

УДК 551.243

DOI: [10.46698/VNC.2020.68.65.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.68.65.002)

Оригинальная статья

Экспериментальное исследование мобиристских механизмов образования альпийской складчатой структуры Большого Кавказа

Т. В. Гиоргобиани^{1, 2}, Д. П. Закара³

¹Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили,
Грузия, 0179, г. Тбилиси, пр. Чавчавадзе, 1;

²Геологический институт им. А. И. Джанелидзе,
Грузия, 0186, г. Тбилиси, ул. Политковской, 31, e-mail: ciala_gugava@mail.ru;

³НЮЛ «Геологи», Грузия, Тбилиси, 0174, ул. Я. Николадзе, 5,
e-mail: d_zakara@yahoo.com

Статья поступила: 21.07.2020, доработана: 22.08.2020, одобрена в печать: 24.08.2020

Резюме: Актуальность работы. В статье рассмотрен вопрос о механизме образования складчатости Большого Кавказа, который до сих пор является дискуссионным. В настоящее время условия формирования главной (допозднеорогенной) структуры региона объясняются большинством исследователей мобилистскими поддвиговыми и придвиговыми механизмами складкообразования, установленными анализом полевых материалов. Однако, для решения этого вопроса, необходимо провести экспериментальные исследования возможностей этих механизмов, чтобы убедиться в их достоверности. **Цель работы.** Экспериментальное исследование поддвиговых и придвиговых механизмов формирования складчатой структуры, для установления подобия, полученной с помощью моделирования складчатости и структуры Большого Кавказа. **Методика** исследований заключалась в проведении экспериментального моделирования процессов складкогенеза. Модели, имитирующие осадочные толщи Большого Кавказа, состояли из пачек чередования горизонтальных слоев петролатума, которые помещались между двумя деревянными брусками. При моделировании поддвигового механизма складчатости, давящий брусок имел клинообразную форму, чем имитировались сколовые пологие разломы. В опытах придвигового механизма деформации активный брусок имел крутую грань, чем воспроизводился субвертикальный наклон краевого разлома. Исходные модели помещались в специальный прибор, где они подвергались односторонней тангенциальной деформации. **Результаты.** При моделировании поддвигового механизма образования складчатости в процессе косоугольного сжатия в слоистой толще наблюдались надвиговые (поддвиговые) смещения вдоль пологой поверхности сколового разлома почти недеформированных слоев. За ними в условиях горизонтального сжатия в слоистой пачке возникла субвертикальная мелкая сильносжатая складчатость. В процессе моделирования придвигового механизма складкогенеза бруски с крутыми гранями прижимались к слоевой пачке. Во время параллельной к слоистости деформации модели, вблизи давящего блока, возникла зональная субвертикальная тесносжатая складчатость. Ее напряженность уменьшалась в сторону пассивного бруска, где она переходила в моноклиналичную структуру. В процессе моделирования в поддвиговых опытах образовалась зональная складчатость, интенсивность которой возрастала с удалением от места давления. Такая морфология складчатости не характерна региону, что противоречит гипотезе о поддвиговом механизме его складкообразования. В придвиговых экспериментах также образовалась асимметричная зональная структура, но ее напряженность уменьшалась в обратном направлении. Аналогичная зональность складчатой структуры развита в пределах Большого Кавказа, что подтверждает возможность ее формирования придвиговым механизмом тектогенеза.

Ключевые слова: Большой Кавказ, складчатая структура, механизм формирования, эксперименты, моделирование, условия подобия, придвиговое и поддвиговое складкообразование.

Для цитирования: Гиоргобиани Т. В., Закарая Д. П. Экспериментальное исследование мобилистских механизмов образования альпийской складчатой структуры Большого Кавказа. *Геология и геофизика Юга России*. 2020. 10 (3): 23 – 39. DOI: 10.46698/VNC.2020.68.65.002.

GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS

DOI: [10.46698/VNC.2020.68.65.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.68.65.002)

Original paper

Experimental study of mobilistic mechanisms of formation of the Alpine folded structure of the Greater Caucasus

T. V. Giorgobiani ^{1, 2}, D. P. Zakaraia ³

¹Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, 1 Chavchavadze Ave., Tbilisi 0179, Georgia;

²Al. Djanelidze Geological Institute, 31 A. Politkovskaia Str., Tbilisi 1086, Georgia,
e-mail: ciala_gugava@mail.ru

³NPLE “Geologi”, Georgia, 0174, Tbilisi, I. Nikoladze Str., 5, e-mail: d_zakara@yahoo.com

Received: 21.07.2020, revised: 22.08.2020, accepted: 24.08.2020

Abstract: Relevance. In the article is discussed the mechanism of folding of the Greater Caucasus, which is still controversial. At present, the conditions for the formation of the main (pre-late orogenic) structure of the region, by most researchers in the result of analysis of the field data are considered as mobile underthrusting and thrusting mechanisms of folding. However, to resolve this issue, it is necessary to conduct experimental studies of the capabilities of these mechanisms to ensure their reliability. **Aim.** Experimental study of the underthrusting and thrusting mechanisms of the formation of a folded structure, to establish the similarity of the folding obtained by modeling and structure of the Greater Caucasus. The research **methodology** consisted in carrying out experimental modeling of fold genesis processes. Models imitating sedimentary strata of the Greater Caucasus consisted of packs of alternating horizontal layers of petrolatum, which were placed between two wooden blocks. When modeling the underthrusting mechanism of folding, the pressing bar had a wedge shape, which simulated gently sloping shear faults. In experiments with the thrusting mechanism of deformation, the active bars had steep edges, which produced the subvertical inclination of the edge fault. The original models were placed in a special device, where they were subjected to one-sided tangential deformation. **Results.** During modeling the underthrusting mechanism of folding in the process of oblique compression in the layered strata, overthrust (underthrust) displacements were observed along the gently-dipping surface of the shear fault of the almost undeformed layers. Behind them, under horizontal compression in the layered pack, subvertical highly compressed small scaled folding has developed. In the process of modeling the thrusting mechanism of folding genesis, bars with steep edges were pressed against the layered stack. During the deformation of the model parallel to the bedding, a zonal subvertical tightly compressed folding appeared near the pressing block. Its strength decreased towards the passive bar, where it passed into a monoclinical structure. In the course of modeling in underthrusting experiments, zonal folding was formed, the intensity of which increased with distance from the place of pressure. This folding morphology is not typical for the region, which contradicts the hypothesis of the underthrusting mechanism of its folding. In thrust experiments, an asymmetric zonal structure was also formed, but its tension decreased in the opposite direction. A similar zoning of the folded structure is developed within the Greater Caucasus, which confirms the possibility of its formation by the thrust mechanism of tectogenesis.

Key words: Greater Caucasus, folded structure, mechanism of formation, experiments, modeling, conditions of similarity, thrusting and underthrusting folding.

For citation: Giorgobiani T. V., Zakaraia D. P. Experimental study of mobilistic mechanisms of formation of the Alpine folded structure of the Greater Caucasus. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2020. 10 (2): 23 – 39. DOI: 10.46698/VNC.2020.68.65.002.

Введение

Складчатая система Большого Кавказа (БК) представляет собой достаточно хорошо изученный тектонически регион альпийского Средиземноморского пояса. Несмотря на это, вопрос о механизме формирования складчатости БК все еще остается недостаточно исследованным и до сих пор является дискуссионным. Хотя решению вопроса генезиса складчатой структуры БК всегда уделялось особое внимание, достигнутые результаты в этом направлении еще не достаточны. Поэтому серьезные разногласия среди исследователей региона о механизме альпийского складкообразования на БК пока продолжают.

В настоящее время существуют представления, объясняющие образование главной (допозднеорогенной) складчатой структуры региона как с фиксистских, так и с мобилистских позиций. Сторонники фиксистской модели считают, что складчатость БК вызвана вертикальными тектоническими движениями, возникающими внутри подвижной зоны, за счет процессов глубинного диапиризма или адвекции. Первичные вертикальные движения при этом трансформируются во вторичные горизонтальные, вызывающие складчатость рассматриваемого региона [Шолпо, 1978; Шолпо и др., 1993; Рогожин, Шолпо, 1988; Гончаров, 1988, 1997 и др.]. Наряду с этим существуют представления, что в формировании складчатости БК принимала участие не только глубинная адвекция, но и боковое тангенциальное сжатие региона [Яковлев, 1987]. Однако морфологические особенности складчатости БК и альпийская геодинамика региона свидетельствуют о том, что в подобных условиях не может происходить образование похожей на БК складчатой структуры. Поэтому фиксистский механизм складкообразования региона в данной статье не рассматривается.

