

ГЕОЛОГІЯ

ГЛОБАЛЬНЫЙ ТЕКТОНИЧЕСКИЙ ЦИКЛ: ШАГ ОТ КИНЕМАТИКИ ПЛИТ К ИХ ДИНАМИКЕ

И. Попадюк

(Украинский государственный геологоразведочный институт)

ВВЕДЕНИЕ

Тектоника плит как концепция, описывающая фундаментальнейший геодинамический процесс глобального перемещения литосферных плит, остается все еще кинематической интерпретацией глобальной тектоники. Это означает, что, в строго физическом смысле, геодинамики литосферы на сегодня не существует. Как известно, динамика – раздел механики, посвященный изучению движения тел под действием приложенных сил, кинематика же оперирует только геометрическими свойствами движений без учета их масс и действующих на них сил. Таким образом, пока тектоника плит будет оперировать только понятиями скоростей и координат перемещений, она не сможет претендовать на роль полноценной теории плит, ибо сами плиты есть физические тела, обладающие определенной массой. Сама по себе теоретическая неполнота тектоники плит, в обозначенном выше смысле, возможно, и не вызывала бы большого интереса среди подавляющего числа специалистов по геодинамике (в частности исторической геодинамике, геотектонике), если бы не то обстоятельство, что практика глобальных тектонических реконструкций сталкивается с возрастающим числом ситуаций, где механизмы тектоники плит не дают удовлетворительного решения.

Лучшим, из известных автору этой работы, обзором тех трудностей, с которыми сталкивается классическая тектоника плит при выполнении глобальных тектонических реконструкций принадлежит П.А. Зиглеру [1]. Анализируя геологическую эволюцию внеальпийской Европы в контексте глобального взаимодействия плит, он отмечал те моменты, где, оставаясь в рамках тектоники плит, невозможно дать удовлетворительную интерпретацию реально существующих тектонических структур. В качестве примера приведем характерный пассаж из этой работы. «Также и позднелюрское-раннемеловое вращение Евразии по часовой стрелке в течение ранних фаз открытия Цент-

ральной Атлантики, завершение этого движения, распространение в северном направлении рифтогенеза и позднее спрединг Арктического-Северо-Атлантического сектора, *которые были одновременно с главными фазами орогенической активности* как в Канадско-Аляскинских Кордильерах, так и в Альпийско-Средиземноморском секторах, *требуют единого кинематического объяснения*, для которого механизмы всасывания и давления хребтов, похоже, не дают удовлетворительного решения» (I, стр. 172, перевод и курсив мой, - И.П.).

На этом примере очевидно, что одновременное формирование этих структур сжатия и растяжения уже есть непреодолимым препятствием для классических механизмов тектоники плит, хотя этим не исчерпывается список проблем, возникающих при попытках последовательного рассмотрения тектонической эволюции литосферы в фанерозое. Поэтому, завершая свой анализ П.А. Зиглер пишет: «Сейчас наступило время адресовать эти проблемы специалистам по физическому моделированию мантийной конвекции и подождать их результатов» (I, стр. 174).

Таким образом классическая тектоника плит достигла такого уровня в своем развитии, когда четко обозначились пределы ее возможностей, неизбежно ограниченные ее концептуальной основой, т.е. тем, что она изначально оперировала только понятиями кинематики. Переход от кинематики плит к их динамике, однако, не может быть осуществлен без того, чтобы не подчинить тектонику плит фундаментальному закону динамики – закону сохранения момента количества движения.

Целью этой работы есть показать концептуальную схему глобального тектонического цикла (ГТЦ), которая позволяет подчинить тектонику плит закону сохранения момента количества движения и тем самым открывает принципиальную возможность перехода от кинематики плит к динамике. На мой взгляд, эта схема вообще является простейшей моделью, позволяющей

описать поведение литосферы в понятиях динамики, что представляется важным для построения в последующем численных моделей геодинамики, с которыми связываются ожидания в решении целого ряда геотектонических проблем.

ГЛОБАЛЬНЫЙ ТЕКТОНИЧЕСКИЙ ЦИКЛ (ГТЦ). КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ СХЕМА

Модель основана на следующих предположениях:

На определенный момент времени t_x литосфера (как совокупность плит) находится в не осуществляющих перемещений ни относительно друг друга, ни относительно мантии. Это означает, что

литосфера находится в состоянии коротации с мантией.

