

# КОМПЕНСАЦИОННАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ И НЕОДНОРОДНОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ КАК ПРИЧИНА ИЕРАРХИИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М.А. Гончаров

Геологический факультет Московского Государственного Университета (МГУ)

gonch@dynamo.geol.msu.ru

Главная проблема геодинамики 21-го века – это создание собственной теоретической базы, которая, не игнорируя и в нужной мере используя законы механики сплошной среды и механики твердого тела, в то же время была бы основана на свойствах именно геологической среды, с учетом весьма длительного времени протекания процессов в этой среде. Геологическую сплошную среду характеризуют пять ее *фундаментальных* свойств: 1) непрерывность; 2) расслоенность на отдельные геосферы, толщи и слои; 3) иерархия геосфер, толщ и слоев; 4) разрывно-пластическая реакция на нагружение; 5) многофазность (сочетание твердой, жидкой и газовой фаз). Ниже перечисляются следствия, вытекающие из перечисленных свойств геологической среды.

**Непрерывность.** В соответствии с постулатами механики сплошной среды, *тектоническое течение* представляет собой сочетание *поступательного движения, вращения и деформации* элементарных объемов геологической среды. Непрерывность этой среды является причиной *компенсационной самоорганизации* тектонического течения, частным случаем которой является конвекция (Гончаров и др., 2005). Эта самоорганизация заключается в компенсации восходящих тектонических движений нисходящими, вертикальных движений – горизонтальными, глубинных горизонтальных движений – поверхностными горизонтальными движениями противоположного направления (в частном случае – переносом обломочного и растворенного материала от поднятий к впадинам в пределах гидросферы и атмосферы) и в компенсации деформаций горизонтального растяжения – деформациями горизонтального сжатия. Эта компенсационная самоорганизация осуществляется в пределах «геодинамических» тел, которые по аналогии с упомянутой конвекцией можно называть *геодинамическими ячейками*. Совокупность таких ячеек представляет собой *геодинамическую систему* (ГС), функционирующую в пределах геосферы или толщи, охваченной тектоническим течением. Смежные по горизонтали ячейки «сцеплены» наподобие шестерен в часовом механизме, поскольку вращение вещества в них осуществляется в противоположных направлениях; в зонах их «сцепления» имеет место восходящий или нисходящий тектонический поток. В то же время каждая ячейка состоит из компенсирующих друг друга (как по горизонтали, так и по вертикали) *геодинамических доменов* горизонтального растяжения и горизонтального сжатия, расположенных в шахматном порядке.

Названная триада (система–ячейка–домен) демонстрирует *иерархическое чередование* относительно однородной (система), резко неоднородной (ячейка) и снова относительно однородной (домен) деформации геосферы или толщи, охваченной тектоническим течением. Относительная однородность деформации в пределах всей ГС имеет место постольку, поскольку примерно одинаковы составляющие ее ячейки. В пределах же ячейки деформация резко неоднородна, так как ячейка состоит из доменов с разным знаком деформации (растяжения или сжатия, см. выше). Внутри домена деформация снова отличается относительной однородностью.

Иерархическую триаду «система – ячейка – домен» можно обнаружить и в других областях геологии. Например, гранит как горная порода (относительно однородный состав) – участок шлифа гранита, где соприкасаются различные минеральные зерна (резко неоднородный состав)

– отдельное зерно (относительно однородный состав). В свою очередь, это зерно, будучи доменом в породе, является одновременно системой более мелкомасштабного ранга, в которой участок с несколькими различными ионами кристаллической решетки является ячейкой, а отдельный ион – доменом данного ранга.

**Расслоенность.** Расслоенность геологической сплошной среды на отдельные геосферы или толщи, различающиеся по своим деформационным свойствам (в первую очередь по плотности и вязкости), обуславливает *многоярусную самоорганизацию* ГС. При этом смежные по вертикали ячейки соседних геосфер (или толщ) кинематически взаимосвязаны. В том случае, когда ширина ячеек в смежных геосферах одинакова, эти ячейки «сцеплены» по принципу смежных шестерен в часовом механизме. В результате на их границе, в зоне «сцепления», имеет место однонаправленный горизонтальный поток, на фронте которого в верхней геосфере осуществляется компенсирующий его восходящий поток, а в нижней геосфере – нисходящий поток. В тылу же этого горизонтального потока ситуация обратная (нисходящий поток в верхней геосфере и восходящий – в нижней). В качестве примера можно привести формирование поднятий и изостатически компенсирующих их «корней» на фронте названного горизонтального потока и впадин с изостатически компенсирующими их «антикорнями» в тылу этого потока, что особенно характерно для орогенных поясов. Другой случай – это когда ширина ячеек в верхней геосфере значительно меньше, чем в нижней геосфере. Компьютерное моделирование такой ситуации при двухъярусной конвекции (раздельно в нижней и верхней мантии) показало, что однонаправленное «сцепление» нижней и верхней ячейки ускоряет конвективное движение в верхней ячейке, а разнонаправленное «сцепление», наоборот, его замедляет (Лобковский, Котелкин, 2000). Это приводит, в частности, к асимметрии скорости спрединга в срединно-океанических хребтах (Гончаров, 2006).