Большинство исследователей предполагают образование складчатой структуры БК вследствие действия односторонних тангенциальных сил сжатия, допуская при этом возникновение складчатости в результате поддвигания относительно жесткого Черноморско-Закавказского микроконтинента (ЧЗМ) по сколовому разлому под БК. Впервые мысль о таком подвиге высказал В. П. Ренгартен в 1926 г. [Хаин, 1984, с. 183]. Затем к аналогичному заключению пришли и другие исследователи [Козлов, 1937, Милановский, Хаин, 1963]. Позже, с появлением концепции тектоники литосферных плит, сторонников поддвигового генезиса складчатости БК стало больше [Гамкрелидзе П., Гамкрелидзе И., 1975, 1977; Ушаков и др., 1976; Гаркаленко, 1976; Гамкрелидзе, 1976, 1984; Адамия, 1977, 1985; Адамия и др., 1987; Adamia, 1975; Adamia et al., 1977, 2017; Шемпелев, 1978; Gamkrelidze, 1986; Гамкрелидзе, Гиоргобiani, 1987; Gamkrelidze, Giorgobiani, 1990; Гиоргобiani, Закарая, 1989, 1999; Giorgobiani, Zakaraia, 2006, 2010, 2013; Гиоргобiani, 1999, 2005, 2008; Giorgobiani, 2003 и др.].

Однако, несмотря на многолетнее изучение, выводы о механизме формирования складчатой структуры БК не всегда основывались на детальном региональном фактическом материале, а опирались на общие представления о характере альпий-

ской складчатости, без учета некоторых важных ее особенностей. А морфология складчатости, как известно, дает возможность восстановить динамику и кинематику ее генезиса, поскольку почти каждая деформация, испытанная регионом, запечатана в его складчатой структуре.

Механизмы складкообразования

Как показали многолетние региональные детальные геолого-структурные исследования авторов, проведенные на Северо-Западном, Центральном и Восточном Кавказе, а также анализ существующей литературы по Юго-Западному Кавказу, складчатость БК была изучена еще недостаточно. Полученные авторами новые данные резко изменили существующие представления о морфологии складчатости БК. Они позволили установить отсутствие в регионе типичной для поддвиговых зон морфологии структур, что указывает на другой механизм его образования. Более подробно важные особенности альпийской складчатости противоречащие проявлению в пределах БК поддвигового механизма структурообразования приведены в отдельной статье [Гиоргобиани, 2008]. В работе детально рассмотрена морфология складчатой структуры и характер ее расположения в пределах БК.

Складчатость ниже-среднеюрских толщ краевой Гагра-Джавской зоны, находящейся над зоной предполагаемого поддвига и в других северных тектонических зонах, характеризуется развитием крутопадающих (падение осевых поверхностей от $65-85^\circ$ до 90° на северо-восток) структур юго-западной вергентности. Аналогичная круто поставленная южновергентная складчатая структура с такими же большими ($65-86^\circ$) углами падения их плоскостей на северо-восток наблюдается и в среднеальпийском этаже. Следует отметить, что отмечаемые иногда в пределах БК более пологие структуры представляют собой не ранне-среднеюрскую складчатость, а более молодые позднеальпийские коллизионные образования. Следовательно, общий субвертикальный стиль главной складчатой структуры БК, а также наличие рассекающего эти структуры крутопадающего кливажа и соскладчатых разрывов исключает поддвиговое их происхождение.

Поддвиговые структуры могут образоваться при поддвиге ЧЗМ непосредственно под чехол складчатой системы БК. Примером такой складчатости может служить структура южной части Чвежипсинской зоны на Северо-Западном Кавказе. Здесь в пределах пологого крыла Пластунской синклинали развита мелкая осложняющая складчатость, образованная на новейшем этапе в результате поддвига под нее Абхазской зоны Грузинской глыбы. Расположенная над надвиговой зоной складчатая структура имеет пологие наклоны осевых поверхностей складок на север под углами $40-55^\circ$, а иногда отмечаются и лежащие складки с очень малыми ($20-35^\circ$) падениями осевых поверхностей [Гиоргобиани, Закарая, 1989]. Следовательно, поддвиговый механизм деформации может привести к возникновению в основном опрокинутой, вплоть до лежащей, складчатости. Однако, как было отмечено выше, такая пологонаклоненная складчатость не характерна для главной складчатой структуры БК. Поэтому морфология структуры региона не подтверждает представление об образовании ее в процессе поддвиговых движений ЧЗМ. Кроме того, совершенно невозможен процесс поддвига более высоко стоящего ЧЗМ, под значительно ниже лежащий южный край выполненного осадками бассейна БК. Тем более что это происходит по разделяющему их субвертикальному глубинному разлому. А более пологих продольных сколовых нарушений, необходимых для поддвигания, в этих

толщах в то время еще не было. Проявление поддвигового механизма, как основную причину формирования складчатости БК, отрицают также некоторые исследователи [Яковлев, 2002]. Поэтому представление о пододвигании ЧЗМ как единой плиты под БК является схематичным, пока еще не подкрепленным структурными данными и входит в противоречие с особенностями складчатого строения региона.

Подтверждением этого также является асимметричная латеральная зональность главной складчатой структуры БК. Она наиболее четко проявлена в мальм-эоценовом этаже С-З Кавказа и неполно в пределах Ю-В Кавказа, которые меньше всех в регионе осложнены новейшими коллизионными деформациями. Зональность выражена в последовательной смене в поперечном сечении региона, с юго-запада на северо-восток линейной сильносжатой складчатости линейной гребневидной умеренной, а затем слабо вытянутыми брахиформными складками, переходящими в свою очередь, в пологую (до 30°) с падением на северо-восток моноклираль. Уменьшение интенсивности складчатости в том же направлении отмечается также в нижне-среднеюрском этаже в Гойтхском антиклинории [Гиоргобиани, Закарая, 1989]. Происхождение латеральной структурной зональности региона, очевидно, было связано с боковым тангенциальным сжатием БК, в результате придвигания к нему с юго-запада ЧЗМ. Термин «придвиг» принадлежит Е. И. Паталахе. Этим процессом он объяснял приразломное смятие толщ Северо-Западного Каратау [Паталаха, 1976].

В конце прошлого столетия на основании анализа, собранного авторами регионального детального геолого-структурного материала, а также результатов экспериментального моделирования условий образования складчатости, был предложен новый придвиговый механизм складкообразования БК [Гиоргобиани, 1999; Гиоргобиани, Закарая, 1999]. Он предполагает придвигание и прижимание ЧЗМ к выполненному мощными осадочными толщами морскому бассейну БК, вызывающие в его пределах процессы складкообразования. Расположенная к северу от последнего Скифская плита (СП) во время альпийской деформации оставалась относительно неподвижной и выполняла роль жесткого упора.

Складчатость на БК сформировалась в результате северо-восточного одностороннего тангенциального сжатия мезозойско-кайнозойских толщ, приложенного к региону вдоль субвертикальной поверхности глубинного Южного краевого разлома (ЮКР). Направленное с юго-запада на северо-восток перемещение относительно жесткого ЧЗМ в сторону БК вызывало действие придвигового механизма складкогенеза. В результате в регионе образовалась зональная складчатая структура, которая характеризуется последовательной сменой к северо-востоку интенсивной складчатости умеренной, а затем слабой, вызванной уменьшением деформации в этом направлении.

Таким образом, по очень важному вопросу механизма образования альпийской складчатой структуры БК пока еще нет единого мнения. В настоящее время одновременно сосуществуют два противоположных мобилистских механизма складкообразования в пределах БК. Первый – поддвиговый, не согласуется с морфологией складчатости региона и второй – придвиговый, подтверждается особенностями складчатой структуры БК, выясненными с помощью проведенных авторами геолого-структурных и экспериментальных исследований региона.

Поэтому дальнейшее изучение проблемы генезиса структуры БК является необходимым для достоверного выявления условий образования этой неоднородной

складчатой системы. Решение этого важного вопроса возможно только посредством проведения комплексного анализа материалов полевых наблюдений и экспериментальных исследований. Выяснение главных структурных особенностей складчатости БК позволит определить условия формирования ее сложной структуры. Действительность механизма образования складчатой структуры БК можно проверить с помощью экспериментального моделирования. Это дает возможность установить правильность мобилистского представления о генезисе складчатой структуры БК, полученного авторами на основании анализа полевых материалов. Изучение генезиса морфологических типов складчатости БК и его отдельных сегментов полевыми и экспериментальными методами проводилось авторами и ранее [Гиоргобиани, Закарая, 1989, 1999]. Оно показало, что при формировании альпийской главной складчатой структуры БК действие поддвигового механизма складкообразования не происходило.

