

УДК 550.83.015:551.241(26)

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ НАМАГНИЧЕННОСТИ И ПЛОТНОСТИ ОКЕАНИЧЕСКОЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ

© 1998 г. А. Л. Пискарев, Е. Г. Астафурова, И. В. Беляев,
Е. Г. Жемчужников, Л. В. Подгорных

Представлено академиком И.С. Грамбергом 01.02.97 г.

Поступило 10.02.97 г.

Представительные данные о магнитных свойствах базальтов океанического дна появились с развитием работ по Проекту глубоководного бурения (ПГБ) на судне “Гломар Челленджер”. К началу 80-х годов магнитные свойства базальтового фундамента были изучены во многих районах Мирового океана. Было установлено, что естественная остаточная намагниченность (ЕОН) молодых базальтов, имеющая очень высокие значения, до 20 А/м и более, быстро уменьшается с возрастом, падая в среднем до 4 А/м в базальтах древнее 3–5 млн. лет. Главная причина – однофазное окисление титаномагнетита, превращение его в титаномагемит. При этом повышается магнитная жесткость пород, возрастает температура Кюри, величина медианного разрушающего поля, а ЕОН уменьшается в несколько раз; магнитная восприимчивость изменяется мало [1]. Дальнейшее изучение магнитных свойств океанических базальтов показало, что общее уменьшение ЕОН наблюдается только до возраста базальтов порядка 20 млн. лет. Далее, с увеличением возраста, наблюдается увеличение намагниченности. Причину наблюдаемых возрастных вариаций намагниченности базальтов одни исследователи видели в характере процессов низкотемпературного окисления титаномагнетита [2]. Была предложена модель, объясняющая, как в начальный период окисления до достижения значений параметра окисления $z = 0.6$ (что наблюдается в породах с возрастом порядка 20 млн. лет) происходит уменьшение магнитного момента титаномагнетитов. В последующем, при $z > 0.6$, окислительный процесс в кристаллической решетке титаномагнетита приобретает такой характер, что магнитные моменты зерен начинают расти и вместе с тем начинает расти и намагниченность пород. Другие исследователи доказывали, что ведущим фактором изменения намагниченности базальтов

древнее 20 млн. лет является изменение их химического состава, в частности содержания железа [3].

Нами проанализированы данные о магнитных свойствах базальтов из материалов ПГБ, вплоть до 96-го рейса включительно [4]. В составленную сводку вошли значения магнитных параметров почти 4500 образцов базальтов из керна 121 скважины в различных районах Мирового океана. Возрастной диапазон изученных пород от 0.4 млн. лет до 150 млн. лет (верхняя юра). Установлено, что важнейшим фактором наблюдаемых вариаций ЕОН является изменение в базальтах различного возраста средних содержаний железа, что доказывается анализами более 3000 образцов керна скважин ПГБ. Корреляционная связь между ЕОН и содержанием $Fe_2O_{3общ}$ имеет сложный опосредованный характер, поэтому коэффициент корреляции невысок ($\rho = 0.56$). Другим доказательством роли содержания железа является распределение во времени средних значений магнитной восприимчивости (МВ), коррелирующее с распределением ЕОН. Вместе с тем собранные данные не противоречат предположениям о возможной роли особенностей процесса однофазного окисления при $z > 0.6$, а также процесса гетерофазного окисления магнетита.

Зависимость ЕОН от возраста представлена на рис. 1. Надежные определения медианного значения ЕОН, полученные по 20 и более образцам, показаны двойными кружками. Можно считать, что непрерывными определениями ЕОН охарактеризованы базальты, возраст которых до 75 млн. лет. Наблюдается периодичность изменения ЕОН с минимумами вблизи 10–14 и 26–30 млн. лет и максимумами в области 20 и 36 млн. лет. Далее, с увеличением возраста, периодичность не может быть установлена из-за недостаточного количества измерений. Однако возрастание средних значений ЕОН по сравнению с интервалом 10–40 млн. лет не вызывает сомнений.

Наблюдаемые вариации ЕОН и МВ должны приводить к относительному уменьшению амплитуд аномалий 5 и 6 и возрастанию амплитуд аномалий, начиная с 13-й, по сравнению с амплитудами,

Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана, Санкт-Петербург

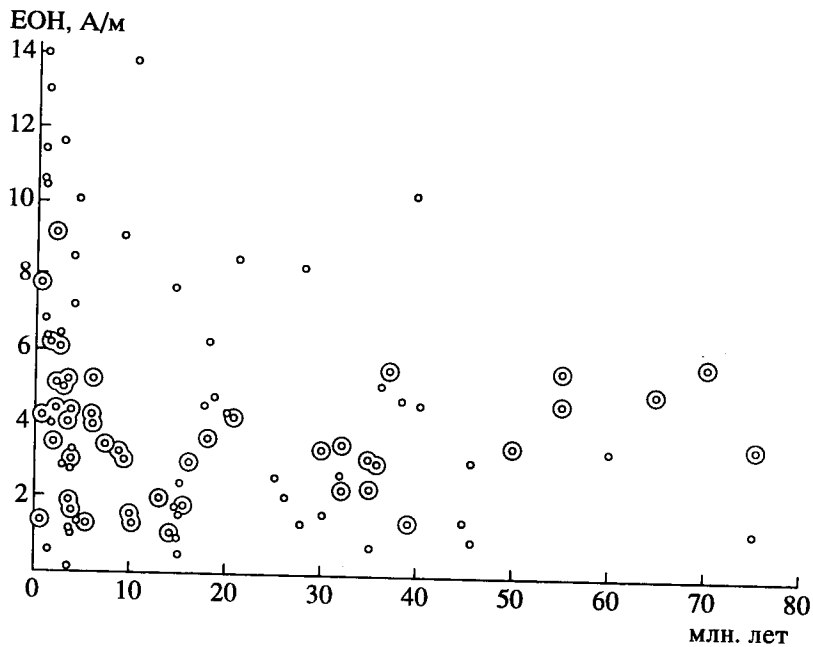


Рис. 1. Зависимость величины естественной остаточной намагниченности базальтов океанического фундамента от их возраста, — обобщение результатов измерений более 4.5 тыс. образцов базальтов из керна 121 скважины, пробуренных в ходе Проекта глубоководного бурения.

рассчитанными для среднего значения намагниченности. Сложнее оценить вклад геохимической неоднородности пород океанического фундамента в аномалии гравитационного поля. Наблюдаемым вариациям содержания $Fe_2O_{3\text{общ}}$ должны соответствовать вариации средней плотности толщ фундамента в $\pm(0.03-0.06)$ г/см³. Если широкие блоки океанского фундамента имеют соответствующую дифференциацию на всю мощность кристаллической части океанской коры, т.е. в среднем на 6 км, то ожидаемые над ними гравитационные ступени должны иметь величину порядка 15 мГал. Проверка подобного предположения может быть произведена лишь в процессе накопления данных прямых измерений физических свойств образцов океанского фундамента и по результатам моделирования магнитных и гравитационных аномалий в различных регионах Мирового океана.

При выборе района для построения физических моделей дна океана был выбран изученный ВНИИОкеангеология район Канаро-Багамского геотраверза на Срединно-Атлантическом хребте как район, в меньшей степени осложненный трансформными разломами и полями гидротермально измененных пород [5, 6]. Для расчетов использовалась программа GRAV3D (автор М.Ю. Чернышев), позволяющая решать как прямую задачу гравитразведки и магниторазведки в трехмерном варианте, так и обратную задачу подбора плотностей и намагниченностей при закрепленной геометрии нижнего полупространства.

В качестве первого приближения магнитоактивный слой принимался равным 1 км по мощности, повторяющим рельеф дна вдоль профилей измерений. Границы прямо и обратно намагниченных тел принимались вертикальными, их положение соответствует градиентным зонам наблюдаемых аномалий. Расчеты производились по приведенным к полюсу аномалиям, при этом намагниченность, соответственно, принималась вертикальной. Методические эксперименты показали, что такая замена наблюдаемого поля не искажает результатов моделирования.

Полученная модель магнитоактивного слоя представлена на рис. 2. Положение зон прямого и обратного намагничения полученной модели близко соответствует классической модели спрединга. Величины эффективной намагниченности отдельных зон получены в процессе решения обратной задачи по программе GRAV3D. Их анализ дает независимую информацию об изменении физических свойств пород океанического фундамента во времени.

График зависимости расчетных значений эффективной намагниченности от возраста океанической коры представлен на рис. 3. Первое, что обращает на себя внимание, — это большой разброс значений эффективной намагниченности, однако в целом соответствующий разбросу данных измерений по образцам (рис. 1). Кривая осредненных медианных значений расчетной эффективной намагниченности (рис. 3, 2) практически совпадает с осредненной кривой, построенной по данным ПГБ

