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2012. V. 19. № 1. P. 191–214 (in Russian)].
- Яковлев Ф.Л. Многограновый деформационный анализ линейной складчатости на примере альпийского Большого Кавказа / Дисс. д.г.-м.н. М.: ИФЗ РАН, 2015. 472 с. [Yakovlev F.L. Mnogorankovyy deformatsionnyy analiz lineynoy skladchatosti na primere al'pijskogo Bol'shogo Kavkaza / Diss. d.g.-m.n. 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 L Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2018. С. 349–353 [Yakovlev F.L. K popytke metodologicheskogo analiza realistichnosti osnovnykh modelnykh dopushcheniy sovremennoy geodinamiki // Problemy tektoniki i geodinamiki zemnoy kory i

- mantii. Materialy L Tektonicheskogo soveshchaniya. V. 2. Moscow: GEOS, 2018. P. 349–353 (in Russian)].
- Яковлев Ф.Л. О несоответствии основных постулатов современных концепций формирования и развития литосферы земли свойствам природных структур континентов. Часть 1 // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2026. № 1. Вып. 69. С. 80–98. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2026-1-69-80-98> [Yakovlev F.L. 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 // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2026. № 1(69). P. 80–98 (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., Gorbатов 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., Горбатов Е.С. Первые данные о подобию геодинамических процессов формирования складчатости Большого Кавказа и Тянь-Шаня // Материалы Всероссийской научной конференции «Динамическая геология — проблемы и достижения». М.: ООО Издательство Перо, 2023. С. 106–111 [Yakovlev F.L., Gorbатов E.S. Pervye dannye o podobii geodinamicheskikh processov formirovaniya skladchatosti Bol'shogo Kavkaza i Tyan'-Shanya // Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii «Dinamicheskaya geologiya — problemy i dostizheniya». Moscow: OOO Izdatel'stvo Pero, 2023. P. 106–111 (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 zemnoj kory kaledonskogo i sovremennogo Talasskogo Alatau po profilu SHil'bilisaj — po dannym predvaritel'nogo opredeleniya velichin soskladchatogo gorizontalnogo sokrashcheniya / Materialy vserossijskoj nauchnoj konferencii «Geotektonika i geodinamika sejsmoaktivnyh rajonov», M: Izd-vo «Pero», 2022. P. 490–500 (in Russian)].
- Яковлев Ф.Л., Юнга С.Л. Процессы складкообразования и горообразования в аспекте перемещения границы Мохо по столбу пород литосферы // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о земле. М.: ОИФЗ РАН, 2003. С. 57–58 [Yakovlev F.L., Yunga S.L. Processy skladkoobrazovaniya i goroobrazovaniya v aspekte peremeshcheniya granicy Moho po stolbu porod litosfery // Fiziko-himicheskie i petrofizicheskie issledovaniya v naukah o zemle. Moscow: OIFZ RAN, 2003. P. 57–58 (in Russian)].
- 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>
- Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision // Science, 1975. V. 189. Number 4201. P. 419–426.
- Staal C. van, Zagorevski A. Accretion, soft and hard collision: Similarities, differences and an application from the Newfoundland Appalachian orogen // Geoscience Canada: Journal of the Geological Association of Canada/Geoscience Canada: journal de l'Association Géologique du Canada. 2020. V. 47. № 3. P. 103–118. <https://doi.org/10.12789/geocanj.2020.47.161>
- Stille H. Einführung in den Bau Amerikas. Berlin: Gebrüder Borntraeger. 1941. 717 p.
- Teixell A., Bertotti G., de Lamotte D.F. et al. The geology of vertical movements of the lithosphere: An overview // Tectonophysics, 2009. V. 475. № 1. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.08.018>
- Trifonov V.G., Sokolov S.Y. Late Cenozoic tectonic uplift producing mountain building in comparison with mantle structure in the Alpine-Himalayan Belt // International Journal of Geosciences. 2014. V. 5. P. 497–518. <https://doi.org/10.4236/ijg.2014.55047>
- Turcotte D.L., Schubert G. Geodynamics. UK Cambridge: Cambridge university press, 2002. 214 p.
- Voytenko V.N., Khudoley A.K. Structural evolution of metamorphic rocks in the Talas Alatau, Tien Shan, Central Asia: Implication for early stages of the Talas-Ferghana Fault // Comptes Rendus. Géoscience. 2012. T. 344. №. 3–4. P. 138–148.
- Yakovlev F.L., Yunga S.L. Crustal shortening during mountain building: A case study in the Pamir-Tien Shan and Altay-Mongolia region // Russian Journal Earth Sciences, 2001. V. 3. № 5. P. 317–332. <https://doi.org/10.2205/2001ES000072>

О НЕСООТВЕТСТВИИ ОСНОВНЫХ ПОСТУЛАТОВ  
**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 OF CONTINENTS (PART 2)**

**F.L. Yakovlev**

*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, 123242,  
e-mail: yak@ifz.ru*

Received April 11, 2024; revised September 15, 2026; accepted September 25, 2026

The first part of this paper hypothesized that the observed crisis in tectonospheric geodynamics stems from the inconsistency between the fundamental tenets of plate tectonics and the actual characteristics of natural structures. Two additional principles, which are implicitly incorporated into geodynamic models — namely, the constant volume of the continental crust and an extended understanding of actualism — were appended to the six conventional postulates under review. The properties of continental structures at the scale of the sedimentary cover and crystalline basement were checked on examples of linear folding in the Greater Caucasus and on several other regions. Part 2 analyzes statistical models of the geodynamic processes responsible for folding and uplift in the Greater Caucasus and Tien Shan, alongside the characteristics of several recent mountain belts. Analysis of the studied natural features demonstrates that their parameters contradict the tenets of plate tectonics; these structures are instead dominated by intense densification and decompaction processes within the crust and upper mantle. It is concluded that the crisis in tectonosphere geodynamics can be resolved by abandoning the unrealistic theoretical assumptions of plate tectonics when developing more advanced geodynamic models.

*Keywords: geodynamics, continental crust, plate tectonics, folding, mountain building.*