

О ШАРЬЯЖНО-НАДВИГОВОМ МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

На протяжении последнего стосорокалетнего периода теоретическим обеспечением геологических процессов формирования земной коры занимаются четыре основные концепции: одна фиксистская и три мобилистских. Так, во всяком случае, пишут екатеринбуржцы В. А. Коротеев и В. М. Нечухин [1997]. К первой они относят геосинклинальную теорию, ко вторым — тектоники плит, стадийного преобразования океанической коры в континентальную и шарьяжно-надвиговую, созданную в Институте геологии УНЦ РАН (г. Уфа) автором настоящей статьи совместно с М. А. Камалетдиновым и Ю. В. Казанцевым.

До середины шестидесятых годов двадцатого века, в течение более чем столетнего периода, в геотектонике почти безраздельно господствовала геосинклинальная теория, признанная большинством специалистов того времени основополагающим учением о строении и развитии земной коры складчатых областей. Синтезируя все имеющиеся геологические знания, она являлась также основой последующего развития наук о Земле, можно сказать, их главным теоретическим ориентиром.

Эта теория возникла в 1859 году. Предложил ее Дж. Холл — американский исследователь. Более детально разработал Дж. Дэна (1873 год) — тоже американец. И тот и другой заложили в основу своих представлений противопоставление активных элементов Земли — геосинклиналей и относительно пассивных платформ. Первый считал, что геосинклинали возникли в результате прогибания участков земной коры под весом ускоренно накапливающихся осадков, другой предполагал троговую систему, сначала раскрывающуюся, затем закрывающуюся.

В тридцатых годах нашего столетия Р. ван Бамеллен в Америке, а М. М. Тетяев, затем В. В. Белоусов в СССР разработали систему представлений о развитии всех геологических процессов в результате действия вертикальных тектонических сил, связав их появление с глубинной дифференциацией вещества Земли. В дальнейшем эти представления в геотектонике стали господствующими, особенно в нашей стране. В общем виде механизм геосинклинального процесса сводился вначале к прогибанию, сопровождающемуся мощным осадконакоплением и магматизмом, затем инверсии геодинамического режима со складчатостью, флишенскообразованием и гранитизацией.

Развитие геосинклинальной теории явилось итогом труда многочисленной армии исследователей. Не одно

поколение геологов мира «копилку» этого учения наполняло своими открытиями, совершенствуя теорию, защищало диссертации, избиралось в состав академий наук Союза и других стран. В результате геологическая наука обогатилась важнейшими открытиями.

Наиболее значимые закономерности геосинклинальной теории:

1. Эволюция геосинклинальной области сопровождается накоплением осадочных толщ большой мощности, широким развитием магматических образований, региональными и локальными метаморфическими преобразованиями, интенсивной дислоцированностью, формированием расчлененного горного рельефа и пр.

2. Сопряжение активных геосинклиналей и стабильных платформ осуществляется, в основном, через предгорные (краевые) прогибы.

3. В составе геосинклиналей выделяются миогеосинклинальные (внешние) и эвгеосинклинальные (внутренние) зоны, отличающиеся интенсивностью проявлений магматизма.

4. Значительное распространение в складчатых областях офиолитовых комплексов, состоящих из гипербазитов, габброидов и пелагических кремней («тройственное единство» Штейнмана). Гипербазитам отводится роль инициального магматизма.

5. Установление типовых вещественных комплексов (формаций) и их закономерных временных рядов (магматические серии, черные сланцы, флиш, моласса и пр.).

6. Выявление направленности вещественного развития вулканических серий (гомодромной либо антидромной).

7. Обнаружение однонаправленной миграции вулканизма во времени от платформы к внутренним зонам эвгеосинклиналей.

8. Определение цикличности геологических процессов. Выделено несколько крупных тектонических циклов: байкальский, каледонский, герцинский, альпийский и др. Введено понятие тектоно-магматического цикла.

9. Установление стадийности развития геосинклиналей: геосинклинальной, орогенной и кратонной стадий — по одним исследователям, прогибания и инверсии — по другим, и др.

10. Выделение определенных периодов складкообразования. Их называют фазами складчатости.

11. Утверждение важнейшей роли глубинных разломов, которые контролируют складчатость, магматизм и рудообразование.

Однако случилось так, что установленные закономерности, несомненно, имеющие место, не могли быть однозначно объяснены с позиций породившей их доктрины. Существует несколько в равной степени обоснованных точек зрения на происхождение складчатости и ее соотношения с разломообразованием; зарождение магматического очага и его дальнейшую эволюцию; происхождение офиолитов, габбро и гранитов, кристаллизацию вулканических пород; генезис руд, нефти и газа и др. Неоднозначно решаются проблемы периодизации геологических событий, выделения тектонических циклов, стадий и этапов, установления фаз складчатости. На фоне признания основными короформирующими процессами тектонических и магматических событий, окончательно не выяснены их взаимоотношения между собой, что также явилось крупной теоретической проблемой. Требуют решения вопросы связи тектоники с осадконакоплением и метаморфизмом, горообразованием и формированием полезных ископаемых, взаимозависимости магматизма и металлогении с преобразующими вещества метаморфическими проявлениями и многие другие. К тому же, представления о зарождении и развитии всех перечисленных выше процессов часто основываются на существенных противоречиях. Приведем некоторые примеры.

1. Структура гипербазитов как пород свидетельствовала, скорее всего, о магматической, интрузивной природе, а повсеместное отсутствие «горячих» контактов с вмещающими породами и удивительное постоянство ассоциации ультраосновных пород со спилитами и радиоларитами — о невозможности применения механизма магматического внедрения. обстоятельное рассмотрение этой проблемы приведено в наших работах (1969–1990 гг.).

2. Излияния вулканитов основного состава, начальных членов временных формационных рядов, справедливо связывались с открытостью, хорошей проницаемостью недр, а завершающий магматизм кислого состава — наоборот, с их закрытостью. Из этого следовал вывод о происхождении и эволюции изверженных пород одного цикла в тектонических условиях сначала раскрытия трога (растяжения), а затем закрытия (сжатия). Позже выяснилось, что такой вывод не был правомочным, так как в природе структурные перестройки в каждом цикле дважды не наблюдались. Это было показано нами на Уральском материале, где структурные планы изменялись только в конце каждого тектонического цикла. Между отдельными же формациями внутри цикла устанавливались нормальные, стратиграфически согласные взаимоотношения.

3. Во многих складчатых областях установлена однонаправленная миграция геосинклинального режима, выраженная омоложением активно проявляющегося вулканизма от платформы к центру геосинклинали,

а не наоборот, как должно быть при прогибании (или растяжении).

4. Обнаружение двух типов направленности характера излияний продуктов вулканизма: гомодромного (от основных пород к кислым) и антидромного (от кислых к основным) трудно поддавалось осмыслению в рамках единой направленности геодинамического режима прогибания (либо растяжения). Тем более что для большинства исследованных объектов фиксировалась именно гомодромная направленность, а постепенное прогибание должно было бы стимулировать в начале развития менее глубинный кислый вулканизм.

