

В.Е. ХАИН И ПРОБЛЕМА СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ**Гончаров М.А.***Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; (m.a.gonch@mail.ru)*

«... в иерархии закономерностей эволюции Земли первое место принадлежит направленности, второе – цикличности» (В.Е. Хаин [12, с. 213]).

Из приведенной в эпиграфе цитаты видно, какую большую роль В.Е. Хаин придавал цикличности геологических процессов, которую он начал изучать более полувека назад [10]. В статье, вышедшей в свет после его кончины, он обозначил следующий иерархический ряд геологических циклов: «Все геологические и геодинамические процессы характеризуются циклической повторяемостью характерных для них событий. Геологическая история насчитывает подобные циклы примерно двух десятков порядков, начиная от суточных и сезонных, продолжая 11- и

22-летними циклами Чижевского, далее орбитальными циклами Миланковича и циклами трансгрессий и регрессий Вейла, и заканчивая тектоническими циклами Штилле, Бертрана, Вилсона и, наконец, циклами Гончарова ... с попеременным северным и южным дрейфом континентов...» [13, с. 758].

В данной работе мы остановимся только на цикличности, связанной с меридиональным дрейфом, созиданием и распадом суперконтинентов и фигурирующей в двух первых строках нижеприведенной *Таблицы*.

Геодинамика иерархически соподчиненных геосфер

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

Примечание. ГС – геодинамические системы. ГЦ – геодинамические циклы; циклы Вилсона, Бертрана и Штилле – по В.Е. Хаину [11]. *h* – мощность геосферы; *t* – длительность цикла; Ма – млн. лет.

Геодинамические циклы 1-го ранга.

Геодинамические циклы Вилсона (ГЦ-1, см. Таблицу) В.Е. Хаин впервые выделил в 2000 г. [11] как периодическое созидание и распад суперконтинентов. Наиболее точный «хронометр» такой периодичности – этапность формирования континентальной коры по распределению U/Pb-датировок циркона в докембрии: 2,7, 1,9 и 1,2 млрд. лет (рис. 1).

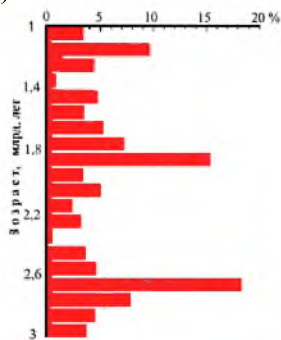


Рис. 1. Этапность формирования континентальной коры. По К. Конди (2000), из [15].

Если к этому ряду добавить цифру 0,32 млрд. лет (становление последней, вегенеровской Пангеи), то длительность циклов выстраивается в такой ряд: 0,8, 0,7 и 0,88 млрд. лет соответственно, в среднем $0,79 \pm 0,09$ млрд. лет. Сами же суперконтиненты ниже фигурируют в виде «числового» ряда (рис. 2).

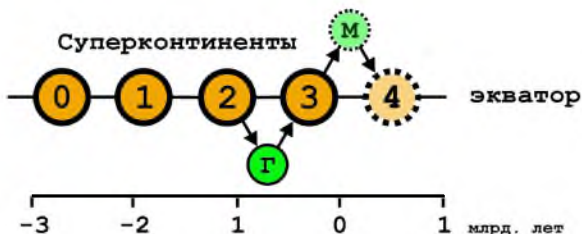


Рис. 2. Геодинамические циклы 0-го и 1-го рангов. По В.Е. Хаину и М.А. Гончарову [14].

Однако Н.А. Божко оценивает среднюю продолжительность цикла ровно вдвое меньшей цифрой – 0,395 млрд. лет [1]. А.М. Никишин [6] также принимает примерно вдвое меньшую цифру (0,375 млрд. лет) по критерию наступления крупнейших океанских трансгрессий. Дело в том, что в промежутках времени между существованием суперконтинентов (рис. 2), существовали «не полностью собранные» скопления сиалических масс, которые по терминологии В.Е. Хаина [например, 13]

получили наименование «мегаконтинентов» (в частности, Гондвана).

Геодинамический цикл 0-го ранга.

