

**МЕЖГОРНЫЕ И ВНУТРИГОРНЫЕ ВПАДИНЫ ТЯНЬ-ШАНЯ: ФОРМАЦИОННЫЕ,  
СТРУКТУРНЫЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ РАЗЛИЧИЯ**

**В.И. Макаров**

*Институт геоэкологии РАН, 101000, Москва, Уланский пер., 13, Россия*

Горообразующие деформации земной коры, которые привели к формированию современного Тянь-Шаня, являются результатом совокупного воздействия на нее двух автономных процессов: латерального (тангенциального) сжатия, связанного с коллизией Индийской и Евразийской литосферных плит, и процессов структурно-вещественного преобразования и течения вещества на разных уровнях литосферы в глубоких недрах самого горного пояса. В качестве индикаторов этих процессов (геодинамических индикаторов) рассматриваются горные впадины Тянь-Шаня. Исходя из различного положения в общей структуре горного пояса, особенностей их внутренней структурной дифференциации и ярко проявленных формационных различий эти впадины предложено разделять на две категории: 1) внутригорные и 2) межгорные и предгорные. Их структурно-морфологические и формационные различия, несмотря на пространственно-временное единство развития, имеют генетическую (геодинамическую) природу. Первые в большей мере отражают условия субмеридионального сжатия коры, являются преимущественно верхнекоровыми дислокационными образованиями и отвечают достаточно простым (элементарным) складкам продольного смятия древнего основания. Развитие вторых в большой мере обусловлено глубинными процессами в верхней мантии и нижней коре.

*Внутриконтинентальное горообразование, новейшая геодинамика, предгорные, межгорные и внутригорные впадины, Тянь-Шань.*

**COMPOSITIONAL, STRUCTURAL, AND GEODYNAMIC CONTROLS OF THE EVOLUTION  
OF INTER- AND INTRAMONTANE BASINS OF THE TIEN SHAN**

**V.I. Makarov**

The crustal orogeny which formed the present-day Tien Shan results from the complex interaction between two independent processes. The first is the lateral (horizontal) compression related to the collision between the Indian and Eurasian Plates. The second is the rearrangement and flow of crustal material at different levels of the lithosphere beneath the mountain belt. Two broad morphologic and genetic types of mountain basins (intramontane and intermontane/foreland) are proposed as indicators of specific geodynamic factors controlling the topographic relief of the orogenic belt. The first-type basins, having the upper crustal roots, reflect mainly the N-S crustal compression and correspond to simple (elementary) longitudinal folds with basement involvement. The second-type basins developed mostly in response to deep processes in the upper mantle and lower crust.

*Intracontinental mountain building, recent geodynamics, foreland basins, intermontane and intramontane basins, Tien Shan*

**ВВЕДЕНИЕ**

Активным процессам позднекайнозойского (новейшего) горообразования, которые охватили обширные территории Центральной Азии, подверглись не только области, непосредственно связанные с зоной коллизии Евразийской и Индийской (Индо-Австралийской) литосферных плит, но и достаточно удаленные от нее внутриконтинентальные пространства. Горообразующие деформации в пределах последних большинством современных исследователей, как и рядом ученых прошлых поколений [Арган, 1935], также связываются с этой коллизией, с динамическими воздействиями на литосферу и земную

кору этих пространств со стороны коллизионной области. Вместе с тем очевидно, что не все особенности новейшей тектонической структуры принимаются при этом в расчет и получают достаточно удовлетворительное объяснение. Это касается прежде всего геодинамических аспектов новейшего внутриконтинентального горообразования.

Одной из таких особенностей является значительное различие между впадинами, которые развиваются в пределах горных сооружений и являются обязательной составляющей их неотектонической структуры<sup>1</sup>. Обычно рассматриваются две категории впадин, входящих в структуру горных сооружений — предгорные и межгорные. Но если по поводу первых имеется достаточная ясность (по крайней мере, относительно их положения в структуре горного сооружения), то понимание вторых требует некоторых принципиальных уточнений, важных для геодинамических интерпретаций неотектонических структур. Дело в том, что межгорные впадины, определяемые в общепринятом широком смысле этого термина, т.е. только по их положению «между горами», включают достаточно различные тектонические прогибы, отличающиеся по своим плановым размерам, глубине прогибания, мощностям выполняющих их синорогенных отложений и внутренней структуре. Это разнообразие впадин, которые в общем случае предпочтительнее определять более нейтральным термином «горные», сводится не только к количественным характеристикам неотектонических деформаций, но имеет в своей основе и генетические (геодинамические) причины. Последнее и является основной целью статьи.

### ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ЧЕРТЫ НОВЕЙШЕЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТЯНЬ-ШАНЯ

Указанное выше поясним на примере горного пояса Тянь-Шаня, новейшая структура которого достаточно хорошо изучена и освещена в литературе. Ее основу на всем его почти 3000-километровом протяжении составляют положительные и отрицательные изгибы древнего покровно-складчатого основания (*up-warping* и *down-warping*, по В.М. Дэвису [Davis, Huntington, 1905], складки основания, по Э. Аргану [1935] и С.С. Шульцу [1948], мегаскладки, по Б.А. Петрушевскому [1955] и Н.П. Костенко [1972]). Наверное, их можно определять также терминами «антиформы» и «синформы». Именно они создают главные элементы горного рельефа — хребты и разделяющие их долины и впадины. С этими складками закономерно сопряжены продольные (относительно складок) взбросы и надвиги (нередко со сдвиговой составляющей), диагональные сдвиги и наименее развитые поперечные к ним зоны растяжений и сбросов. Парагенетический ансамбль всех этих структурных форм со всей определенностью свидетельствует об их формировании в результате или, по крайней мере, в условиях латерального субмеридионального сжатия земной коры, что отражено теперь в обширной литературе по этому поводу. Отдельные складки основания (как мегаантиклинали, так и мегасинклинали) закономерно сочленяются одна с другой, образуя весьма протяженные, чаще всего кулисообразно устроенные (эшелонированные) ряды, которые предложено выделять в качестве *зон поднятий* и *зон прогибов*, образующих цепи соответственно горных хребтов и впадин (рис. 1). Эти зоны вытянуты в основном вдоль горного пояса, но иногда занимают секущее к нему положение (например, в пределах Таласо-Ферганской сигмоиды, в системах Юго-Западного Гиссара или Северо-Западного Тянь-Шаня).