5. Структурные особенности флиша (межслоевые причудливые дислокации, косослоистое напластование и пр.), а также установленная приуроченность во всем мире крупных деформаций, в том числе и шарьяжей, к этой формации, позволяли судить о ней, как об индикаторной для определения режима максимальной интенсивности тектонических напряжений. Д. В. Наливкин писал, что, когда отлагался флиш, происходила складчатость. Это заключение представлялось совершенно бесспорным. Однако со временем некоторые исследователи, изучая соотношение этой формации с подстилающими образованиями, выявили, что флишевые толщи могут располагаться (причем совершенно согласно) не только на сланцевой либо вулканической формациях, но также и на кремнях, карбонатных толщах и пр. Из этих фактов был сделан вывод о том, что флишенакпление не зависит от тектонического режима, а флиш может накапливаться где и когда угодно. Например, Х. Г. Рединг пишет, что «флишевые или флишеподобные фации можно наблюдать в различных тектонических обстановках: от пассивных окраин до желобов, задуговых бассейнов, малых бассейнов, расположенных на континентальной коре, и даже озер» [1990, стр. 288]. А поскольку на Урале факт размещения флиша на разных по составу толщах имеет место (рис. 1), мы были озадачены поисками истины.

6. Сравнивая разновозрастные образования мио- и эвгеосинклинальной зон Урала, некоторые исследователи обратили внимание на общность в них состава осадконакопления. Известно, что каждая вулканическая формация эвгеосинклинальной зоны сопровождается определенной, присущей только ей осадочной составляющей. Если представить разновозрастные вертикальные колонки только из осадочных частей эвгеосинклинали и соседней миогеосинклинали, то они будут вполне сопоставимы. Однако этот общий фон проявляется только в осадочных сериях и не может наблюдаться в изверженных потому, что последних в миоэонах просто нет. Если же считать платформенные условия общефоновыми, а геосинклинальные их осложняющими, как это иногда декларируется, то необъясним источник отлагающихся осадков, которым, следует думать, являются компоненты

магмы, не использованные при кристаллизации вулканитов.

7. Трудно решался на Урале вопрос периодизации проявлений деформаций. Споры между «катастрофистами», связывающими развитие деформаций с определенными периодами развития горной области, и «эволюционистами», рассматривающими дислокации как, в общем-то, непрерывность этого действия во

времени, не завершены и сейчас. Наиболее ярко эти разногласия проявились между представлениями Г. Штилле, устанавливавшего определенные кратковременные фазы складчатости, и воззрениями Н. С. Шатского, критиковавшего это положение, называя его «штиллианством». Как известно, Н. С. Шатский был приверженцем непрерывности процесса складкообразования.

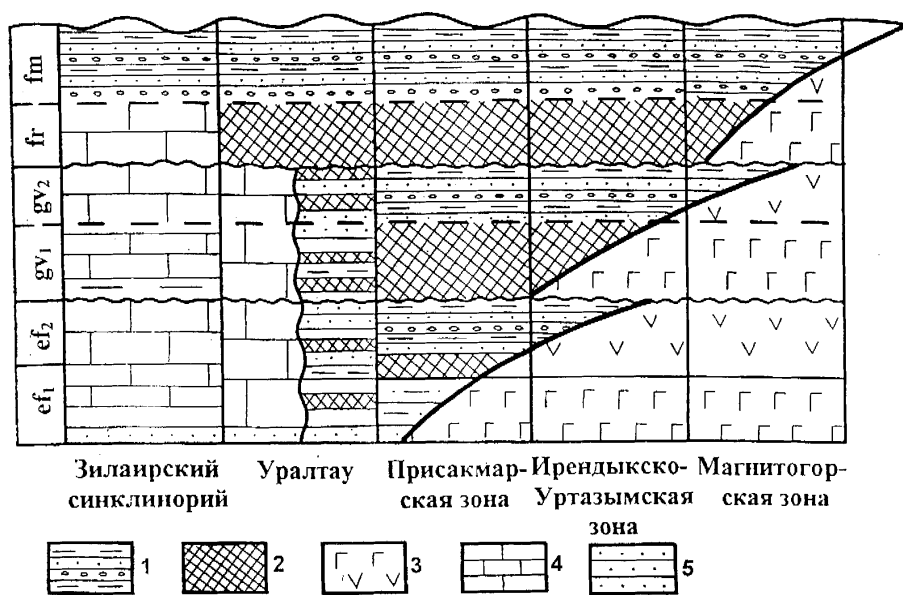


Рис. 1. Миграция флишенакпления на территории Южного Урала в среднем-позднем девоне

1 – флиш, 2 – кремни, 3 – эффузивы, 4 – карбонаты, 5 – терригенные породы

8. Сравнивая характер и степень дислоцированности толщ в направлении от Восточно-Европейской платформы, через предгорный Предуральский прогиб к геосинклинальным зонам Урала, убеждаешься в закономерном возрастании интенсивности деформаций одновозрастных толщ с запада на восток. Это считалось естественным и мало у кого вызывало сомнения. Однако обращало на себя внимание наличие фактов о более высокой, в целом, степени деформированности отдельных регионов западного (миогеосинклинального) Урала по сравнению с его восточной (эвгеосинклинальной) зоной, что, как будто бы, входило в противоречие с приведенной закономерностью и вызывало определенные сомнения в ее универсальности. Эти факты также не находили удовлетворительного объяснения.

Кроме того, некоторые исследователи, изучавшие историю формирования складчатой области, настаивали на миграции складкообразования от центральной части геосинклинальной зоны к ее периферии. Такие факты действительно имеют место, но, как это будет показано ниже, они могут быть объяснены осложнением, наложенным на генеральную направленность процесса деформирования во времени в противоположную сторону, что согласуется с хорошо доказанной закономер-

ностью о миграции вулканизма и флишенакпления от платформы к центру геосинклинали. Впоследствии выяснилось, что флишенакпление и связанные с этим периодом деформации во времени как бы ступенчато смещаются к востоку, но таким образом, что каждый следующий раз «накатываются» все дальше и к западу.

9. Аналогичная двойственность в толковании данной закономерности относится и к интенсивности дислоцированности отдельных крупных аллохтонов в мио- и эвгеозонах. Например, хорошо изученные Кракинский и Сакмарский аллохтоны в Зилаирском синклиории на Западном склоне Ю. Урала деформированы значительно сильнее, нежели аллохтонные формы Магнитогорского синклиория, что так же оставалось для нас загадкой.

10. При изучении вулканогенных формаций восточного склона Ю. Урала одна группа исследователей в вертикальном разрезе палеозоя обосновывала циклическую повторяемость вулканогенных формаций. Другая — стояла на позициях одноциклического характера их накопления. Названные точки зрения были, в определенной мере, обоснованными, но, как выяснилось, недостаточно, чтобы решить вопрос в пользу одной из них.

Как изложенные выше, так и другие возникшие противоречия по вопросам происхождения, закономерностям эволюции и размещения в пространстве основных вещественных комплексов складчатых областей, проблемам развития деформаций, стадийности и цикличности геологических процессов подрывали основы геосинклиальной теории и в рамках ее геодинамических представлений решены быть не могли.

К тому же, со временем стало очевидным, что геосинклиальная теория не в состоянии претендовать на глобальность, так как не распространяла свое влияние на огромные океанические пространства, что коррелируемость геологических событий на планете не носит универсального характера, что зарождение геосинклиального процесса происходит, в общем-то, случайно, спонтанно.

