

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ИНСТИТУТ СЕЙСМОЛОГИИ им.Г.А. МАВЛЯНОВА

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ АКТУАЛЬНЫХ
ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННОЙ СЕЙСМОЛОГИИ
ПОСВЯЩАЕТСЯ 150 ЛЕТИЮ ТАШКЕНТСКОЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ,
15-16 октября 2018 г., г. ТАШКЕНТ, УЗБЕКИСТАН**

Яковлев Ф.Л., Горбатов Е.С. Об основных геодинамических процессах формирования Большого Кавказа – «сокращения» и «изостазии» (факторный анализ) // Сб. докладов Международной научной конференции «Геофизические методы решения актуальных проблем современной сейсмологии». Институт Сейсмологии АН РУз. Ташкент. 2018. С. 312-317.

ТАШКЕНТ-2018

Садыков Ю.М., Нурматов У.А., Ходжаев А.К. К сейсмогеодинамике Западного Тянь-Шаня	262
Садыков Ю.М., Умурзаков Р.А. Возможности изучения современной тектодинамики области подготовки сильных землетрясений по полевым тектонофизическим данным	273
Султанов К.С., Логинов П.В., Салихова З.Р. Закономерности затухания продольных сейсмических волн в грунтовых средах	278
Хамидов Л.А. Анализ механизмов воздействия водохранилищ на геодинамические силы в земной коре	283
Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Ганиева Б.Р., Эргешев И.М. Изменение геодезических показателей зон водохранилищ и составления 2d модели расчета локальных смещений	288
Хамидов Л.А., Ахмаджонов А.З. Модуль расчета перемещений 2D-kelvin и 3D- mindlin+kupradze в среде C^{++} как компонент количественной модели очага в поле действующих геостатических сил	293
Фролова Н.С., Корбутяк А.Н. Структурные парагенезы сейсморазрывов сдвигового типа в аналоговых физических моделях	297
Шакуров Р.К., Шакуров Д.Р. Новый класс землетрясений, проявленный на юго-востоке Восточно-Европейской платформы	302
Усманова М.Т. Особенности сейсмичности центрального и западного Узбекистана	307
Яковлев Ф.Л., Горбатов Е.С. Об основных геодинамических процессах формирования Большого Кавказа – «сокращения» и «изостазии» (факторный анализ)	312
Nilupaer Maimaitusun Zhang Yongxian Zhang Xiaotao Xia Caiyun Retrospective Study on the Predictability of Pattern Informatics in Tianshan seismic zone	318

СЕКЦИЯ 4 ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

Абдуназаров У.К., Стельмах А.Г. Особенности минералогического состава четвертичных почв бассейна реки Чирчик.....	319
Абрамова Т.Т. Снижение динамических нагрузок на грунты с помощью различных технологий	321
Алимухамедов И.М., Закиров А.Ш., Янбухтин И.Р., Мусаев У.Т., Орипов Н.К., Мамаразиков Т.У. Определение физических параметров грунта на гребне хвостохранилища №1 МОФ АГМК по данным сейсморазведки МПВ	325
Атаева Г.Ч. Влияние Гарагум реки на зону аэрации (I-я очередь Гарагум реки)	327
Атаева Г.Ч. Геоэкологические условия Мургабского оазиса.....	329
Байрамова И.А., Лурьева И.И., Аманов А.М. Анализ физико-механических свойств структурно–неустойчивых грунтов.....	331
Бозоров Ж.Ш., Исмаилов В.А. Особенности инженерно-геологических и сейсмических свойств насыпных грунтов и их влияние на приращение сейсмической интенсивности	335
Джураев А., Шерматов М.Ш., Джураев О.А. Оползни в лессовых породах	339