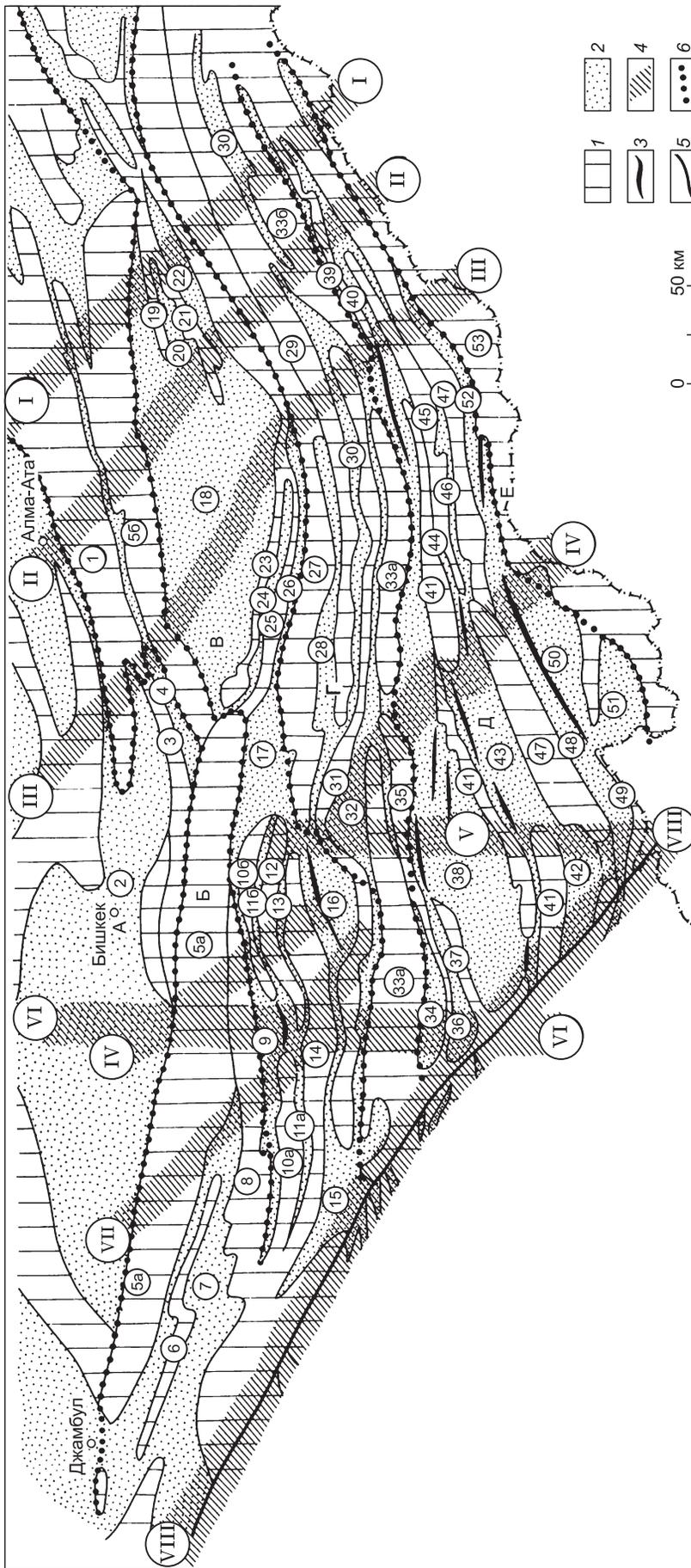
Зоны поднятий и зоны впадин, более или менее равномерно заполняющие пространство горного пояса, развиваются на фоне изгибов земной коры более крупного ранга, которые выделены в качестве *систем поднятий* и сопряженных с ними *систем прогибов* [Современная геодинамика..., 2005] (см. рис. 1, 2). Они более всего соответствуют впервые введенным представлениям Э. Аргана [1935] о складках основания Азии как о глубинных складках, охватывающих земную кору в целом или, по крайней мере, ее большую часть<sup>2</sup>. Те и другие характеризуются сложным строением соответственно синклинирного и антиклинирного типов (см. рис. 2). Прогибы именно такого типа автором и было предложено относить к категории *межгорных* [Макаров, 1977].

Системы межгорных прогибов выразительно представлены в Центральном и Западном сегментах Тянь-Шаня. Это — Иссыккульская и Нарынская (по-другому, Нарыно-Атбашинская) системы в Центральном Тянь-Шане и обширный Ферганский прогиб в Западном Тянь-Шане. В региональном плане они представляют в общем единую депрессионную область, разделенную порогом Таласо-Ферганской секущей системы поднятий.

Иссыккульская система включает (с востока на запад): Текесскую, Иссыккульскую, Кочкорскую, Сусамырскую, Джумгольскую и Токтогульскую сложноустроенные впадины, а также ряд менее круп-

<sup>1</sup> Это обстоятельство необходимо отметить, поскольку в литературе под горами часто понимаются только поднятия, хребты и цепи хребтов, а статус впадин остается не всегда достаточно определенным.

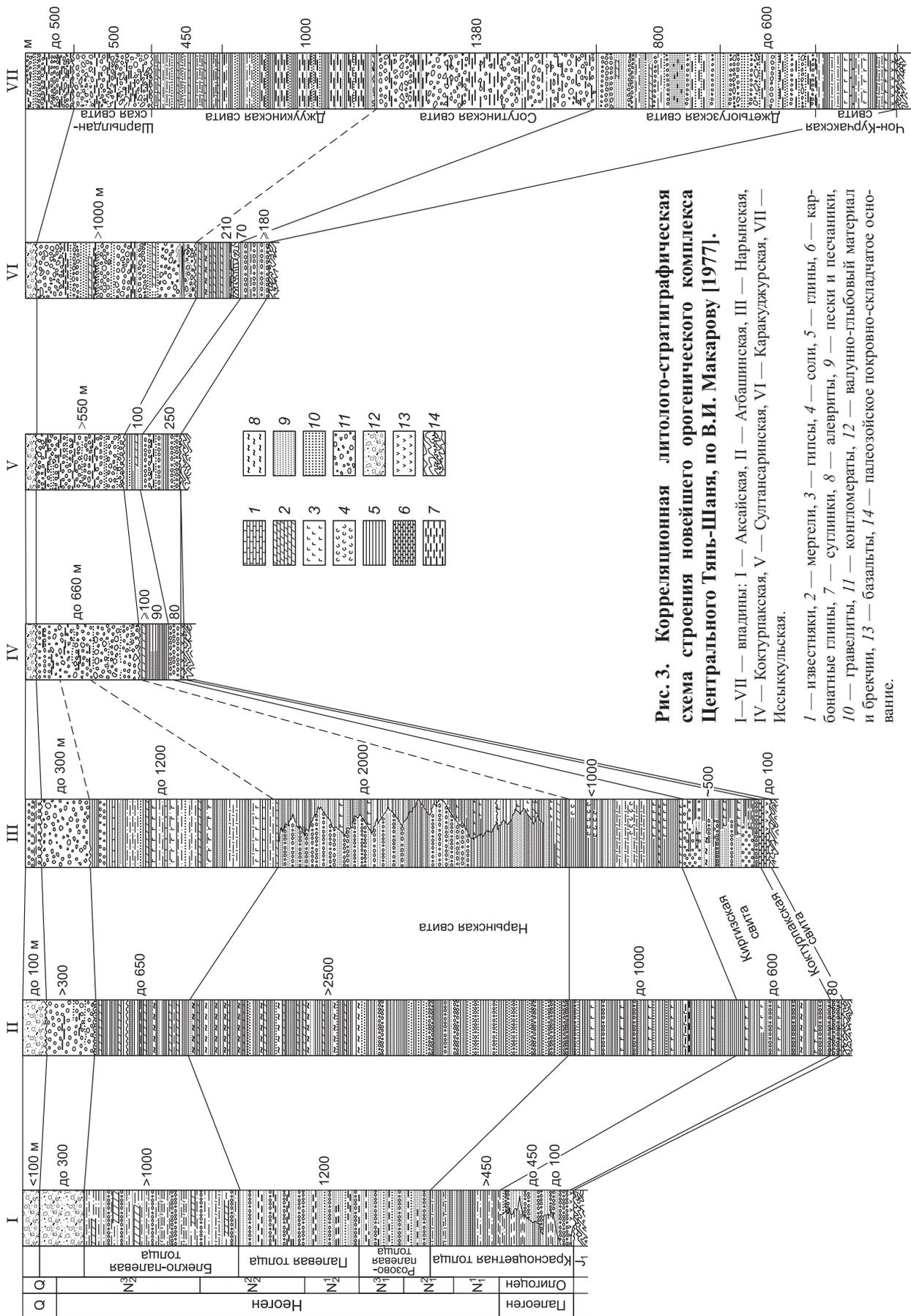
<sup>2</sup> В свое время в частной беседе на это обратил внимание автора проф. С.С. Шульц, который впервые достаточно обстоятельно описал новейшие горообразующие деформации Тянь-Шаня и в их числе складки основания. Под ними он (С.С. Шульц) понимал в основном коробление древних (допалеозойских и палеозойских) геологических формаций как некоего единого субстрата [Шульц, 1948].