Методы исследования

Для более достоверного выяснения возможности формирования складчатости подобной БК в обстановке проявления приведенных выше кинематически различных мобилистских механизмов авторами была проведена серия физических экспериментов на эквивалентных материалах. Перед началом моделирования были составлены необходимые для опытов структурные модели поддвиговых и придвиговых механизмов складкогенеза (рис. 1).

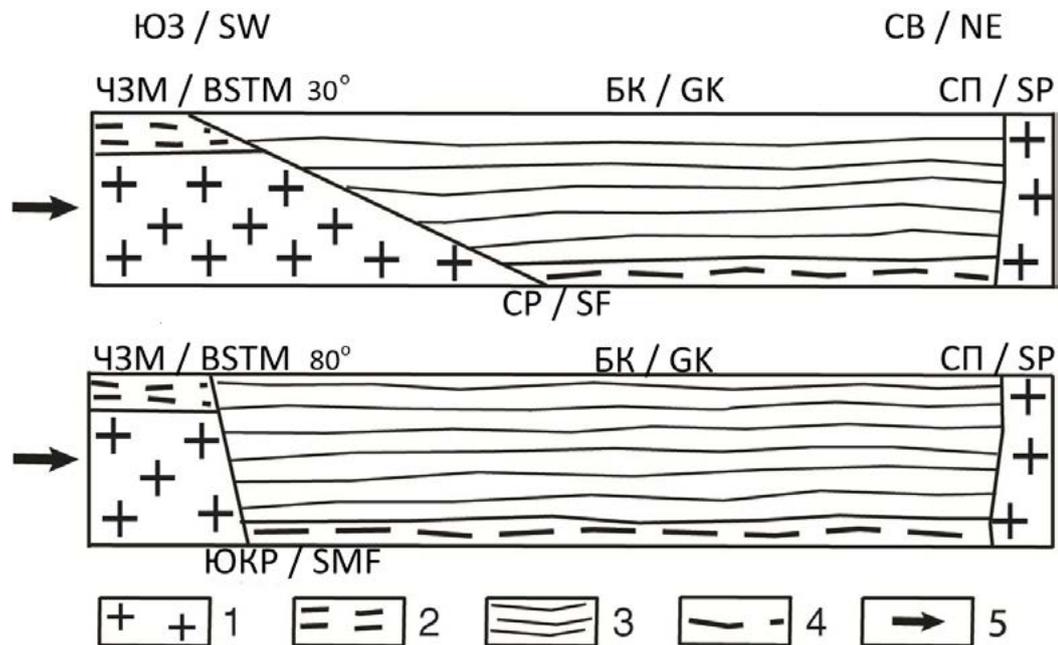


Рис. 1. Структурные модели экспериментов: I – поддвиговых и II – придвиговых механизмов деформации. ЧЗМ – Черноморско-Закавказский микроконтинент; БК – Большой Кавказ; СП – Скифская платформа; CP – сколовый разлом; ЮКР – Южный краевой разлом. 1 – жесткий массив; 2 – осадочный чехол; 3 – осадочные толщи; 4 – фундамент; 5 – направление горизонтального сжатия. /

Fig. 1. Structural models of experiments: I – underthrust and II – near-thrust mechanisms of deformation. BSTM – Black Sea-Transcaucasian microcontinent; GC – Greater Caucasus; SP – Scythian platform; SF – shear fracture; SMF – Southern marginal fault. 1 – hard block; 2 – sedimentary cover; 3 – sedimentary strata; 4 – foundation; 5 – direction of horizontal compression.

Модели, имитирующие альпийский чехол БК, состояли из толщ чередования слоев петролатума, между которыми просыпался порошок из каолина. Они были сложены из 7-11 чередующихся горизонтально лежащих, толщиной 2-2,5 мм слоев, длиной 21,0-28,0 см и шириной 7-8,5 см. Слоистая толща помещалась между двумя деревянными брусками, которые моделировали прилегающие к БК геоструктуры активного ЧЗМ и пассивной СП. В опытах первой серии, когда воспроизводился поддвиговый механизм складкогенеза, подвижный брусок имел клинообразную форму. Она достигалась срезанием его активного края под углами от 20° до 40° , что имитировало сколовые разломы (рис. 2-4). В опытах второй серии активные края брусков имели в значительной степени крутые ($60-80^\circ$) грани, что воспроизводило субвертикальные наклоны разрывных нарушений в процессе придвиговых движений (рис. 5-7).

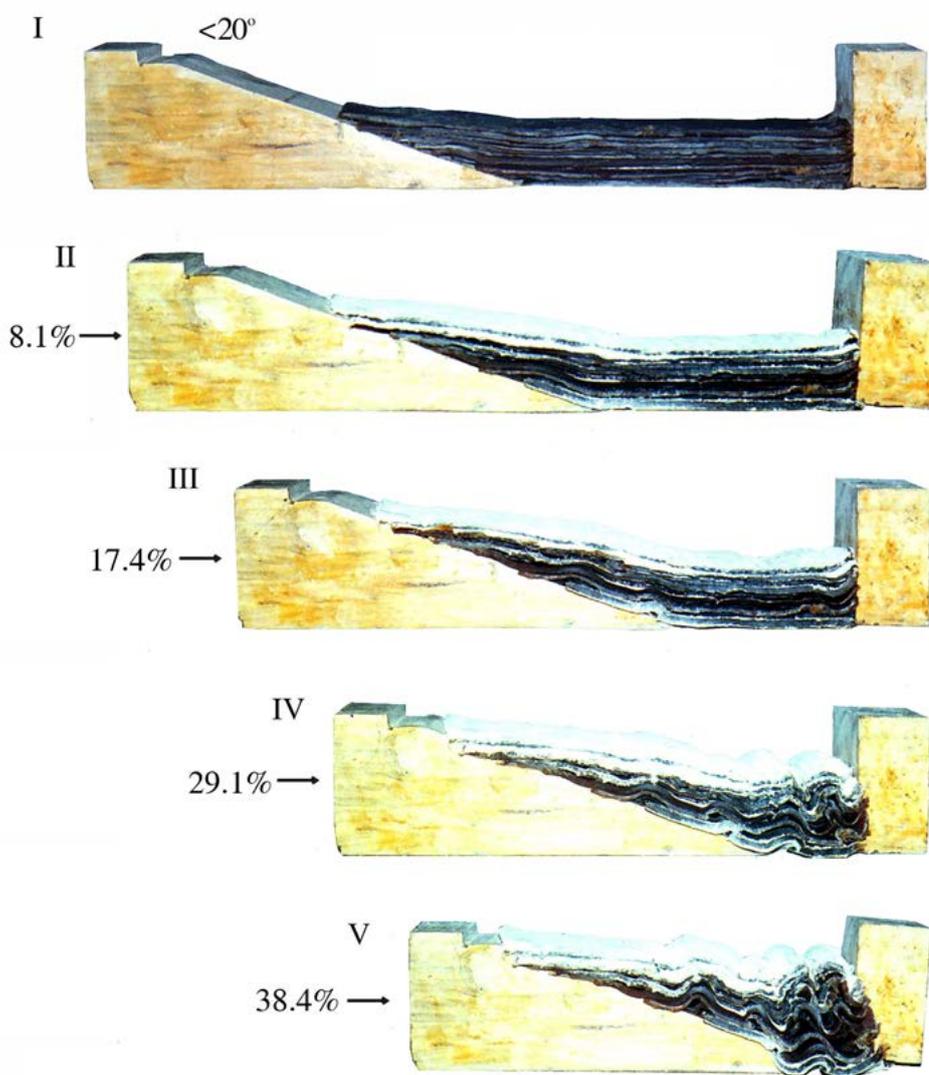


Рис. 2. Фотографии моделей опытов экспериментов поддвигового механизма деформации. Длина модели 27,5 см; $<20^\circ$ – угол наклона активной поверхности бруска; 10,0% – величина сжатия модели в процентах. /

Fig. 2. Images of experimental models of the underthrust deformation mechanism. Model length 27.5 cm; $<20^\circ$ – angle of inclination of the active surface of the bar; 10.0% – the compression amount of the model in percent.

