

Д.Печерский

О шкале геомагнитной полярности фанерозоя

(под впечатлением от сообщений Э.А.Молостовского, А.Б.Богачкина и др.)

1. **Самое сильное впечатление.** Очень понравился количественный подход к анализу шкалы, примененный к интервалу 0-150Ма, особенно наглядна кумулятивная кривая (КК), которая, как бы «убирая» мелкие «второстепенные» колебания частоты инверсий, выявляет крупномасштабные их изменения и асимметрию полярности. (Я немножко баловался со статистикой тектонических элементов, когда работал на Северо-Востоке Азии, в частности, с кумулятивными функциями, что-то получалось; даже пытался вывести «тектоническую формулу»; как уехал оттуда – бросил это дело, и зря, но нельзя объять необъятное.) Почему-то этот подход Эдуард Аркадьевич не использовал для анализа шкалы фанерозоя.

2. **Структура шкалы.** В чем «реструктуризация» шкалы? Опыт показывает, и это видно из доклада Эдуарда Аркадьевича, что основной «путь совершенствования» шкалы – это добавление новых инверсий, вот в результате и получается «реструктуризация» в сторону уменьшения «чистых» интервалов одной полярности, как их продолжительности, так и их числа. Однако, осуждая выделение гипер и суперхронов «на глаз», Эдуард Аркадьевич рисует «на глаз» магнитостратоны шкалы и предлагает опять «на глаз» новый термин - ***смешанная полярность***. Коль скоро совершенно верно предложено вводить объективные количественные критерии, то нужно этому предложению и следовать. Вводим ***числовой показатель***. Например, такой показатель, как «продолжительность интервалов одной полярности» внутри гиперхрона или суперхрона, плох, т.к. при добавке-убирании даже небольшого числа инверсий резко изменится этот показатель. Меньше будет изменяться другой показатель - число инверсий на единицу времени (частота). Но лучше всего использовать, как наиболее устойчивый показатель – ***асимметрию***, определенную по КК в варианте А.Б.Богачкина и др. Это отношение суммарной продолжительности интервалов N и R-полярности с учетом знака, к продолжительности данного магнитостратона. Знак этой величины или буква R, N автоматически показывает преобладающую полярность, а сама цифра – степень асимметрии, от нуля (равны продолжительности N и R-полярности, т.е. полная симметрия) до единицы (одна полярность). Пока я не придумал как цифрой изобразить «смешанную полярность». Можно выделить два типа отрезков КК: а) ***склон*** - монотонный рост или спад (вплоть до изменения знака, т.е. вверх или вниз по склону) и б) ***пила*** (вроде Туаркыра), это и есть «смешанная полярность» Молостовского, когда интервалы одной полярности заметно больше шага КК. Чтобы четче выделить интервалы шкалы, нужно строить КК с разным шагом. Кроме того, имеет смысл ввести «графический» паспорт гиперхрона: его магнитостратиграфическая колонка и рядом КК.

Я не поленился и построил КК для шкалы фанерозоя. Цифровые данные я взял в своей статье [Pechersky,1998], т.к., во-первых, меня смутили заметные разночтения между шкалами фанерозоя и 0-150Ма (посмотрите сами внимательно и увидите существенные расхождения), во-вторых, «снимать» прямо с рисунка продолжительности довольно муторно, а у меня приведена шкала в цифрах. «Моя» шкала несколько отличается, в ней есть несомненные огрехи (не буду вдаваться в это, нужно тогда пересматривать весь фактический материал, а у меня его сейчас и нет под рукой). Поэтому возможно отличие моей КК, от построенной по шкале Э.А.Молостовского. Получилось четкое выделение крупных интервалов шкалы – гиперхронов по резкому изменению угла наклона КК. На рисунке А.Б.Богачкина и др. принят шаг 1 млн. лет, из-за чего даже в интервалах явного преобладания одной полярности заметна «пила», я построил КК шагом 2 млн. лет, она получилась более гладкой. Чтобы выделить крупные интервалы, скажем, в несколько десятков миллионов лет, я использовал шаг 4 млн. лет. Например, гиперхрон Согдиана при шаге 1 млн. лет имеет структуру R8 – «пилка», близкая к симметрии. Однако, если построить КК шагом 4 млн. лет – получается чистейший «склон» с явно преобладающей R-полярностью (R65) с границей (излом КК) на 43Ма. Для выделения мегахронов нужен, вероятно, еще больший шаг.