- 3 Бабаджанов Т.Л., Мордвинцев О.П. Особенности строения земной коры юго-западного Узбекистана. В журн. Геология и минеральные ресурсы, Ташкент, Фан, 2001, № 4, с. 42-46.
- 4 Якубов Д.Х., Ярмухаммедов А.Р. (1986). Геолого-тектоническая позиция и условия возникновения Газлийских землетрясений. В кн.: Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. // Ташкент, Фан, 1986, с.34-41.
- 5 Борисов О.М., Рогожин Е.А. (1986). Тектоническое положение очага землетрясения 1984 г. и его геологическое проявление. В кн.: Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. // Ташкент, Фан, 1986, с.41-59.
- 6 Абдрахматов К.Е., Кальметьева З.А., Михайлова Н.Н., Усманова М.Т. и др. (2008). Сейсмологическая База данных Центральной Азии как основа изучения региональных геодинамических процессов (Каталог землетрясений Центральной Азии с 2000 г.д.н.э. по 2005 г. н.э.). В сб. Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геозеологические проблемы. Материалы 4 Межд.Симпозиума г.Бишкек, 15-20 июня 2008. // Бишкек, ИС РАН, 2008, С. 297-302.
- 7 Каталог сильных землетрясений Центральной Азии с древнейших времен по 2009г. Полешко Н.Н., Аристова И.Л., Мукамбаев А.С., Куликова Г.О. (под.ред. Михайловой Н.Н.).//Алматы, 2011, www.kndc.kz;
- 8 Сводные каталоги землетрясений на территории Узбекистана за 2000-2015гг. Комплексной Экспедиция Института сейсмологии АН РУз.
- 8 Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика.// Москва, Высшее образование, 2005, 384 с.
- 9 Усманова М.Т. О сейсмических моделях реализации сильных землетрясений Западного Тянь-Шаня (на примере Западного Узбекистана). В журн. Геология и минеральные ресурсы, Ташкент, Фан, 2004, № 2, с. 33-37.
- 10 Абдуллабеков, Усманова Особенности проявления сильных землетрясений во времени и пространстве. //Доклады Академии наук РУз., Ташкент, Фан, № 3, .2003, С.60-64.
- 11 Усманова М.Т. О современной сейсмической активизации территории Центральной Азии. В Сб. докладов Международной конференции «Актуальные проблемы современной сейсмологии», посвященной 50-летию Института сейсмологии АНРУз, 2016г. // Ташкент, ООО «MUXAMMAD POLIGRAF», 2016, С.120

УДК 551.2.01; 551.248

ОБ ОСНОВНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ФОРМИРОВАНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА – «СОКРАЩЕНИИ» И «ИЗОСТАЗИИ» (ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ)

Яковлев Ф.Л., Горбатов Е.С.

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

Многочисленные проблемы геодинамики, включая вопросы происхождения складчато-надвиговых структур и оценки сейсмического риска сейсмически активных территорий, не могут быть решены обычными методами тектоники или с использованием обычных моделей геодинамики. Здесь могут быть использованы методы тектонофизики, в том числе – для определения величин деформаций структур разного масштаба на основе полевых наблюдений.

Осадочный чехол альпийского Большого Кавказа сформирован в основном терригенными и терригенно-карбонатными тонкослоистыми толщами возраста от нижней юры до эоцена, общей мощностью 10-15 км, которые смяты в складки размерами от 10-50 м до 3-5 км. Основная интенсивная складчатость возникла в главных тектонических зонах Большого Кавказа предположительно в олигоцене. Начиная с миоцена (с сарматского века) здесь начало расти горное сооружение, процесс воздымания которого значительно ускорился

в последние 5-2 млн. лет. Для реконструкции структуры осадочного чехла, определения величин сокращения пространства и вычисления ряда других параметров, имеющих отношение к истории развития региона, были использованы 24 детальных структурных профиля [1, 2] общей длиной более 500 км. В целом они характеризовали структуру Большого Кавказа по нескольким полным пересечениям в двух регионах – в Северо-Западном Кавказе и в Восточном Кавказе.

Сбалансированная модель структуры. Основой нового материала по развитию Большому Кавказу является структура, сбалансированная по объему осадочного чехла и по величинам сокращения. Для ее построения был использован метод «геометрии складчатых доменов» [1]. В рамках этого метода структурные профили делились на участки относительно однородной складчатости, длиной вдоль профиля от 0.5 до 1 км, называемые «доменами». Полученные результаты потом объединялись в более крупные структуры – «структурные ячейки», состоящие из 3-7 доменов. В доменах измерялись параметры: наклон зеркала складок, наклон осевой поверхности складок, угол при вершине складок, длина отрезка профиля и его наклон. Кинематические операции поворота, простого горизонтального сдвига и горизонтального удлинения позволяли восстановить доскладчатую структуру каждого домена (его ширину и положение в осадочном чехле) (рис. 1), а затем, путем объединения всех доменов – каждого профиля целиком. При объединении нескольких доменов выделялись «структурные ячейки», шириной 5-7 км, для которых определялась величина сокращения. Для подсчета некоторых важных параметров была использована условная модель развития структуры, имеющая три стадии – 1) постседиментационный, доскладчатый, 2) пост-складчатый, доорогенный, 3) современный, пост-орогенный (рис. 2). Для всех трех стадий определялись величины шести параметров – величина сокращения (2), доскладчатая (1), пост-складчатая (3) и современная (4) глубина кровли фундамента (ГКФ), амплитуда неотектонического поднятия (5, или расчетное положение кровли чехла) и «разница глубин» кровли фундамента (6) между первой и третьей стадиями (рис. 2, знак 2).

