

Механизмы горообразования в различных геодинамических теориях

■ Череповский А.В., член редакционной коллегии журнала «ПСРГ», г. Москва.

Абсолютное большинство геологов, да и любителей науки, поддерживают теорию, что горные системы (складчатые области) появились на нашей планете в условиях сжатия и коробления блоков земной коры, и полагают, что тектоника литосферных плит решила вопрос о механизме горообразования. Но это не совсем так.

Как известно, в общепринятой уже более 50 лет теории тектоники плит горы образуются в результате столкновения (или коллизии) жёстких литосферных плит, которые не столько мнутся при столкновениях, сколько подныривают друг под друга и подползают на сотни и даже тысячи км. То есть в теории тектоники плит доминируют представления о ведущей роли горизонтально направленных сил в верхней мантии и литосфере, а не вертикально направленных сил, как в теории геосинклиналей, которую развивали геологи-фиксисты вплоть до середины 1980-х годов.

Виды складок в осадочных породах

Распространено мнение, что образование складок в осадочных толщах невозможно без их горизонтального сдавливания, и что раньше слои в таких складках занимали значительно большую площадь в плане (рис.1). Но детальное изучение геометрии складок показывает, что это не обязательно так. Это подробно рассмотрел знаменитый австралийский геолог 20-го века, Самюэль Уоррен Кэри, замечательная книга которого была издана на русском языке под названием «В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной», с подзаголовком «История догм в науках о Земле» [1]. В этой книге Кэри занимательно описал всю историю развития научной мысли и различных заблуждений и предубеждений от античности до эпохи Возрождения, а затем до наших дней.

В своей книге Кэри рассматривал два вида складчатости: подобную и концентрическую. Если изначально горизонтально залегающие слои подверглись неравномерному давлению снизу, перпендикулярно залеганию слоёв, то мощность слоёв, измеренная в направ-



▲ Рис. 1. Складка в толще осадочных пород.

лении течения, остаётся постоянной. Это так называемая подобная складчатость. Другой случай – это так называемая концентрическая складчатость. В этом случае мощность каждого слоя остаётся постоянной в направлении, перпендикулярном слоистости. При деформации слоев на небольшой глубине, когда еще сохраняются большие различия между их механическими свойствами, обычно формируются концентрические складки, но при глубоком погружении отложений различия между свойствами слоёв уменьшаются, и складчатость приближается к подобному типу. Когда при подобной складчатости изменяется направление линий течения, то образуются



▲ Рис. 2. Сложная конфигурация пластов после подобной складчатости с изменением направления линий течения.

довольно сложные конфигурации, и результирующая длина деформированной толщи может значительно превышать её начальную длину, хотя на глаз создаётся ощущение, что смятая толща была сдавлена при формировании, а не вытянута (рис.2).

Как известно, длительное время – до начала 20-го века – геологи предпочитали гипотезу о постепенном сжатии Земли при её предположительном остывании. Таких геологов называли контракционистами от английского слова «contraction» – сжатие или сокращение. Предполагалось, что изначально Земля была очень горячей, или даже расплавленной, и её эволюция в течение 4,5 миллиардов лет – это медленное остывание и затвердевание земной коры.

Контракционисты сравнивали современную Землю с остывшим печёным яблоком со сморщенной кожурой. Но дело в том, что если заглянуть в таблицу коэффициентов теплового линейного расширения металлов и распространённых горных пород, то мы увидим, что эти коэффициенты пренебрежимо малы – для гранита, базальта, песчаника или известняка это одна десятитысячная или несколько сотых тысячных. Это значит, что при остывании на 1000 градусов горные породы земной коры сжимаются в объёме разве что на 1 или 2 процента, что

никак не объясняет появление обширных складчатых областей на земной поверхности.