**Рис. 1. Схема расположения главнейших элементов неотектонической структуры и рельефа Северного и Центрального Тянь-Шаня, по В.И. Макарову [1977].**

1 — зоны поднятий, 2 — зоны впадин, 3 — наиболее крупные антиклинальные складки покрова, 4 — трансформенные зоны флексурно-разрывных секущих нарушений, 5 — Таласо-Ферганский разлом, 6 — границы систем поднятий и систем прогибов. Структурно-орографические элементы, обозначенные на схеме цифрами или буквами: **Поднятия и зоны поднятий:** 1 — Заилийская, 3 — Окторкойская, 5а — Киргизская, 5б — Кулгейская, 6 — Кулгейская, 8 — Таласская, 10а — Северо-Суамырская, 10б — Карамойнокская, 12 — Джумгалльская, 14 — Ойгаингская, 19 — Сухохребтинская, 21 — Чим-Гасминская, 23 — Кызылтауская, 25 — Тегерекская, 27 — Западно-Терекская, 29 — Восточно-Терекская, 31 — Кавактау-Суекская, 33а — Молдотау-Джетимтауская, 33б — Акшйрак-Сарыджазская, 35 — Дюдомель-Акташская, 37 — Западно-Акшйракская, 40 — Кояндинская, 41 — Джамантау-Нарынтауская, 45 — Северо-Борколдойская, 47 — Атбаш-Южно-Борколдойская, 49 — Тургутарская, 53 — Кокшаальская. **Впадины и зоны впадин:** 2 — Чуйская, 4 — Чилико-Кеминская, 7 — Таласская, 9 — Сусамыро-Каракольская, 11а — Арымо-Арамуйская, 11б — Арымо-Арамуйская, 13 — Ойгаингская, 15 — Кетмень-Тюбинская, 16 — Джумгалльская, 17 — Конкорская, 18 — Иссык-Кульская, 20 — Михайловская, 22 — Ирдыкская (Покровская), 24 — Барбулакская, 26 — Семизбель-Конурулеская, 28 — Туюлекско-Ашулгубинская, 30 — Султансары-Сарыджазская, 32 — Сонкель-Арчалинская, 34 — Дюдомельская, 36 — Тогузторуская, 38 — Нарынская, 39 — Ишигартская, 42 — Арпнская, 43 — Абгашинская, 44 — Улан-Кокджарская, 46 — Джалджыр-Джалмайская, 48 — Чапыркель-Северо-Аксайская, 50 — Южно-Аксайская, 51 — Тонун-Балыктыджонская, 52 — Узенге-Боздалшакская. **Системы предгорных и межгорных прогибов:** А — Чу-Илийская (Северо-Тяньшанская), В — Иссыккульская, Д — Нарын-Абгашинская. **Системы поднятий:** Б — Таласо-Кулгейская, Г — Молдотау-Терекская, Е — Кокшаальская. **Флексурно-разрывные трансформенные зоны секущих нарушений:** I — Аксу-Илийская, II — Оргочерская, III — Барсаунская, IV — Сонкельская, V — Курткинская, VI — Каракуль-Балхашская, VII — Арамсинская, VIII — Таласо-Ферганская.





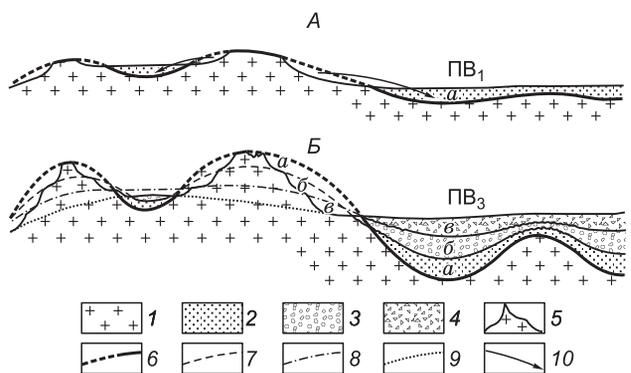
**Рис. 3. Корреляционная литолого-стратиграфическая схема строения новейшего орогенического комплекса Центрального Тянь-Шаня, по В.И. Макарову [1977].**

I—VII — впадины: I — Аксайская, II — Албашинская, III — Нарынская, IV — Коктурпакская, V — Султансаринская, VI — Каракуджурская, VII — Иссыккульская.

1 — известняки, 2 — мергели, 3 — гипсы, 4 — соли, 5 — глины, 6 — карбонатные глины, 7 — сулгинки, 8 — алевроиты, 9 — пески и песчаники, 10 — гравелиты, 11 — конгломераты, 12 — валуно-глыбовый материал и брекчи, 13 — базальты, 14 — палеозойское покровно-складчатое основание.

