

И.Н. ГОРЯИНОВ, А.С. СМЕКАЛОВ

О ПРИРОДЕ ПОЛОСОВЫХ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ (ИНТЕРФЕРЕНЦИОННО-ТЕКТОНОМАГНИТНАЯ МОДЕЛЬ)

(Представлено академиком Ю.М. Пушаровским 11·IX·1991)

К глобальным особенностям Земли относятся «знаменитые полосовые магнитные аномалии океанического дна» [Кокс, Харп, 1989]. Для объяснения механизма их образования, как правило, привлекается инверсионно-спрединговая модель. При создании модели ее авторы Ф. Вайн и Д. Мэтьюз рассматривали ее лишь как одну из возможных гипотез, подчеркивая, что возможны и другие варианты [Vine, Matthews, 1963]. В дальнейшем, однако, гипотетический характер модели стал упоминаться все реже, а объяснение с ее помощью происхождения полосовых аномалий было отнесено к «одному из триумфов» концепции тектоники плит [Кокс, Харп, 1989].

Вместе с тем феномен полосовых аномалий имеет и другое, более простое объяснение. Модель, дающая это объяснение, может быть названа интерференционно-тектономагнитной. В основе ее лежат представления об обусловленности структурного узора Земли ротационными причинами; о волновой природе глобальных напряжений Земли; о разномасштабности конвективных процессов в мантии. Модель опирается также на экспериментально полученные зависимости магнитных характеристик горных пород от давления и температуры и на данные о реальных напряжениях в земной коре.

Существует большая литература, посвященная закономерностям структурного узора Земли, имеющего фрактальный характер и обусловленного ее вращением. В частности, В.Э. Волк показал влияние ротационных сил Земли на отношение расстояний между полосовыми аномалиями для разных широт [Волк, 1987]. Вращающаяся Земля представляет собой автоколебательную систему, обладающую набором собственных колебаний и генерирующую волны разной иерархии [Богацкий, 1986]. Интерференция генерируемых и отраженных волн приводит к возникновению системы стоячих волн - закономерно чередующихся областей сжатия и растяжения, также имеющих фрактальный характер. Однако одной энергии напряжений, связанных с ротацией Земли, недостаточно для инициирования тектонических эффектов [Святловский, Китайгородский, 1988]. Требуется дополнительный подток энергии, под воздействием которого система собственных колебаний Земли начинает резонировать и оказывает направляющее действие на тектонические процессы.

Такой подток связан с конвективными процессами в мантии и коре Земли. Теоретические расчеты показывают, что в недрах Земли существует каскад своеобразных конвективных «вихрей», различных по масштабу и глубине протекания [Пушаровский и др., 1989].

В верхних горизонтах Земли и непосредственно на дне океана глубинные конвективные процессы находят отражение в двух взаимосвязанных явлениях - диапировом магматизме и трансформных разломах. Оба явления имеют фрактальную природу. Пространственное расположение конвекционных мантийных вихрей и порождаемых ими диапиров и трансформных разломов в значительной степени контролируется ротационным, режимом. Статистический анализ показал, что преобладающие простирания разломов на дне океана соответствуют наиболее вероятным простираниям зон растяжения и сжатия, рассчитанным теоретически и связанным с ротацией Земли [Агапова и Волокитина, 1991].

Многие трансформные разломы, во всяком случае наиболее крупные из них, заложены раньше рифтовых долин срединно-океанических хребтов. Это же относится и к диапирам: рифтовые долины срединно-океанических хребтов лишь соединяют «пунктир» ранее внедрившихся диапиров. В процессе своего развития трансформные разломы генерируют плоские упругие волны, а диапиры - сферические.

Таким образом, имеются все основания предполагать, что на дне океана закономерно чередуются области сжатия и растяжения, закономерно ориентированные по отношению к рифтовым долинам срединно-океанических хребтов. Наблюдения подтверждают это. В наиболее изученном регионе Мирового океана - зоне Клариян-Клиппертон Тихого океана - широко развиты чередующиеся зоны сжатия и растяжения, имеющие субмеридиональное простирание, совпадающее с простиранием полосовых магнитных аномалий. Зоны растяжения представлены грабеноподобными минирифтовыми зонами [Условия образования..., 1987], зоны сжатия - структурами чешуйчато-надвигового типа, сопровождаемыми торшением и тектоническим дроблением [Корсаков и Пилипенко, 1989].

