

Яковлев Ф.Л., Горбатов Е.С. Использование факторного анализа для диагностики геодинамических процессов формирования структуры Альпийского Большого Кавказа; роль изостазии / Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. т. 2. Материалы I Тектонического совещания. – М.: ГЕОС, 2018. С. 354-358.

УДК 549.903.55 (1)

ББК 26.323

Т 67

**Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии.  
Том 2. Материалы I Тектонического совещания. - М.: ГЕОС,  
2018. - 432 с.**

ISBN 978-5-89118-762-7

Ответственный редактор  
*К.Е. Дегтярев*

Материалы совещания опубликованы при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ),  
проект № 18-05-20010

*На 1-ой стр. обложки: Восточный Таймыр, берег р. Ключевка, деформированный ордовикский терригенный разрез (фото А.Н. Ларионова).*

ББК 26.323

© ГИН РАН, 2018

© ГЕОС, 2018

## **Использование факторного анализа для диагностики геодинамических процессов формирования структуры альпийского Большого Кавказа; роль процесса изостазии**

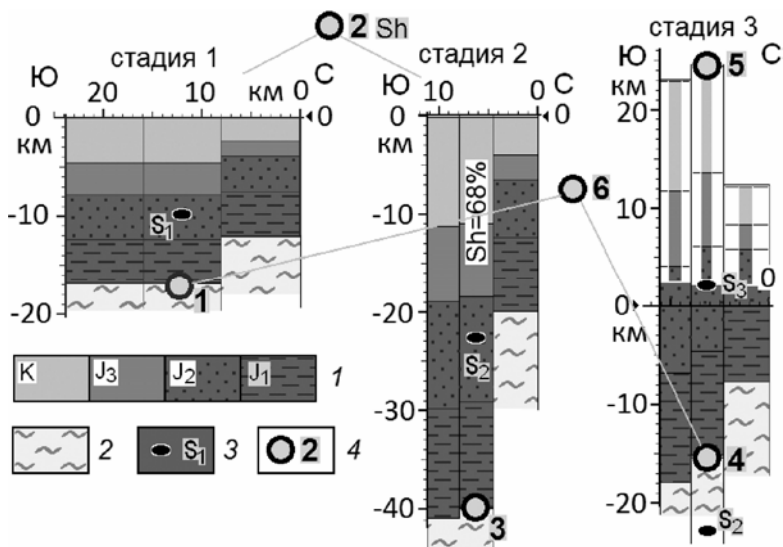
Одной из проблем геодинамики является вопрос о реалистичности выдвигаемых моделей строения и развития крупных структур. Для решения проблемы предлагается использовать в виде исходного материала несколько измеряемых природных параметров, которые прямо связаны со строением и развитием крупных структур, а также их обработку статистическими методами [1]. В качестве структурного материала были использованы 24 детальны́х структурных профиля общей длиной более 500 км [2], которые ранее были составлены для трех регионов складчатого альпийского чехла Большого Кавказа.

Для определения важного параметра – величины горизонтального соскладчатого сокращения пространства – использовалась система иерархии объектов складчатости семи уровней [2] и метод «геометрии складчатых доменов» [2, 3]. В детальны́х профилях были выделены 505 «складчатых доменов» (III уровень иерархии, современная ширина около 1 км) и 78 «структурных ячеек» (IV уровень, ширина 5–7 км). В доменах, состоящих обычно из нескольких складок, замерялись параметры морфологии складок, в том числе – наклон осевых плоскостей складок, наклон зеркала складок, угол при вершине складок (величина сокращения складок). На основании этих замеров в результате трех кинематических операций (поворот, горизонтальный простой сдвиг, растяжение) определялось доскладчатое состояние домена. Последовательность доменов затем объединялась в доскладчатый профиль, в котором выделялись несколько «структурных ячеек». Зная современную длину «ячейки» вдоль профиля и ее доскладчатую длину, можно легко определить величину сокращения этой структуры. Метод построения сбалансированных профилей подробно описан в [3].

Для последующих вычислений была принята условная модель развития Большого Кавказа (рис. 1), имеющая три стадии: на первой был накоплен весь объем осадков, на стадии 2 после сокращения блока произошло погружение структуры без размыва кровли чехла, после неотектонического поднятия возникла современная посторогенная структура (стадия 3). На следующем этапе исследования в каждой структурной ячейке вычислялись или измерялись шесть параметров (рис. 1, знак 4).