**Рис. 4. Принципиальная схема циклов эрозионно-денудационного расчленения антиклинальных складок основания и аккумуляции продуктов их разрушения в сопряженных межгорных (справа) и внутригорных (слева) синклиналих прогибах.**

А — начальный цикл с формированием орогенной полигенетической поверхности выравнивания  $ПВ_1$  (сопряженные ступень врезания *a* и аккумулятивная равнина, она же будущая поверхность несогласия); Б — условный третий цикл с формированием новой полигенетической поверхности выравнивания  $ПВ_3$  (эрозионно-денудационной ступени и аккумулятивной равнины). 1 — покровно-складчатые комплексы палеозойского основания; 2—4 — разновозрастные отложения новейшего орогенического комплекса (*a*, *б*, *в* — последовательные циклы аккумуляции продуктов эрозионно-денудационного расчленения поднятий); 5 — эрозионно-денудационные ступени на склонах поднятий, моделирующие тектонический изгиб основания (*a*, *б*, *в* — последовательные циклы расчленения); *б* — предорогненная поверхность выравнивания (пенеплен); 7—9 — корреляционные линии разновозрастных орогенных поверхностей выравнивания; 10 — направление сноса обломочного материала.



нального типов (в последнем случае рамповые, часто односторонние). К ним приурочены речные долины, озерные понижения и ледниковые трог (рис. 5). Находясь в пределах областей, более или менее высоко поднятых над соседними впадинами межгорных и предгорных прогибов, рассматриваемые тектонические понижения были и остаются в основном зонами транзита обломочного материала и в меньшей степени его аккумуляции. Об этом свидетельствует неполнота разреза и сравнительно небольшая мощность (обычно < 1 км) отложений новейшего орогенического комплекса, преобладающие в них грубого материала (см. рис. 3). На многих участках таких понижений отложения практически не накапливались и не накапливаются, и эти по существу цокольные прогибы могут быть отнесены к категории кон-эрозионных (см. рис. 4, 5). Состав обломочного материала, выполняющего эти впадины, прямые и косвенные данные о возрасте свит новейшего орогенического комплекса, а также соответствующие закономерности (стадийность и ступенчатость) эрозионно-денудационного расчленения склонов сопряженных поднятий (см. рис. 4) однозначно свидетельствуют о том, что тектоническая дифференциация систем поднятий с заложением и дальнейшим развитием рассматриваемых впадин имела место уже на начальных стадиях горообразования и развивалась в последующем [Шульц, 1948; Костенко и др., 1972; Макаров, 1977; Чедия, 1986]. Исходя из вышесказанного и ряда других обстоятельств, впадины, развивающиеся в пределах систем поднятий и на фоне общих воздыманий земной коры, предложено называть **внутригорными** и отличать их от межгорных. Именуемый фактический материал, частично и с разных позиций обобщенный ранее в работах [Макаров, 1977, 1990, 2005; Макаров и др., 1982; Леонов, 1993, 2005], а также новые данные, полученные в результате поперечного сейсмического профилирования Центрального Тянь-Шаня [Макаров и др., 2010], позволяют считать, что указанные выше и другие различия между внутригорными и межгорными впадинами имеют генетические (геодинамические) причины.

### ГРАНИЦЫ НОВЕЙШИХ ВПАДИН ТЯНЬ-ШАНЯ

Здесь следует остановиться на принципиально важном вопросе о границах систем поднятий и сопряженных с ними систем межгорных и предгорных прогибов, о пространственном и структурном соотношении этих прогибов с внутригорными. Принято считать, что такими границами являются весьма протяженные разломы достаточно глубокого заложения (глубинные складки — глубинные разломы). Но это кажется лишь при некоторой генерализации структуры. Фактическая же картина представляется не такой простой, и это практичес-



представляется не такой простой, и это практичес-

**Рис. 5. Цокольная (эрозионно-экзарационная) внутригорная впадина Арабельсу в пределах Молдотау-Терской системы поднятий.**

Фотография В.Ю. Баталева.

ки повсеместно подтверждено практикой структурно-геологического и, в том числе, неотектонического картирования в масштабах 1:500 000, 1:200 000 и более детальных [Геологическая карта..., 1982; Карта..., 1988; Садыбакасов, 1972].

Действительно, границами межгорных прогибов (не систем, а отдельных прогибов) являются достаточно хорошо выраженные крупные разломы или зоны разломов взбросо-надвигового типа, смещение по которым нередко сопровождается сдвиговой составляющей<sup>3</sup>. Это, например, краевые разломы или их системы, обрамляющие Ферганскую впадину (Северо- и Южно-Ферганские), Иссыккульскую впадину (Предкунгейский на севере и Предтерекский на юге) и Нарыно-Атбашинскую впадину (Северо-Нарынская система разломов на севере и Атбашинский разлом на юге). При этом мы можем говорить о некотором квазисимметричном рампообразном строении межгорных прогибов. В отличие от них, предгорные прогибы такого же ранга, как известно, резко асимметричны: активные высокоамплитудные взбросо-надвиговые дислокации развиты в них со стороны горного пояса и характеризуются весьма глубоким заложением, уходя к подошве земной коры и в верхнюю мантию [Koulakov, Sobolev, 2006; Li et al., 2009; Макаров и др., 2010].

Важно отметить, что и в том, и в другом случаях краевые разломы не являются непрерывными вдоль всей протяженности сопряженных систем поднятий и прогибов. Они дискретны, по крайней мере, в верхнекоровой структуре пояса. Например, разобщенными, по существу, прерванными являются разломы, которые ограничивают с юга Иссыккульскую и Кочкорскую межгорные впадины, непосредственно продолжающие одна другую в рамках единой системы (см. рис. 1). Эти впадины разделены системой диагональных поднятий-перемычек с высокоподнятым палеозойским основанием. Вместе с ними широтные ветви крупного Предтерекского (или Южно-Иссыккульского) разлома отклоняются на северо-запад и уходят к поднятиям Киргизского хребта, составляющим не южное, а северное обрамление рассматриваемой системы впадин. Амплитуда смещений по этим разрывам в пределах перемычки резко убывает, они угасают. А дальше на запад, вдоль зоны сочленения той же Терекской системы поднятий уже с Кочкорской впадиной развит широтный Южно-Кочкорский краевой разлом со значительной амплитудой надвигания [Современная геодинамика..., 2005; Абдрахматов и др., 2007]. Несколько в ином виде картина повторяется еще западнее, на участке сочленения Кочкорской впадины с сильно дифференцированной Джумгальской впадиной. Аналогичная картина имеет место восточнее, на участке сочленения Иссыккульской впадины с Текесской.

В значительной мере такая дискретность зон краевых разломов связана с развитием крупных секущих дислокаций трансорогенного типа, которые характерны для всего пояса, занимают в его структуре заметное место [Макаров, 1977; Современная геодинамика..., 2005], но тем не менее остаются в тени исследований. Одно из проявлений таких секущих дислокаций состоит в положительных ундациях горного пояса, которые прослеживаются и в его платформенном обрамлении. Именно с ними связаны членение систем межгорных (и предгорных) прогибов на отдельные крупные ячеи и дискретность ограничивающих их разломов.

К сказанному необходимо добавить, что краевые разломы в пределах как отдельных межгорных и предгорных впадин, так и вдоль их систем не являются жесткими барьерами между ними и смежными системами поднятий. Отмечу еще раз фундаментальную особенность пространственной и генетической организации рельефообразующих складок основания разного масштаба — эшелонированность их сочленения в линейных зонах и поднятий, и впадин. На эту особенность обращали внимание многие исследователи, используя ее в качестве структурного свидетельства господства условий косолатерального сжатия или, как теперь принято говорить, «транспрессии» земной коры.

