

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

УДК 550.382.3

Безаева Наталья Сергеевна

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ САМООБРАЩЕНИЯ
НАМАГНИЧЕННОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД**

Специальность 25.00.10 – геофизика, геофизические методы
поиска полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2006

Работа выполнена на кафедре физики Земли физического факультета Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук
профессор В.И. Трухин

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
профессор А.В. Ведяев

доктор геолого-минералогических наук
профессор А.А. Шрейдер

Ведущая организация: Геологический Факультет
Московского Государственного
Университета им. М.В. Ломоносова

Защита состоится « 22 » февраля 2007 г. в 15.00 на заседании Диссертационного Совета Д.501.001.63 при Московском Государственном Университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119992, Москва, ГСП-2, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, ауд. СФА.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью организации, просим направлять по указанному адресу.

Автореферат разослан « 27 » декабря 2006 г.

Учёный секретарь
Диссертационного Совета Д.501.001.63
кандидат физико-математических наук



В.Б. Смирнов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа посвящена исследованию явления самообращения намагниченности горных пород¹ методом численного моделирования. Самообращением намагниченности называется намагничивание ферромагнитных минералов, входящих в состав горных пород и в основном определяющих магнетизм горных пород, антипараллельно намагничивающему полю.

Актуальность диссертационной темы.

Вокруг Земного шара существует магнитное поле, напряжённостью $H \approx 0.5$ Э. Геомагнитное поле (ГМП) воздействует на живую и неживую природу, намагничивает все минералы и горные породы. Прямые измерения элементов геомагнитного поля проводятся только на протяжении последних 400 лет. Вся история древнего ГМП восстановлена при использовании палеомагнитного метода, то есть метода исследования древнего ГМП по естественной остаточной намагниченности NRM (от англ. “Natural Remanent Magnetization”) горных пород разных геологических эпох.

NRM изверженных горных пород образуется в результате процесса природного термонамагничивания, то есть при охлаждении в ГМП кристаллизовавшихся из магмы минералов горных пород до температуры Земной поверхности. Процесс термонамагничивания легко моделируется в лаборатории при охлаждении образцов горных пород в магнитном поле от температуры $T \geq T_C$, где T_C - точка Кюри, до комнатной температуры T_0 , в результате чего образуется термонамагниченность ТМ (от англ. “Thermo Magnetization”), а после отключения поля остаётся термоостаточная намагниченность TRM (от англ. “Thermo Remanent Magnetization”).

Во время палеомагнитных исследований было обнаружено, что примерно половина всех горных пород намагничена антипараллельно направлению напряжённости современного ГМП. Существование в природе обратной намагниченности позволило предположить, что в прошлые геологические эпохи

¹ Здесь и везде далее речь идёт только об изверженных горных породах.

происходили инверсии (переполюсовки) ГМП, которых за последние 600 млн. лет насчитывается более 1000. Таким образом, обнаруженная в природе обратная намагниченность горных пород трактуется, как образовавшаяся в древнем ГМП с полярностью, противоположной современной. Однако, существует альтернативный инверсиям ГМП механизм образования обратной намагниченности горных пород – самообращение намагниченности. Явление самообращения намагниченности никак не учитывается при палеомагнитных исследованиях, что может привести к существенной погрешности при интерпретации палеомагнитных данных и включению «ложных» инверсий в мировую магнитохронологическую шкалу инверсий.

Инверсии ГМП имеют огромное экологическое значение, так как во время инверсии напряжённость ГМП близка к нулю и быстрые частицы высоких энергий солнечного и космического излучений могут достигнуть поверхности Земли и оказать существенное влияние на её биосферу.

Изучать инверсии ГМП напрямую мы никогда не сможем, так как средняя продолжительность инверсии составляет 5000 лет. В связи с этим большую роль приобретают исследования явления самообращения намагниченности горных пород и исследования физического механизма самообращения намагниченности.

Самообращение NRM, TM, TRM многократно наблюдалось во многих лабораториях мира, в том числе самообращение TM и TRM наблюдалось в лаборатории Геомагнетизма кафедры физики Земли физического факультета МГУ на кимберлитах и траппах Якутии, на синтезированных гемоильменитах и на подводных базальтах Атлантического Океана, содержащих титаномагнетиты. Единого мнения о механизме самообращения намагниченности горных пород на сегодняшний день не существует.