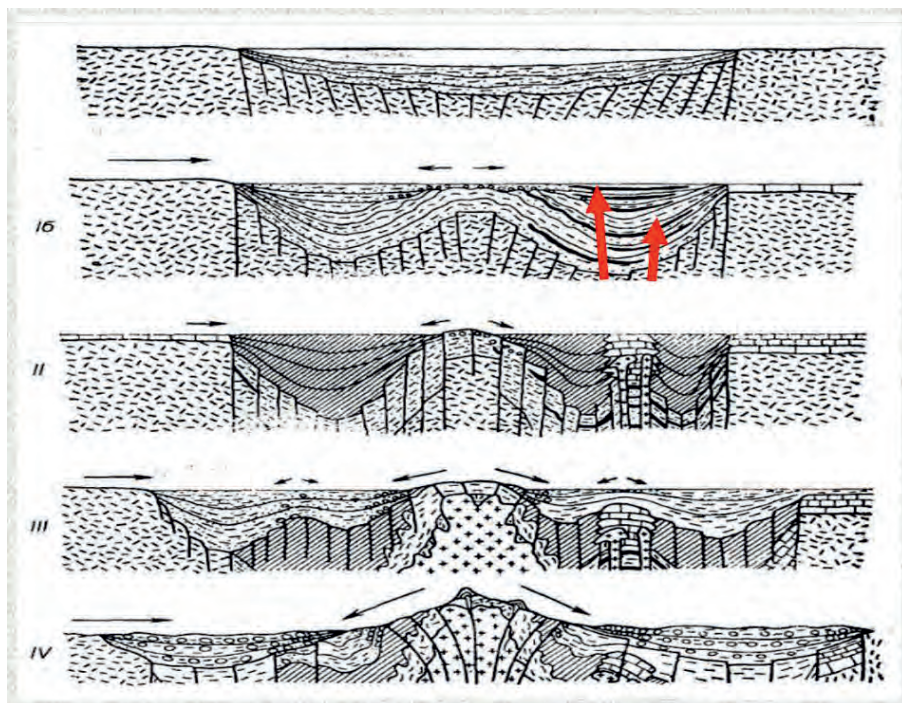
Геосинклинальная гипотеза

В первой половине 20-го века, несмотря на появление гипотез расширяющейся Земли, пульсирующей Земли и дрейфа континентов, подавляющее большинство геологов оставались фиксистами и не допускали больших горизонтальных перемещений континентов и других блоков земной коры. Фиксисты исключали изменение размеров Земли в ту или иную сторону в течение последних миллиардов лет.

Образование горных массивов фиксисты объясняли спонтанными прогибаниями и воздыманиями участков земной коры. В теории геосинклиналей, которая разрабатывалась длительное время до 1980-х годов, подразумевалось, что в каких-то областях основание земной коры сначала начинает прогибаться и растрескиваться, и в образуемый прогиб начинается снос осадочного материала и его накопление, часто мощностью несколько км (рис.3). И это занимает многие миллионы лет...

Далее происходит инверсия, и центральная часть прогиба начинает воздыматься, а по трещинам в приповерхностные слои могут прорываться магматические породы. Подъём глубоко залегающих кристаллических пород продолжается и заканчивается образованием их выступа – или горной системы со смятыми осадочными породами на поверхности земли и краевыми прогибами с двух сторон.

После завершения этапа воздымания начинается разрушение выступа кристаллических пород в результате эрозии. Горный массив или складчатая система постепенно выравнивается, и геологи-



▲ Рис. 3. Стадийность в геосинклинальной концепции развития горных систем.

ческое развитие региона на этом заканчивается.

Как мы видим, в этой геосинклинальной концепции для образования горных систем не требуются силы сдвливания и горизонтальные перемещения земной коры. Более того, вместо общего сжатия, на завершающих стадиях геосинклинального цикла допускалось некоторое растяжение земной коры.

Ранее к геосинклинальным областям относили все горные системы на Земле: и наши старые, палеозойские Уральские горы возрастом 300-350 млн. лет, и молодые горы кайнозойского Альпийско-Гималайского пояса возрастом 50 млн. лет и меньше, и которые продолжают расти в наше время. Но считалось, что когда-то, в начальные геологические периоды, вся поверхность Земли была геологически активной и покрыта геосинклиналями. А нынешние платформы представляют собой те территории, где подземные движения практически затихли.

Проблема в том, что в теории геосинклиналей нет убедительных причин то прогибания какого-то региона и накопле-

ния мощных осадочных толщ, то подъёма глубинных кристаллических пород с образованием горных хребтов и вулканов на поверхности. Наиболее простым решением было бы дополнить теорию геосинклиналей теорией неуклонно расширяющейся Земли. Ведь растяжение земной поверхности должно вызывать образование депрессий в ослабленных тектонических зонах и накопление в них осадочных толщ. Но почему образование депрессий сменяется подъемом пород верхней мантии, выдавливающих вверх глубинные кристаллические слои земной коры и приводящих к поднятию горных массивов, обрамлённых краевыми прогибами?