**Иерархия.** Мантия как часть всей Земли в целом, верхняя мантия как часть мантии, геосфера астеносфера+литосфера, или тектоносфера (Белоусов, 1989), как часть верхней мантии, осадочный чехол как часть земной коры, отдельные осадочные толщи как части чехла, отдельные пачки как части толщ, отдельные слои как части пачки, отдельные зерна как части слоя – вот далеко не полный перечень такой иерархии. Эта иерархия геосфер и толщ позволяет рассматривать геодинамический домен в системе  $n$ -го ранга как ГС более высокого (более мелкомасштабного)  $(n+1)$ -го ранга (Гончаров, 2006). По этому признаку можно выделить ГС конвективного и не-конвективного рядов (Гончаров и др., 2005).

ГС *конвективного ряда* функционируют в иерархически соподчиненных геосферах: ГС–0 – во всей Земле; ГС–1 – во всей мантии (с корой); ГС–2 – в верхней мантии (с корой); ГС–3 – в тектоносфере (астеносфера+литосфера); ГС–4 – в осадочном чехле (*таблица*). Каждая ГС коррелируется во времени с геодинамическим циклом соответствующего ранга (Хаин, Гончаров, 2006). Отношение мощности геосфер, в которых функционируют ГС разного ранга, к длительности геодинамических циклов соответствующего ранга является величиной с весьма узким диапазоном значений –  $0,45 \pm 0,10$  см/год – и поэтому может быть квалифицировано как *внеранговая «геодинамическая константа»* (Гончаров, 2006). Это отношение имеет размерность скорости. Поэтому его *формальный* физический смысл – это *усредненная по времени* скорость подъема малого элементарного объема геосферы от подошвы к кровле этой геосферы в течение геодинамического цикла. Эту скорость можно считать характерным значением скорости восходящего потока конвекции в любой из перечисленных геосфер. Ее физическая и геологическая реальность контролируются тем, что на ее основе получены реальные (с точностью до порядка) оценки характерной скорости дрейфа континентов и спрединга. Средняя скорость деформации, в отличие от вышеназванной средней скорости тектонического течения, постоянством не отличается. Она обратно пропорциональна мощности геосферы соответствующего ранга. С повышением ранга не только геосфера имеет все меньшую мощность, но и соответствующая ГС функционирует во все более

локальных ареалах. Это является конкретным воплощением абстрактной компьютерной модели «каскадной» конвекции в геосферах Земли (Пущаровский и др, 1989). Увеличение скорости деформации во все более локальных ареалах является одним из выражений эффекта «слабого звена». Сущность этого эффекта наиболее отчетливо проявляется при рассмотрении гораздо более мелкомасштабных процессов деформации в земной коре, при сочетании обширной, но медленной пластической деформации с более локальной, но быстрой разрывной деформацией.

### Геодинамика иерархически соподчиненных геосфер

Ранг ГС	Геосфера, $h$ (км)	Ареал	Процессы, структуры	Ранг ГЦ, $t$ , Ма	$h/t$ , см/год
ГС-0	Вся Земля <b>6370</b>	Повсеместно	Западная и северная компоненты дрейфа континентов, связанные с поднятием Антарктиды и опусканием Арктики по «правилу буравчика»	Цикл меридионального дрейфа, <b>1600</b>	<b>0,40</b>
ГС-1	Вся мантия <b>2900</b>	Повсеместно	Созидание и распад суперконтинентов	Циклы Вилсона, <b>800</b>	<b>0,36</b>
ГС-2	Верхняя мантия <b>660÷670</b>	Под океанами	Субдукция, коллизия, спрединг	Циклы Бертрана, <b>175</b>	<b>0,38</b>
ГС-3	Астеносфера + литосфера	В зонах повышенного теплоточка (субдукции, коллизии, спрединга)	Двухъярусная конвекция:		
	ГС-3а <b>300÷400</b>		В зонах субдукции и коллизии – мантийные диапиры, впадины над ними, дугообразные желоба и зоны Бенъофа или центробежно-вергентные складчато-покровные сооружения на периферии	?	?
	ГС-3б <b>100÷220</b>		В зонах коллизии – системы линейных продольных поднятий с «корнями» и впадин с «антикорнями»	Циклы Штилле, <b>30</b>	<b>0,53</b>
	ГС-3в <b>50÷100</b>	В зонах спрединга – системы линейных поперечных поднятий с «корнями» и впадин с «антикорнями»	?	?	
ГС-4	Осадочный чехол <b>5÷15</b>	В зонах коллизии	Термофлюидная конвекция. Региональный метаморфизм. Антиклинории и синклинории, складки	Фазы складчатости, <b>1÷3</b>	<b>~ 0,50</b>