В 1951 году, одновременно с открытием в лаборатории явления самообращения намагниченности японским учёным Т. Нагатой [1], французский физик-теоретик, впоследствии Нобелевский лауреат Л. Неель предложил четыре физических механизма самообращения намагниченности [2]. Первые два механизма являются однофазными и связаны со сменой знака спонтанной намагниченности I_S ферромагнетика при изменении температуры T (кривые $I_S(T)$

типа N по Неелю). Смена знака I_S на кривой $I_S(T)$ обусловлена либо выбором констант молекулярного поля α , β из диапазона N типа [3], либо диффузией магнитных ионов между ферромагнитными подрешётками. Однофазный механизм самообращения намагниченности, связанный с зависимостями $I_S(T)$ типа N будет далее именоваться механизмом N типа Нееля. Последние два физических механизма самообращения намагниченности горных пород являются двухфазными и связаны с магнитостатическим или обменным взаимодействием фаз.

В лаборатории Геомагнетизма физического факультета МГУ были проведены детальные экспериментальные исследования процессов самообращения намагниченности горных пород на образцах кимберлитов Якутии, содержащих пикроильмениты, которые с магнито-минералогической точки зрения являются природными аналогами гемоильменитов [4]. Эти исследования позволили выдвинуть предположение о том, что наиболее вероятный физический механизм, ответственный за наблюдаемое самообращение намагниченности – это механизм N типа Нееля. Для проверки выдвинутой гипотезы были специально синтезированы строго однофазные гемоильмениты аналогичного состава и снова получено самообращение намагниченности [5], что подтверждает выдвинутую гипотезу.

Следующим шагом на пути к пониманию физики явления самообращения намагниченности горных пород является создание компьютеризированной модели явления самообращения намагниченности, основанной на ясно понимаемом физическом механизме самообращения, и исследование процессов самообращения намагниченности методом математического моделирования.

Цель работы.

На основании теоретических работ Нееля [2-3] и экспериментальных исследований процессов самообращения [4-6] построить модель явления самообращения намагниченности горных пород по механизму N типа Нееля, выполнить её компьютерную реализацию и, с помощью построенной модели, детально исследовать процессы самообращения намагниченности и физический механизм самообращения N типа в широком диапазоне магнитных параметров.

Провести сопоставление результатов численного моделирования с данными физического эксперимента.

Метод исследования: численное моделирование.

Научная новизна работы.

Впервые построена модель явления самообращения намагниченности по механизму N типа Нееля, в рамках построенной модели проведено детальное исследование процессов самообращения намагниченности горных пород и физического механизма самообращения N типа в широком диапазоне внутренних магнитных параметров (таких как константы молекулярного поля α , β и др.), характеризующих ансамбль ферромагнитных зёрен, который выступает в качестве модельного образца горной породы, и внешних параметров (таких как величины напряжённостей постоянных магнитных полей, температура), действующих на модельный образец. Проведено сопоставление результатов численного моделирования с экспериментальными данными и интерпретация ряда экспериментальных данных в рамках построенной модели.

Научная и практическая ценность работы.

Представленная в диссертации модель явления самообращения намагниченности горных пород расширяет возможности физического эксперимента и позволяет детально исследовать самообращение намагниченности N типа и однофазный физический механизм N типа во всём диапазоне магнитных параметров (α, β, H) , где α, β - константы молекулярного поля, а H – напряжённость намагничивающего поля, без необходимости синтезировать или искать в природе соответствующие образцы горных пород. Построенная модель также позволяет проводить анализ любых уже полученных экспериментальных зависимостей температурной зависимости термонамагниченности $I_T(T)$ и термоостаточной намагниченности $I_{ТТ}(T)$ с самообращением с точки зрения физического механизма, ответственного за наблюдаемое явление. Если в рамках модели интерпретация полученных в физическом эксперименте кривых $I_T(T)$ возможна, то можно обоснованно утверждать (если не доказано обратное), что наблюдаемое самообращение обусловлено действием физического механизма N типа. Построенная модель

может быть использована при дальнейших теоретических и экспериментальных исследованиях процессов самообращения намагниченности горных пород.

Апробация работы.