Обратим внимание и на другую сторону эшелонированности складок основания. Э. Арган, вводя понятие о складках основания, определял их и как складки «большого тоннажа» [Арган, 1935]. Большие объемы древнего основания, которые вовлечены в горообразующее коробление земной коры, пусть даже лишь ее верхнекорового («геологического») слоя, предполагают не только большие размеры складок основания, но и невозможность их высокоградиентных замыканий (затуханий по простиранию) в пределах зоны, звеном которой они являются. Действительно, каждая отдельная складка—кулиса, как правило, не ограничивается пределами своей (стержневой) зоны, а продолжается более или менее далеко в пространство сопряженной зоны, вращая в нее и составляя ее внутренний элемент. Тянь-Шань демонстрирует широкое проявление взаимного прорастания смежных зон поднятий и зон впадин, осуществляемое через посредство их образующих отдельных (частных) складок-кулис. Равным образом это характерно и для сочленения систем поднятий с межгорными и предгорными впадинами [Макаров, 1977;

<sup>3</sup> Последняя в пределах Центрального и Восточного (Китайского) сегментов Тянь-Шаня характеризуется преимущественно левосторонним смещением, в Западном Тянь-Шане она имеет более сложную кинематику [Макаров и др., 1996; Трифионов и др., 2002; Современная геодинамика..., 2005].

Современная геодинамика..., 2005]. Множество впадин внутригорного типа по своему простиранию раскрываются, практически не прерываясь, в межгорные и предгорные впадины, продолжаясь там синклинальными или грабен-синклинальными желобами. Аналогичным образом антиклинальные и горст-антиклинальные структуры систем поднятий также, не прерываясь, продолжают в межгорных и предгорных прогибах линейными выступами основания (обычно погребенными) и часто отраженными в структуре прогибов в виде широких конседиментационных складок отложений новейшего орогенического комплекса (см. рис. 2, 4).

Из сказанного следует, что сопряжение систем межгорных и предгорных впадин со смежными системами поднятий по их простиранию изменчиво: на одних участках развиты крупноамплитудные взбросонадвиговые дислокации, на других участках таковые не являются достаточно значимыми и здесь в большей мере развиты структуры плавного сопряжения. Это обстоятельство имеет принципиальное значение для оценки геодинамических причин, условий и механизмов орогенических дислокаций земной коры. В частности, оно заставляет сомневаться в применимости здесь метода сбалансированных разрезов, разработанного и широко применяемого для структурно-кинематических реконструкций сложнодислоцированных осадочных бассейнов [Suppe, 1983; Suppe, Medvedeff, 1990]. В последние 10—15 лет опубликовано немало работ зарубежных исследователей, посвященных реконструкциям структуры ряда новейших предгорных прогибов китайской части Тянь-Шаня, выполненным с помощью этого метода, например, [Avouac et al., 1993], а также работы, цитированные в [Макаров и др., 2010]. Опыт таких реконструкций предпринят и для Центрального Тянь-Шаня вдоль трансекта, проходящего в полосе 75—76° в.д. через Чуйскую, Кочкорскую и Нарыно-Атбашинскую впадины [Абдрахматов и др., 2001, 2007; Современная геодинамика..., 2005].

Но можно ли распространить результаты этих построений, полученные для достаточно специфических сечений предгорных и межгорных впадин и смежных поднятий, где очевидны структуры глубокого надвигания последних на первые, на участки, где эти условия не выдерживаются? Например, на участки перехода от Восточно-Чуйской предгорной впадины к Илийской, от Кочкорской межгорной впадины к Исыккульской или в противоположном направлении к Джумгальской впадине? Покровно-надвиговые дислокации, осуществляющиеся по модели «fault-bend folding» (складчатость над изломом плоскости разлома), как предполагают авторы вышеуказанных реконструкций, могут распространяться от надвигово-покровного фронта (краевого разлома предгорной или межгорной впадины) далеко в глубь горного пояса, создавая видимые на поверхности складки не только осадочного кайнозойского покрова, но и основания.

Такие дислокационные модели кажутся убедительными в двухмерном представлении (в некоторой достаточно узкой полосе вертикального сечения). Однако они не дают удовлетворительного ответа на поставленный выше вопрос и не соответствуют реальной структуре. В частности, складки над флексуорообразными изломами плоскостей разломов, ступенчато погружающихся от их фронта (краевого разлома предгорной или межгорной впадины) в сторону сопряженной системы поднятий, по мере этого погружения и, соответственно, увеличения толщины аллохтонной пластины должны были бы обретать все большую ширину и, может быть, несколько снижаться. Но это не проявлено сколько-нибудь отчетливо на всем достаточно хорошо изученном и картографированном пространстве Западного и Центрального Тянь-Шаня. В качестве примера обратимся к рис. 1. На нем к югу от Кочкорской и Исыккульской впадин очевидно равномерное распределение серии однотипных положительных и отрицательных складок основания Молдотау-Терскейской системы, выдержанных по простиранию на расстояниях, превышающих 250 км (при общей ширине системы до 50—65 км). К этому следует также добавить, что крупномасштабные и далеко уходящие тектонические срывы, которые, согласно обсуждаемым моделям, можно было бы предполагать под системами поднятий в верхней части древнего основания на глубинах 0—7 км не были отмечены и магнитотеллурическим зондированием, выполненным в Центральном Тянь-Шане вдоль указанного выше и ряда других поперечных направлений [Современная геодинамика..., 2005]. Не зафиксированы они и в аномалиях глубинного распределения очагов верхнекоровой сейсмичности, хотя при этом нельзя исключать недостаточности и качества исходных данных.

Таким образом, изменчивый характер сопряжения систем предгорных и межгорных прогибов со смежными системами поднятий Тянь-Шаня не позволяет объяснить его простыми дислокационными механизмами (в данном случае, по типу структур продольного смятия слоя древних геологических формаций, в целом определяемого как основание). Покровно-надвиговые дислокации в зонах сопряжения межгорных и предгорных впадин с системами поднятий ограничиваются, вероятно, лишь этими зонами, не распространяясь далеко в глубь сопряженной системы поднятий.

## ГЛУБИННЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ГОРНЫХ ВПАДИН ТЯНЬ-ШАНЯ

Различия, особенности и закономерности пространственного распределения разноранговых новейших деформаций Тянь-Шаня в общей его структуре и сопоставление с имеющимися данными о структуре глубинных слоев его литосферы в свое время привели к выводам о разноглубинности, а затем о разных геодинамических условиях этих деформаций и тектонической расслоенности земной коры Тянь-Шаня и других активных областей [Макаров, 1977, 1990; Макаров и др., 1982; Makarov, 1995; Тектоническая расслоенность..., 1990]. Внутригорные впадины вместе с обрамляющими их поднятиями были отнесены к категории верхнекоровых тектонических дислокаций. Они хорошо вписываются в единую гармонику складок и разрывов продольного смятия верхнекорового слоя, в полной мере соответствующую субмеридиональному сокращению земной коры. Впадины же межгорные и предгорные достаточно определенно проявляются в структурах средней и нижней коры, а также верхней мантии. Им соответствуют области с утоненной земной корой<sup>4</sup>.