Основные параметры модели сбалансированной структуры Большого Кавказа были найдены для 78 структурных ячеек Большого Кавказа. Величина сокращения составила в среднем около 50% с разбросом от 2-10% до 67%. Современная глубина кровли фундамента имела среднее значение -13 км, при разбросе от -2.2 км до -31.7 км; амплитуды поднятия и размыва кровли чехла для разных тектонических зон составили в среднем от 9 до 19 км.

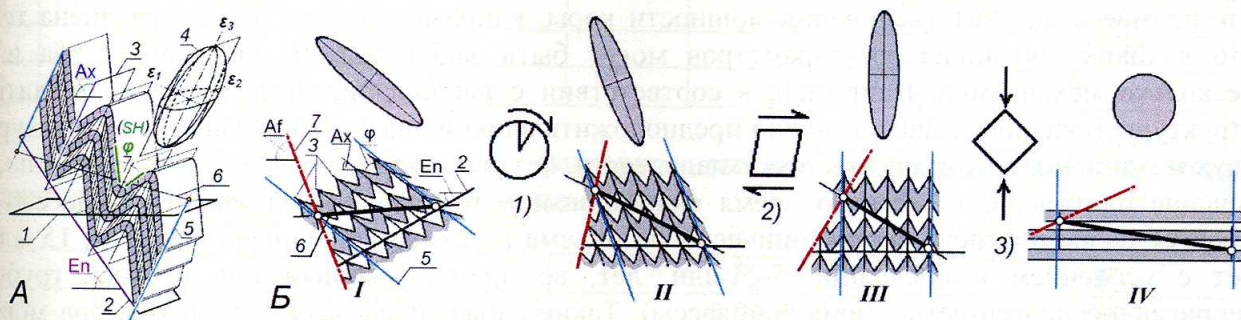


Рис. 1. Восстановление доскладчатого состояния домена. А – складчатый домен, его параметры морфологии и деформации (по [3] с добавлениями). Б – операции восстановления доскладчатого состояния домена (по [4] с добавлениями); показаны символические изображения складчатой структуры домена (знаки 1-7) для состояний от современного (I) к доскладчатому (IV), изменения эллипса деформации и виды операций: 1) – поворот (от состояния I к II), 2) – горизонтальный простой сдвиг (от II к III), 3) – растяжение (чистый сдвиг, от III к IV).

Для А и Б: 1 – горизонтальная плоскость; 2 – поверхность зеркала складок (EN – угол наклона поверхности); 3 – осевые поверхности складок (Ax – угол наклона поверхности); 4 – эллипсоид деформации (φ – угол при вершине складок, соответствует коэффициенту сокращения складок SH); 5 – границы домена вверх и вниз по слоистости; 6 – отрезок линии профиля (измеряется длина и наклон отрезка); 7 – плоскость разрыва (при наличии, Af – угол наклона плоскости)

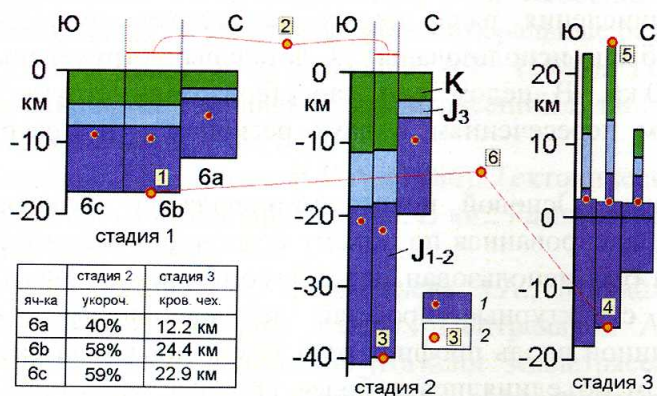


Рис. 2. Три стадии развития структуры (теоретические, в расчетных целях) и шесть параметров «ячеек»: стадия 1 – доскладчатая на конец этапа осадконакопления, стадия 2 – постскладчатая, доорогенная; стадия 3 – современная, посторогенная. Использован профиль 6 Тфанской зоны Юго-Восточного Кавказа (по [2]); 6а, 6б, 6с – три «ячейки». 1 – положение усредненной линии профиля (для стадии 3) в «стратиграфической модели» ячейки на разных стадиях развития; 2 – положение признаков 1-6 и номер признака.