Водородная продувка мантии и дегазация Земли

Происхождение мощных, вертикально направленных сил в верхней мантии можно объяснить её водородной продувкой, при которой происходит разуплотнение и размягчение мантии благодаря образованию разнообразных химических соединений водорода с

кислородом, серой, углеродом – то есть благодаря образованию воды, сероводорода, метана и куда более сложных химических соединений и углеводов. Магма, обогащённая смесью различных водород-содержащих флюидов, образует диапиры и выдавливает горы.

Предполагается, что водород выходит из ядра Земли, проходит через всю мантию и частично выходит в атмосферу – как в тектонически активных областях, так и на древних платформах. Пионером в изучении выходов природного водорода в атмосферу и его роли в эволюции Земли был доктор геол.-мин. наук В.Н.Ларин, автор книги «Наша Земля. Происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли» [2]. В настоящее время исследования в этом направлении продолжает доктор геол.-мин. наук В.Л.Сывороткин, книга которого имеет говорящее название: «Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы» [3]. Сывороткин показывает, что природный водород практически повсеместно выходит в атмосферу из-под земли, и это куда более важная причина разрушения озонового слоя, чем наша промышленность или животноводство. Дело в том, что лёгкий водород достигает стратосферы, вступает в реакцию с озоном, в результате чего образуется кислород и вода, а точнее кристаллы льда. Так что нет ничего странного в том, что озоновый слой сильно разрушается, например, вокруг Антарктиды, где никакой промышленности нет, но зато есть кольцо геологически очень активного рифтинга и спрединга в Южном океане.

Водородная дегазация Земли – это удивительное и грозное геологическое явление, которому наконец-то начинают уделять должное внимание на государственном уровне. В 2023 году природ-

ный водород был включен в Общероссийский классификатор полезных ископаемых.

В некоторых европейских странах уже проводятся поиски выходов и подземных скоплений природного водорода. В прошлом 2025-м году на ежегодной европейской конференции геочёных и инженеров (EAGE) прозвучал доклад о перманентной установке сейсмических датчиков в горах, в Пиренеях, для длительных наблюдений и построения детальных геологических моделей.

Доминанта горизонтальных или вертикальных сил и перемещений в земной коре?

В 1970-е годы в геодинамике силу начали набирать мобилисты, которые предложили объяснять горообразование исключительно столкновениями блоков земной коры разного размера и их подныриваниями друг под друга. Но геологическое строение большинства складчатых областей не подтверждает простые предположения мобилистов, что эти области когда-либо попадали в тиски.

Мне очень понравились рассуждения известного советского геолога, В.Н.Шолпо, докторская диссертация которого была посвящена геодинамике Большого Кавказа. Одна из его самых важных и увлекательных книг называется «Земля раскрывает свои тайны» [4]. Шолпо полагал, что на примере Большого Кавказа видно, что в центральной части горной области – то есть там, где деформации пород максимальны, на поверхности обнажаются наиболее древние слои осадочных пород, которые перекрываются всё более и более молодыми при удалении к окраинным частям складчатой области. Эти закономерности достаточно типичны, и их можно увидеть не только на Кавказе.

Шолпо писал: «Как ни заманчиво представлять себе, что все изгибы пластов, все складки вызваны горизонтально направленными сжимающими усилиями, приложенными с флангов к складчатой области, от этого придётся отказаться. Если бы дело обстояло таким образом, то именно по краям складчатой области, т.е. возле жёстких упоров, должна была бы наблюдаться максимальная деформация пород и наиболее интенсивная складчатость. В природе же существуют обратные соотношения. В тот момент, когда начинает расти и развиваться центральное поднятие, оно окружено вовсе не сжимающими жёсткими плитами, а прогибающимися участками земной коры».

Тектоническая карта южной части Западной Европы и передней Азии имеет мозаичный вид, и сторонники теории тектоники плит выделяют здесь десятки разнородных малых плит – как преимущественно морских, так и преимущественно континентальных (рис.4). Весь

этот регион должен находиться под давлением двух сближающихся главных плит – Африканской и Евразийской. И тогда складчатые области Альпийско-Гималайского пояса должны быть вытянуты в широтном направлении. Но на деле всё гораздо сложнее. В частности, Карпато-Паннонская малая плита обрамлена границами сжатия почти со всех сторон, и затруднительно объяснить это «коллизиями» больших и малых плит.