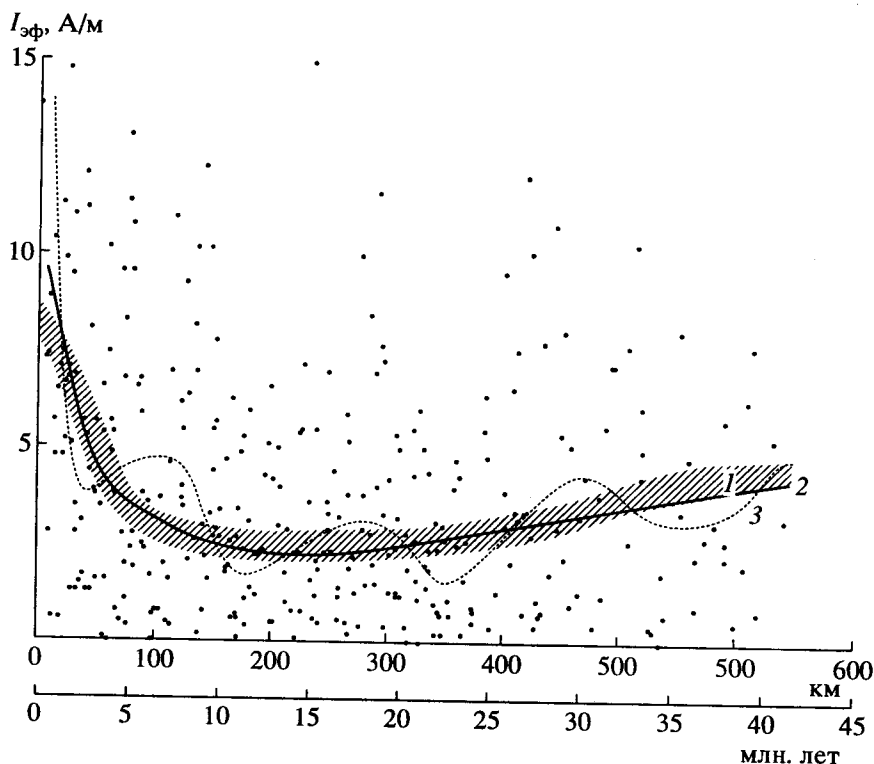


Рис. 3. Зависимость расчетных значений эффективной намагниченности тел в простейшей модели магнитоактивного слоя от расстояния от оси спрединга/возраста океанической земной коры. 1 – кривая зависимости по данным ПГБ; 2 – осредненная (ширина фильтра 120 км) кривая зависимости по точкам расчетных значений; 3 – та же кривая с шириной фильтра 40 км.

(рис. 3, 1). При уменьшении ширины фильтра осреднения выявляются экстремумы эффективной намагниченности второго порядка, положение которых на оси возраста также соответствует данным ПГБ.

Полученное подтверждение существования латеральных вариаций химизма пород океанического фундамента дало основание заложить латеральные изменения плотности, соответствующие изменению содержания $Fe_2O_{3общ.}$, в расчетную плотностную модель (рис. 4). Границы слоев земной коры и Мохо проведены по сейсмическим данным. При средней плотности слоя 3 океанической земной коры 2.95 г/см^3 вариации плотности отдельных блоков составляют от 2.89 до 3.02 г/см^3 . Существенное понижение плотности на всю мощность земной коры наблюдается в приосевой зоне Срединно-Атлантического хребта. Здесь же существенно понижается плотность верхней мантии – в модели под осевой зоной расположена линза с плотностью 3.08 г/см^3 . Особенности плотностной характеристики приосевой зоны объясняются термодинамическими условиями дивергентной границы плит.

Важной особенностью плотностной модели Срединно-Атлантического хребта является региональная асимметрия глубинных плотностных

границ внутри мантии. В расчетной модели эти границы аппроксимированы одной границей с избыточной плотностью 0.5 г/см^3 . Положение этой границы на западном крыле профиля примерно на 3 км выше, чем на восточном. По-видимому, асимметрия относительно оси хребта глубинных границ в мантии отражает объективную закономерность строения Срединно-Атлантического хребта, так как это явление находит подтверждение и в тепловом потоке. Западное крыло Срединно-Атлантического хребта отмечено существенно более высоким тепловым потоком: 66 мВт/м^2 по сравнению с восточным – 39 мВт/м^2 .

Таким образом, магнитное и плотностное моделирование Срединно-Атлантического хребта позволило получить новые прямые и косвенные свидетельства в пользу существования периодов порядка 15 млн. лет в вариациях содержания железа в земной коре океанов с возрастом до 45 млн. лет. Эти вариации отражаются в намагниченности и плотности кристаллических пород океанического фундамента. Другим результатом выполненного моделирования является выявление региональной асимметрии глубинных плотностных границ, что находит подтверждение и в асимметрии теплового потока.