Обзор глобальных карт магнитных аномалий показывает, что образуемый ими рисунок аналогичен муаровым узорам, возникающим при интерференции волн [Богацкий, 1986; Теокарис, 1972]. Главной особенностью структурного узора, образуемого осями полосовых аномалий, является билатеральная симметрия. Разбирая особенности симметрии рельефа Земли. М.А. Чурилин еще в 1976 г. отмечал, что в рельефе отчетливо сказываются муаровые эффекты, обусловленные упругими волнами сжатия и растяжения [Чурилин, 1976].

Муаровый анализ показывает, что чем больше угол между встречающимися плоскими волнами, тем меньше расстояние между образующимися муаровыми полосами, а сами полосы наклонены к исходным волнам под большим углом. И наоборот: чем ближе к параллельности фронты интерферирующих волн, тем больше расстояние между муаровыми полосами и тем ближе к прямому углу между ними и взаимодействующими волнами [Теокарис, 1972]. Именно такая картина и наблюдается в природе, где плоские волны параллельны генерирующим их трансформным разломам, а роль муаровых полос играют полосовые аномалии. Статистика показывает, что чем больше расстояние между полосовыми аномалиями (больше «скорость раздвижения плит»), тем меньше углы между осями спрединга и нормальными к трансформным разломам [Бочарова и др., 1984]. Интерференция сферических волн, порождаемых диапирами, также приводит к симметричному распределению полосовых аномалий относительно линии, соединяющей диапиры и совпадающей с рифтовыми зонами срединно-океанических хребтов.

Насколько тектонические напряжения в Земле могут обеспечить изменения магнитных свойств горных пород дна океана, необходимые для обеспечения муарового эффекта, образуемого полосовыми магнитными аномалиями?

Обобщенные данные показывают, что величина полосовых аномалий выше или ниже среднего регионального фона примерно на 2% [Кокс, Харп, 1989]. Экспериментальные исследования образцов базальтов Тихого и Индийского океанов, диабазов Южного Урала, вулканических пород Камчатки показали, что необратимые изменения остаточной намагниченности J под воздействием одноосного сжатия в 1200 кг/см^2 в закаленных частях образцов составляют первые проценты, а за пределами корки закаливания достигают 20%. Магнитная восприимчивость k при тех же условиях дает соответственно значения изменений в 10,5 и 15,5% [Постоянное геомагнитное..., 1981, стр. 95]. Причина различий в магнитных характеристиках закаленных и раскристаллизованных частей образцов заключается в размерах слагающих их зерен. Давление, вызывая изменения во внутренней структуре, фазовом составе и магнитных характеристик минералов, слагающих породу, сильнее сказывается на ансамблях минералов, представленных относительно крупными индивидами. Для богемских базальтов получены уравнения, позволяющие рассчитать обратимые изменения J и k в зависимости от величины

одностороннего давления. Например, для давлений в 100 и 500 кг/см² уравнения дают соответственно относительные уменьшения J до 2,1 и 12,6% и k до 8,2 и 49,0% [*Постоянное геомагнитное...*, 1981, стр. 12]. Относительные изменения J и k андезитов и андезито-базальтов при одностороннем сжатии или растяжении составляют от 1,5 до 12% (700 кг/см²). При сжатии J и k уменьшаются, при растяжении увеличиваются [*Постоянное геомагнитное...*, 1981, стр. 113].

Имеются указания, что и рыхлые отложения, имеющие сравнительно небольшую объемную магнитную восприимчивость, могут существенно изменять ее под действием напряжений порядка 1 кг/см², вызывая при этом за геологическое время заметные изменения магнитного поля на поверхности Земли [*Постоянное геомагнитное...*, 1981, стр. 105]. Специалисты отмечают, что, опираясь на различия J и k , по изменению намагниченности образцов принципиально возможно выделять области сжатия и растяжения [*Постоянное геомагнитное...*, 1981, стр. 105, 113].