Материалы диссертации докладывались на научной конференции «Ломоносовские чтения. Секция физика» (апрель 2005) и на международной научной конференции по магнетизму Moscow International Symposium on Magnetism (июнь 2005).

Публикации.

Основные результаты диссертации изложены в 6 опубликованных работах, список которых приводится в конце настоящего автореферата.

Структура и объём диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 76 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ:

Во введении рассмотрено явление самообращения намагниченности горных пород и связь этого явления с глобальными геофизическими и экологическими проблемами. Приведена историческая справка по проблеме самообращения намагниченности. Показана актуальность диссертационной темы и введены все основные определения, широко используемые в геофизике и в настоящей диссертационной работе.

В первой главе представлен обзор научной литературы по проблеме самообращения намагниченности горных пород и физических механизмов самообращения. В §1.1. изложены основы магнитной минералогии горных пород. В §1.2. представлен обзор работ о самообращении намагниченности природных ферримагнетиков горных пород и его особенностях. Показано, что класс минералов, на которых наблюдается явление самообращения намагниченности, очень узок: это в основном титаномагнетиты и гемоильмениты. В §1.3. рассмотрены возможные физические механизмы экспериментально установленных случаев самообращения ферримагнетиков

горных пород и синтезированных ферримагнетиков. В §1.4. подробно рассмотрен однофазный физический механизм самообращения намагниченности горных пород N типа Нееля. Представлены детальные экспериментальные исследования процессов самообращения намагниченности на образцах кимберлитов Якутии и на образцах синтезированных гемоильменитов и экспериментальные исследования физического механизма самообращения намагниченности N типа, проведённые в лаборатории Геомагнетизма кафедры физики Земли физического факультета МГУ под руководством профессора В.И. Трухина [4-6]. Рассмотрена также предложенная в работе [6] физика явления самообращения намагниченности горных пород по механизму N типа Нееля. В §1.5. приведены краткие итоги первой главы.

Во второй главе представлена модель явления самообращения намагниченности горных пород. В §2.1. изложены основные принципы моделирования. Горная порода представляет собой конгломерат неоднородных по составу диа- и парамагнитных минералов, образующих матрицу, с ферримагнитными включениями в виде мелких (микрон) вытянутых зёрен, занимающих проценты или даже доли процентов от общего объёма горной породы. Именно ферримагнитные зёрна являются основными носителями магнетизма горных пород. Поэтому в качестве модели горной породы рассмотрен ансамбль одинаковых однодоменных невзаимодействующих ферримагнитных зёрен с одноосной анизотропией и температурной зависимостью спонтанной намагниченности N типа Нееля (см. (2)-(3) и рис.1).

В §2.2-2.4. представлены основные уравнения, использованные при моделировании процессов самообращения намагниченности горных пород. В §2.2 кратко рассмотрена модель двухподрешёточного ферримагнетика и теория коллинеарного ферримагнетизма Нееля. Следует отметить, что именно двухподрешёточные ферримагнетики встречаются в реальных горных породах. В §2.3 рассмотрены процессы намагничивания одноосного однодоменного ферримагнитного зерна в постоянном магнитном поле, а в §2.4 рассмотрены процессы намагничивания ансамбля таких зёрен. Зёрна положены

невзаимодействующими ввиду их низкой объёмной концентрации в горных породах.