Ниже приведена таблица, построенная по КК, с шагом 1 (0-100Ма), 2 и 4 млн. лет. В таблице предложена количественная индексация гиперхронов и тип КК.

Возраст	продолжительность	название гиперхрона	его обозначение	тип КК
600-553Ма –	63м.л.	вендский	[-0,91] или R91	склон
553-497 –	56 м.л.	Аргинский (?)	[-0,19] или R19	склон с пилой
делится на два суперхрона				
...553-531	22		[-0,23] или R23	пила
531-497	34		[-0,29] или R29	склон
497-468 –	29м.л.	Хадарский	[-0,9] или R90	склон
468-357	111м.л.	Байкало-Саянский мегархрон	[0,01] или RN1	пила
можно его разделить на два гиперхрона				
468-409 Ма	59м.л.	Байкальский	[+0,06] или N6	пила
409-358 Ма	51м.л.	Саянский	[-0,09] или R9	пила
357-317	40м.л.	Донецкий	[-0,30] или R30	склон
делится на два суперхрона				
357-343			[-0,79] или R79	склон
343-317			[-0,08] или R8	пилочка
316-255	61м.л.	Киама	[-1,0] или R100	склон
255-210	45м.л.	Иллавара	[-0,2] или R20	пила на склоне
Делится на два суперхрона				
255-227			[-0,18] или R18	пила
227-210			[-0,29] или R29]	склон
210-160	50м.л.	Омолон	[+0,46] или N46	пила на склоне
Выделяются два суперхрона				
210-190			[+0,7] или N70	склон
182-160			[+0,73] или N73	склон
Разделенные хроном				
190-182			[-0,9] или R90	склон
160-122	38м.л.	Гиссар	[+0,12] или N12	склон очень пологий
122-84	38м.л.	Джалал	[+0,90] или N90	склон
124-86	38	Джалал	[+0,70] или N70	склон
по шкале Богачкина и др. построил КК я сам по рисунку шкалы, а по КК, приведенной на рисунке почему-то получается [+0,5] или N50 (??) , при этом у меня КК Джалала более гладкая, чем на рисунке к докладу, хотя я снимал данные с того же рисунка (или он неполный?). Далее оценки по КК рисунка А.Б.Богачкина и др.				
86-66	20	суперхрон Туаркыр	[-0,24] или R24	пила
Делится на 4 хрона				
86-79			[-1,0] или R100	склон
79-73			[+0,77] или N77	склон
73-69			[-1] или R100	склон
69-66			[+0,51] или N51	склон
66-27	39	Хорезм	[-0,19] или R19	склон с пилочкой
делится на три суперхрона				
66-53			[-0,56] или R56	склон
53-40			[-0,24] или R24	склон
38-27			[-0,38] или R38	склон
27-0	27	Согдиана	[-0,08] или R8	пилочка
можно выделить два суперхрона				
27-11			[-0,12] или R12	пилочка

Все выделенные гиперхроны, кроме Байкало-Саянского мегахрона, имеют обычную для геологических периодов фанерозоя (23-80мл.л.) продолжительность - 27-63 миллиона лет. При желании, можно разделить и Байкало-Саянский мегахрон на два гиперхрона (см. таблицу).

По-моему, очень даже симпатично получилось! Конечно, цифры асимметрии будут «плавать», в частности от величины шага КК, но они не должны изменить структуры шкалы по существу. Как и на геологической карте разного масштаба, мы видим или крупные структуры, например на карте 1:1000000, так сказать лес в целом, и не видим деталей, зато на карте масштаба 1:10000 мы видим некий кусочек крупной структуры, зато выявляются мелкие детали, видим отдельные деревья, за которыми не видно леса.