Распределение указанных величин внутри серий профилей показывает устойчивые сочетания, отражающие природные закономерности. В том числе было обнаружено отдельно для западной и восточной частей Большого Кавказа, что величина глубины кровли фундамента для первой стадии стремится сохранить свое значение для современной стадии для двух частей Большого Кавказа как целиком (в среднем), так и для отдельных полных пересечений. При этом отклонения от среднего внутри профиля (параметр «разница глубин» фундамента) достигали значений от -15 км до +8 км. По этим результатам была построена модель строения и развития восточной части Большого Кавказа (мощности и плотности слоев коры и мантии), показавшая неизбежность увеличения плотности пород коры до плотности мантии в нижней части коры [2]. По предварительным оценкам изменения могли охватить до 50-60% первоначального объема коры, увеличение плотности могло составить до 15% (примерно от 2.83 г/см³ до 3.30 г/см³).

Статистические исследования. Массив данных по шести параметрам для 78 структурных ячеек был изучен стандартными статистическими методами. Для основных шести параметров структуры была построена матрица корреляций (табл. 1), которая показала для некоторых пар признаков очень большие значения корреляции, имеющие генетический смысл. Например, для величины сокращения и амплитуды поднятия коэффициент корреляции имел значение 0.818. Однако прямая интерпретация таких корреляций (поднятие как прямое следствие увеличения мощности коры, например) может быть затруднена тем, что в таких соотношениях параметров могут быть задействованы не один, а два или несколько механизмов. Например, в соответствии с наблюдениями за историей развития структуры Большого Кавказа можно предположить влияние на формирование его структуры двух механизмов – сокращения при складчатости, без роста горного сооружения (вероятно, в течение олигоцена, то есть во время формирования тонкозернистой нижней молассы) и процесс более позднего неотектонического подъема и размыва (начиная с сармата, 15 млн. лет с усилением в последние 5-2 млн. лет, во время формирования верхней грубой терригенной неоген-четвертичной молассы). Такие сложные соотношения процессов могут быть выявлены с помощью факторного анализа [5].

На первом этапе факторного анализа определялось, какое именно количество процессов может объяснить основной разброс значений всех параметров. Иными словами, необходимо было выяснить, сколько реально действующих процессов в природе определяют формирование структуры. Стандартная оценка с использованием критерия Кайзера показала, что исследованная структура Большого Кавказа формируется двумя механизмами (процессами), возможный третий процесс является избыточным. Несколько видов основного факторного анализа массива данных по 78 структурным ячейкам выявили эти два фактора в количественном виде, с незначительным разбросом значений. В табл. 2 приведены уточненные данные, по сравнению с [5]. Два фактора интерпретируются как основные

геодинамические механизмы формирования структуры Большого Кавказа (табл. 2, рис. 3): F1 с весом 47% (или долей всех корреляционных связей), в котором современная глубина кровли фундамента (стадия 3) зависит от его исходной глубины (стадия 1), и F2 с весом в 40%, в котором амплитуда поднятия (стадия 3) связана с величиной сокращения структуры (стадия 2). Первый фактор, отвечающий за сохранение глубины кровли фундамента в результате многоэтапной эволюции структуры, интерпретируется как «изостазия», которая связывается с изменением плотности пород коры и мантии в процессе такой эволюции, он действует практически постоянно. Второй фактор связан с величиной сокращения пространства (действует кратковременно), которое формирует складчатость, и от которой (через влияние «изостазии») зависит амплитуда современного неотектонического поднятия.

Обсуждение. Полученный результат интересен с многих точек зрения. Прежде всего, следует обсудить вопрос о соотношении полученной комбинации двух процессов (рассматривая ее как модель геодинамики) с многочисленными современными геодинамическими моделями, включая расчетные, с позиции их реалистичности. В предлагаемом результате шесть признаков природных объектов в масштабе «структурных ячеек», размер которых сопоставим с мощностью всего осадочного чехла, представляют собой комбинацию измеренных и вычисленных величин. Параметры величины сокращения, исходной глубины кровли фундамента (ГКФ в табл. 1; или мощность осадочного чехла) и «глубины стратиграфического положения» линии профиля внутри стратиграфической модели (рис. 2, знак 1) являются фактически измеренными параметрами, независимыми от моделей или теоретических предпочтений исследователя. Остальные три вычисляются на основании этих параметров. Никакие величины тем или иным образом геодинамические модели на этом этапе исследовательского процесса не используются.