Суперконтиненты отличаются от мегаконтинентов не только «степенью собранности» сиалических масс. Другое существенное отличие – это расположение центров суперконтинентов в экваториальной зоне.

Такое расположение Пангеи-0 реконструировано посредством как теоретического анализа (рис. 3), так и по геологическим данным (рис. 4).

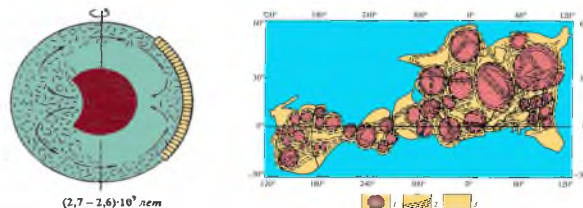


Рис. 3. Формирование Пангеи-0 в экваториальном поясе Земли. По [7].

Рис. 4. Реконструкция Пангеи-0 в экваториальном поясе Земли. По [2].

При распаде Пангеи-0 континенты «разошлись» не очень далеко, поэтому и последующая Пангея-1 также располагалась вблизи экватора [14]. Реконструкции Пангеи-2 (Родинии) (рис. 5) и вегенеровской Пангеи-3 (рис. 6) также указывают на аналогичное расположение. Тем самым подтверждается версия «глобального фиксизма» [14], когда континенты при своих перемещениях «привязаны» к оси вращения Земли.



Рис. 5. Реконструкция Пангеи-2 (Родинии). По Т. Торсвику и др. (1996), из [15].

На мегаконтиненты «экваториальная привязка» не распространяется. Распад Пангеи-2 (Родинии) происходил в обстановке южнополярного меридионального дрейфа континентов; этот дрейф завершился объединением части континентов в расположенный в Южном

полушарии мегаконтинент Гондвана («Г» на рис. 2; рис. 7). После этого направление дрейфа изменилось на северополлярное; это направление сохранилось и во время созидания и распада Пангеи-3 Вегенера и завершается объединением части континентов в предполагаемый будущий мегаконтинент («М» на рис. 2), расположенный в Северном полушарии.

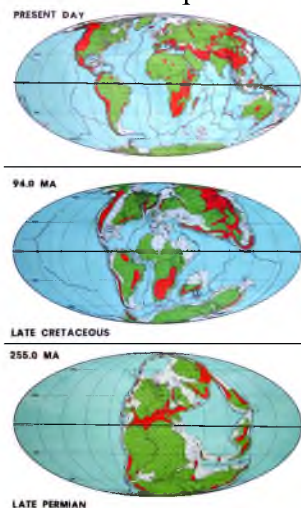


Рис. 6. Северная компонента дрейфа континентов после распада Пангеи-3 Вегенера. По [18].

Экстраполяция описанного сценария созидания и распада суперконтинентов и их меридионального дрейфа на будущее дает основание утверждать, что и центр будущего суперконтинента Пангеи-4 также расположится в экваториальной области (см. рис. 2). Т.е. существует цикл меридионального дрейфа континентов (ГЦ-0, см. *Таблицу*) общей продолжительностью около 1,6 млрд. лет – от созидания Пангеи-2 (Родинии) до созидания будущей Пангеи-4.

Возможный механизм сочетания созидания и распада суперконтинентов с меридиональным дрейфом континентов. Такое сочетание обеспечивается интерференцией соответствующих этим циклам конвективных геодинамических систем нулевого ранга (ГС-0) и 1-го ранга (ГС-1), см. *Таблицу*. ГС-0 – это *одноячейковая* конвекция в мантии, ответственная за меридиональную компоненту дрейфа континентов; подробности содержатся в тезисах другого доклада на данной Конференции [4]. ГС-1 – это *двухъячейковая* конвекция в мантии с

восходящими потоками в виде двух антиподально расположенных в экваториальной области суперплюмов – Африканского и Тихоокеанского – и общим для них нисходящим потоком в меридиональной полосе со средним меридианом 100° в.д. – 80° з.д. [3, 5, 14].

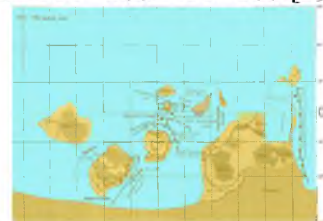


Рис. 7. Расположение континентов в Южном полушарии в начале фанерозоя. По [16].