Однако представляется, что основы геосинклиальной теории все же окончательно были подорваны тремя важнейшими открытиями в геологии. Это, с одной стороны, успехи геологии океанов, выразившиеся в установлении зон спрединга в срединно-океанических хребтах и последовательном разрастании океана в сторону континентов с формированием океанической коры, преобладающе ультраосновного состава. С другой стороны — отождествление основной составляющей последней — офиолитовых комплексов, с подобными образованиями, в значительных объемах известных в складчатых областях континентов. В третьих — установление важнейшей роли шарьяжных и надвиговых структур в сложении всех складчатых областей планеты, чему в немалой степени способствовали исследования и авторов шарьяжно-надвиговой теории формирования земной коры (работы 1962–1999 гг.).

Следует отметить, что присутствие шарьяжей, особенно в альпийских орогенах, было известно давно. Однако с точки зрения геосинклиальной теории существовала возможность считать их гравитационными, оползневыми телами. Но когда появились многочисленные данные бурения, показывающие, что аллохтоны надвигаются на соседние структуры, перемещаясь на более высокие гипсометрические уровни, а не сползают вниз, их тектоническое происхождение стало неоспоримым.

В результате приход очередной, более совершенной геологической парадигмы был неизбежным.

В шестидесятых годах двадцатого столетия появилась новая теория, названная новой глобальной тектоникой или тектоникой литосферных плит, основанная, в основном, на геологических и геофизических материалах океанического дна.

Концепции тектоники плит предшествовал ряд открытий, связанных с геологией океанов. Уже было известно: что в центре океанов протягиваются горные хребты; что эти срединно-океанические хребты прорезаны продольными долинами — рифтами; что наибо-

лее активные сейсмические зоны планеты в океанах располагаются вдоль рифтов, где развит базальтовый вулканизм, а также вдоль океанических желобов; что океаническое дно намного моложе континентов; что осадочный чехол отсутствует в рифтовых долинах и на срединно-океанических хребтах, постепенно возрастая в мощности по направлению к континенту; что происходит постепенное удревнение океанического дна в сторону материка; что на континентальном шельфе образуется мощная толща осадков, достигающая 7–8 км; что мощность океанической коры в несколько раз меньше континентальной и составляет не более 12 км; что океаническая кора сложена более тяжелыми породами, чем континентальная; что осевые зоны хребтов характеризуются повышенным тепловым потоком, в то время как океанические пространства имеют невысокие показатели, равнозначные континентальным; и многое другое.

Появление тектоники плит связывается с именем Гарри Хесса, заведующего кафедрой геологии Принстонского университета, который в 1960 году, согласившись с Брюсом Хизеном, что океаническая кора образуется в рифтах, предложил механизм ее поглощения в зонах глубоководных желобов, считая, что дно океанов — это гигантский «эскалатор», поднимающийся из мантии в рифтах и опускающийся в последнюю в глубоководных желобах. Клод Риффо и Ксавье Ле Пишон [1979] пишут, что Хесс говорил об этой гипотезе как об «эссе из области геоэзии». В 1966 году разрастание океанической коры по обе стороны от срединно-океанических хребтов было доказано Вайном и Мэтьюзом открытием чередования участков со следами прямого и обратного направлений магнитного поля. Затем теория уточнялась многими исследователями, в том числе Джейсоном Морганом, Дэном Маккензи, а для всей поверхности планеты оформлена Ксавье Ле Пишоном. В 70-х годах тектоника плит получила признание и широкое развитие. В нашей стране наиболее последовательным ее внедрением в геологию континентов занимались Л. П. Зоненшайн, М. Н. Кузьмин, В. М. Моралев [1976] и многие другие.

Согласно тектонике плит литосфера планеты разделена на плиты. Сначала выделяли шесть таких плит, затем количество их возросло до нескольких десятков. Активные геологические процессы сосредоточены вдоль границ плит. При этом в одних активных зонах (с дивергентными границами) происходит спрединг — раздвижение с разрастанием океанического дна. Здесь образуется океаническая кора. В других активных зонах (с конвергентными границами) эти массы поглощаются. Среди зон поглощения выделяют два главных типа субдукции: андийский, когда океаническая литосфера пододвигается под континентальную, и островодужный — пододвигание одного участка океанической литосферы под другой.

В настоящее время считают, что зоны поглощения значительно разнообразнее.

Эволюция основных положений тектоники плит от ее первоначального варианта до современного состояния показана ведущим тектонистом современности В.Е.Хаиным [Хаин, Ломизе, 1995]. По его мнению очевидно, что литосфера не настолько монолитна, как это предполагалось в первоначальном варианте; что между крупными плитами расположены пояса, состоящие из мозаики малых плит, а сами крупные плиты неоднородны как в вертикальном, так и в горизонтальном сечении; что литосферные плиты находятся в движении не только по поверхности астеносферы; что тектоническая, сейсмическая и магматическая активность, сосредотачиваясь, в основном, на их границах, проявляется также и во внутренних частях плит; что спрединг в океанах компенсируется не только субдукцией и коллизией, но и обдукцией, эдукцией, сдвиганием и пр. «Ряд важных тектонических и вообще геодинамических процессов остался вне рассмотрения в классической тектонике плит», — пишет В.Е.Хаин, а «такие основные процессы, как рифтинг, спрединг, субдукция, перемещения по трансформным разломам, рассматривались весьма упрощенно». И далее: «При создании более общей геодинамической концепции необходимо учитывать более широкий круг процессов, включая внутриплитные деформации и магматизм, периодические изменения эндогенной активности Земли, а также сложность движений на границах плит, их изменчивость в пространстве и времени» (с. 457–458). Кроме того, к аспектам тектогенеза, не нашедшим своего объяснения в классической тектонике плит, согласно этому исследователю, относится и происхождение окраинных и внутренних морей с корой океанического типа.

Развитие тектоники плит ознаменовалось крупными и важными открытиями в геологии. Главными из них, по нашему мнению, являются: утверждение принципов мобилизма в тектонике; значительно более обоснованный механизм рождения океанической коры через спрединг, а не «базификацию» континентальной коры, как это предполагалось фиксистской доктриной; обнаружение отдельных аспектов процесса гидротермального рудообразования в океанах; интеграция положений океанской и континентальной геологии в общую систему геологических знаний о механизме формирования земной коры и др.

Естественно полагать, что современная теория должна бы обладать способностью с единых позиций увязывать и объяснять все известные к этому времени сколько-нибудь значимые данные, обобщения, открытые закономерности и законы, а также разрешать накопившиеся противоречия. То, что иногда декларируется как революция в той или иной области науки, часто основано на отрицании основных положений прежней

теории без достаточных оснований. Диалектично понимать революцию, как высшую точку эволюции на данном этапе, как переход на новую ступень развития. Поэтому мы считаем, что ассимиляция новой теорией предшествующих достижений является обязательным условием утверждения ее жизнеспособности.

Однако тектоника плит не смогла разрешить многие проблемы континентальной геологии, в том числе те неоднозначности и противоречия, на которых мы останавливались выше. Она проигнорировала большинство из установленных геосинклинальной теорией закономерностей, среди которых цикличность геологических процессов, вероятно, представляющая собой основной принцип развития природы, по сути дела отбросила фазы складчатости, не задействовала учение об определяющем значении разломообразования и т.д.