Таблица 1. Матрица корреляций параметров структурных ячеек (N=78), по [2, 5].

	Параметры (* - измеренные)		Коэффициенты корреляции					
			(1) h1*	(2) Sh*	(3) h2	(4) h3	(5) h3-h2*	(6) h3-h1
1	исх. мощн. (ГКФ)	h1*	1	-0.023	0.565	0.708	-0.126	0.379
2	укорочение	Sh*		1	-	-	0.818	-0.461
3	ГКФ, стадия 2	h2			1	0.759	-0.737	0.685
4	ГКФ, стадия 3	h3				1	-0.119	0.922
5	ампл. поднятия	h3-h2*					1	-0.087
6	разница ГКФ (3-1)	h3-h1						1

Таблица 2.- Основной результат факторного анализа, нагрузки признаков по методу Варимакс с вращением (по [5], уточненные данные).

	Признаки	F_1	F_2
1.	исх. мощность (ГКФ), h1*	0.790	0.022
2.	укорочение, Sh*	-0.195	0.938
3.	ГКФ, стадия 2, h2	0.665	-0.736
4.	ГКФ, стадия 3, h3	0.982	-0.158
5.	амплитуда поднятия, h3-h2*	0.005	0.957
6.	разница ГКФ (3-1), h3-h1	0.853	-0.219
7.	Соб. знач.	2.796	2.410
8.	Доля дисп. %	46.6	40.2

Следующий этап, сами статистические исследования (получение корреляционной матрицы и два этапа факторного анализа), представляет собой стандартную вычислительную

процедуру, индифферентную к цели исследования. Геодинамическая модель (сочетание двух процессов) появляется только как результат интерпретации связей параметров друг с другом, а сами связи оцениваются по собственным весам признаков в факторах (табл. 2). Поэтому можно утверждать, что обсуждаемый результат является фиксацией ситуации, существующей в природе, а корректность найденной геодинамической модели определяется точностью интерпретации. В отличие от полученного результата, во всех актуальных моделях геодинамики, по большей части или умозрительных, разработанных на основе общепризнанных теоретических схем, или прямых расчетных, либо природной структуре приписывается вполне определенный механизм, либо в модели используется решение какой-то прямой задачи. Весьма непростой вопрос о соответствии выбранной модели (теоретической или расчетной) природным структурам исследователями при этом фактически никак не ставится. Например, весьма распространена практика оценки величины сокращения в горных сооружениях по увеличению мощности коры (например, [6], стр. 6797) на основе модели (постулата) сохранения ее объема при горообразовании; при этом никакие другие возможные процессы увеличения этой мощности не рассматриваются. В этом отношении существующие геодинамические модели предлагается корректировать в сторону соответствия обнаруженному природному явлению (комбинации «изостазии» и «сокращения») или же подробно обосновать их реалистичность путем сопоставления многих численных параметров модели с такими же численными параметрами конкретных природных структур.