Таким образом, экспериментальные данные показывают, что механическое давление вполне в состоянии обеспечить муаровый эффект полосовых магнитных аномалий. Если учесть, что в природе давление обычно изменяется вместе с температурой, то вероятность тектономагнитной природы полосовых аномалий становится еще выше. Исследование вулканитов Закарпатья показало, что, начиная с 300°C, размагничивающее влияние температуры превосходит воздействие давления и становится определяющим [*Постоянное геомагнитное...*, 1981, стр. 8]. Для магматических пород Тихого океана это подтверждается работами М.И. Райкевича [1990]. Им были изучены магматические породы желобов Волкано, Идзу-Боннинского и Курило-Камчатского, вала Зенкевича, плато Огасавара, возвышенностей Шатского и Хесса, Императорского трога и Магеллановых гор. Исследования позволили сделать вывод, что сильно измененные магматические породы по своим магнитным свойствам могут быть источниками аномального знакопеременного магнитного поля высокой интенсивности. Естественная остаточная намагниченность большинства изученных образцов вторична по своей природе и образовалась при прогреве пород до температуры примерно 300°C. М.И. Райкевич впервые установил, что смена полярности естественной остаточной намагниченности происходит под воздействием высокотемпературных гидротерм в пределах единого монолита.

Измерения реальных напряжений в породах дна океана отсутствуют, однако некоторые представления о них могут дать баро-горнометрические работы в рудных районах суши. Они показывают резкую гетерогенность поля первичного горного давления, когда горизонтальные напряжения часто превышают вертикальные, а те и другие могут значительно отличаться от теоретических, вычисленных по массе пород. Так, на Покровском месторождении на глубине 100 м горизонтальные и вертикальные напряжения составили 330-606 и 384 против теоретических 9 и 28 кг/см². На Лебяжинском месторождении на глубине 330 м горизонтальные и вертикальные напряжения оказались равными 44-76 и 13 против 31 и 42 кг/см² теоретических. На Дегтярском месторождении на глубине 430 м теоретическое напряжение должно было составить 196 кг/см² (сжатие), а измеренное оказалось равным 60 кг/см² и при этом - растяжение (по [Поспелов, 1973]). На Талнахском месторождении вертикальные напряжения на глубине 500 м составили 230-260 при теоретически рассчитанных 150 кг/см². В шовной зоне Норильско-Харлаухского разлома напряжения в 2,5 раза ниже фоновых, а в 40 см от плоскости сместителя уже в два раза выше фоновых (по [Богацкий, 1986]).

Для базальтов осевых зон срединно-океанических хребтов специалистами ВНИИОкеангеология (С.Г. Краснов, 1990 г.) приводятся данные по нагрузкам на разрыв, сдвиг и сжатие, составляющие соответственно 75-250, 170-200 и 900-1800 кг/см². Поскольку разрушенные, раздробленные породы - обычное явление для дна океана, приведенные значения должны являться минимальными напряжениями в океанической коре.