Следует обратить внимание на недоказанность одного из главных процессов тектоники плит — субдукции. Последняя часто является предметом критики, в частности в работах академика Ю.М.Пушаровского. Это понятно, так как даже в сводном трехтомном издании «Структурная геология и тектоника плит» [1991] В.Э.Гуинн пишет: «Теоретические и экспериментальные данные по прочности пород в целом показывают, что поддвиг имеет ограниченное значение и встречается редко... С механической точки зрения, гораздо проще реализуется надвигание...» (с. 106).

Теоретические проблемы возникают тогда, когда установленные положения, закономерности либо факты имеют неоднозначное толкование. Именно поэтому, и в свете показанного выше, появился ряд проблем, решение одних из которых могло быть обеспечено получением дополнительных фактов, других — связано с необходимостью задействования принципиально новых знаний, достижений теоретической геологии, иных методологических принципов и методических приемов.

Вероятно, следует признать, что самой масштабной по охвату и универсальной по значимости геологической проблемой является цикличность развития складчатой области. Это понятно, так как геологический цикл представляет собой полный набор (круг¹) геологических процессов. Неоднократная повторяемость такого набора в складчатой области свидетельствует о ее полицикличности.

О цикличности геологических процессов стало известно после того, как французский исследователь М.Бертран в 1887 году обратил внимание на факты повторения однотипных комплексов пород в разных складчатых областях. Особое его внимание привлекли толщи черных блестящих сланцев, сменяющихся ритмитами с градационной слоистостью — закономерным чередованием гравелитов, песчаников (от крупно- до мелкозернистых), алевролитов и аргиллитов. Такие рит-

¹ «Цикл» — от греческого «kyklos», что означает круг.

мично построенные образования стали называть флишем. Разрез наращивался молассой, представляющей собой наложения, аналогичные флишу, но значительно менее ритмичные. В них ритмы часто отсутствуют, но широко развиты красноцветы. Эта последовательность: сланцы, флиш, моласса представляла собой закономерный естественный ряд, в связи с чем М. Бертран сделал совершенно справедливый вывод о направленной смене режима накопления геологического вещества в таком ряду. Названные вещественные комплексы стали называть формациями, а в дальнейшем было разработано хорошо зарекомендовавшее себя учение о формациях и формационном анализе на парагенетической основе. Авторами его явились советские тектонисты Н. П. Херасков и Н. С. Шатский. Кроме перечисленных выше, стали выделять и многие другие формации, среди которых особая роль отводится магматическим образованиям, как интрузивным, так и вулканическим.

М. Бертран выделил четыре тектонических цикла (гуронский — в докембрии, каледонский и герцинский — в палеозое, альпийский — в мезозое). Позже гуронский был заменен байкальским либо кадомским, а между герцинским и альпийским выделен киммерийский цикл. Продолжительность фанерозоя около 600 млн. лет, следовательно, каждый цикл развивался в течение ≈ 150 млн. лет.

Представление о тектоно-магматическом цикле, как известно, внедрено Г. Штилле, разделившим его на ряд тектонических стадий (этапов). Впоследствии это учение заняло достойное место в системе общегеологических знаний.

Тектоно-магматический цикл в Геологическом словаре [1973] определяется как «период времени, охватывающий взаимосвязанные и направленные проявления тектонической и магматической активности в подвижных поясах от зарождения геосинклинали и превращения ее в складчатую область до окончательной ее консолидации».

С тех пор как на планете была установлена сопряженность во времени процессов растяжения и сжатия (океанизация и континентализация), общепланетарный характер даже самых крупных по рангу тектонических циклов поставлен под сомнение. В то же время присутствие фактов повторяемости событий в пределах группы складчатых областей в одни и те же интервалы времени является несомненным. Сказанное следует иметь в виду, говоря о «планетарности» тектоно-магматических циклов.

Тектоно-магматические стадии представляли собой последовательно сменяющие друг друга части циклов. Каждой стадии свойственен свой набор вещественных комплексов, отражающих геодинамические режимы их зарождения и развития. Это стадии — геосинклинальная, орогенная и кратонная по Г. Штилле, прогиба-

ния и общего обращения (инверсии) по В. В. Белоусову и др. Понятия стадия и этап¹ часто использовались как синонимы, что, вероятно, правомочно, но, по нашему мнению, нецелесообразно, так как терминологическая неоднозначность всегда приводит к лишней усложненности. Мы предложили применять их отдельно, согласно иерархическому уровню включающего их подразделения. Вероятно, стадии следует рассматривать как разнонаправленные по тектоническому знаку отрезки очень крупных циклов (например, Вильсона), а этапы — как части однознаковых тектонических циклов.

В палеозойской истории Урала выделяли либо один — палеозойский тектоно-магматический цикл (С. Н. Иванов), либо два — каледонский и герцинский (А. А. Пронин). Позже, работами Д. С. Штейнберга [1969], П. В. и М. Ю. Аржавитиных, Т. И. Фроловой и И. А. Буриковой [1977] и др. было показано, что магматизм на Урале представлен несколькими однотипными, повторяющимися не менее трех раз, наборами из закономерно сменяющихся вулканических формаций. Однако их считали не циклами, а стадиями либо этапами, что при уровне геологической изученности того времени было, вероятно, допустимым.

Многолетние исследования геологии Ю. Урала и соответствующие разработки по формационному анализу позволили нам установить, что каждый из таких наборов является составной частью полновесного тектоно-магматического цикла [Казанцева, 1983]. Основанием для этого вывода послужили следующие соображения. Выше мы отмечали, что циклы представляют собой полный круг геологических событий, каждое из которых отражено в созданном им веществе. А это в складчатых областях, как известно, не только комплексы определенных вулканических формаций, но и не менее распространенные здесь: 1) интрузивные тела, такие, например, как габбро и граниты, а также ультраосновные породы, которые многие относили к инициальному магматизму, начинающему развитие каждого тектоно-магматического цикла; 2) осадочные породы, как сопровождающие магматизм, так и накапливающиеся вне рамок его развития, после него, такие как флиш, олистостромы и перекрывающие их субплатформенные толщи осадков; 3) наложенные региональные метаморфические преобразования и различного рода локальные вещественные изменения, связанные с рудообразованием и нефтегазонакоплением, и, наконец, 4) месторождения руд и углеводородов, являющиеся своего рода «алмазным венцом» геологического развития.

При установлении тектонических циклов особую роль играют *гипербазиты, полные формационные ряды,*

¹ Стадия (от греч. station) и этап (от франц. etape) — часть пути, времени.

в том числе флиш, граниты, а также периодизация процессов деформирования (разломообразований и проявлений складчатости). Эти процессы освещены нами в Геологическом сборнике № 1 ИГ за 2000 г., где показано, что отражением **цикличности** короформирующего процесса является неоднократная повторяемость: тектонического становления гипербазитовых поясов; типовых вещественных комплексов — формационных рядов, представленных двумя сериями: вулканической и флишево-олистостромовой; периодов гранитизации и перестроек структурного плана. Было показано также, что в результате проведенных нами работ получена та необходимая дополнительная информация, которая, на данном этапе изученности Урала, позволила удовлетворительно решить проблему полицикличности этой складчатой области. При этом основная особенность тектонических циклов сводится к направленной смене вещественного состава и структуры от начала к концу.