---

<sup>1</sup> Институт физики Земли РАН, Москва, Россия



**Рис. 1.** Трехстадийная схема развития структур Большого Кавказа на примере профиля 6 Тфанской зоны.

1 – основные стратиграфические подразделения; 2 – палеозойский фундамент; 3 – положение линии профиля в стратиграфической модели ( $S_1$  – на стадии 1,  $S_2$  – на стадии 2,  $S_3$  – современное положение, на высоте рельефа); 4 – параметры ячеек

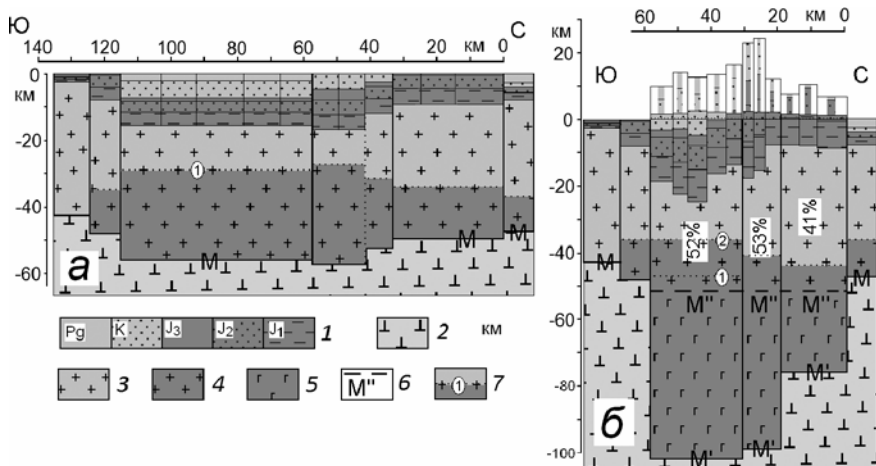
По литературным данным и по результатам балансирования структуры для каждой структурной ячейки составлялась «стратиграфическая модель» с определенной глубиной каждой границы подразделений. Эта модель определяет глубину кровли фундамента на стадии 1, параметр (1). Величина сокращения также является параметром (2,  $Sh$ ). Параметр (3), глубина кровли фундамента на стадии 2, вычислялся по первым двум. Используя «стратиграфическую» глубину линии профиля (рис. 1, знак 3) фактически измерялась величина неотектонического поднятия, параметр (5). По данным о глубине кровли фундамента на стадии 2 и об амплитуде поднятия вычислялась глубина кровли фундамента на стадии 3, параметр (4). По этой информации также вычислялся важный параметр (6) – разница глубин фундамента между стадиями 3 и 1.

Эти параметры были найдены для всех 78 структурных ячеек в трех регионах Большого Кавказа; тем самым была сформирована база данных, пригодная для статистического анализа. Было исследовано распределение по площади шести параметров [2], оно показало наличие определенных структур, выявляемых по этим параметрам. Например,

как для всего Кавказа, так и для двух его частей – западной и восточной – «разница глубин фундамента» была близка к нулю (-0.13 и -1.5 км). Это говорит о том, что полученная сбалансированная структура обладает свойством удерживать в результате совокупного действия процессов формирования складчатости и роста горного сооружения ту глубину кровли фундамента, которую она имела в конце стадии 1. Достаточно очевидна была связь этого факта с явлением изостазии [4, 5].

В качестве первого шага статистического изучения полученной базы данных была построена матрица корреляций для этих шести параметров [2, 1]. Были найдены сильные парные корреляции, имевшие значение для понимания процессов формирования структуры, например, (2 / 5, «сокращение» / «амплитуда поднятия»)  $R = 0.818$ ; (1 / 4, «фундамент на стадии 1» / «фундамент на стадии 3»)  $R = 0.708$ ; (2 / 6, «сокращение» / «разница глубин фундамента»)  $R = -0.461$ ; (1 / 6, «фундамент на стадии 1» / «разница глубин фундамента»)  $R = 0.379$ . Однако в формировании каждой парной корреляции мог участвовать не один, а несколько пока неизвестных процессов. Для решения проблемы связи параметров структуры с процессами ее формирования был использован факторный анализ, в котором не теряются парные корреляции, но выдвигаются на первый план более общие процессы (таблица). Было выявлено, что вся совокупность данных объясняется двумя факторами (вес в сумме – 87%). Наиболее значимый фактор, F1, связан с величиной сокращения (1). От него зависит глубина фундамента после складчатости (3) и амплитуда поднятия (5). Второй фактор, F1, связан с начальной глубиной фундамента (1) и интерпретируется как действие изостазии. От него прямо зависит современная глубина фундамента (4) и разница глубин фундамента (6). Процесс формирования складчатости, сокращение (параметр 3, веса -0.736 и 0.665) связан с влиянием обоих факторов. Участие изостазии в формировании структуры следует связывать с изменениями плотности пород коры до плотности мантийных пород в таких больших объемах, которые не предусмотрены современными моделями геодинамики.