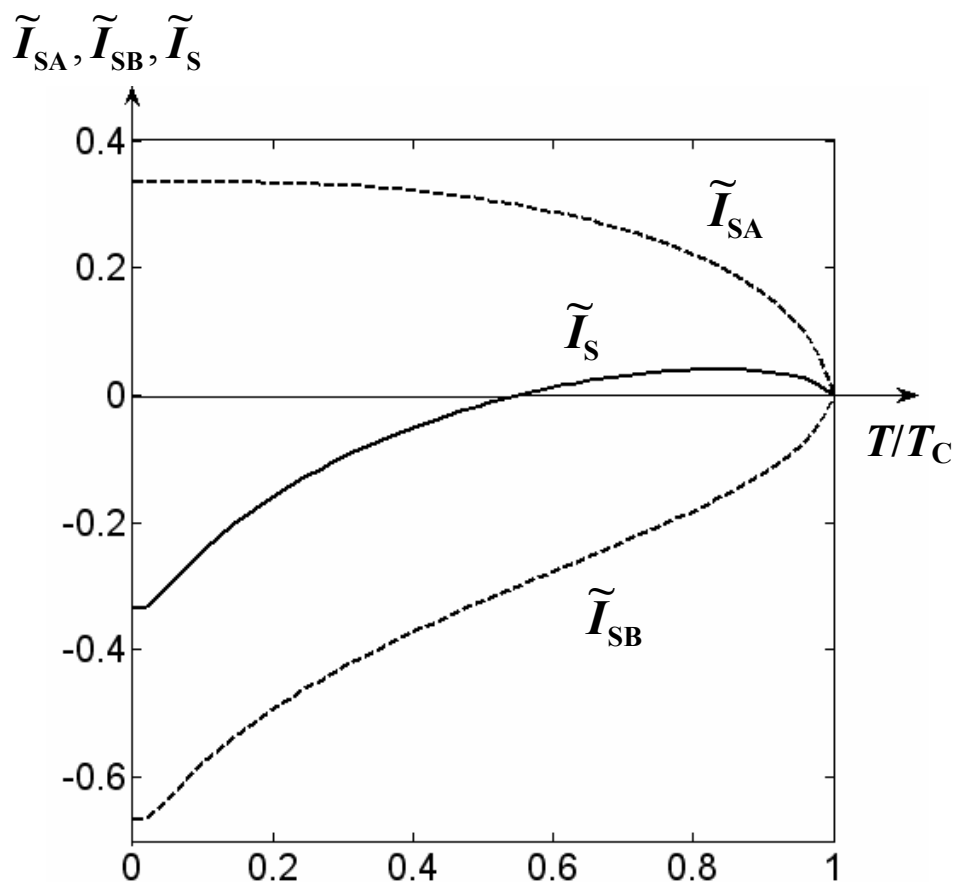


Рис.1. Температурные зависимости спонтанных намагниченностей ферримагнитных подрешёток А и В и суммарной спонтанной намагниченности ферримагнетика N типа в классификации Нееля.

Термонамагниченность ансамбля одинаковых одноосных однодоменных невзаимодействующих между собой ферримагнитных зёрен в температурной точке \tilde{T} (где $\tilde{T} \in [0,1]$ - приведённая температура, $\tilde{T} = T/T_C$, T_C – точка Кюри) определяется как векторная сумма соответствующих намагниченностей отдельных зёрен (“ \sim ” означает нормировку на nI_{S0} , где n – число зёрен ансамбля, I_{S0} – спонтанная намагниченность ферримагнетика при температуре абсолютного нуля):

$$\tilde{\mathbf{I}}_T(\tilde{T}) = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{\mathbf{I}}_s(\tilde{T}) \cdot \cos(\theta_i(\tilde{T}))}{n} = \tilde{\mathbf{I}}_s(\tilde{T}) \frac{\sum_{i=1}^n \cos(\theta_i(\tilde{T}))}{n}, \quad (1)$$

где $\tilde{I}_s(\tilde{T})$ - спонтанная намагниченность ферримагнетика в температурной точке \tilde{T} , которая определяется согласно следующим уравнениям, выражающим теорию коллинеарного ферримагнетизма Нееля (уравнения в безразмерном виде):

$$\tilde{\mathbf{I}}_{SA}(\tilde{T}) = B_s \left(\frac{1}{\tilde{T}} \left(\frac{\alpha\lambda}{\delta\mu} \tilde{\mathbf{I}}_{SA}(\tilde{T}) - \frac{1}{\delta} \tilde{\mathbf{I}}_{SB}(\tilde{T}) \right) \right), \quad (2)$$

$$\tilde{\mathbf{I}}_{SB}(\tilde{T}) = B_s \left(\frac{1}{\tilde{T}} \left(\frac{\beta}{\delta} \tilde{\mathbf{I}}_{SB}(\tilde{T}) - \frac{\lambda}{\delta\mu} \tilde{\mathbf{I}}_{SA}(\tilde{T}) \right) \right),$$

$$\tilde{\mathbf{I}}_s(\tilde{T}) = \lambda \tilde{\mathbf{I}}_{SA}(\tilde{T}) + \mu \tilde{\mathbf{I}}_{SB}(\tilde{T}), \quad (3)$$