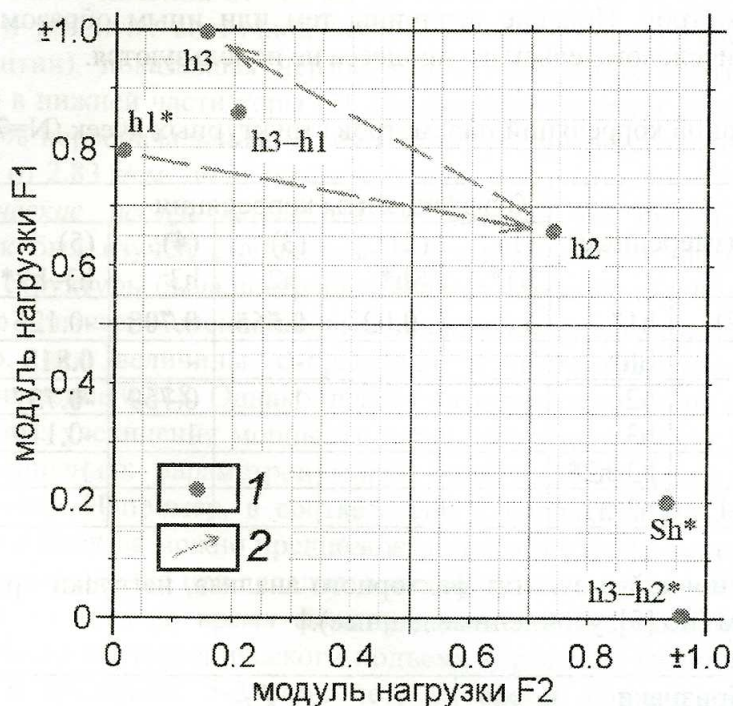


Рис. 3. Диаграмма распределения параметров структурных ячеек в поле двух факторов (F1 – «изостазия», F2 – «сокращение»), показывающая силу и характер связи между ними (по [5], с большими изменениями). По координатам отложены абсолютные значения факторных весов признаков, их конкретные значения для признаков справочно показаны в таблице справа: 0 – отсутствие связи, ± 1 – полная связь. Красные линии показывают значение нагрузки фактора 0.7, принимаемое за уровень статистической достоверности.

1 – положение параметра, рядом указано его обозначение; 2 – связи трех положений глубины кровли фундамента на стадии 1 (h1), доскладчатой; стадии 2 (h2), после сокращения и складчатости; и стадии 3 (h3), современной, после горообразования; согласно принятой модели развития связь (h1) и (h2) имеет вычислительный характер, обусловленным сокращением, (h3) и (h2) связаны величиной неотектонического поднятия (h3-h2).

Можно также считать практически доказанным факт существенного увеличения плотности пород нижних слоев земной коры (до плотности мантии) в значительной доле от первоначального объема в процессе развития складчатой структуры и роста горного сооружения. Как было показано выше, эти изменения могут достигать 10-15%. Вне зависимости от природы таких изменений, пока неизвестной, явление как уплотнения, так и разуплотнения пород коры и мантии может играть существенную роль в тектогенезе в качестве причины локальных вариаций поля напряжений структур разного масштаба и появления деформаций их горизонтального сокращения или удлинения. Вполне очевидно, что в современных геодинамических моделях такая возможность должна учитываться, а ее роль может оказаться весьма велика по сравнению со значением обычных внешних источников напряжений, например, в результате перемещений тектонических плит. В применении к решению проблемы происхождения современных деформаций коры, приводящих к сейсмической активности, и, соответственно, при оценке сейсмического потенциала различных структур, уточнение таких локальных причин напряженного состояния может улучшить понимание механизмов возникновения землетрясения.

Выводы

1) Статистический анализ материала сбалансированной модели складчатого осадочного чехла, связанного с историей развития структур Большого Кавказа, показал наличие двух процессов (факторов). Первый фактор связан с тенденцией к изостатическому выравниванию современной структуры по глубине кровли фундамента на момент завершения осадконакопления (F1, 47%), второй зависит от величины сокращения пространства (F2, 40%). Показано существование в природе именно двух процессов, а не одного или трех. 2) Корректная геодинамическая модель формирования структуры Большого Кавказа, которая может быть разработана в будущем, должна включать в себя оба обнаруженных процесса. 3) Выявленный процесс «изостазии» несомненно связан с существенными (до 10-15%) изменениями плотности пород коры и мантии. Такие изменения объемов пород в блоках коры и мантии могут выступать в качестве объяснения тектонических движений локальными причинами, а не глобальными движениями крупных плит. Это касается, в том числе, и новейших поднятий, и опусканий блоков коры, включая движения, приводящие к возникновению землетрясений.

Литература

- 1 Яковлев Ф.Л. Реконструкция структур линейной складчатости с использованием объемного балансирования // Физика Земли. 2009. № 11. с. 1023–1034.
- 2 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». ИФЗ РАН, 2015. 472 с.
- 3 Yakovlev F.L., Voitenko V.N. Application of the deformation tensor conception for the estimation of deformations in different-scale folded structures. In: Proceedings of VII International Inter-disciplinary symposium and International Geoscience Program (IGCP-476), Vladivostok, 2005, pp. 66-69.
- 4 Яковлев Ф.Л. Владимир Владимирович Белоусов и проблема происхождения складчатости // Геофизические Исследования. 2008. т. 9, № 1. с. 56-75.
- 5 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. Т. 8. № 4. С. 999–1019.
- 6 Avouac J. P., Tapponnier P., Bai M., You H., & Wang G. Active thrusting and folding along the northern Tien Shan and late Cenozoic rotation of the Tarim relative to Dzungaria and Kazakhstan. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 1993, 98(B4), pp. 6755-6804.