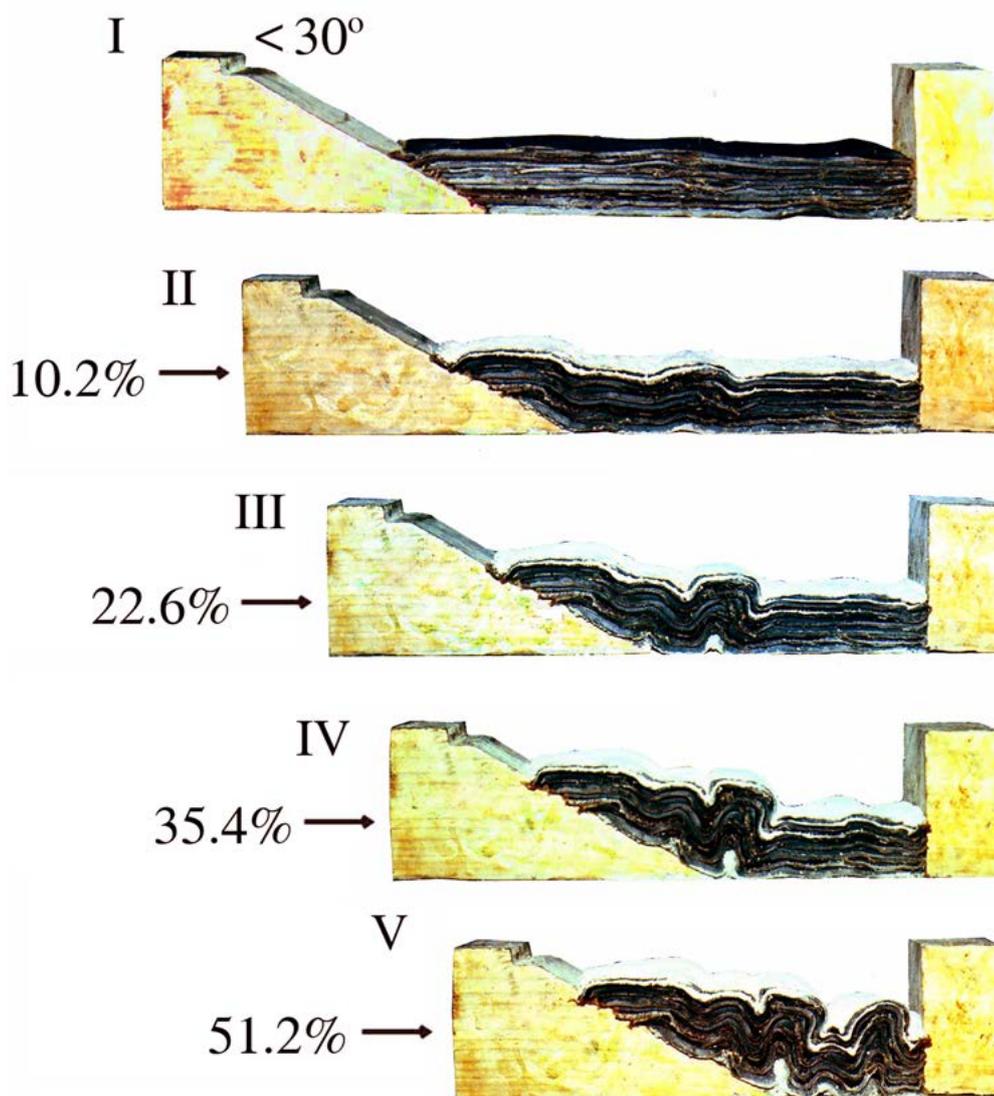


Рис. 3. Фотографии моделей опытов экспериментов поддвигового механизма деформации. Длина модели 28,0 см; $< 30^\circ$ – угол наклона активной поверхности бруска; 20,0% – величина сжатия модели в процентах. /

Fig. 3. Images of experimental model tests for underthrust deformation mechanism. Model length 28.0 cm; $< 30^\circ$ – angle of inclination of the active surface of the bar; 20.0% – the compression amount of the model in percent.

Исходные модели помещались в специальный прибор, позволяющий осуществить боковое тангенциальное одностороннее сжатие. В процессе испытаний слоистая толща подвергалась многократной последовательной деформации. Величины бокового сжатия для разных фаз и опытов были различными и колебались от 10% до 66,5% при поддвиговом и 15,0-57,5% при придвиговом механизмах дислокации.

Результаты экспериментов

В процессе экспериментального исследования поддвиговых и придвиговых механизмов деформации складчатости формировались разнообразные складчатые структуры.

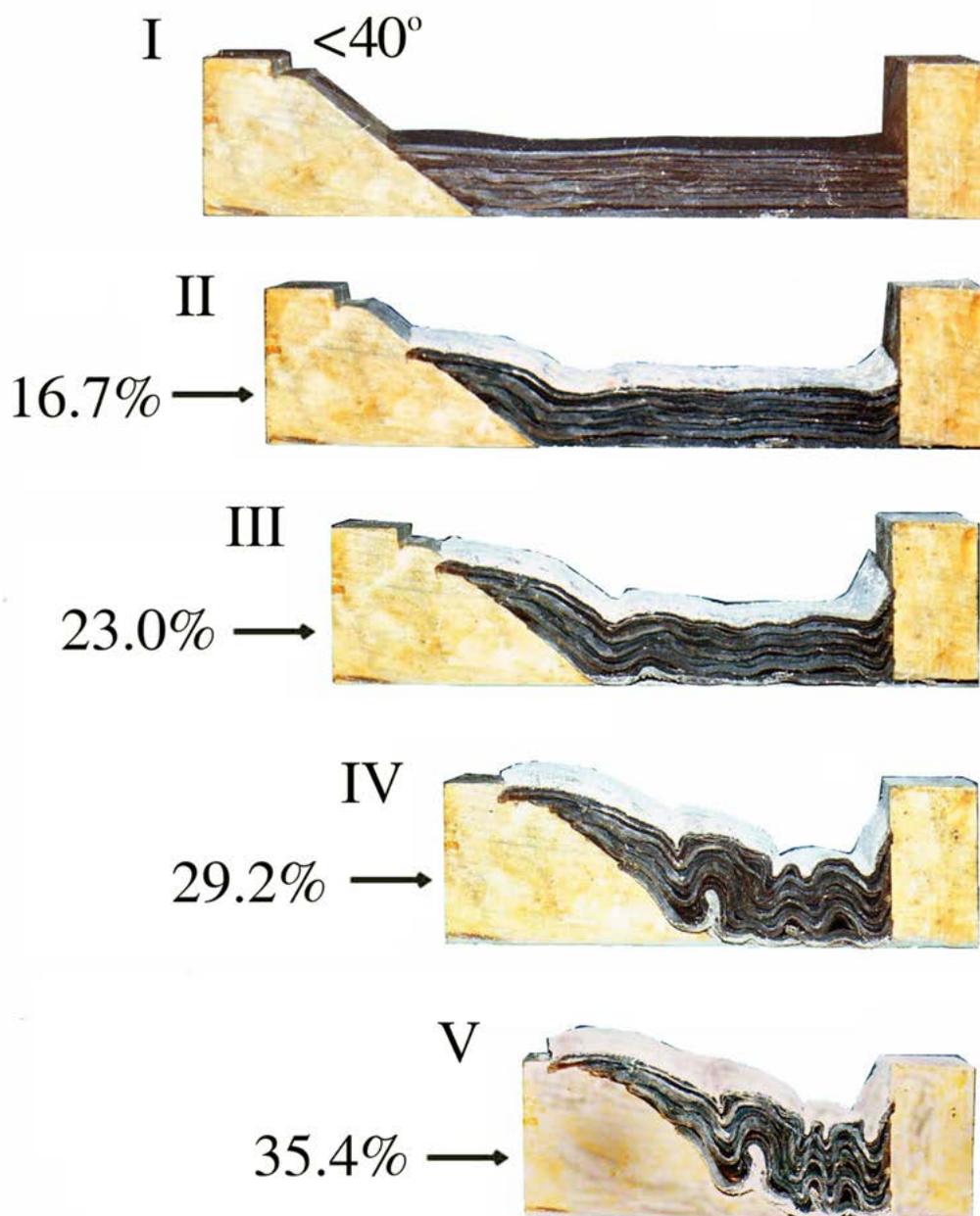


Рис. 4. Фотографии моделей опытов экспериментов поддвигового механизма деформации. Длина модели 24,0 см; $<40^\circ$ – угол наклона активной поверхности бруска; 20,0% – величина сжатия модели в процентах. /

Fig. 4. Images of experimental model tests for underthrust deformation mechanism. Model length 24.0 cm; $<40^\circ$ – angle of inclination of the active surface of the bar; 20.0% – the compression amount of the model in percent. /

Результаты моделирования поддвигового механизма складкообразования оказались неожиданными. При сжатии слоистой толщи непосредственно прилегающей к давящему штампу, в ней наблюдалось надвиговое смещение вдоль пологой (20° , 30° , 40°) поверхности сколового разлома почти недеформированных, иногда слабо изогнутых, залегающих параллельно дизъюнктиву недислоцированных слоев, амплитуда которых равнялась длине разрывного нарушения. За моноклинально наклоненной толщей возникла субвертикальная мелкая сильно сжатая складчатость,

которая распространилась в слоистой пачке до жесткого упора, имитирующего пассивную СП (рис. 2-4).