где $\tilde{\mathbf{I}}_{SA} = \frac{\mathbf{I}_{SA}}{I_{SA0}}$, $\tilde{\mathbf{I}}_{SB} = \frac{\mathbf{I}_{SB}}{I_{SB0}}$, $\delta = \frac{s+1}{3s}$; I_{SA} , I_{SB} - спонтанные намагниченности

ферримагнитных подрешёток А и В соответственно, $I_{SA0} = \lambda I_{S0}$; $I_{SB0} = \mu I_{S0}$ - спонтанные намагниченности ферримагнитных подрешёток А и В при температуре абсолютного нуля; λ , μ - доли магнитных ионов в ферримагнитных подрешётках А и В соответственно; α , β - константы молекулярного поля, s - спин; $B_s(x) = \frac{2s+1}{2s} \operatorname{cth} \left(\frac{(2s+1)x}{2s} \right) - \frac{1}{2s} \operatorname{cth} \left(\frac{x}{2s} \right)$ - функция Бриллюэна для случая спин-спинового взаимодействия, когда орбитальное квантовое число $L=0$.

В (1) угол $\theta(\tilde{T})$ - это угол между вектором спонтанной намагниченности $\tilde{\mathbf{I}}_s$ и вектором напряжённости намагничивающего поля $\tilde{\mathbf{H}}$ (см. рис.2), который определяется при совместном решении следующих уравнений:

$$\begin{aligned} \tilde{E}(\tilde{T}) = & -\frac{\pi \cdot I_{S0}}{H_0} \cdot \left(\tilde{I}_s(\tilde{T}) \right)^2 \cdot \cos^2(\varphi - \theta(\tilde{T})) - \\ & - \frac{|K_{10}|}{I_{S0} \cdot H_0} \cdot \left(\left| \tilde{\mathbf{I}}_{SA}(\tilde{T}) \right|^3 + \left| \tilde{\mathbf{I}}_{SB}(\tilde{T}) \right|^3 \right) \cdot \cos^2(\varphi - \theta(\tilde{T})) - \left| \tilde{\mathbf{I}}_s(\tilde{T}) \right| \cdot \left| \tilde{\mathbf{H}} \right| \cdot \cos(\theta(\tilde{T})) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \tilde{E}(\tilde{T})}{\partial \theta} = 0, \\ \frac{\partial^2 \tilde{E}(\tilde{T})}{\partial \theta^2} > 0, \end{cases} \quad (5)$$

где $\tilde{E} = \frac{E}{E_0}$, $E_0 = I_{S0}H_0$, $H_0 = 1\text{Э}$, $\tilde{H} = \frac{H}{H_0}$, H – напряжённость намагничивающего поля, первый член уравнения (4) – плотность энергии анизотропии формы, второй член (4) – плотность магнитной кристаллографической анизотропии, третий член (4) – плотность энергии магнитного момента в магнитном поле напряжённостью H ; K_{10} – первая константа кристаллографической анизотропии при температуре абсолютного нуля, φ – угол между осью лёгкого намагничивания одноосного ферримагнитного зерна и вектором \tilde{H} .

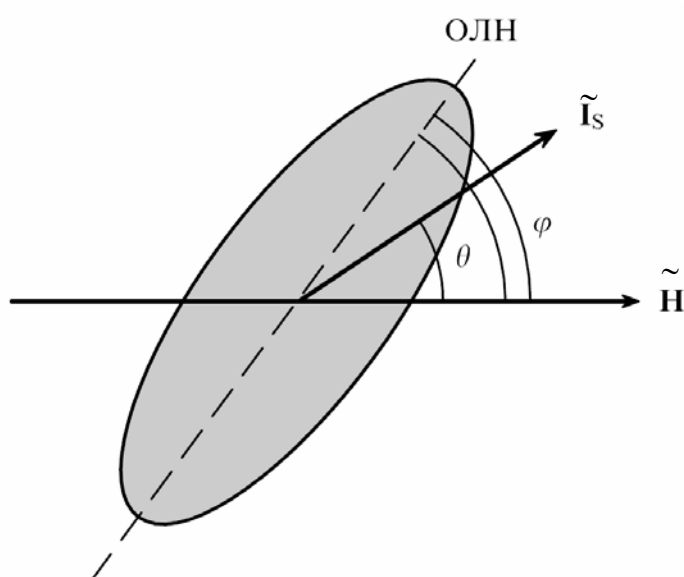


Рис.2. Одноосное однодоменное ферримагнитное зерно в магнитном поле напряжённостью \tilde{H} .