Однако, как это отмечалось выше, противоречия и неоднозначности, вытекающие из множественности представлений на механизмы зарождения и развития короформирующих процессов, их генезиса, объяснения не находили. К тому же на современном этапе развития геологической науки в рамках мобилистской парадигмы предложено по несколько вариантов геодинамических моделей для одной и той же складчатой области. Не представляет исключения и Урал. Неоднозначность толкования тектонической истории развития земной коры отдельных регионов явилась, вероятно, следствием несовершенства используемых для палеотектонических реконструкций методов, не позволяющих однозначно решать названную проблему.

Как правило, мобилисты обращаются к принципу актуализма, отождествлению современных событий с явлениями древних геологических эпох.

Не случайно, в 1948 г. Н. М. Страхов написал: «Лайель в «Основах геологии» возвел изучение современных геологических процессов и их результатов в ранг метода» (А. Л. Яншин [1993, стр. 10–11]), а Б. С. Соколов [1993] отметил, что: «Оставаясь одним из ключевых в геологии, метод актуализма играет совершенно исключительную роль в расшифровке различных ситуаций геологического прошлого... (экосистемах, геофизических и т. д.)». Однако, как пишет Х. Г. Рединг в завершающей главе капитального труда, опубликованного в нашей стране в виде двухтомного издания «Обстановки осадконакопления и фации»: «Необходимо помнить, что настоящее не является ключом к прошлым обстановкам, хотя и может приоткрывать завесу над некоторыми из них. В большинстве своем прошлые обстановки в каких-то отношениях отличаются от современных. Поэтому мы должны быть готовы к этому и иметь мужество разрабатывать неактуалистические модели,

непохожие на любые из тех, которые существуют сегодня» [1990, стр. 289].

Специфика региональных геологических исследований такова, что в полевой период прибегают к приблизительным, довольно условным определениям разноранговых геологических тел: минералов, пород, формаций и т. д. В стационарных же условиях камеральной обработки экспедиционных материалов доступны значительно более точные методы (петрографический, петрохимический, рентгеноструктурный и многие другие), позволяющие подтвердить, уточнить либо опровергнуть предварительные заключения. Аналогично обстоит дело и с геодинамическими реконструкциями. Вероятно, эталоны актуализма достаточны лишь для общих суждений на уровне идеи, а метод актуализма и вытекающие из него сравнительно-литологический и сравнительно-тектонический анализы должны использоваться, как это считал Л. В. Пустовалов, «как способ получения лишь наведений при истолковании отдельных явлений геологического прошлого» (А. Л. Яншин, [1993, стр. 12]). Построение наиболее приближенных к действительности геодинамических моделей предполагает задействование и более точных методик. Естественно, что такие методики должны опираться на довольно высокий теоретический уровень геологической науки, в частности, применение методологического принципа системности природы и согласующуюся с ней ранговость геологических вещества и процессов. Эти вопросы рассмотрены нами в журнале «Известия АН РБ, геология», № 3, 1998 год, где в определении геологической системы заложены целостность, двуединая противоположность состава и структура. При этом двуединая противоположность рассматривается нами по принципу дополненности, обосновывавшемуся еще древнегреческими философами («гармония» пифагорийцев, «созвучие» Аристотеля и т. д.). Целостность предполагает автономность системы, узнаваемость ее, взаимодействие с внешним миром как целое. Структура определяется как порядок, последовательность, способ организации элементов, характер связей и отношений между составляющими. *Так как система, как целостная категория, создается структурой, именно в последней должна быть заложена информация об условиях ее образования. В таком случае основным методом решения генетических проблем геологических систем всех уровней следует считать изучение их структуры. Выяснение характера изменчивости структурных особенностей в сопряженных по времени условиях эволюционирующей среды и установление закономерностей их преобразования составляют суть предложенной нами вещественно-структурной методики.*

Поиски информативных критериев, содержащихся в структурах разноранговых систем, привели нас к целесообразности задействовать: для минералов — механизм

упорядочения структуры кристаллической решетки; для пород — последовательность выделения минералов из магмы при кристаллизации; для формаций (тектонических этапов) — структурные отношения разнородных породных составляющих в одном из специфических режимов тектонических напряжений (растяжение и сжатие); для формационных рядов (тектонических циклов) — направленную смену структурных характеристик формаций на протяжении каждого тектонического цикла; для комплекса формационных рядов в пределах одной геоактивной зоны — эволюционную направленность смены структуры рядов во времени и т.д. С учетом изложенного были построены серии гистограмм количественных и качественных характеристик состава и строения отдельных формаций, их серий и рядов. В обобщенном виде для одного формационного ряда это изображено на рис. 2.

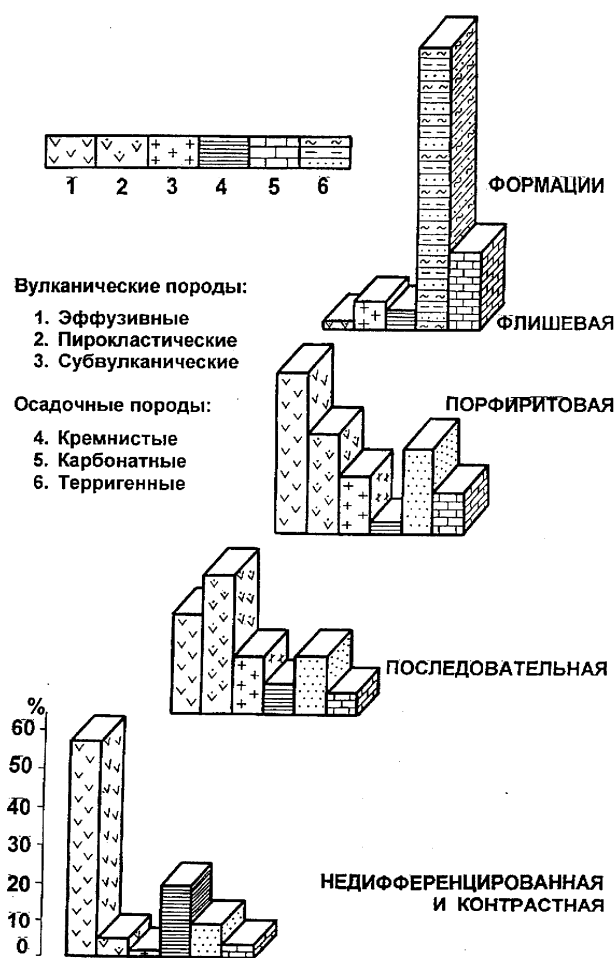


Рис. 2. Эволюция структуры формаций тектонического цикла

Интерпретация полученных данных исходит из следующих соображений. Известно, что формации

активных зон складчатых областей состоят из магматической и осадочной составляющих. И та и другая несут в себе определенные информативные показатели условий их накопления. Такими показателями для магматических пород являются, с одной стороны, степень проницаемости участка земной коры (от хорошей до ее полного отсутствия), с другой — температуры и давления кристаллизации.

Степень проницаемости обеспечивает магме возможность ее излияния на дневную поверхность, и чем она выше, тем свободнее, быстрее это происходит. В результате — структуры пород мелкокристаллические, без порфировых выделений, либо с наличием их, но мелких и редких. С возрастанием закрытости недр улучшается кристалличность пород, растет количество вкрапленников и их размер, часто наблюдаются гломеропорфировые сростки. Это же относится к субвулканическим и пирокластическим образованиям, количество которых также увеличивается с повышением закрытости недр.