Мантия на тот же определенный момент времени t_x представляет собой гомогенный (не-стратифицированный слой) (рис. а).

Предлагается рассмотреть последовательность физических событий, которые будут происходить в этой системе, если в некий момент времени t_z начнет происходить плотностная дифференциация мантии в два слоя (легкий и тяжелый).

Эта последовательность событий может быть представлена следующим образом:

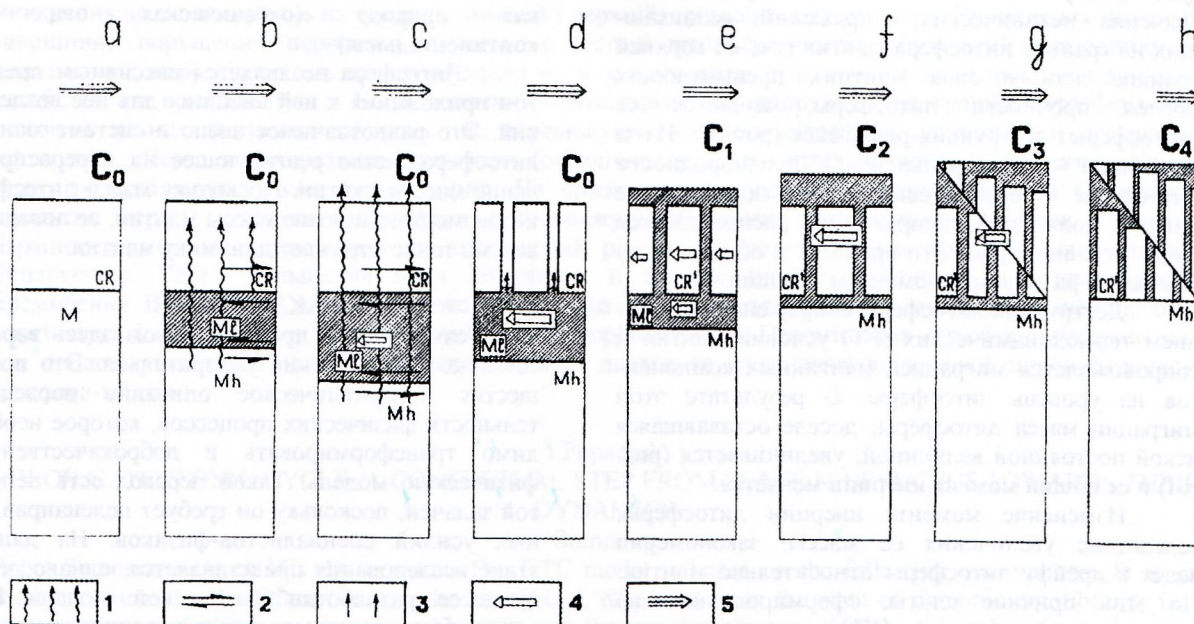


Рис.1. Общая схема глобального тектонического цикла: фрагмент произвольного сечения системы литосфера-мантия; без соблюдения масштаба.

Система литосфера (CR) – мантия (M) находится в состоянии динамического равновесия (а). Отток тепла из мантии обуславливает дифференциацию мантии на легкий (ML) и тяжелый (MH) слои. Перераспределение углового момента между разделяющимися слоями приводит к возникновению механических напряжений на границе литосфера-мантия (б). Увеличение напряжений (с) обуславливает деструкцию литосферы (д) и миграцию мантийного вещества на уровень литосферы. Увеличение массы литосферы (е, ф), сопровождается изменением момента инерции ($C_1 \neq C_2$), что ведет к перемещению литосферы относительно мантии (е). Плиты, сформированные на деструктивной стадии цикла и обладающие разными моментами инерции, сталкиваются в процессе дрейфа (ф, г). Движения плит будут продолжаться до установления нового состояния равновесия в системе литосфера-мантия (h).

1 – тепловой поток; 2 – механические напряжения; 3 – миграция мантийного вещества; 4 – вектор перемещения литосферы и/или ее элементов (плит); 5 – вектор вращения Земли.

Индексы C_0 – C_4 : величины момента количества движения литосферы на разные моменты времени.

Разделение мантии на два слоя (легкий и тяжелый), в соответствии с законом сохранения момента количества движения, приведет к перераспределению угловых моментов между разделяющимися слоями. В результате этого перераспределения на верхней и нижней границах легкого слоя возникнут поля напряжений. Это тождественно нарушению первичного состояния равновесия рассматриваемой системы (рис. b).