Следовательно, в зоне активного действия поддвиговых перемещений, в левой части модели, где отмечается косое сжатие слоистой толщи, обусловленное ориентированным ортогонально к сколовому разлому давлением, образование складчатости не произошло. Здесь наблюдаются только пассивные надвиговые (поддвиговые) ее перемещения вдоль поверхности разрывного нарушения. Правый отрезок пачки испытывал вдольслоевое сжатие с образованием сжатой крутоосной складчатости. Это свидетельствует о том, что в проведенных опытах слоистые модели одновременно испытывали косое и параллельное слоистости горизонтальное сжатие, что послужило причиной возникновения такой своеобразной складчатой структуры

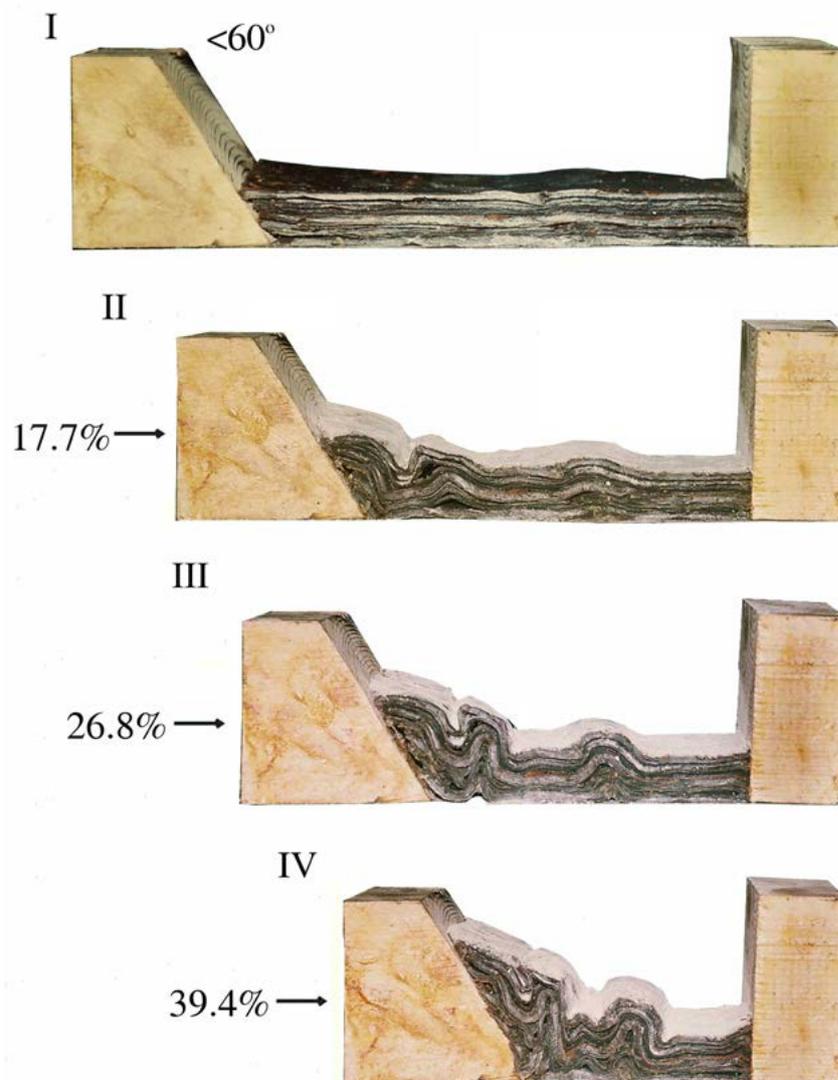


Рис. 5. Фотографии моделей опытов экспериментов придвигового механизма деформации. Длина модели 26,5 см; $<60^\circ$ – угол наклона активной поверхности бруска; 15,0% – величина сжатия модели в процентах. /

Fig. 5. Images of experimental model tests for near-thrust deformation mechanism. Model length 26.5 cm; $<60^\circ$ – angle of inclination of the active surface of the bar; 15.0% – the compression amount of the model in percent.

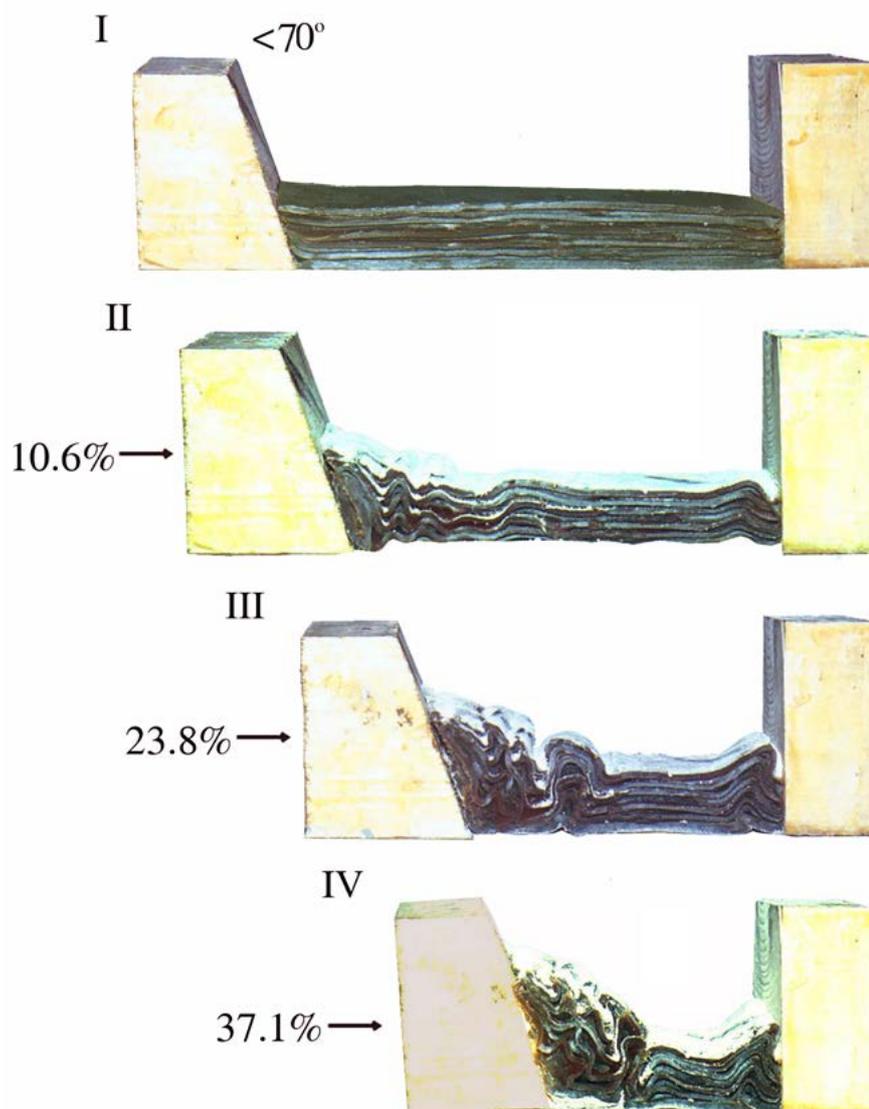


Рис. 6. Фотографии моделей опытов экспериментов придвигового механизма деформации. Длина модели 21,2 см; $<70^\circ$ – угол наклона активной поверхности бруска; 15,0% – величина сжатия модели в процентах. /

Fig. 6. Images of experimental model tests for near-thrust deformation mechanism. Model length 21.2 cm; $<70^\circ$ – angle of inclination of the active surface of the bar; 15.0% – the compression amount of the model in percent.

(рис. 8). Полученная экспериментальным моделированием морфология не характерна для региона, что противоречит гипотезе о поддвиговом механизме формирования главной складчатой структуры БК.

В опытах второй серии моделировалось придвигание и прижатие жесткого ЧЗМ к пластичному горизонтальному комплексу БК. Поверхностью приложения тангенциального давления служил прилегающий к слоистым толщам модели брусок ограниченный более крутыми ($60\text{--}80^\circ$) гранями имитирующий ЮКР. В процессе параллельной слоистости деформации модели в зоне прилегающего давящего блока возникла зональная субвертикальная, иногда крутонаклоненная тесно сжатая складчатость. Ее напряженность уменьшалась в сторону пассивного упора, где она переходила в моноклинальную, иногда слабо изгибающуюся структуру (рис. 5-7).