ОЛН – ось лёгкого намагничивания, θ – угол, соответствующий минимуму полной энергии системы (см. (4)-(5)).

В §2.5. представлены принципы расчёта в рамках построенной модели температурно-полевых зависимостей намагниченности. В §2.6. приведены краткие итоги второй главы.

В третьей главе представлены результаты численного моделирования, полученные в рамках построенной модели явления самообращения намагниченности горных пород. В §3.1. приведены расчетные температурные зависимости термонамагниченности $\tilde{I}_T(\tilde{T})$ при разных значениях напряжённости постоянного магнитного поля \tilde{H} . Рассмотрены случаи ансамблей одинаковых ферримагнитных зёрен и ансамблей ферримагнитных

зёрен с разными значениями констант молекулярного поля α , β . При классификации расчётных кривых $\tilde{I}_T(\tilde{T})$ в зависимости от значений \tilde{H} выделено три типа. Первый тип кривых $\tilde{I}_T(\tilde{T})$ получен для “слабых” магнитных полей, величина напряжённости которых меньше коэрцитивной силы ансамбля ферромагнитных зёрен H_C во всем рассматриваемом температурном диапазоне, он характеризуется единственной точкой (температурой) компенсации \tilde{T}_k и наличием эффекта самообращения намагниченности (см. рис.3, кривая 1).

Второй тип кривых $\tilde{I}_T(\tilde{T})$ получен в «сильных» магнитных полях, величина напряжённости которых больше H_C также для всех значений температур, для него характерно подавление эффекта самообращения и, в случае ансамбля одинаковых зёрен, наличие единственной \tilde{T}_k (рис.3, кривая 2), а в случае ансамбля зёрен разного химического состава (с разными (α, β)) - отсутствие \tilde{T}_k .

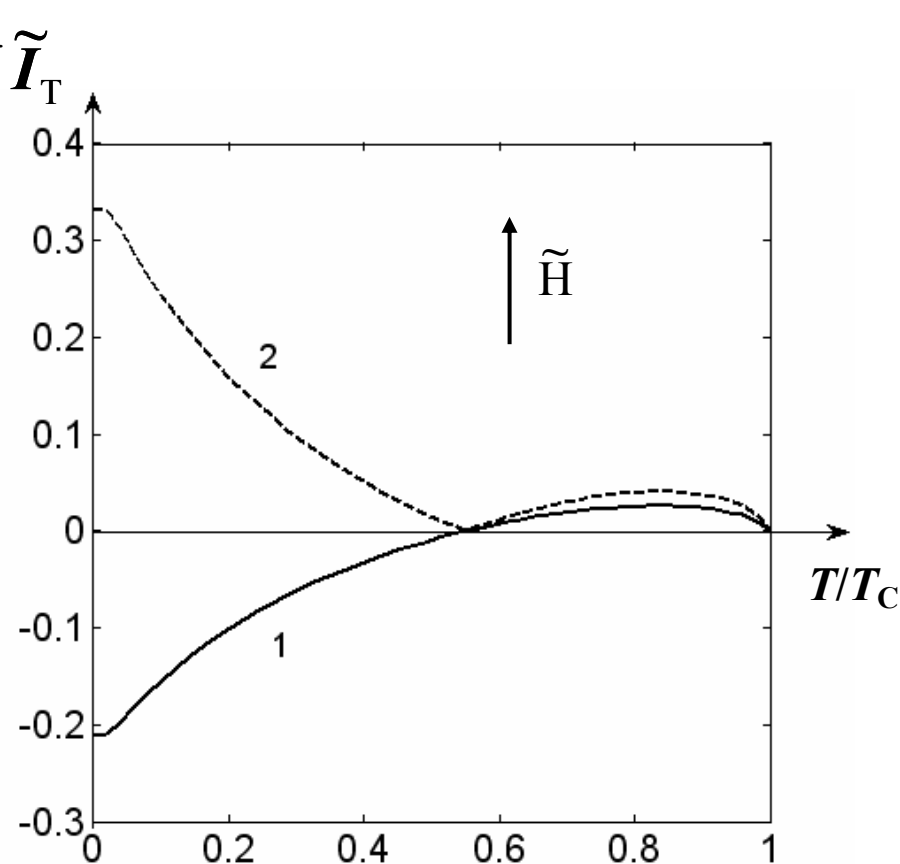


Рис.3. Кривые температурной зависимости термонамагниченности ансамбля одинаковых не взаимодействующих ферромагнитных зёрен в “слабом” \tilde{H}_w (кривая 1) и “сильном” \tilde{H}_{st} (кривая 2) магнитных полях.