В указанных выше и в других работах автора отмечалось, что утолщение земной коры Тянь-Шаня в целом, произошедшее на этапе новейшего горообразования, не обеспечивается одним лишь продольным ее смятием. Структурно-геологические (палинспастические) реконструкции показали, что поперечное сокращение Тянь-Шаня в Центральном его сегменте составляет 4—7%. Во всяком случае оно не превышает 10 % [Чедия, 1986; Макаров, 1990; Makarov, 1995]. Такое сокращение в полной мере обеспечивает относительный топографический эффект изгибов основания с амплитудами до  $\pm 2.5$ —3 км, т.е. близкий к реально наблюдаемому. Но оно не обеспечивает увеличение толщины земной коры, произошедшее в течение этапа новейшего горообразования. Современная толщина земной коры, средняя величина которой в сечении через Центральный Тянь-Шань составляет 58 км, существенно больше исходной, предшествовавшей новейшему горообразованию и составлявшей около 40 км. Если предположить, что это увеличение достигнуто исключительно в результате продольного смятия земной коры, то, по нашим расчетам, величина латерального сокращения коры должна бы быть на порядок больше (около 30 %). Но тогда должны бы существовать соответствующие структурные формы, в которых проявлены дополнительные  $\geq 20$  % (!) сокращения коры. Но такие формы неизвестны. Они не описаны за всю более чем 100-летнюю историю активного изучения Тянь-Шаня.

Решение обсуждаемой проблемы геодинамических условий и механизмов формирования новейшей тектонической структуры, реально наблюдаемой в верхнекоровом слое, видится в неизбежности признания большой роли процессов вещественно-структурных преобразований и течения вещества, происходящих на разных глубинных уровнях земной коры и верхней мантии. Такого рода геодинамические модели были предложены автором для Центрального Тянь-Шаня [Макаров, 1990, 2005; Makarov, 1995; Макаров и др., 1996] и М.Г. Леоновым [1993, 2005] для Западного Тянь-Шаня. Их суть состоит в том, что в ослабленной (по Е.В. Артюшкову [Артюшков, 1993; Трифонов и др., 2008]) литосфере Тянь-Шаня на разных ее уровнях, происходят значительные вещественные и реологические преобразования и пространственное перераспределение (течение) материала. Это перераспределение дифференцировано и характеризуется общим подтоком менее плотного верхнемантийного материала под межгорные и предгорные прогибы и оттоком из-под них материала средне- и нижнекоровых (гранулит-базитовых) слоев, что сопровождается утонением коры с глубоким опусканием ее верхнего слоя и накоплением мощных толщ отложений новейшего орогенического комплекса. Одновременное нагнетание глубинного материала под смежные пространства сопровождается утолщением коры и общим воздыманием древнего основания в их пределах, коими и являются системы поднятий.

Такие процессы по своей интенсивности и пространственному распределению вдоль пояса горообразования дискретны. Обращает на себя внимание «шахматоподобный» характер этого распределения: крупные и глубокие ячеи предгорных и межгорных впадин, присущие близлежащим параллельным системам, располагаются не в створе, а с латеральным смещением одна относительно другой. Для Центрального сегмента Тянь-Шаня это показано на рис. 1. Дополнительно отметим, что, например, Ферганский межгорный прогиб не противостоит Восточно-Чуйскому в северном обрамлении Тянь-Шаня и также не противостоит Таджикскому и Кашгарскому в южном его обрамлении. Это же характерно для расположения Нарыно-Атбашинской, Кочкорской, Иссыккульской и Текесской межгорных впадин относительно друг друга и предгорных впадин систем северного и южного обрамлений. Эта закономерность не проявлена с геометрической правильностью. О такой правильности в реальных весьма изменчивых

<sup>4</sup> Весьма примечательными в связи с этим являются данные о том, что и Таласо-Ферганский разлом, который традиционно считали и продолжают считать «глубинным», рассекающим всю кору и уходящим в верхнюю мантию, как таковой является лишь верхнекоровой дислокацией [Литосфера..., 1986; Беленович, 1992; Современная геодинамика..., 2005]. Эта дислокация является яркой, но деталью, частью одноименной секущей системы поднятий, которая и рассматривается автором в ряду глубинных образований.

вещественно-структурных условиях литосферы, речь, очевидно, не может идти. Вместе с тем представляется, что в этом проявляется некоторая физическая предопределенность и закономерность дифференцированного пространственного распределения глубинных процессов в литосфере в целом и на отдельных ее уровнях, которая обеспечивает их энергетический и вещественно-структурный баланс. В конечном счете речь идет о ячеисто-линзовидном структурировании горного пояса в латеральном и в вертикальном измерениях.

Это структурирование можно уподобить квадрантному распределению напряжений сжатия и расширения среды, которое используется при решении механизмов смещений в очагах землетрясений. Естественно, что в условиях вещественно-структурной, реологической и геодинамической неоднородности литосферы это распределение (структурирование) несимметрично или квазисимметрично. Это хорошо проявлено и в вертикальных сечениях, полученных на основе геофизических и сейсмологических исследований.

Автору представляется, что таким образом решается проблема пространства при формировании горного пояса. В том числе это обеспечивает продольное смятие верхнекорового слоя на всем обширном и достаточно неоднородном пространстве пояса с развитием упомянутых выше структур взаимного прорастания, объединяющих сопряженные зоны и системы поднятий и впадин.

Существенными аргументами в пользу автономности глубинных источников тектонических сил, определяющих развитие межгорных впадин (а равным образом и сопряженных систем поднятий), являются структурно-геологические, структурно-геоморфологические, геофизические, сейсмологические и геодезические (GPS) данные об особенностях новейших, четвертичных и современных деформаций в пределах Ферганской впадины и ее горного обрамления [Трифонов и др., 1990; Леонов, 2005; Современная геодинамика..., 2005; и др.]. Из них отметим дифференцированность правосторонних смещений вдоль Таласо-Ферганского разлома, вращение впадины в том же направлении (против часовой стрелки) и ряд других особенностей, которые не объясняются только латеральным воздействием на земную кору впадины с юга (в том числе со стороны Пенджабско-Памирского выступа Индийской плиты).