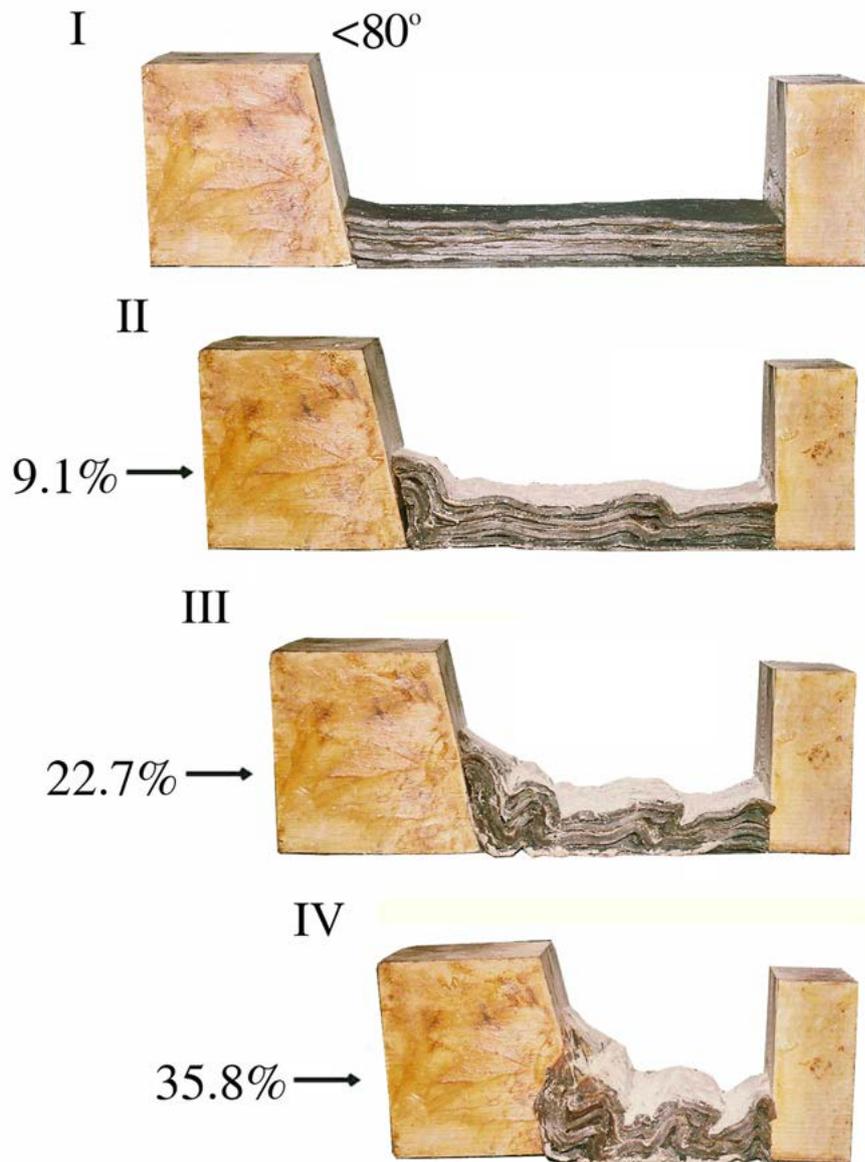


Рис. 7. Фотографии моделей опытов экспериментов придвигового механизма деформации. Длина модели 21,0 см; $<80^\circ$ – угол наклона активной поверхности бруска; 15,0% – величина сжатия модели в процентах. /

Fig. 7. Images of experimental model tests for near-thrust deformation mechanism. Model length 21.0 cm; $<80^\circ$ – angle of inclination of the active surface of the bar; 15.0% – the compression amount of the model in percent.

Аналогичная, в общем асимметричная, зональная складчатая структура развита в пределах БК, что подтверждает возможность образования основной складчатости региона вследствие придвигового механизма тектогенеза.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что формирование складчатой структуры подобной БК с помощью поддвигового механизма механически невозможно. Поэтому его следует заменить более аргументированным фактическим материалом и экспериментальными данными придвигового механизма складкообразования, который является ведущим процессом в формировании главной складчатой структуры региона.

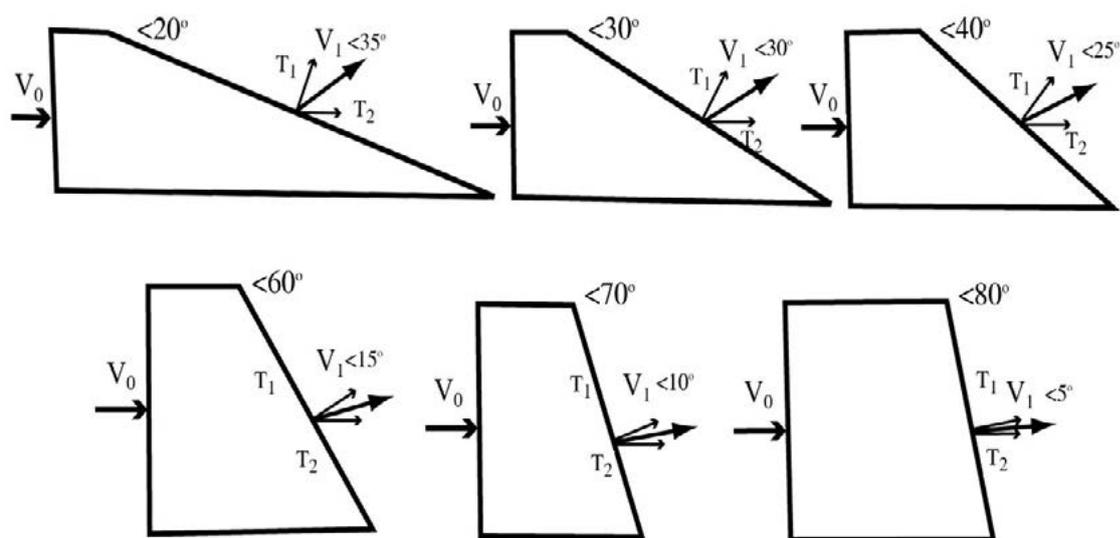


Рис. 8. Ориентировки векторов деформации в поддвиговых и придвиговых опытах экспериментов. V_0 – вектор сжатия модели; V_1 – вектор сжатия слоистой пачки и угол наклона; T_1 – ортогональное направление сжатия активной плоскости блока; T_2 – горизонтальное направление активной плоскости блока; $<20^\circ$ – угол наклона активной поверхности бруска. /

Fig. 8. Orientation of deformation vectors in underthrust and near-thrust experiments. V_0 is the compression vector of the model; V_1 is the vector of compression of the layered pack and the angle of inclination; T_1 – orthogonal direction of compression of the active plane of the block; T_2 – horizontal direction of the block active plane; $<20^\circ$ – inclination angle of the active surface of the bar.

Обсуждение результатов

Причиной формирования такой разнообразной складчатости в условиях проявления поддвигового и придвигового механизмов складкогенеза, является различная кинематика ЧЗМ. Такие дислокации обуславливают разнонаправленные тангенциальные сжатия слоистых моделей, возникающих в обстановке одинаковой деформации. В левой части модели при действии поддвигового механизма дислокации векторы сжатия были ориентированы косо по отношению к слоистости толщи.

Это было вызвано пологим наклоном сколового разлома, ортогонально от поверхности которого передавалось давление горизонтально залегающей пачке слоев. Такая деформация обусловила косо по отношению к слоистости сжатие толщи, в процессе которого образование складчатости не произошло. Здесь наблюдается только пассивные надвиговые (поддвиговые) ее перемещения вдоль поверхности разрывного нарушения. Правый от конца сколового разлома отрезок слоистой пачки испытывал вдольслоевое сжатие с образованием крутоосной складчатости.

Таким образом, в поддвиговых опытах модели одновременно испытывали косо и параллельное к слоистости горизонтальное сжатие. Это послужило причиной возникновения зональной складчатой структуры, интенсивность которой возрастает с удалением от места приложения усилия. Такая морфология складчатости не характерна для изученного региона, что противоречит гипотезе о поддвиговом механизме формирования главной складчатой структуры БК.

При моделировании придвигового механизма складкообразования БК к горизонтальной слоистой толще прижимался брусок, ограниченный крутыми гранями. В процессе параллельной слоистости деформации модели в зоне прилегающего да-

вящего блока возникла асимметричная зональная субвертикальная, иногда круто наклоненная, тесно сжатая складчатость. Ее напряженность уменьшалась в сторону пассивного упора, где она переходила в моноклиналиную, иногда слабо изгибающуюся структуру. Аналогичная, в общем асимметричная, складчатая структура развита в пределах БК, что подтверждает возможность образования основной складчатости региона вследствие придвигового механизма тектогенеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных экспериментов в общем подтвердили справедливость предсказаний авторов о возможном придвиговом механизме формирования складчатости БК, сделанных на основании региональных детальнейших геолого-структурных исследований региона.