3. Теперь поговорим о главном выводе Эдуарда Аркадьевича – о режиме геомагнитных инверсий. Эдуард Аркадьевич полагает нормальным режим частых инверсий, который сохраняется сотню млн. лет, а интервалы устойчивой полярности – это переходные состояния поля между мегахронами нормального (по Э.А.) состояния поля частых инверсий. По данным фрактального анализа шкалы [Печерский и др.,1997], в интервале 0-170 Ма, 0-250, 0-560 и 0-1700 Ма выделяются два прямолинейных участка с фрактальными размерностями $d_1 \approx 0,5$ - $<0,6$ в области более частых инверсий и $d_2 \approx 0,87$ - $0,9$ в области более редких инверсий. Бифрактальность можно объяснить недостаточностью данных или отражением реально существовавших физических процессов с разными фрактальными размерностями. Для проверки были отсеяны все хроны продолжительностью менее 1 млн. лет. И в этом случае (осталось около 20% инверсий) наблюдается та же бифрактальность ($d_1 \approx 0,52$ и $d_2 \approx 0,88$). Следовательно, пропуски не могут быть причиной бифрактальности. Для проверки второго предположения отобраны сравнительно однородные участки шкалы, где инверсии относительно редки (73-125, 170-370 и 445-1600Ма) и, соответственно, остальные интервалы, представляющие собой участки преимущественно частых инверсий, после чего проведен фрактальный анализ отдельно первого и второго множества. В первом и втором случаях размерности множеств очень близки: 1) $d_1 \approx 0,56$ и $d_2 \approx 0,86$ и 2) $d_1 \approx 0,56$ и $d_2 \approx 0,9$.

Итак, существуют два режима генерации магнитного поля, выражающиеся в наличии двух фрактальных размерностей шкалы инверсий. Первый режим частых инверсий хаотический ($d < 0,6$), второй обладает явным *самоподобием* (d близка к 1): скопления частых смен полярностей закономерно чередуются с интервалами редких инверсий продолжительностью в десятки миллионов лет. Из соображений простой «термодинамической» логики, режим спокойного поля без инверсий энергетически более устойчив – режим успокоения, стремление к покою так естественно, частые же инверсии энергетически невыгодны, это утомляет. Так что, в отличие от Эдуарда Аркадьевича, я полагаю устойчивым режим одной полярности, и в течение ~1,5 миллиардов лет существовал режим *одной* R-полярности, что *нормально*, для нашей Земли. Вспомним из школьной физики «правило буравчика», Земля крутится против часовой стрелки, соответственно, против часовой стрелки и вихрится электрический ток в жидком ядре, и, значит, по правилу буравчика магнитное поле такого тока будет направлено вверх, т.е. северный магнитный полюс будет там же, где и географический полюс. Такое **нормальное** состояние поля нарушается неустойчивым его состоянием. Интервалы неустойчивого состояния поля представляют собой хаотические подчас очень частые «выбросы» поля в противоположную полярность, которая через некоторое время снова возвращалась к исходной нормальной полярности. И только в мезозое установился режим N-полярности (от 210 до 65Ма). Как видно по КК, в течение всего фанерозоя на долю R-полярности приходится ~370 млн. лет! В пользу «преимущества» одной полярности говорит и факт незначительной доли времени, приходящейся на симметрию полярности, примерно 160 млн. лет, из которых 111 млн лет приходится на интервал 468-357Ма, самый ненадежный в палеомагнитном отношении.

Результаты фрактального анализа подтверждаются данными вейвлет-анализа [Галягин и др., 2000; Pechersky, 1998]: выделенные в неогее "периоды" частоты инверсий, полярности, вариаций направления и величины поля <80 млн. лет представляют собой краткие "всплески", по продолжительности менее двух полных колебаний и распределены они во времени хаотично. Появляются относительно длительные колебания лишь с периодами 100-130 млн. лет и более, они соответствуют второму фрактальному режиму.

Хаотичность инверсий, неравномерность распределения интервалов полярности, с точки зрения, прагматической, создает удобства в распознавании магнитостратонов (что видно из таблицы), как и неравномерность развития органического мира.

4. **Нужна новая модель поля.** Из симметрии уравнений магнитной гидродинамики следует равноправность обеих полярностей геомагнитного поля, т.е. наблюдаемая асимметрия полярности не находит объяснения в существующих моделях геодинамо. Очевидно, нужна другая модель генерации поля, а объяснение асимметрии нужно искать вне жидкого ядра – в твердом ядре, в мантии, их взаимодействии с жидким ядром, во внешних источниках, меняющих режим генерации геомагнитного поля.