Имеющиеся данные о послепалеозойском квазиplatformенном этапе развития Тянь-Шаня и смежных территорий свидетельствуют о том, что уже тогда, задолго до коллизии Индийской и Евразийской литосферных плит и новейшего орогенеза, проявились некоторые черты будущего горного сооружения Тянь-Шаня [Современная геодинамика..., 2005]. В пределах внутренних областей Центрального и Восточного (Китайского) Тянь-Шаня верхнетриасовые и юрские отложения обозначают Иссыккуль-Текес-Юлдузскую цепь будущих (неотектонических) межгорных прогибов, Минкуш-Кекемеренскую впадину, запад Нарынской и Аксайской впадин. Более значительными (до 1600—2000 м) были накопления отложений этого возраста в районе Ферганской впадины, Ферганского хребта и по окраинам Тянь-Шаня — в районах новейших Илийского, Баграшкульского, Кучинского и Южно-Таджикского прогибов, Алайской долины и Заалайского хребта. Таким образом, уже киммерийская тектоническая активизация проявила некоторые черты будущего горного пояса. В мелу, палеоцене и эоцене процессы перестройки палеозойской структуры литосферы получили дальнейшее развитие и закрепили общие черты новообразующегося структурного плана. Излияния в ряде районов Тянь-Шаня маломощных покровов базальтовых лав (баррем-аптских в Северной Фергане и эоценовых в Центральном Тянь-Шане), связываемые с подкоровыми источниками, могут рассматриваться в качестве первых признаков новой тектонической активизации, которая в конце олигоцена и позже проявится мощным горообразованием, происходящим уже в коллизионных условиях.

Эти и другие данные указывают на существенную роль глубинных тектономагматических процессов в формировании не только Тянь-Шаньского горного пояса в целом, но и крупнейших его структурных элементов — межгорных и предгорных впадин и систем поднятий<sup>5</sup>. При этом принципиально важное место занимают процессы вещественного преобразования и пространственного перераспределения (течения) вещества, происходящие дифференцированно и вместе с тем согласованно на разных уровнях литосферы, в том числе, на разных уровнях земной коры, включая самый верхний (покровно-складчатый и гранитно-метаморфический).

Все это подтвердили результаты выполненного в 2007 г. детального сейсмического профилирования методом МОВ-ОГТ Центрального Тянь-Шаня и сопряженных с ним структурно-геологических и сейсмологических исследований, «просветивших» его до глубин около 80 км на отрезке от оз. Сонкёль в его срединной части до широкой зоны сочленения с краевой областью Таримского массива [Макаров и др., 2010]. По данным этих и результатам других глубинных исследований [Юдахин, 1983; Vinnik et al., 2004; Koulakov, Sobolev, 2006; Li Zhiwei et al., 2009], которые в определенной мере согласуются, горный пояс в целом и зоны его сочленения с обрамляющими платформенными массивами имеют верхне-

<sup>5</sup> В этом отношении автор разделял и разделяет принципиальную позицию Е.В. Артюшкова [Артюшков, 1993; Трифонов и др., 2008] о самостоятельной и большой роли глубинных процессов в формировании горных сооружений.

мантийные, может быть, астеносферные корни. Верхний слой земной коры, который сложен покровно-складчатými и гранитно-метаморфическими комплексами и на неотектоническом этапе смят в закономерно чередующиеся положительные и отрицательные складки основания, распространяется до первого регионального волновода, фиксированного на глубинах до 10—17 км. К этому слою относятся и внутригорные впадины.

Что касается вещественного состава и структуры более глубокого субстрата земной коры и верхов мантии, то имеются основания считать, что они отражают лишь остаточную картину эволюции литосферы, в которой доминируют реологические свойства, геодинамические условия и процессы преимущественно позднекайнозойского (новейшего) горообразующего этапа. Следует предполагать, что в этой картине принципиальное место занимали и занимают отмеченные выше вещественно-структурные преобразования и пространственное перераспределение (течение) глубинного вещества с его оттоком из-под межгорных и предгорных впадин и нагнетанием под системы смежных поднятий, которые должны были привести к значительным изменениям высотного положения и толщины земной коры в целом и отдельных ее слоев. В том числе могли быть процессы и механизмы, обусловленные фазовыми переходами глубинного вещества и ослаблением литосферы [Артюшков, 1993; Трифонов и др., 2008].

Среднекоровый слой пониженной вязкости, имеющий относительно малую толщину, играет, очевидно, существенную роль в структуре тектонических дислокаций, в том числе в формировании субгоризонтальных срывов, которые компенсируют вещественно-структурную, реологическую и геодинамическую дисгармонию верхне- и нижнекорового слоев и являются одним из проявлений тектонической расслоенности земной коры [Макаров и др., 1982; Тектоническая расслоенность..., 1990].

Нижнекоровый слой, изменяющийся по толщине, но в целом существенно более мощный, также характеризуется вертикальной и латеральной изменчивостью своей внутренней структуры вдоль трассы сейсмического профиля. При этом отметим относительную однородность этого слоя под Срединно-Тяньшаньской (Молдотау-Терской) и Южно-Тяньшаньской (Кокшаалтауской) системами поднятий и его высокую дифференцированность под Нарыно-Атбашинской системой межгорных впадин. Следует полагать, что эта дифференцированность отражает некоторую специфику состояния среды этой области. Здесь обращает на себя внимание вертикальная полосчатость разреза МОВ-ОГТ, которая отражает латеральную неоднородность нижнекорового слоя, а также верхов мантийной литосферы. При этом самые широкие колонны сейсмические наиболее «мутных» (возможно, наиболее ризупроченных) сред, уходящие в мантийную часть разреза, соответствуют именно этим впадинам. По поводу природы этих колонн высказано предположение, что они отражают области (каналы) высокой интенсивности глубинных флюидно-газовых и тепловых потоков, которые в значительной мере обеспечивают вещественно-структурные трансформации и течение вещества в различных слоях литосферы. К этому добавим, что сейсмическое профилирование подтвердило установленный ранее другими исследователями и другими методами вывод о подъеме кровли верхней мантии в этой области до уровня –40 км.

## ВЫВОДЫ

Изложенный материал подтверждает ранее высказанные представления о том, что процессы позднекайнозойского внутриконтинентального горообразования в пределах Тянь-Шаня являются результатом совокупного действия двух источников тектонических сил. Это не только силы латерального воздействия на его литосферу в целом и отдельные ее слои (давление, волочение) со стороны Индийской литосферной плиты. Это также силы, связанные с тектономагматическими процессами в глубоких недрах самого пояса, с процессами вещественно-структурных преобразований и пространственного перераспределения (течения) вещества на разных уровнях литосферы и астеносферы. В качестве своего рода индикаторов различных геодинамических условий формирования рельефообразующих структур можно рассматривать горные впадины (тектонические прогибы), которые предлагается подразделять на две морфологически и генетически различные категории: (1) внутригорные и (2) межгорные и предгорные.

Что же касается причинно-следственных связей и соотношений обсуждаемых глубинных процессов с течениями вещества, предполагаемыми на более глубоких уровнях литосферы и астеносферы со стороны области коллизии, как это представлено в работах ряда исследователей [Лобковский и др., 2004; Зубович и др., 2007], то они пока неясны и требуют дальнейшего изучения.

## ЛИТЕРАТУРА

**Абдрахматов К.Е., Уэлдон Р., Томпсон С., Бурбанк Д., Рубин Ч., Миллер М., Молнар П.** Происхождение, направление и скорость современного сжатия Центрального Тянь-Шаня (Киргизия) // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (10), с. 1585—1609.