На основании полученных результатов были произведены расчеты изостатически уравновешенных изменений мощности кристаллической части коры в процессе развития Большого Кавказа (рис. 2). Использовались плотности пород, приведенные в [5]. Базальные конгломераты нижней юры фиксируют кристаллическую континентальную кору ( $\rho=2.83$ ) мощностью 40 км. Последующее погружение структуры и начало накопления глубоководных (3 км,  $\rho=1.0$ ) бескарбонатных пелитов нижней юры обеспечивалось уменьшением мощности кристаллической части коры до 25 км. В конце стадии осадконакопления (15 км мощно-



**Рис. 2.** Уточненная схема развития восточной части Большого Кавказа (использован рис. 7 из [4]).

«а» – структура коры в конце стадии осадконакопления, «б» – расчетная современная структура коры. 1 – стратиграфические подразделения осадочного чехла; 2 – мантия, существовавшая до альпийского этапа развития; 3 – материал кристаллической части коры (коровые плотности); 4 – объемы пород коры, по расчетам увеличившие плотность до мантийных; 5 – объемы пород бывшей коры, которые сейчас регистрируются как мантийные; 6 – положения границы Мохо на разных этапах (М – на начало юры, М' – она же в современной структуре, М'' – современная Мохо по геофизическим данным); 7 – расчетные границы смены коровых и мантийных плотностей пород

сти осадков,  $\rho=2.50$ ) мощность коры уменьшилась еще на 11.5 км до 13.5 км (рис. 2, «а», знак 7, отметка “1”). Сокращение блока на 52%, частично размытые осадки с высотой рельефа 1.5 км и глубиной фундамента 18 км показали современную расчетную мощность коры в 17.4 км (рис. 2, «б», знак 7, отметка “2”). Расчеты показали также, что породы, принадлежавшие первоначальному уровню Мохо (начало юры, 40 км) сейчас находятся на глубине около 100 км. Тем самым установлено, что объем кристаллической части коры, которая приобрела плотность мантии, может составлять до 60% от исходного объема.

### Литература

1. Яковлев Ф.Л., Горбатов Е.С. Первый опыт диагностики геодинамических механизмов формирования складчатой структуры с помощью факторного анализа ее параметров (Большой Кавказ) // Геодинамика и тектонофизика. 2017. №4 (в печати)

Таблица. Факторные нагрузки параметров

Параметры ячеек; знаком “*” обозначены измененные параметры, остальные – вычислены		Факторные нагрузки		
		F1	F2	
1	глубина кровли фундамента, стадия 1	b1*	0.022	0.790
2	горизонтальное укорочение	Sh*	0.938	-0.195
3	глубина кровли фундамента, стадия 2	b2	-0.736	0.665
4	глубина кровли фундамента, стадия 3	b3	-0.158	0.982
5	амплитуда неотектонического поднятия	b3– b2*	0.957	0.050
6	разница глубин фундамента, (стадии 3-1)	b3–b1	-0.219	0.853
Вес факторов, %			60	27

2. Яковлев Ф.Л. Многограновый деформационный анализ линейной складчатости на примере альпийского Большого Кавказа. Диссертация на ученую степень докт. геол.-мин. наук по специальности 25.00.03 «Геотектоника и геодинамика». ИФЗ РАН, 2015. 472 с.

3. Яковлев Ф.Л. Реконструкция складчато-разрывных структур в зонах линейной складчатости по структурным разрезам. М.: Изд. ИФЗ РАН, 2017. 60 с.

4. 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.

5. Трифонов В.Г. Проблемы горообразования (Альпийско-Гималайский пояс) // Третья тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН: материалы докладов конференции 8–12 октября 2012. М.: ИФЗ РАН, 2012. Т. 1. С. 99–109.