Все континенты располагаются в пределах Индо-Атлантического сегмента Земли, совпадающего с Африканской ячейкой. Конвекция в этой ячейке привела к распаду Пангеи-3 Вегенера, «разбеганию» континентов (за исключением Африки) в разные стороны от Африканского суперплюма и их сосредоточению в названной меридиональной полосе [17], преимущественно в Северном полушарии. Это «разбегание» происходило в соответствии с моделью «тектоники плавающих континентов» [9] и было обусловлено действием так называемой «drag force» (силой волочения) со стороны нижележащей конвектирующей мантии. Надвигание же континентов на Тихоокеанский сегмент Земли приводило, в соответствии с этой моделью, к возникновению по периферии Тихого океана зон субдукции в широком смысле этого термина, когда общий нисходящий поток обеих конвективных ячеек – Африканской и Тихоокеанской – отклонялся по мере своего углубления в сторону «меридионального кольца» континентов, в том числе в нижней мантии, безотносительно к опускающимся слэбам в верхней мантии.

Возможные причины распада и созидания суперконтинентов и их меридионального дрейфа. В связи со сказанным возникают вопросы о причинах всех перечисленных явлений: 1) Почему распадаются «настоящие» (в нашем с В.Е. Хаиным понимании [14]) экваториальные

суперконтиненты? 2) Почему при таком распаде значительные континентальные массы оказываются попеременно то в Южном, то в Северном полушарии? 3) Почему при последующей «сборке» нового суперконтинента его центр снова оказывается вблизи экватора? 4) Почему при этой «сборке» мегаконтиненты типа Гондваны не теряют своей целостности?

Насчет причины распада суперконтинента мнение почти единодушно – это накопление «избыточного» тепла под суперконтинентом ввиду его значительной ширины и низкой теплопроводности. Однако мегаконтинент Гондвана обладал этими качествами и не распался в палеозое. Современный суперплюм зафиксирован под Африкой – далеко не самым обширным континентом. Под Евразией же суперплюм отсутствует, под ней фиксируются только отдельные адвективные плюмы, в частности, под Тянь-Шанем и Байкальской рифтовой зоной. В.П. Трубицын [8] прогнозирует появление со временем такого суперплюма под тем мегаконтинентом, который обозначен на рис. 2 буквой «М». Однако если опираться на «опыт» Гондваны, то неизвестно, будет ли этот суперплюм достаточно мощным, чтобы обеспечить распад этого мегаконтинента. Вероятно, помимо «континентального теплового экрана», существует и другая причина формирования суперплюмов – экваториальный «горячий пояс» не только ранней, но и современной Земли [2]. К этому «поясу» приурочен, в частности, Тихоокеанский суперплюм, антиподальный по отношению к Африканскому суперплюму и расположенный на удалении от континентов; оба они находятся в экваториальной зоне, к их центрам приурочены восходящие потоки двухъячейковой конвекции в ГС-1 (см. выше). Это означает, что для распада суперконтинента недостаточно его «теплоэкранный» эффект; необходимо, чтобы суперконтинент оказался в экваториальном «горячем поясе» Земли.

В результате вырисовывается следующий сценарий цикла Вилсона. В

экваториальной зоне еще с архея существует «горячий пояс» (см. рис. 4), обусловленный ротационным фактором – вращением Земли вокруг ее оси (см. рис. 3). При появлении в этом поясе суперконтинента под последним возникает восходящий поток в виде суперплюма, «раскалывающего» суперконтинент, а также восходящий поток – антиподальный суперплюм на другом конце Земли; оба восходящих потока компенсируются нисходящим потоком в субмеридиональной полосе. Т. е. возникает конвективная ГС-1 с двумя ячейками. Затем континенты концентрируются в зоне нисходящего потока, со смещением в сторону Южного (при распаде Родинии) или Северного полюса (распаде вегенеровской Пангеи); за такое смещение ответственна другая геодинамическая система – ГС-0 (см. выше). Половина цикла Вилсона заканчивается формированием мегаконтинента, расположенного либо в Южном (Гондвана), либо в Северном («будущая Гондвана») полушарии. Под мегаконтинентом накапливается «избыточное» тепло, в результате чего ГС-1 ослабевает [8]. Однако этого тепла оказывается недостаточно для распада мегаконтинента. В то же время, в силу «ослабевшей» ГС-1, в действие вступает ротационный фактор, который стремится привести поверхность Земли к форме эллипсоида вращения. В первой, «деструктивной» половине цикла Вилсона этому фактору противостояла и превосходила его ГС-1, а с ее ослаблением он «заработал» в полную силу. В результате континенты, которые уже находились в упомянутой субмеридиональной полосе, «устремляются» к экватору и собираются в суперконтинент (см. рис. 5–6). И начинается новый цикл Вилсона.