Другим показателем являются Т и Р-условия, которые определяются составом пород. Известно, что чем больше в породе содержится кремнекислоты, тем при меньшей температуре она кристаллизуется. Это относится к группе кислых изверженных пород. С повышением основности температуры кристаллизации возрастают, что характерно для групп средних и основных пород. И наоборот, чем выше кислотность, тем для кристаллизации требуется большее давление. Объективные данные о последнем содержатся в структуре кристаллических решеток темноцветных породообразующих минералов, которые свойственны каждой группе пород. Для пород основного состава — это оливины и пироксены, реже амфиболы, для средних — чаще последние, а для кислых — наряду с амфиболами характерно появление слюд.

О возрастании горизонтально направленного давления при образовании структуры пироксена в сравнении с оливином, роговой обманки — с пироксеном и биотита — с амфиболом достаточно хорошо известно. Это отображено на рис. 3, где показано последовательное усложнение структуры темноцветных минералов от основных пород к кислым. Так, островной тип структуры, характерный для кристаллической решетки оливина, сменяется ленточным у пироксена, цепочечным у роговой обманки, а затем слоистым у слюд [Казанцев и др., 1992].

Ряд характерных признаков осадочных пород лежит в основе выявления, как минимум, фациальной обстановки их накопления, в том числе глубины палеобассейна.

Информация, сконцентрированная в построенных гистограммах, является основанием для заключения о геодинамическом режиме накопления как каждой формации, так и их совокупностей, составляющих

формационный ряд. Сопоставление аналогичных данных в формационных рядах позволяет восстановить тектонические условия развития всей складчатой области. Геодинамическая модель последней вытекает из закономерной смены режимов входящих в нее подразделений.

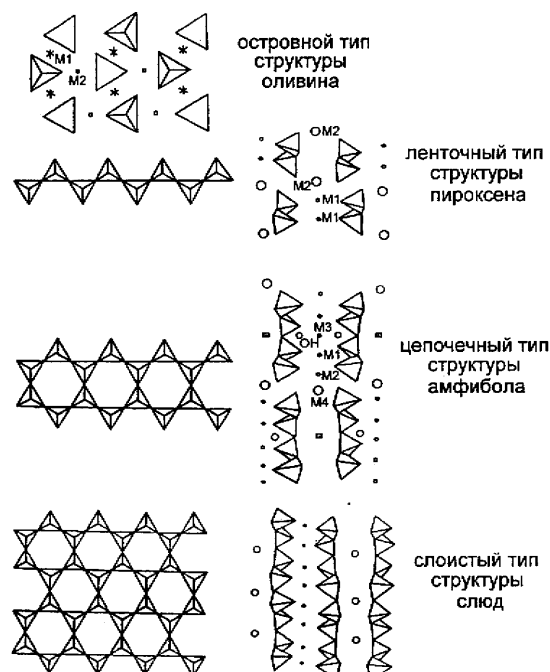


Рис. 3. Структура кристаллических решеток темновесных породообразующих минералов

При этом начальные вулканические формации, представленные недифференцированными и контрастно-дифференцированными комплексами, изливаются в условиях открытости недр, их хорошей проницаемости. Такая обстановка может быть обеспечена только соответствующим по масштабности разломообразованием. Появление более дифференцированных формаций является следствием ухудшения проницаемости данного участка литосферы, что эффективнее всего достигается горизонтальными смещениями магмаподводящих дизъюнктивов при их пережатии и запечатывании. Последнее тем интенсивнее, чем значительнее тектонические напряжения горизонтального сжатия. Накопление флиша определяется разрушением ранее сформированных толщ и происходит там, где вулканическая деятельность прекращается. Это возможно только при полной закрытости недр, при максимальном тангенциальном сжатии. Так, естественная смена вещественного состава определяется соответствующей направленностью геодинамического режима. В общем виде он сводится к предельно низким значениям в начале цикла, постепенно повышающимся на протяжении его развития и максимальным — к концу (рис. 4). Последнее

приводит к зарождению нового тектонического цикла при условии надвигания очередного блока океанической коры на континентальное основание. При этом эволюция складчатой области обеспечивается постоянным притоком энергии.

Ранее мы показали [1990], что каждый более молодой тектонический цикл обеспечивается возросшими значениями напряжений бокового сжатия по сравнению с предыдущим. Это положение обосновано характером эволюционной направленности состава и строения каждого последующего цикла, сводящейся к уменьшению роли начальных формаций и возрастанию конечных, при сокращении времени их формирования. На рис. 5 схематично изображено последовательное смещение формационных рядов в сторону океана. Условно показано, что интенсивность напряжений тангенциального сжатия в каждом более молодом тектоническом цикле выше, чем в предыдущем, в связи с чем деформации во времени каждый раз накладываются на предыдущие и распространяются все дальше в сторону континента. Этим объясняются особенности проявления деформаций во времени и в пространстве. Это же относится и к сложному характеру миграции флишенакпления.

Для обоснования геодинамического режима развития уральского вулканизма талантливый исследователь магматизма Урала А. С. Бобохов [1991] удачно использовал первичные отношения изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$). Считается, что повышение первичных стронциевых отношений находится в зависимости от: возрастания контаминированности мантийных расплавов коровой составляющей, метаморфизма, взаимодействия магмы с водой, увеличения глубины генерации магматических расплавов (то есть давления) и пр. При этом океанические (мантийные) базальты характеризуются низкими значениями этого показателя (в пределах 0,7021–0,7030), а в вулканиках островных дуг они повышаются до 0,7080.

Выполненные вышеназванным исследователем работы по изучению изотопного состава стронция в палеозойских вулканиках Магнитогорского синклиория Южного Урала (более пятидесяти проб) показали, что почти все значения первичного отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$ в кислых вулканиках находятся в пределах от 0,7031 до 0,7063. При этом наметился отчетливый тренд возрастания значения первичного стронциевого отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$ в восточном направлении и от более древних к более молодым вулканическим формациям. Так, баймак-бурибаевская свита нижнего девона–нижнего эйфеля характеризуется средними величинами $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_0$ — 0,7038; карамалыташская контрастная живетского возраста — 0,7045, а непрерывно-дифференцированная улутауская, залегающая выше верхней части этой свиты — 0,7051. Также отмечается некоторое увеличение первичного стронциевого отношения к концу формационного ряда [Бобохов, 1991, стр. 166].



Рис. 4. Соответствие геодинамических режимов геологическим процессам и вещественным комплексам

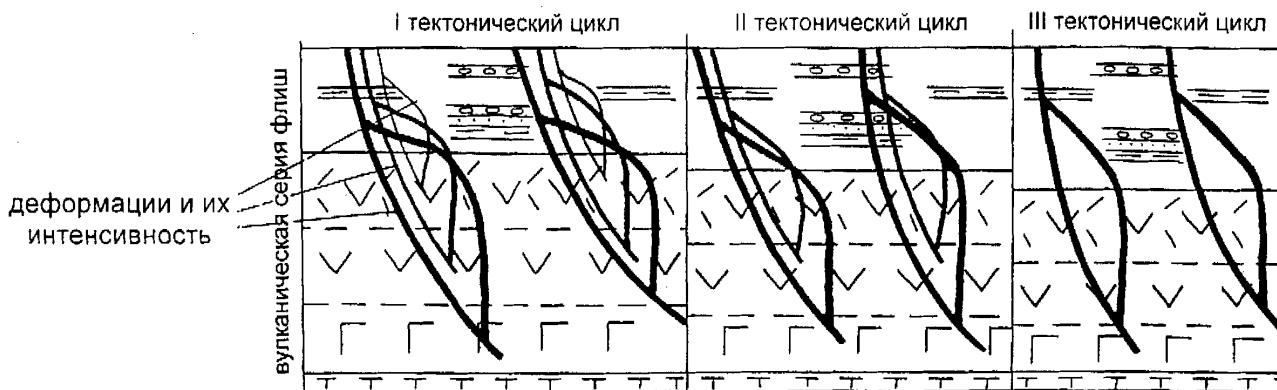


Рис. 5. Эволюция тектонических деформаций во времени и в пространстве

Если же связывать давление не только с глубиной, но и с тектоническими силами, то эти данные будут хорошо согласовываться с выводами о возрастании напряжений сжатия в течение развития каждого цикла.