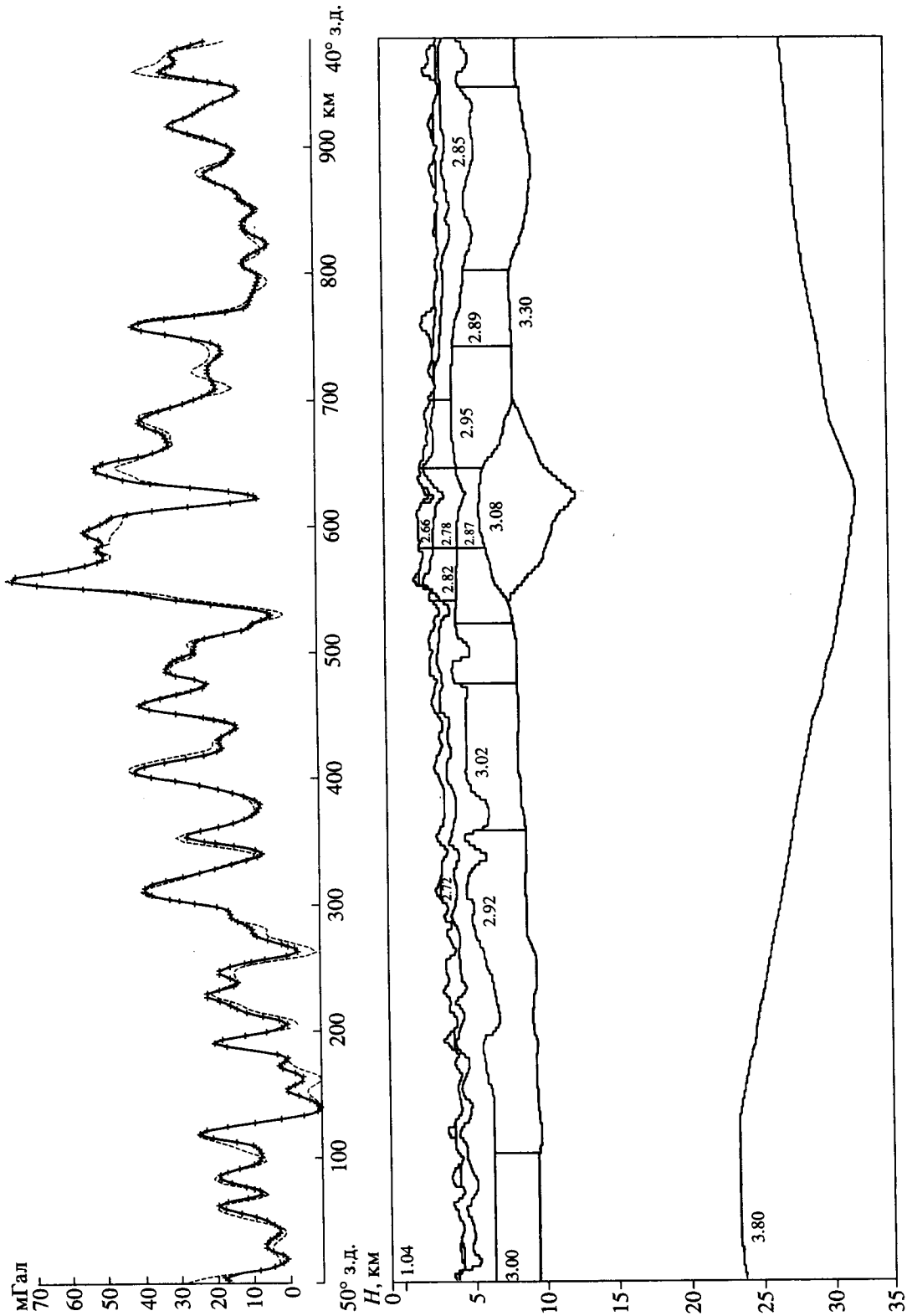


Рис. 4. Модели плотности земной коры и верхней мантии. Участок Срединно-Атлантического хребта в районе Канаро-Багамского геотраверза вблизи 28° с.ш. от 50° з.д. до 40° з.д. Приведены наблюдаемые и расчетные значения гравитационных аномалий.

Работа выполнена на средства Российского фонда фундаментальных исследований, гранты 96-05-65995, 96-05-65996.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назарова Е.А. Магнитные аномалии океанов и новая глобальная тектоника. М.: Наука, 1981. С. 131-142.
2. Печерский Д.М., Тихонов Л.В. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1983. № 4. С. 79-90.
3. Bleil U., Peterson N. // Nature. 1983. V. 301. P. 384-388.
4. Пискарев А.Л. Глубинная морская геофизика. Л.: Недра, 1991. С. 175-188.
5. Pogrebitsky Yu., Maschenkov S.P. XIX Intern. Geogr. Congr. V. 2. Kyoto, Japan, 1992. P. 464.
6. Glebovsky V.Yu., Maschenkov S.P. et al. Anomalous Magnetic Field of the World Ocean. Boca Raton; CRC Press, 1994. P. 67-144.