Выводы: 1) суперконтиненты формируются с периодичностью около 800 млн. лет, центры их масс располагаются в экваториальной области; 2) после их распада возникают мегаконтиненты попеременно в южной и северной приполярных областях, образуя цикл

меридионального дрейфа около 1600 млн. лет (см. рис. 2); 3) главными факторами такой организации являются суперплюмы, расположенные в «горячем» экваториальном поясе Земли (распад суперконтинентов), дрейф земного ядра попеременно в сторону Южного и Северного полюсов (попеременный меридиональный дрейф континентов [4]) и направленный к экватору центробежный эффект вращения Земли (созидание суперконтинентов).

Литература

1. Божко Н.А. Орогенические пояса докембрия: типизация и место в суперконтинентальных циклах // Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых. М.: ГЕОС, 2005. Т. 1. С. 60–65.
2. Глуховский М.З., Моралев В.М., Кузьмин М.И. Горячий пояс ранней Земли и его эволюция // Геотектоника. 1994. № 5. С. 3–15.
3. Гончаров М.А. Количественные соотношения геодинамических систем и геодинамических циклов разного ранга // Геотектоника. 2006. № 2. С. 3–23.
4. Гончаров М.А., Разницын Ю.Н., Баркин Ю.В. Особенности деформации континентальной и океанской литосферы как свидетельство северного дрейфа ядра Земли // Наст. сб.
5. Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику. М.: Книжный дом «Университет», 2005. 496 с.
6. Никитин А.М. Суперконтинентальные циклы, эвстатические колебания уровня Мирового океана и геологическая история воды на Земле // Области активного тектоногенеза в современной и древней истории Земли. М.: ГЕОС, 2006. Т. 2. С. 67–71.
7. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А., Сорохтин Н.О. Глобальная эволюция Земли и металлогения раннего докембрия // Отеч. геология. 1999. № 5. С. 56–63.
8. Трубицын В.П. Этапы глобальной тектоники и тектоническая модель современной Земли (структура мантийных течений под континентами и океанами во всей мантии, восстановленная по данным глобальной сейсмотомографии) // Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых. М.: ГЕОС, 2005. Т. 2. С. 288–291.
9. Трубицын В.П., Рыков В.В. Мантийная конвекция с плавающими континентами // Проблемы глобальной геодинамики. М.: ГЕОС, 2000. С. 7–28.
10. Хаин В.Е. О непрерывно-прерывистом течении тектонических процессов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1950. № 6. С. 26–44.
11. Хаин В.Е. Крупномасштабная цикличность в тектонической истории Земли и ее возможные причины // Геотектоника. 2000. № 6. С. 3–14.
12. Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии. 2-е изд. М.: Научный мир, 2003. 348 с.
13. Хаин В.Е. Об основных принципах построения подлинно глобальной модели динамики Земли // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 6. С. 753–760.
14. 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.
15. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: Книжный дом «Университет», 2005. 560 с.
16. Хераскова Т.Н., Буш В.А., Диденко А.Н., Самыгин С.Г. Распад Родинии и ранние стадии развития Палеоазиатского океана // Геотектоника. 2010. № 1. С. 5–28.
17. Pavoni M., Müller M.V. Geotectonic bipolarity, evidence from the pattern of active oceanic ridges bordering the Pacific and African plates // Jour. Geodyn. 2000. Vol. 30, N 5. P. 593–601.
18. Scotese C.R., Golonka J. PALEOMAP Paleogeographic Atlas. Department of Geology, University of Texas at Arlington. 1993. 28 maps.