Следует обратить особое внимание на импульсный характер геотектонического режима [Казанцева, 1981, 1998].

Каждый ритм флиша является результатом действия тектонического импульса, а одна из установленных нами закономерностей об уменьшении мощности ритмов в более молодом по возрасту флише — о возрастании частоты проявлений таких импульсов, как это показано на рис. 6. На этом же рисунке отображен импульсный характер напряжений и их возрастание во времени как для каждого цикла, так и для их комплексов в пределах одной складчатой области.

Импульсность тектонического режима тангенциального сжатия хорошо объясняет появление в начальный период развития цикла контрастных по степени дифференциации и составу продуктов излияния магмы, кислые члены которых не могли бы образоваться при сколько-нибудь длительном растяжении. Этот факт является свидетельством в пользу разрядки напряжений при скальвании, а не режима растяжения, предлагаемого некоторыми моделями.

Можно предположить, что на внутрiformационном уровне эти импульсы являются минициклами. На уровне формационного ряда это, возможно, мидициклы, а максициклы характеризуют развитие всей складчатой области. К мегауровню следует относить цикл Вильсона, который лучше рассматривать в интерпретации В. Е. Хаина.

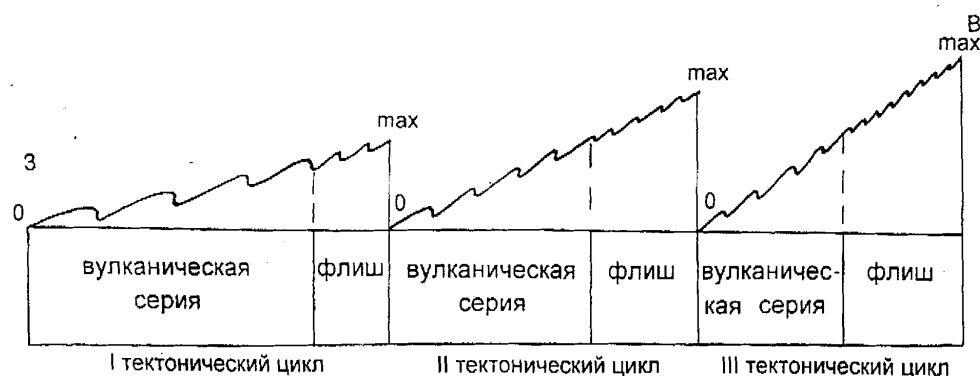


Рис. 6. Импульсный геодинамический режим для каждого тектоно-магматического цикла и его возрастание от древних к молодым циклам

В последнее время практикуется восстановление геодинамических режимов по отдельным формациям-индикаторам, по принципу «à batons rompus», как говорят французы (без соблюдения последовательности, перескакивая с одного на другое). Естественно, что это таит в себе опасность ошибочности построений и выводов. Вот примеры. В начале стадии растяжения накапливаются грубообломочные формации, известные как рифтогенные. В конце стадии сжатия (геосинклинальной) также образуются обломочные толщи, которые называются микститами или олистостромами. Мы неоднократно сталкивались со случаями, когда последние принимались за первые. То же относится к щелочным сериям и к толеитовым базальтам. Чтобы избежать подобных заблуждений, мы предлагаем придерживаться, как минимум, следующих правил:

I. Присутствие одной индикаторной формации не достаточно для определения геодинамического режима.

II. Геодинамический режим может быть определен только по комплексу формаций — полному формационному ряду, как исключение — его части.

III. Выяснение последовательности накопления формаций и их структурных взаимоотношений — неперемнная предпосылка для восстановления геодинамического режима определенного периода развития земной коры.

Установленные закономерности позволили разрешить те неоднозначности и противоречия, на которых мы и акцентировали внимание в начале статьи.

С этой точки зрения, казалось бы противоречащие друг другу механизмы происхождения какого-либо геологического объекта объединяются в единый процесс, что было показано нами на примере происхождения нефти [Казанцева и др., 1982], медноколчеданных руд [1981, 1987], разрешаются противоречия, связанные с миграцией и характером направленности вулканизма, объясняются как характер площадного распространения флишенакпления и проявлений деформаций, так и их интенсивность во времени и пространстве, и др. (см. рис. 5).

Это открытие легло в основу новой теории формирования земной коры планеты, которую мы назвали

шарьяжно-надвиговой. Стадийность модели определяется тектоническими режимами растяжения и сжатия. Режим растяжения обуславливает континентальный рифтогенез, сменяющийся срединно-океаническим рифтингом с разрастанием океанического дна и образованием океанической коры. Это рифтогенно-спредингговая стадия. Режим сжатия обеспечивает формирование континентальной коры, протекающее в такой последовательности. Мощное тангенциальное сжатие разряжается надвиганием аллохтона океанической коры на сопредельный край континента, что приводит к тектоническому совмещению контрастных по составу масс, при котором легкоплавкая сиалическая кора оказывается расположенной под тяжелой тугоплавкой. Это способствует рождению магматического очага сложного состава, чему благоприятствует повышение температур за счет трения и снятия литостатического давления при скалывании аллохтона. Следующее за этим последовательное возрастание бокового давления приводит к образованию вулканиче-

ской серии формационного ряда, а максимально возросшие латеральные нагрузки ведут к закрытию магмаподводящих дизъюнктивов, массовому надвиганию. Надвиги способствуют тектоническому расслаиванию данного участка литосферы, что определяет развитие складчатости. В зонах надвигов концентрируются полезные ископаемые, состав которых зависит от возможностей вмещающих пород, повышения здесь температур и снятия давления. В этот период формируются и флишево-олистостромовые комплексы, а скученные аллохтонные массы образуют горы. В пределах океанических зон тектонически совмещаются океанические пластины, в результате чего рождаются подводные хребты, а очередное надвигание океанической коры на континентальную приводит к зарождению нового тектонического цикла (рис. 6). Движение тектонических пластин вновь обеспечивает развитие магматизма, метаморфизма, образование руд и преобразование органического вещества в углеводороды, формирование структуры, горного рельефа и пр.