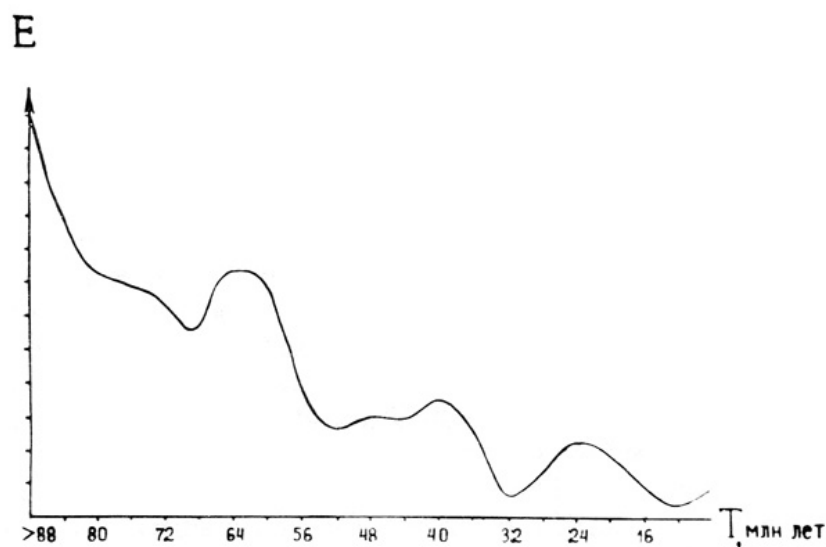


Рис.1. Кепстрограмма геомагнитной хронологической шкалы для 165 млн. лет. Дискретность 0,1 млн. лет. Кепстрограмма сглажена скользящим окном в 40 значений. E – энергия напряженности магнитного поля в условных единицах

На основе анализа полосовых магнитных аномалий океана косвенным путем была «восстановлена история изменений полярности на протяжении 165 млн. лет» - составлена геомагнитная хронологическая шкала [Кокс, Харт, 1989]. Шкала является собирательным, идеальным образом в том смысле, что в действительности не существует ни одного профиля, который содержал бы идеальную запись изменений полярности. Даже на «лучших» профилях выявляются ложные пики, перерывы или дублирования [Кокс, Харт, 1989]. С позиций же интерференционно-тектонимагнитной модели существование таких отклонений является закономерностью, поскольку в разных районах волновая картина обязана отличаться в деталях, как в силу вариаций упругих модулей горных пород, так и вследствие структурно-парагенетических особенностей породных комплексов.

Если полосовые аномалии представляют собой муаровый узор, то в строении геомагнитной хронологической шкалы должен быть определенный порядок и, наоборот, из инверсионно-спрединговой модели такой порядок не вытекает, так как в соответствии с ней геомагнитное поле меняет свой знак крайне неравномерно, случайным образом.

Поскольку земная кора имеет много отражающих поверхностей, основная волна будет претерпевать многократные отражения и структура магнитного поля, вследствие этого, будет определяться суммарным эффектом действия основных и вторичных волн.

Для анализа таких данных наиболее подходит кепстральный анализ. Кепстрограмма полной хронологической шкалы (165 млн. лет) показывает отчетливую периодичность в ее строении (рис. 1). Начало хронологической шкалы протяженностью 5 млн. лет построено на основе определения возраста пород калий-аргоновым методом и, следовательно, является более объективным по сравнению со всей шкалой. Однако и для этой части шкалы более детальный кепстральный анализ также дает ряд отчетливых пиков (рис. 2). Полученные закономерности хорошо согласуются с интерференционно-тектонической моделью и противоречат инверсионно-спрединговой.

С позиций интерференционно-тектонимагнитной модели последовательность полосовых магнитных аномалий, являющихся природными муаровыми полосами, не может служить хронологическим целям. Эта последовательность не зависит от возраста пород, залегающих под полосовой аномалией. Последовательность муаровых полос определяется совсем другими факторами: относительным возрастом генерирующих волны диапиров и трансформных разломов, углом между соседними трансформными разломами, соотношением между длинами периодов вступающих во взаимодействие волн и т.д.

Одинаковое по отношению к рифтовой долине срединно-океанического хребта положение полос в разных районах может иметь противоположную последовательность образования.