5. **Два механизма.** Если сопоставить процессы у ядра (геомагнитное поле) и у поверхности Земли (развитие органического мира, движение плит), то можно говорить о закономерностях трех порядков [Pechersky, 1998]: а) **закономерность первого порядка** (весь неогей) - резкое различие в степени расчлененности хроностратиграфической и магнитостратиграфической шкал в рифее и венде-фанерозое;

б) **закономерность второго порядка** (геологические эры) - отставание начала геологических эр от минимумов частоты инверсий, которое составляет 20-60 млн. лет и в среднем равно 35 ± 10 млн. лет, что соответствует скорости тепломассопереноса от границы ядра и мантии к поверхности Земли 4-10 см/год. Такая скорость согласуется с оценками средних скоростей дрейфа континентальных плит;

в) **закономерность третьего порядка** (сравнима с геологическими периодами) - почти полное совпадение минимумов и максимумов, т.е. синхронность темпов изменения органического мира с частотой изменений полярности и вариации палеонапряженности геомагнитного поля в фанерозое, но при этом их непосредственная связь отсутствует или, осторожнее говоря, явно второстепенна и не является причинно-следственной, и, вероятнее, результат действия общего для этих процессов механизма.

Приведенные данные можно объяснить действием механизмов двух родов: **внешний**, синхронный у ядра и на поверхности Земли, и **внутренний**, с которым связано заметное отставание процессов на поверхности Земли от процессов в ядре. Скорость тепломассопереноса от ядра к поверхности Земли и движение плит имеют близкие скорости, что очевидно определяется свойствами среды.

Близость к геологически одновременным событиям у ядра и у поверхности Земли может быть обеспечена изменениями скорости и/или угла наклона оси вращения Земли, связанными, например, с такими процессами как приливная эволюция системы Луна-Земля, эволюция Земли в составе Солнечной системы и в общей эволюции Галактики и т.п., что должно отразиться в **истинном движении географического полюса**.

С другой стороны, видно отставание ряда процессов на поверхности Земли (начала геологических эр, изменения средних скоростей движения континентальных плит и др.) от процессов на границе ядра и мантии, которое проще всего представить как результат подъема вещества от границы ядра и мантии (слой D") к поверхности Земли (плюмы, конвекция в мантии и т.п.).

6. Несколько замечаний к докладам:

а) Почему-то, оперируя со шкалой времени, Эдуард Аркадьевич употребляет стратиграфический термин «зона», а не хроностратиграфический – «хрон».

б) На рисунках двух докладов (шкала фанерозоя и шкала для 0-150Ma) шкалы **существенно отличаются** по числу инверсий, по положению границ гиперхронов и т.п..

в) Интерпретация шкалы 0-150Ма (Богачкин и др.), судя по КК, недостаточно убедительна. Так, Согдиана [R8] разбита на три части по очень мелким нюансам. Зато Туаркыр следовало бы по КК, делить на 4 части, однако он «сохранен» целиком. Хорезм [R19], по логике авторов и по КК(А), следует делить не на два, а на три суперхрона, а по КК(Б) даже на 4.

в) Это не тезисы, а доклад, так что следует давать нормальный список литературы, тем более в обзоре.

г) Нужно обязательно каким-то образом фиксировать на шкале количественную оценку палеомагнитной надежности ее участков, в баллах, в цвете, как угодно, но должно быть видно каким интервалам следует доверять и степень этого доверия.

д) Стоило бы для объективности и наглядности нарисовать рядом со шкалой фанерозоя КК и другие данные, как это сделано на рисунке шкалы 0-150Ма.

Литература

Конечно, неприлично ссылаться только на себя, но в данном случае я привожу **свои** доводы, **свои** представления по теме докладов, а в перечисленных статьях полно ссылок на других исследователей.

Печерский Д.М., Решетняк М.Ю., Соколов Д.Д. Фрактальный анализ временной шкалы геомагнитной полярности // Геомагнетизм и аэрономия, 1997, т.37, с.132-142.

D.Pechersky. Neogene paleomagnetism: constraints on the processes at the core and surface of the Earth // Russian J. Earth Sci., 1998, v.1, N2, <http://rjes.wdcb.ru>

Д.М.Печерский. Изменения органического мира и геомагнитного поля в венде-фанерозое // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2000, т. 8, с. 91-95.

Галягин Д.К., Решетняк М.Ю., Печерский Д.М., Соколов Д.Д., Фрик П.Г. Вейвлет-анализ геомагнитного поля в неогее // Физ. Земли, №4, 2000, с.82-89

Печерский Д.М. Палеомагнетизм, петромагнетизм и геология. Словарь для соседей по специальности. 2005. <http://paleomag.ifz.ru>