Любой термодинамический режим мантии (будь-то кондуктивный или конвективный), позволяющий аккумулировать (наращивать) легкий слой, будет увеличивать динамическую нестабильность всей системы литосфера-мантия (рис. c). При достижении некоего критического значения механических напряжений, возникающих на границе литосфера-мантия (т.е. на верхней границе легкого слоя мантии), превышающих предел прочности литосферы, начнется ее (литосферы) деструкция-рифогенез (рис. d). Из-за первичной латеральной неоднородности литосферы (океанические, континентальные плиты) поля этих напряжений распределяется очень неравномерно. Это приведет к образованию разных по размерам и моментам инерции плит.

Деструкция литосферы сопряжена с изменением термодинамических (РТ) условий мантии и сопровождается миграцией мантийных компонентов на уровень литосферы. В результате этой миграции масса литосферы, доселе остававшаяся некой постоянной величиной, увеличивается (рис. c; f) и ее общий момент инерции меняется.

Изменение момента инерции литосферы, вследствие увеличения ее массы, закономерно ведет к дрейфу литосферы относительно мантии. По этой причине плиты, сформированные на деструктивной стадии ГТЦ и обладающие разными моментами инерции, будут отличаться абсолютными скоростями к траекториям перемещений. Это обуславливает возможность их столкновений (рис. g).

Дрейф литосферы относительно мантии будет продолжаться до тех пор пока не будет восстановлено некое новое динамическое равновесие в системе литосфера-мантия (рис. h), т.е. пока не будет достигнуто требование условия коротации (I).

Из этой схемы следует ряд важных в геологическом смысле положений:

Конвекция не является необходимым условием для перемещения плит, поскольку даже при кондуктивном оттоке тепла будет происходить эндогенная дифференциация вещества. Следовательно, будет происходить перераспределение

масс под литосферой, которое, в конечном итоге, скажется на динамике литосферы.

Первым геологически ощутимым результатом перераспределения мантийных масс (т.е. таким, который поддается регистрации геологическими методами) есть деструкция коры. Как только деструктивные структуры становятся способными выводить мантийное вещество на уровень литосферы, глобальная картина распределения сил в ней радикально меняется; все элементы этой системы (плиты) начинают искать новое местоположение, продиктованное изменившимся балансом масс (моментов).

Решающим в динамике каждой отдельной плиты есть ее момент инерции, а не ее геологическая природа (океаническая она или континентальная).

Литосфера не является пассивным предметом приложения к ней внешних для нее воздействий. Это равнозначимое звено в системе мантия-литосфера, четко реагирующее на перераспределение масс в мантии. Поскольку масса литосферы несоизмеримо меньше массы мантии, ее поведение весьма тонко отражает динамику мантии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Безусловно, в представленном здесь варианте модель ГТЦ весьма умозрительна. Это по существу алгоритмическое описание последовательности физических процессов, которое необходимо трансформировать в доброкачественную физическую модель. Такой перевод есть непростой задачей, поскольку он требует целенаправленных усилий специалистов-физиков. На данном этапе исследования представляется, однако, что в процессе разработки физической модели ГТЦ можно было бы использовать потенциал методов, разработанных в геофизической гидродинамике, поскольку она также работает с моделями, для которых существенную роль играет вращение всей системы и стратификация среды [2].

БЛАГОДАРНОСТИ

Я хочу выразить искреннюю признательность доктору геолого-минералогических наук С.С.Круглову, предложившему опубликовать эту далекую от завершенности работу в настоящем издании. Я признателен также доктору Петеру А.Зиглеру, переписка с которым помогла глубже понять те проблемы, с которыми сталкивается тектоника плит сегодня.

Литература

1. Geological Atlas of Western and Central Europe. 2-d edition by Peter A. Ziegler, 1990, Shell Internationale Petroleum Maatsch. B. V., 239pp.

2. Pedlosky J. Geophysical fluid dynamics. Springer-Verlag New York Inc., 1982 (Імеется русский

перевод – Педлоски Дж. – Геофизическая гидродинамика в 2-х т. М. Мир 1984, 811 с.