Совершенно очевидно, что простейшими экспериментами невозможно в полной мере воспроизвести развитие альпийского природного складкообразовательного процесса, имеющего место в пределах БК. Несмотря на простоту и несовершенство экспериментального исследования, оно все-таки показало возможность образования складчатости в динамо-кинематической обстановке, возникшей при тангенциальном придвигании ЧЗМ вдоль ЮКР к морскому бассейну БК. Поскольку в природных условиях наблюдаются только конечные результаты складкообразования БК, данные эксперименты помогли воссоздать сложный процесс формирования его структуры.

На основании проведенного моделирования можно сделать вывод, что при изучении процессов генезиса тектонических структур необходимо совместное применение полевых, теоретических и экспериментальных методов исследования. Только их сочетание дает наиболее достоверные представления о механизмах образования складчатой структуры региона.

Литература

1. Адамия Ш. А. Тектоника и геологическая история Абхазии. // Тр. ГИН АН ГССР. Нов. сер. – 1977 – Вып. 54. – 68 с.
2. Адамия Ш. А. Механизм и геодинамика формирования альпийских складчатых поясов Кавказа. // Проблемы движений и структурообразования в коре и верхней мантии. – М.: Наука, 1985 – С. 98-111.
3. Адамия Ш. А., Кипиани Я. Р., Чичуа Г. К. Проблема происхождения складчатости Большого Кавказа. // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. – М.: Наука, 1987. – С. 40-47.
4. Гамкрелидзе И. П. Механизм формирования тектонических структур и некоторые общие проблемы тектогенеза. // Тр. ГИН АН ГССР. Нов. Сер. Вып. 52. – Тб.: Мецниереба, 1976. – 225 с.
5. Гамкрелидзе И. П. Тектоническое строение и альпийская геодинамика Кавказа // Тектоника и металлогения Кавказа. // Тр. ГИН АН ГССР. Нов. сер. Вып. 86. – Тб.: Мецниереба, 1984. – С. 105-184.
6. Гамкрелидзе П. Д., Гамкрелидзе И. П. Описание маршрутов экскурсии Жинвали-Павлеури. // Путеводитель экскурсий Советско-Индийского симпозиума. – Тб.: Мецниереба, 1975 – С. 21-22.
7. Гамкрелидзе П. Д., Гамкрелидзе И. П. Тектонические покровы Южного склона Большого Кавказа. // Тр. ГИН АН ГССР. Нов. сер. Вып. 57. – Тб.: Мецниереба, 1977. – С. 83.
8. Гамкрелидзе И. П., Гиоргобиани Т. В. Проблемы альпийской деформации Большого Кавказа и смежных с ним областей. // В сб.: Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. – М.: Наука, 1987. – С. 35-40.

9. Гаркаленко И. А. О горизонтальных движениях блоков земной коры на территории европейской части СССР и акваторий Черного и Азовского морей. // Геодинамика и полезные ископаемые. – М.: Наука, 1976. – 70 с.
10. Гиоргобиани Т. В. Позднекайнозойская геодинамика Большого Кавказа. // Тектоника, геодинамика и процессы метаморфизма. Т. 1. – М.: ГЕОС, 1999. – С. 174-178.
11. Гиоргобиани Т. В. Альпийская коллизионная геодинамика Большого Кавказа и прилегающего Закавказья. // Материалы 38-го тектонического совещания. Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 1. – М.: ГЕОС, 2005. – С. 143-146.
12. Гиоргобиани Т. В. Пододвигался ли Черноморско-Закавказский микроконтинент под Большой Кавказ? // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы ХLI тектонического совещания. Том 1. – М.: ГЕОС, 2008. – С. 188-194.
13. Гиоргобиани Т. В., Закарая Д. П. Складчатая структура Северо-Западного Кавказа и механизм ее формирования. – Тб.: Мецниереба, 1989. – 60 с.
14. Гиоргобиани Т. В., Закарая Д. П. Экспериментальное изучение механизма формирования складчатой структуры Северо-Западного Кавказа. // Труды, посвященные к юбилею 90-летия Г. М. Заридзе. – Тб.: Интеллект, 1999. – С. 229-256.
15. Гончаров М. А. Механизм геосинклинального складкообразования. – М.: Недра, 1988. – 264 с.
16. Гончаров М. А. Компенсационная многоярусная и иерархическая геодинамика; сочетание фиксизма и мобилизма. // Бюлл. МОИП. Отд. геол. – 1997 – Т. 72. Вып. 6. – С. 13-21.
17. Козлов А. Л. Черноморское побережье в районе Сочи и низовья р. Мзымты. Экскурсия по Кавказу. Черноморское побережье. // ОНТИ НКТП СССР. – 1937. – С. 26-44.
18. Милановский Е. Е., Хаин В. Е. Геологическое строение Кавказа. // Очерки региональной геологии СССР. – М.: МГУ, 1963. – 357 с.
19. Паталаха В. Е. Явление придвига в разломной тектонике. // ДАН СССР. – 1976. – Т. 228. № 5. – С. 1175-1178.
20. Рогожин Е. А., Шолпо В. Н. Неоднородность зоны полной складчатости Большого Кавказа. // Геотектоника. – 1988. – № 5. – С. 79-93.
21. Ушаков С. А., Галушкин Ю. И., Иванов О. П., Ковалев А. А., Корякин Ю. В., Оленин В. В. Геодинамический анализ взаимосвязи нео-палеотектонических структур Альпийско-Гималайского пояса (на примере Крыма, Кавказа и Копетдага). // Геодинамика и полезные ископаемые. – М.: Наука, 1976. – С. 37-41.
22. Хаин В. Е. Региональная геотектоника. Альпийский Средиземноморский пояс. – М.: Недра, 1984. – С. 143-188.
23. Шемпелев А. Г. О глубинном выражении Главного Кавказского надвига. // Геотектоника. – 1978. – № 8. – С. 57-65.
24. Шолпо В. Н. Альпийская геодинамика Большого Кавказа. – М.: Недра, 1978. – 176 с.
25. Шолпо В. Н., Рогожин Е. А., Гончаров М. А. Складчатость Большого Кавказа. – М.: Наука, 1993. – 192 с.
26. Яковлев Ф. Л. Исследования кинематики линейной складчатости (На примере Юго-Восточного Кавказа). // Геотектоника. – 1987. – № 4. – С. 31-48.
27. Яковлев Ф. Л. Исследования процессов и механизма развития пликативных деформации в Земной коре (Обзор существующих методических подходов). // Тектонифизика сегодня. – М.: Изд. ОИФЗ РАН, 2002. – С. 311-332.
28. Adamia S. A. Plate tectonic and evolution of the Alpine system. Discussion. // *Bul. Geol. Soc. America.* – 1975. – Vol. 86. – pp. 15-17.
29. Adamia S. A., Lortkipanidze M. B., Zakariadze G. S. Evolution of an active continental margin exemplified by the Alpine history of the Caucasus. // *Tectonophysics.* – 1977. – Vol. 40. No. 3-4. – pp. 183-199.
30. Adamia S. A., Chkhotua T. G., Gavatdze T. T., Lebanidze Z. A., Lursmanashvili N. D., Sadradze N. G., Zakaraia D. P., Zakariadze G. S. Tectonic setting of Georgia-Eastern Black Sea: a review. // *The Geological Society of London.* – 2017. – pp. 11-40.
31. Gamkrelidze I. P. Geodynamic evolution of the Caucasus and adjacent areas in Alpine time. // *Tectonophysics.* – 1986. – No. 127. – pp. 261-277.

32. Gamkrelidze I. P., Giorgobiani T. V. Kinematics of the Alpine deformation of the Caucasus and adjacent areas. *Mechanics of Jointed and Faulted Rock*. – Rotterdam. – 1990. – pp. 183-186.
33. Giorgobiani T. V. Origin of Horst-anticlinorium of the Main Range, the Eastern Caucasus. // *Doklady Earth Sciences*. – 2003. – Vol. 388. No. 1. – pp. 16-20.
34. Giorgobiani T., Zakaraia D. Listric Faults Structure in Folded-faulted Regions. // XVIIIth Congress of Carpathian-Balkan Geological Association. September 3-6. – Belgrade. – 2006. – pp. 178-181.
35. Giorgobiani T., Zakaraia D. Intersecting Folding of Some Tectonic Zones of the Greater Caucasus. // *The Problems of Geology of the Caucasus. International Science Conference. Proceedings*. 25-27 November 2010. – Tbilisi. – 2010. – Vol. 1. – pp. 39-41.
36. Giorgobiani T., Zakaraia D. The Newest and Modern Tectonics of the Greater Caucasus and of the Adjacent Transcaucasus. // 1st International Conference and Workshop. *Caucasus Active Tectonics and Magmatism. Hazards and Resources*. 29 August-3 September. – Tbilisi. – 2013 – pp. 17-18.