Третий промежуточный тип кривых $\tilde{I}_T(\tilde{T})$ получен в “средних” магнитных полях при значениях \tilde{H} , сравнимых с H_C , его отличительными особенностями является эффект самообращения и, в случае ансамбля одинаковых зёрен, наличие двух \tilde{T}_K (см. рис.4-5), а в случае ансамбля разных зёрен – наличие одной или двух \tilde{T}_K . Конкретный вид кривой $\tilde{I}_T(\tilde{T})$ в “средних” магнитных полях (как на рис. 4 или как на рис.5) зависит от соотношения в (4) между плотностью энергии анизотропии формы E^Φ и плотностью энергии магнитной кристаллографической анизотропии E^K .

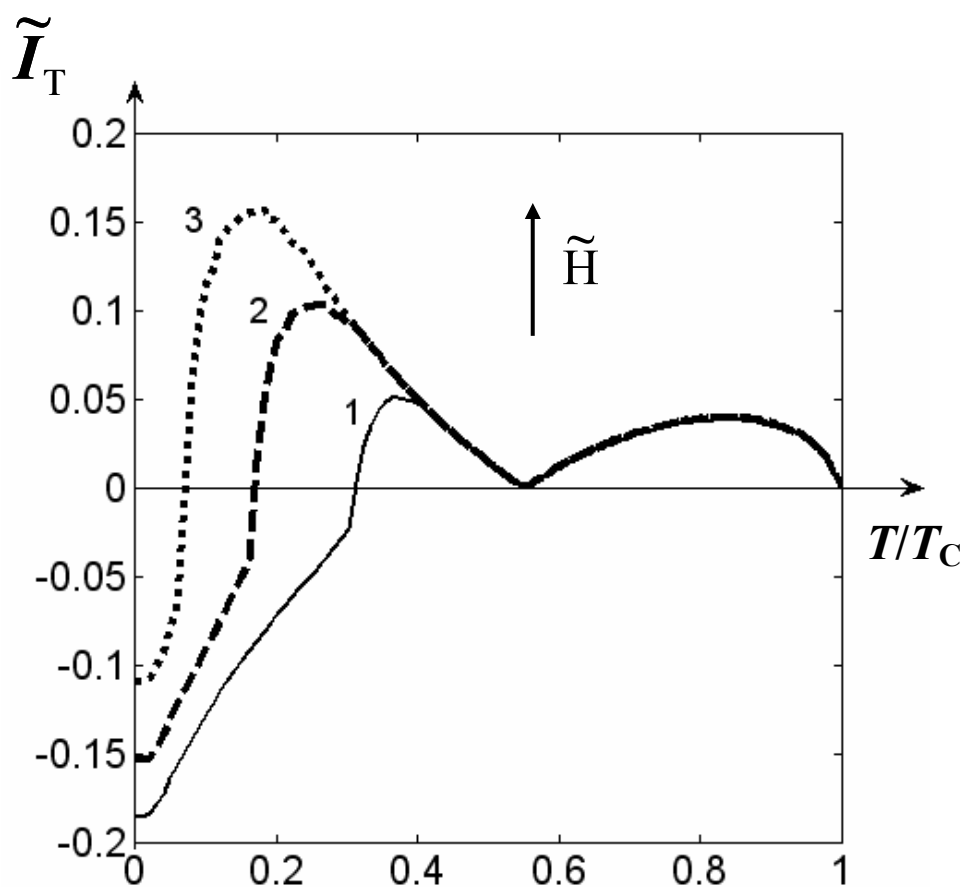


Рис.4. Кривые температурной зависимости термонамагниченности ансамбля одинаковых не взаимодействующих ферромагнитных зёрен, полученные при разных значениях напряжённости намагничивающего поля ($\tilde{H}_w < \tilde{H}_1 < \tilde{H}_2 < \tilde{H}_3 < \tilde{H}_{ST}$, где \tilde{H}_w и \tilde{H}_{ST} – напряжённости “слабого” и “сильного” магнитных полей соответственно).