Переход от фиксизма к мобилизму

Как известно, в 1970-е годы начался бурный переход от фиксизма к мобилизму в Европе и в Америке, а в 1980-е годы и в нашей стране. Основой разворота геологов в сторону мобилизма стали важнейшие открытия, сделанные в мировом океане.

Ещё в 1950-е годы на дне океанов были обнаружены полосовые магнитные аномалии с прямой и обратной намагниченностью, симметричные срединно-океаническим хребтам. А затем, при выполнении американцами программы

▼ Рис. 4. Малые плиты Альпийско-Гималайского пояса [Ушаков и др., 1984].





▲ Рис. 5. Схематическое изображение активной континентальной окраины и зоны субдукции.

«Верхняя мантия», в океанах были пробурены сотни скважин – с проникновением в донные породы до полутора км. Конечно, этого не хватило, чтобы достать до мантии, но зато образцы базальтов со дна океанов позволили установить, что возраст дна систематически увеличивается от срединных хребтов к окраинам океанов. Стало очевидно, что расширение океанов – или «спрединг» по-английски – это мощный планетарный процесс, ускоряющийся в последние десятки млн. лет. Как же тогда придерживаться модели Земли неизменных размеров, если во всех океанах наблюдается расширение?

Мобилисты искали, где может происходить сокращение земной поверхности, компенсирующее спрединг, и пришли к выводу, что это зоны Бенъофа или наклонные зоны с очагами землетрясений – в основном, вокруг Тихого океана. Предположительно, на активных окраинах континентов океаническая литосфера затаскивается конвективными потоками в мантию на глубины в сотни км или даже до самого ядра Земли. Это назвали субдукцией (рис.5).

Но нетрудно подсчитать, что суммарная длина доказанных зон расширения земной поверхности на дне океанов почти в два раза больше длины предполагаемых зон субдукции. Что же делать? Как обеспечить равенство процессов образования и уничтожения земной коры?

Был найден такой выход: к зонам субдукции на море были добавлены зоны столкновения («коллизии») на суше. К зонам сжатия земной коры отнесли весь Альпийско-Гималайский складчатый пояс. В частности, возникновение Гималаев, самых высоких гор на Земле, стали объяснять столкновением Индии с Азией.

Согласно общепринятой ныне гипотезе, еще 50-60 млн. лет назад Гималаев не было, и Индию отделял от Азии огромный палеоокеан Тетис. Считается, что при планомерном движении Индии в сторону Азии, она по дороге полностью вдавила тонкую океаническую кору Тетиса в мантию и врезалась в Азию примерно 40 млн лет назад. Какие аргументы обычно приводятся для обоснования того, что Гималаи действительно поднялись из-за столкновения Индии с Азией? Геофизика-

ми установлено, что под Гималаями земная кора вдвое толще – не 30-35 км, как обычно под континентами, а 70 или даже 80 км. И это объясняют тем, что кора Индийской плиты была затянута под кору Евразийской плиты в области Гималаев и Тибета.

Но есть проблема с предполагаемым затягиванием Индостанского микроконтинента под Евразию: плотность литосферы составляет менее 3 г/см³, в то время как плотность в верхней мантии оценивается в 3,3 г/см³, а плотность в нижней мантии увеличивается до 5,5 г/см³. Это исключает возможность погружения литосферы глубоко в мантию – и для оправдания таких схем субдукции сначала надо пересмотреть общепринятую плотностную модель Земли.

Ещё один любопытный факт – это выгибание Гималаев навстречу удару. Такое выгибание скорее читается как результат процессов растяжения в этом регионе и медленном отходе Индии на юг – скажем, со скоростью около 1 см в год...

И очень вероятно, что по аналогии с Персидским заливом, обрамлённым низменностями на юге и горами на севере, предгорный прогиб перед Гималаями будет увеличиваться, и со временем в бассейне реки Ганг образуется вытянутый морской залив.

Отсутствие биологической изолированности Индии в эоцене

Препятствием для обоснования пересечения Индией палеоокеана Тетис оказался тот факт, что в индийском эоценовом янтаре было обнаружено глобальное, можно сказать почти всемирное сходство насекомых и других типов палеофауны, и очень слабые признаки биологической изолированности Индии [5]. Ведь согласно доминирующей ныне гипотезе, примерно 100 млн лет назад Индия оторвалась от Африки и Мадагаскара и стремительно двинулась на север через океан

Тетис. Но, к большому удивлению авторов данного исследования, сходства с африканской и малагасийской фауной в индийском янтаре нет! Авторы упомянутого исследования говорят, что их результаты поддерживают гипотезы о том, что Индию могли соединять с Азией некие мосты – скажем, архипелаги островов – или что она столкнулась с Азией раньше: в палеоцене, то есть 60-65 млн. лет назад, до образования изученного янтара.