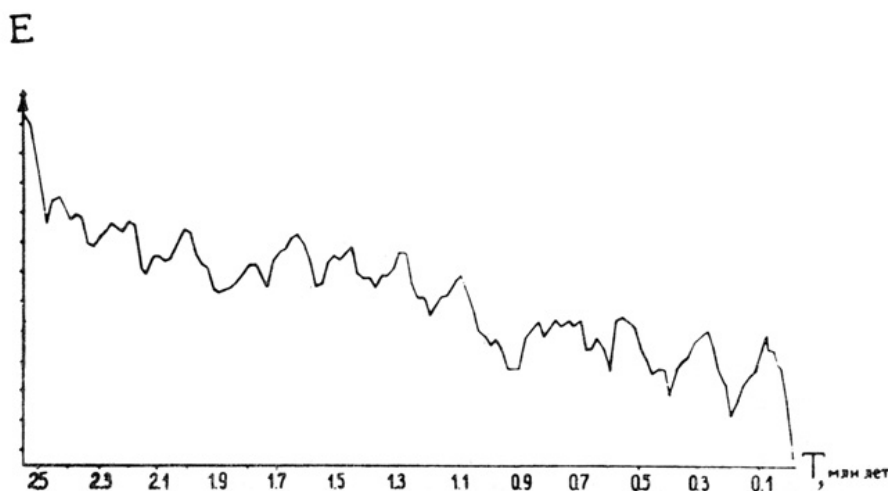


Рис. 2. Кепстрограмма геомагнитной хронологической шкалы для последних 5 млн. лет. Дискретность 0,01 млн. лет

Интерференционно-тектономагнитная модель, ее фрактальность естественным образом объясняют наличие в океанической коре субгоризонтальных зон смятия, расланцевания, дробления [Богацкий, 1986], не требуя для этого привлечения представлений о значительных горизонтальных перемещениях блоков Земли.

Привлечение к интерпретации геометрии полосовых аномалий хорошо разработанного аппарата анализа муаровых узоров открывает новые возможности в морской геологии и заставляет пересмотреть многие привычные факты с других позиций.

Авторы благодарят К.И. Горяинова за помощь в работе при написании статьи.

Северное производственное объединение
по морским геологоразведочным работам
Санкт-Петербург

Поступило
25 IX 1991

ЛИТЕРАТУРА

1. Кокс А., Харп Р. Тектоника плит. М.: Мир, 1989. 427 с.
2. Vine F.J., Matthews D.M. [Magnetic anomalies over oceanic ridges](#) // Nature, 1963, № 4897, p. 947-949.
3. Волк В.Э. В кн.: Геолого-геофизические исследования в Мировом океане. Л., 1987, с. 16-23.
4. Богацкий В.В. Механизм формирования структур рудных полей. М.: Недра, 1986. 89 с.
5. Святловский А.Е., Китайгородский Ю.И. Геодинамическая вулканология. М.: Недра, 1988. 255 с.
6. Пуцаровский Ю.М., Новиков В.Л., Савельев АА., Фадеев В.Е. Гетерогенность мантии и конвекция // Геотектоника, 1989, № 5, с. 3-13.
7. Агапова Г.В., Волокитина Л.П. О преобладающих простираниях разломов на дне океана // Океанология, 1991, № 1, с. 92-101.
8. Условия образования и закономерности размещения железо-марганцевых конкреций / Под ред. О.Д. Корсакова. Л.: Недра, 1987. 259 с.
9. Корсаков О.Д., Пилипенко А.И. Структуры тектонического сжатия в зоне разломов Клариян-Клиппертон (Тихий океан) // ДАН, 1989, т. 309, № 1, с. 157-160.
10. Теокарис П. Муаровые полосы при исследовании деформаций. М.: Мир, 1972. 235 с.
11. Чурилин М.А. В кн.: Симметрия структур геологических тел. М., 1976, с. 100.

12. Бочарова Н.Ю., Мирлин Е.Г., Попов К.В. В кн.: Геология морей и океанов. М., 1984, т. 2, с. 74-76.
13. Постоянное геомагнитное поле. Магнетизм горных пород и палеомагнетизм. Тбилиси, 1981. 200 с.
14. Райкевич М.И. Природа намагниченности магматических пород некоторых морфоструктур западной части Тихого океана. Автореф. дис. Л., 1990. 20 с.
15. Поспелов Г.Л. Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза. Новосибирск: Наука, 1973. 335 с.

Ссылка на статью:



Горяинов И.Н., Смекалов А.С. О природе полосовых магнитных аномалий в Мировом океане (интерференционно-тектонимагнитная модель) // Доклады Академии наук СССР. 1991. Том 321. № 3. С. 563-568.