І. В. Попадюк

ГЛОБАЛЬНИЙ ТЕКТОНІЧНИЙ ЦИКЛ: КРОК ВІД КІНЕМАТИКИ ПЛИТ ДО ЇХ ДИНАМІКИ

Резюме

В даній роботі наведена схема Глобального тектонічного циклу (ГТЦ) – найпростішої концептуальної схеми, яка дозволяє описати поведінку літосферних плит в поняттях динаміки. Модель ГТЦ базується на наступних припущеннях: I) на деякий початковий момент часу T_x літосфера, як сукупність плит, перебуває в стані динамічної рівноваги, тобто літосферні плити не рухаються ні відносно себе, ні відносно мантиї; II) мантия на той самий початковий момент часу T_x є нестратифікованим однорідним шаром. Модель ГТЦ розглядає послідовність подій, які відбудуться в системі літосфера-мантия з деякого моменту часу T_s , коли розпочнеться розшарування мантиї за густиною на легкий та важкий шари. Ця послідовність подій є наступною: Розшарування мантиї на легкий та важкий шари, згідно до закону збереження кількості руху, призведе до перерозподілу кутового моменту між цими шарами. Результатом цього перерозподілу є виникнення полів напружень на обидвох (нижній і верхній) границях легкого шару. Виникнення цих полів є рівноцінним порушенню первинної рівноваги в системі літосфера-мантия. Будь-який термодинамічний режим мантиї, який призводить до нарощування маси легкого шару, буде зумовлювати зростання динамічної нестабільності всієї системи. Коли величини тектонофізичних напружень на границі літосфера-мантия досягнуть певних критичних значень, що перевищують міцність літосфери, почнеться її деструкція – рифтогенез. Через неоднорідність літосфери (океанічна та континентальна кора) поля тектонофізичних напруг розподіляються дуже нерівномірно. Це призводить до утворення плит різних за розмірами та моментом інерції. Деструкція літосфери супроводжується зміною термодинамічних умов в мантиї та міграцією мантийних компонентів на літосферний рівень. Як результат цих процесів, маса літосфери збільшується. Через збільшення маси літосфери, її момент інерції змінюється, що призводить до переміщення її відносно мантиї, а отже плити, що відрізняються різними моментами інерції, будуть розрізнятися і абсолютними швидкостями та траєкторіями руху. Переміщення літосфери відносно мантиї буде продовжуватись до моменту часу поки не буде досягнуто стану нової динамічної рівноваги в системі літосфера-мантия.

I. Popadjuk

GLOBAL TECTONIC CYCLE: A CONCEPTUAL STEP FROM PLATE KINEMATICS TOWARDS THEIR DYNAMICS

Summary

Global Tectonic cycle (GTC). Description. The GTC model is based on the following assumptions: 1) at some moment of time T_x the lithosphere (as the assemblage of plates) is in the state of dynamic equilibrium; i.e. no relative motions of plates as to one another and/or to the mantle. It means that the lithosphere is in the state of corotation with the mantle; 2) the mantle at some moment T_x is a homogenous non-stratified layer. If at some moments T_s the density differentiation of the mantle for light (asthenosphere) and heavy phases begins the succession of events will be as next. The mantle division into light and heavy phases will lead, in accordance to the law of the conservation of momentum, to the redistribution of angular momentum between the dividing phases. As the results of this redistribution, the fields of dynamic tensions will appear on the both (lower and upper) boundaries of the light layer. The appearance of tensions is identical to appearance of instability on the lithosphere-mantle boundary and to the disturbance of the lithosphere primary equilibrium. Any thermodynamic regime of the mantle, admitting the accumulation of the light phase under the lithosphere, leads to the growth of dynamic instability of the whole system. While achieving some critical values of the dynamic tensions, which appear on the lithosphere, oceanic and continental crust, the fields of tensions are distributed very unevenly. It leads to the formation of plates various in size and moments of inertia on the destructive stage of GTC. The destruction of the lithosphere is connected with the change of PT-conditions in the mantle and accompanied by the migration of the mantle components on the lithosphere level. As the result, the lithosphere increases. The change of lithosphere momentum of inertia, due to its mass increasing, consequently leads to its drift relative to the mantle. In this case the plates, formed on the destructive stage of GTC and possessing various moments of inertia differ in absolute velocity and in trace of the motion. These cause the possibility of their collision. The drift of the lithosphere relative to the mantle will continue till the restoration of momentum balance between the lithosphere and the mantle occurs, namely till new dynamic equilibrium in the system appears.