Какая геодинамическая концепция наиболее перспективна?

Итак, какие же движения доминируют в земной коре и приводят к образованию гор – вертикальные или горизонтальные? Фиксисты выступали за вертикальные движения земной коры, и горные массивы у них образовывались без значительного изменения площади активной тектонической области. Доминирующие ныне мобилисты, то есть сторонники теории тектоники плит, выступают за горизонтальные движения, и горные массивы у них являются результатом столкновения, корабления или подныривания одних блоков земной коры под другие. Являются ли эти теории несовместимыми?

Сторонники неуклонного расширения Земли разрабатывают компромиссные модели. Ведь есть горные цепи, которые, без сомнения, возникают в результате расширения океанского дна. Это срединно-океанические хребты – суммарно это самые длинные подводные горные цепи на нашей планете, протяжённостью порядка 80000 км. Эти подводные хребты возвышаются на 2-3, а иногда и на 4 километра над океанскими равнинами и местами поднимаются над водой в виде скалистых островов и вулканов.

Сторонники расширения Земли не совсем согласны с моделью спрединга, предлагаемой мобилистами. Конвективные потоки в мантии могут быть лишними, и вполне достаточно пассивного рифтинга, который обусловлен водород-

ной продувкой мантии и её разуплотнением, в результате чего земная кора приподнимается, трескается и разламывается на крупные блоки без помощи центральных восходящих потоков магмы.

Часто противники гипотез растущей Земли приводят аргумент, который был приведён и в книге С.У.Кэри [1]. Он пишет, что есть распространённое мнение, что под действием равномерно распределённых растягивающих усилий в мантии, земная кора должна была растрескаться на блоки одинаковых размеров, а на деле континенты имеют разные площади и разную конфигурацию. Но надо учесть, что формирование земной коры шло постепенно, и с архейских времён для континентов характерна структурно-возрастная зональность. Значит, на маленькой Земле юрского периода (перед расколом Пангеи) не было однородной континентальной коры. Да и нынешняя Земля – геоид – не идеальна по форме и содержанию, поскольку на ней есть выступы и вмятины амплитудой до ста метров – выступы в районе острова Исландия в северной части Атлантики и в районе острова Новая Гвинея, а вмятина – в Индийском океане. Есть и крупные гравитационные аномалии, отражающие неоднородности в мантии и, может быть, в ядре.

Поэтому старый футбольный мяч дает адекватную картину того, что мы сейчас видим на Земле.

Покрышка мяча обычно трескается с одного бока, и в случае Земли это похоже на образование Тихого океана, который рос быстрее других, и где доля старой океанической коры теперь наибольшая по сравнению с другими океанами. Причём образовалась эта ранняя часть Тихого океана, которая теперь находится на его западной окраине, вовсе не из-за линейного рифтинга и спрединга, который доминирует в океанах в наше время, а из-за появления почти изометричной топо-

депрессии 180-160 млн лет тому назад, в юрском периоде.

Таким образом, все известные модели горообразования на нашей планете обладают своими плюсами и минусами, и геологам еще предстоит разработать непротиворечивую геодинамическую теорию.

Литература

1. Кэри С.У., В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной: история догм в науках о Земле. Пер. с англ. – М., Мир, 1991. – 447 с.
2. Ларин В.Н., Наша Земля. Происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли. – М., 2005, 242 с.
3. Сывороткин В.Л., Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. – М.: ООО "Геоинформцентр", 2002. – 250 с.
4. Шолпо В.Н., Земля раскрывает свои тайны. – М., Недра, 1979. – 160 с.
5. Biogeographic and evolutionary implications of a diverse paleobiota in amber from the early Eocene of India. Jes Rust et al. – PNAS journal, October 26, 2010. Vol.107 | no. 43, p.18360–18365.

Подробнее об авторе



Череповский
Анатолий Викторович

Член редакционной коллегии журнала «ПСРГ», геофизик-сейсморазведчик, к.т.н. Автор более 30 научных статей, монографии «Наземная сейсморазведка нового технологического уровня» (2017 г.) и Англо-русского/русско-английского словаря по прикладной геофизике (2008 г.). Лектор ЦДУ РАН и популяризатор науки.