References

1. Adamia Sh.A. Tectonics and geological history of Abkhazia. In: *Proceedings GIN AN GSSR*. Nov. ser. 1977, Issue 54. 68 p. (In Russ.)
2. Adamia Sh.A. Mechanism and geodynamics of the formation of the Alpine fold belts in the Caucasus. *Problems of movements and structure formation in the crust and upper mantle*. Moscow. Nauka, 1985. pp. 98-111. (In Russ.)
3. Adamia Sh.A., Kipiani Ya.R., Chichua G.K. The problem of the folding origin in the Greater Caucasus. *Geology and minerals of the Greater Caucasus*. Moscow. Nauka, 1987. pp. 40-47. (In Russ.)
4. Gamkrelidze I.P. The formation mechanism of tectonic structures and some general problems of tectogenesis. In: *Proceedings GIN AN GSSR*. Nov. ser. Issue 52. Tbilisi. Metsniereba, 1976. 225 p. (In Russ.)
5. Gamkrelidze I.P. Tectonic structure and alpine geodynamics of the Caucasus. *Tectonics and metallogeny of the Caucasus*. In: *Proceedings GIN AN GSSR*. Nov. ser. Issue 86. Tbilisi. Metsniereba, 1984. pp. 105-184. (In Russ.)
6. Gamkrelidze P.D., Gamkrelidze I.P. Description of excursion routes Zhinvali-Pavleuri. *Guide for excursions of the Soviet-Indian Symposium*. Tbilisi. Metsniereba, 1975. pp. 21-22. (In Russ.)
7. Gamkrelidze P.D., Gamkrelidze I.P. Tectonic covers of the southern slope of the Greater Caucasus. In: *Proceedings GIN AN GSSR*. Nov. ser. Issue 57. Tbilisi. Metsniereba, 1977. p. 83. (In Russ.)
8. Gamkrelidze I. P., Giorgobiani T. V. Problems of alpine deformation of the Greater Caucasus and related areas. In the book: *Geology and Minerals of the Greater Caucasus*. M. Nauka, 1987. pp. 35-40. (in Russ.)
9. Garkalenko I.A. On the horizontal movements of the crustal blocks in the European part of the USSR and the waters of the Black and Azov seas. *Geodynamics and Mineral Resources*. Moscow. Nauka, 1976. 70 p. (In Russ.)
10. Giorgobiani T.V. Late Cenozoic geodynamics of the Greater Caucasus. *Tectonics, geodynamics and processes of magmatism and metamorphism*. Vol. 1. M. GEOS, 1999. pp. 174-178. (in Russ.)
11. Giorgobiani T.V. Alpine collision geodynamics of the Greater Caucasus and adjacent Transcaucasia. *Tectonics of the Earth's crust and mantle. Tectonic patterns of the location of minerals*. Vol. 1. M. GEOS, 2005. pp. 143-146. (in Russ.)
12. Giorgobiani T.V. Did the Black Sea-Transcaucasian microcontinent move under the Greater Caucasus? General and regional problems of tectonics and geodynamics. In: *Proceedings of the XLI tectonic meeting*. Vol. 1. Moscow. GEOS, 2008. pp. 188-194. (In Russ.)
13. Giorgobiani T. V. Zakaraya D.P. The folded structure of the Northwest Caucasus and the mechanism of its formation. Tbilisi: Metsniereba, 1989. 60 p. (in Russ.)

14. Giorgobiani T. V., Zakaraya D. P. Experimental study of the formation mechanism of the folded structure of the North-West Caucasus. In: Proceedings dedicated to the 90th anniversary of G. M. Zaridze. Tbilisi. Intellect, 1999. pp. 229-256. (In Russ.)
15. Goncharov M. A. The mechanism of geosynclinal folding. Moscow. Nedra, 1988. 264 p. (In Russ.)
16. Goncharov M. A. Compensatory multi-tiered and hierarchical geodynamics; a combination of fixism and mobilism. In: Bull. MOIP. Dept. geol. 1997. Vol. 72. Issue. 6. pp. 13-21. (In Russ.)
17. Kozlov A. L. The Black Sea coast in the region of Sochi and the lower part of river. Mzymty. Excursion into Caucasus. Black Sea coast. ONTI NKTP USSR. 1937. pp. 26-44. (in Russ.)
18. Milanovskii E. E., Khain V. E. Geological structure of the Caucasus. M.: Publishing House of Moscow State University, 1963. 357 p. (in Russ.)
19. Patalakha V. E. Near-thrust phenomenon in fault tectonics. DAN USSR. 1976. Vol. 228. No. 5. pp. 1175-1178. (In Russ.)
20. Rogozhin E. A., Sholpo V. N. Heterogeneity of the complete folding zone of the Greater Caucasus. Geotektonika. 1988. No. 5. pp. 79-93. (in Russ.)
21. Ushakov S. A., Galushkin Yu. I., Ivanov O. P., Kovalev A. A., Koryakin Yu. V., Olenin V. V. Geodynamic analysis of the relationship of neo-paleotectonic structures of the Alpine-Himalayan belt (on the example of the Crimea, the Caucasus and Kopetdag). Geodynamics and Mineral Resources. Moscow. Nauka, 1976. pp. 37-41. (In Russ.)
22. Khain V. E. Regional geotectonics. Alpine Mediterranean belt. Moscow. Nedra, 1984. pp. 143-188. (In Russ.)
23. Shempelev A. G. About the deep expression of the Main Caucasian thrust. Geotectonics. 1978. No. 8. pp. 57-65. (In Russ.)
24. Sholpo V. N. Alpine geodynamics of the Greater Caucasus. M. Nedra, 1978. 176 p. (in Russ.)
25. Sholpo V. N., Rogozhin E. A., Goncharov M. A. The folding of the Greater Caucasus. Moscow. Nauka, 1993. 192 p. (in Russ.)
26. Yakovlev F. L. Studies of the kinematics of linear folding (On the example of the South-Eastern Caucasus). Geotectonics. 1987. No. 4. pp. 31-48. (In Russ.)
27. Yakovlev F. L. Research of processes and development mechanism of plicative deformation in the Earth's crust (Review of existing methodological approaches). Tectonophysics today. Moscow. Ed. UIPE RAS, 2002. pp. 311-332. (In Russ.)
28. Adamia S. A. Plate tectonic and evolution of the Alpine system. Discussion. Bul. Geol. Soc. America. 1975. Vol. 86. pp. 15-17.
29. Adamia S. A., Lortkipanidze M. B., Zakariadze G. S. Evolution of an active continental margin exemplified by the Alpine history of the Caucasus. Tectonophysics. 1977. Vol. 40. No. 3-4. – pp. 183-199.
30. Adamia S. A., Chkhotua T. G., Gavtadze T. T., Lebanidze Z. A., Lursmanashvili N. D., Sadradze N. G., Zakaraia D. P., Zakariadze G. S. Tectonic setting of Georgia-Eastern Black Sea: a review. The Geological Society of London. 2017. pp. 11-40.
31. Gamkrelidze I. P. Geodynamic evolution of the Caucasus and adjacent areas in Alpine time. Tectonophysics. 1986. No. 127. pp. 261-277.
32. Gamkrelidze I. P., Giorgobiani T. V. Kinematics of the Alpine deformation of the Caucasus and adjacent areas. Mechanics of Jointed and Faulted Rock. Rotterdam. 1990. pp. 183-186.
33. Giorgobiani T. V. Origin of horst-anticlinorium of the main range, the Eastern Caucasus. Reports Earth Sciences. 2003. Vol. 388. No. 1. pp. 16-20.
34. Giorgobiani T., Zakaraia D. Listric Faults Structure in Folded-faulted Regions. XVIIIth Congress of Carpathian-Balkan Geological Association. Belgrade. September 3-6. 2006. pp. 178-181.
35. Giorgobiani T., Zakaraia D. Intersecting Folding of Some Tectonic Zones of the Greater Caucasus. The problems of Geology of the Caucasus. International Science Conference. Proceedings. 25-27 November 2010. Vol. 1. Tbilisi. 2010. pp. 39-41.
36. Giorgobiani T., Zakaraia D. The Newest and Modern Tectonics of the Greater Caucasus and of the Adjacent Transcaucasus. 1st International Conference and Workshop. Caucasus Active Tectonics and Magmatism. Hazards and Resources. 29 August-3 September. Tbilisi. 2013. pp. 17-18.