**Примечание.** ГС – геодинамические системы. ГЦ – геодинамические циклы; циклы Вилсона, Бертрана и Штилле – по В.Е. Хаину (Хаин, Гончаров, 2006).  $h$  – мощность геосферы;  $t$  – длительность цикла; Ма – млн. лет.

ГС *не-конвективного ряда* характерны для той иерархической последовательности геологических тел, которая «надстраивает» иерархию геосфер, фигурирующую в таблице

(Гончаров и др., 2005). В этой последовательности также можно наметить иерархическое чередование однородной и неоднородной деформации. *Толща* слоев в процессе складкообразования деформирована относительно однородно, поскольку примерно одинаковы возникающие при этом складки (домен в упомянутой в таблице ГС–4 и одновременно ГС–5). Та же толща в пределах отдельно взятой складки деформирована неоднородно: крылья этой складки вращались в противоположные стороны (ячейка в ГС–5). *Пачка* слоев на крыле складки деформирована относительно однородно (домен в ГС–5 и одновременно ГС–6). А осадочный ритм в этой пачке деформирован неоднородно: кливаж в более вязком слое образует со слоистостью больший угол, чем в менее вязком слое (ячейка в ГС–6). *Порода* в отдельном слое деформирована относительно однородно (домен в ГС–6 и одновременно ГС–7). А вот отдельное зерно вместе с более податливым цементом деформировано неоднородно (ячейка ГС–7).

**Разрывно-пластическая реакция на нагружение.** Один и тот же разрыв (трещину) можно трактовать как элемент механизма пластической деформации *более крупного* геологического тела, альтернативу пластической деформации *соразмерного* тела и компенсирующий координатор пластической деформации *более мелких* тел (Гончаров и др., 2005) – это также иерархическое чередование относительно однородной и резко неоднородной деформации. Такое сочетание *компенсационной, иерархической и разрывно-пластической самоорганизации* ГС объясняет возникновение структурных парагенезов сжатия и растяжения на разных концах крыла сдвигового разрыва или разлома. Их отсутствие на другом крыле является индикатором неподвижности этого крыла. Это дает ключ к разрешению одного из острых вопросов кинематики разрывных нарушений – определению направления *абсолютного* перемещения крыльев разрыва, в частности, надвиго- или поддвигообразования.

**Многофазность.** В пределах геодинамической ячейки в доменах сжатия происходит растворение под давлением или расплавление отдельных компонентов пород, которые затем отлагаются в соседних доменах растяжения. Сочетание *компенсационной и многофазной организации* ГС обеспечивает парадоксальный, на первый взгляд, феномен растворения или расплавления горных пород в домене горизонтального сжатия. Это сжатие провоцирует дилатансию (увеличение объема), снижение давления при неизменной температуре и переход части породы в раствор или расплав. В то же время в обстановке сжатия растворы и расплавы отжимаются в расположенный выше домен горизонтального растяжения, где и происходит кристаллизация раствора или расплава (магмы).

***Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-05-64547).***

#### *Список литературы*

- Белюсов В.В. Основы геотектоники. 2-е изд. М.: Недра, 1989.
- Гончаров М.А. Количественные соотношения геодинамических систем и геодинамических циклов разного ранга // Геотектоника, 2006, № 2, с. 3–23.
- Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику. М.: Книжный дом «Университет», 2005.
- Лобковский Л.И., Котелкин В.Д. Двухъярусная термохимическая модель конвекции в мантии и ее геодинамические следствия // Проблемы глобальной геодинамики. М.: ГЕОС, 2000, с. 29–53.
- Пуцаровский Ю.М., Новиков В.Л., Савельев А.А., Фадеев В.Е. Гетерогенность мантии и конвекция // Геотектоника, 1989, № 5, с. 5–13.»
- Хаин В.Е., Гончаров М.А. Геодинамические циклы и геодинамические системы разного ранга: их соотношение и эволюция в истории Земли // Геотектоника, 2006, № 5, с. 3–24.