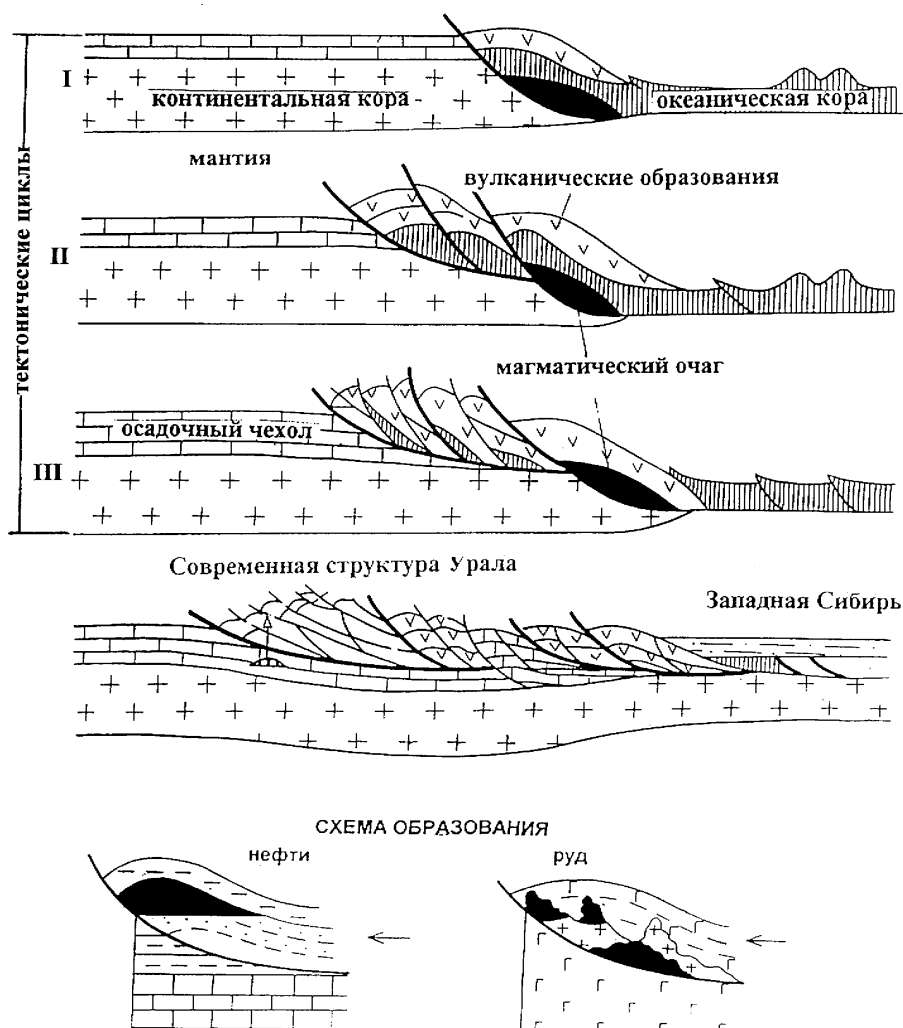


Рис. 6. Полициклическое формирование земной коры Урала

В результате скупивания горных масс на сопредельном краю континента происходит частичное его погружение. Это так называемые «корни гор». Возможно, именно изостазия краевых частей континента является причиной сводообразования центральной, чем предопределено возникновение континентального рифтогенеза (рис. 7).

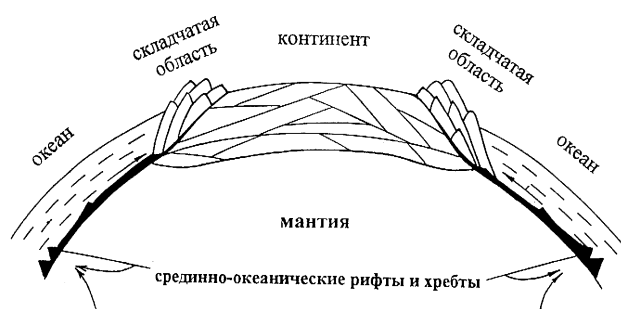


Рис. 7. Принципиальная схема развития земной коры планеты

Литература:

Бобохов А. С. Эндеогенная динамическая система южно-уральской палеоостровной дуги. М.: Наука, 1991. 180 с.

Зонениайн Л. П., Кузьмин М. И., Моралев В. М. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. М.: Наука, 1976. 231 с.

Казанцев Ю. В., Казанцева Т. Т., Камалетдинов М. А. и др. Структурная геология Магнитогорского синклиория Южного Урала. М.: Наука, 1992. 183 с.

Казанцева Т. Т. Происхождение и развитие геосинклиналей / БФАН СССР. Уфа. 1981. 26 с.

Казанцева Т. Т. Тектонические циклы и формационные ряды / БФАН СССР. Уфа. 1983. 37 с.

Казанцева Т. Т. Аллохтонные структуры и формирование земной коры Урала. М.: Наука, 1987. 158 с.

Казанцева Т. Т. Тектоника и эволюция / БНЦ УрО АН СССР. Уфа. 1990. 38 с.

Казанцева Т. Т. Эволюция и рудообразование // Шарьяжно-надвиговая тектоника и ее роль в формировании месторождений полезных ископаемых / БНЦ УрО АН СССР. Уфа. 1991. С. 59.

Казанцева Т. Т. Системные представления и законы геологии // Известия отделения наук о Земле и экологии. Геология. Уфа: Изд-во АН РБ. 1998. № 3. С. 53–64.

В свете современных системных представлений в геологии, земную кору следует рассматривать как наиболее крупную по рангу геологическую систему. Эта система состоит из территориально сочленяющихся двуединых противоположностей: с одной стороны — континентов, с другой — океанов, объединяющихся активными зонами геологического взаимодействия, где формируются складчатые области.

При изложении данной статьи я не останавливалась на тех базисных положениях шарьяжно-надвиговой теории, которые с достаточной полнотой разработаны и освещены М. А. Камалетдиновым (1962–1999 гг.), Ю. В. Казанцевым (1966–1999 гг.), Т. Т. Казанцевой (1968–1999 гг.), иногда совместно с Д. В. Постниковым, и которые полностью согласуются с изложенными выше представлениями. В многочисленных публикациях названными исследователями показано шарьяжно-надвиговое строение фундаментов платформ, предгорных прогибов и складчатых областей. В них же приведены оригинальные механизмы происхождения складчатости, горообразования, сейсмичности, освещены особенности эволюции соленосных толщ и генезис современных грязевых вулканов.

Казанцева Т. Т., Камалетдинов М. А., Казанцев Ю. В., Зуфарова Н. А. Происхождение нефти / БФАН СССР. Уфа. 1982. 30 с.

Коротеев В. А., Нечухин В. М. Современное состояние проблемы соотношения магматических и метаморфических процессов с геодинамикой формирования складчатых систем // Магматизм, метаморфизм и глубинное строение Урала: Тез. докл. / Урал. петрограф. совещ. Часть 1. Екатеринбург, 1997. С. 19–22.

Риффо К., Ле Пишон К. Экспедиция «Famous» / Ред. А. М. Карасик и В. М. Павлов. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 224 с.

Соколов Б. С. Эволюция геологических процессов в истории Земли. Вступительное слово. М.: Наука, 1993. С. 6–8.

Фролова Т. И., Бурикова И. А. Геосинклинальный вулканизм (на примере восточного склона Южного Урала). М.: Изд-во МГУ, 1977. 266 с.

Хайн В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: Изд-во МГУ, 1995. 476 с.

Штейнберг Д. С. Интрузивные формации // Геология СССР. Т. XII. Ч. 1. М.: Недра, 1969. С. 537–637.

Янишин А. Л. Возникновение проблемы эволюции геологических процессов // Эволюция геологических процессов. М.: Наука, 1993. С. 9–20.