**Абдрахматов К.Е., Томпсон С., Уэлдон Р.** Активная тектоника Тянь-Шаня. Бишкек, Илим, 2007, 72 с.

- Арган Э.** Тектоника Азии. М., Л., ОНТИ НКТП, 1935, 192 с.
- Артюшков Е.В.** Физическая тектоника. М., Наука, 1993, 455 с.
- Беленович Т.В.** Современная геодинамика Тянь-Шаня по сейсмологическим данным: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. М., МГУ, 1992, 42 с.
- Зубович А.В., Макаров В.И., Кузиков С.И., Мосиенко О.И., Щелочков Г.Г.** Внутриконтинентальное горообразование в Центральной Азии по данным спутниковой геодезии // Геотектоника, 2007, № 1, с. 16—29.
- Геологическая карта** Киргизской ССР. М-б 1:500 000. М., Мингео СССР, 1982.
- Карта** новейшей тектоники Республики Киргизстан. М-б 1:500 000. Ташкент, Картфабрика, 1988.
- Костенко Н.П.** Развитие складчатых и разрывных деформаций в орогенном рельефе. М., Недра, 1972, 320 с.
- Костенко Н.П., Макаров В.И., Соловьева Л.И.** Новейшая тектоника // Геология СССР. Т. 25. Кн. 2. М., Недра, 1972, с. 249—266.
- Леонов М.Г.** Внутренняя подвижность фундамента и тектогенез активизированных платформ // Геотектоника, 1993, № 5, с. 16—33.
- Леонов М.Г.** Альпийский этап в геодинамической эволюции Южного Тянь-Шаня (на примере Гиссаро-Алайской системы) // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). Гл. V.2. М., Научный мир, 2005, с. 327—348.
- Литосфера** Тянь-Шаня. М., Наука, 1986, 157 с.
- Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е.** Современные проблемы геотектоники и геодинамики. М., Научный мир, 2004, 612 с.
- Макаров В.И.** Новейшая тектоническая структура Центрального Тянь-Шаня. М., Наука, 1977, 172 с.
- Макаров В.И.** Новейшие орогены, их структура и геодинамика: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. М., ГИН АН СССР, 1990, 57 с.
- Макаров В.И.** Взаимосвязь Тянь-Шаня с его обрамлением и механизмы внутриконтинентальных горообразовательных процессов // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). Гл. V.3. М., Научный мир, 2005, с. 349—366.
- Макаров В.И., Трифонов В.Г., Щукин Ю.К., Кучай В.К., Кулагин В.К.** Тектоническая расслоенность литосферы новейших подвижных поясов (Труды ГИН АН СССР, вып. 359). М., Наука, 1982, 115 с.
- Макаров В.И., Трапезников Ю.А., Сковородкин Ю.П., Гусева Т.В., Мишин А.В.** Современные деформации земной коры под влиянием глобальных и региональных процессов // Современные изменения в литосфере под влиянием природных и антропогенных факторов. М., Недра, 1996, с. 7—50.
- Макаров В.И., Алексеев Д.В., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Беляев И.В., Брагин В.Д., Дергунов Н.Т., Ефимова Н.Н., Кнорр Д.Х., Леонов М.Г., Мунирова Л.М., Павленкин А.Д., Рёкер С.В., Рослов Ю.В., Рыбин А.К., Щелочков Г.Г.** Поддвиг Тарима под Тянь-Шань и глубинная структура зоны их сочленения: основные результаты сейсмических исследований по профилю MANAS (Кашгар—Сонкель) // Геотектоника, 2010, № 2, с. 23—42.
- Петрушевский Б.А.** Урало-Сибирская эпигерцинская платформа и Тянь-Шань. М., Изд-во АН СССР, 1955, 529 с.
- Садыбакасов И.С.** Неотектоника центральной части Тянь-Шаня. Фрунзе, Илим, 1972, 116 с.
- Современная геодинамика** областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия) / Под ред. Н.П. Лаверова и В.И. Макарова. М., Научный мир, 2005, 400 с.
- Тектоническая расслоенность** литосферы и региональные геологические исследования / Под ред. Ю.М. Пушаровского и В.Г. Трифонова. М., Наука, 1990, 293 с.
- Трифонов В.Г., Макаров В.И., Скобелев С.Ф.** Таласо-Ферганский активный правый сдвиг // Геотектоника, 1990, № 5, с. 81—92.
- Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А.** Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. М., ГЕОС, 2002, 224 с.
- Трифонов В.Г., Артюшков Е.В., Додонов А.Е., Бачманов Д.М., Миколайчук А.В., Вишняков Ф.А.** Плиоцен-четвертичное горообразование в Центральном Тянь-Шане // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (2), с. 128—145.
- Чедия О.К.** Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе, Илим, 1986, 314 с.
- Шульц С.С.** Анализ новейшей тектоники и рельеф Тянь-Шаня. М., Географгиз, 1948, 224 с.
- Юдахин Ф.Н.** Геофизические поля, глубинное строение и сейсмичность Тянь-Шаня. Фрунзе, Илим, 1983, 246 с.

**Avouac J.P., Tapponnier P., Ba 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 // *J. Geophys. Res.*, 1993, v. 98, p. 6755—6804.

**Davis W.M., Huntington E.A.** A journey across Turkestan. Exploration in Turkestan. Expedition of 1903 under the direction of R. Pumpelly. Washington, Published by Carnegie Inst., 1905, v. 1, 1908, v. 2.

**Koulakov I., Sobolev S.V.** A tomographic image of Indian lithosphere break-off beneath the Pamir Hindukush Region // *Geophys. J. Int.*, 2006, 164, p. 425—440.

**Li Zhiwei, Roecker S., Li Zhihai, Wei Bin, Wang Haitao, Schelochkov G., Bragin V.** Tomographic image of the crust and upper mantle beneath the western Tien Shan from the MANAS broadband deployment: possible evidence for lithospheric delamination // *Tectonophysics*, 2009, v. 477, № 1—2, p. 1—102.

**Makarov V.I.** Neotectonics and geodynamics of mountain systems of Central Asia // *Quat. Inter.*, 1995, v. 25, p. 19—23.

**Suppe J.** Geometry and kinematics of fault-bend folding // *Amer. J. Sci.*, 1983, v. 283, № 7, p. 684—721.

**Suppe J., Medvedeff D.A.** Geometry and kinematics of fault-propagation folding // *Eclogae Geol. Helv.*, 1990, v. 83/3, p. 409—454.

**Vinnik L.P., Reigber Ch., Aleshin I.M., Kosarev G.L., Kaban M.K., Oreshin S.I., Roecker S.W.** Receiver function tomography of the central Tien Shan // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2004, v. 225, p. 131—146.

*Рекомендована к печати 7 октября 2010 г.  
М.И. Эповым*

*Поступила в редакцию  
20 января 2010 г.*