Случай $E^\Phi \gg E^K$ (см. уравнение (4)).

В § 3.2. приведены зависимости термонамагниченности от постоянных магнитных полей. Показано, что самообращение намагниченности – это эффект слабых магнитных полей. В “сильных” магнитных полях самообращение подавляется.

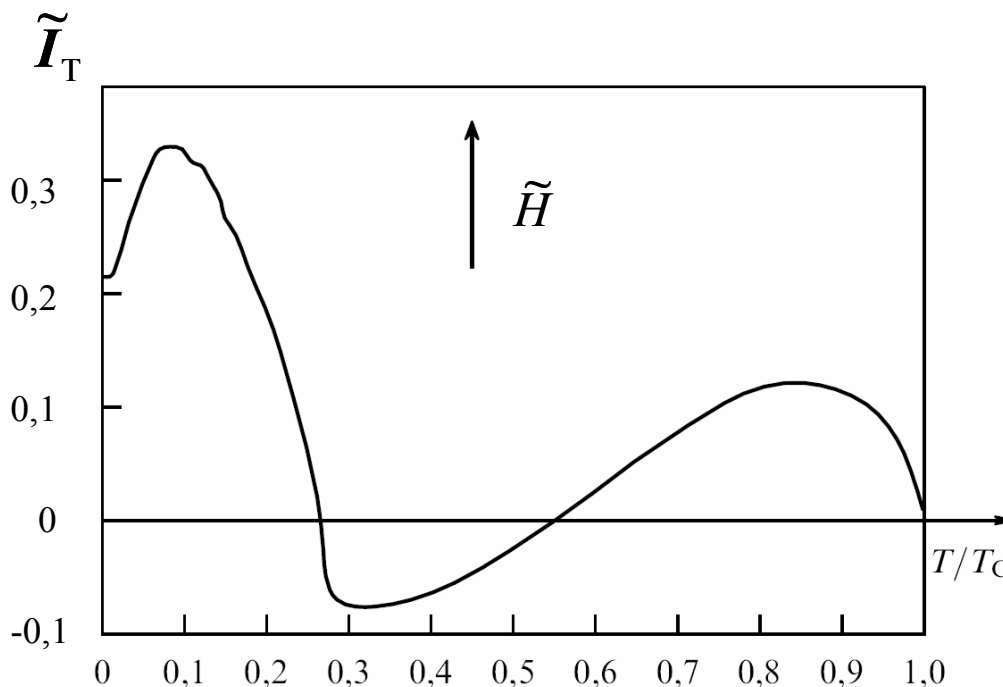


Рис.5. Кривая температурной зависимости термонамагниченности ансамбля одинаковых одноосных, однодоменных, ферримагнитных зёрен в намагничивающем поле $\tilde{H}_w < \tilde{H} < \tilde{H}_{st}$, где \tilde{H}_w и \tilde{H}_{st} – напряжённости “слабого” и “сильного” магнитных полей соответственно.

Случай $E^\Phi \ll E^K$ (см. уравнение (4)).

В четвёртой главе представлено сопоставление результатов численного моделирования с экспериментальными данными по самообращению намагниченности природных пикроильменитов, синтезированных гемойльменитов, базальтов Атлантического Океана и др. Проведена интерпретация ряда экспериментальных данных по самообращению намагниченности горных пород в рамках представленной однофазной модели явления самообращения намагниченности N типа Нееля. На примере одной серии экспериментальных данных по самообращению намагниченности природных титаномагнетитов поставлена и решена обратная задача. По экспериментальной кривой температурной зависимости термонамагниченности

$I_T(T)$ образца горной породы, содержащего природные титаномагнетиты, полученной при охлаждении изучаемого образца во внешнем магнитном поле, определены константы молекулярного поля α , β , характеризующие ферримагнитные вкрапления этой горной породы. Найдено такое множество приведённых констант молекулярного поля (α, β) , каждая точка из которого соответствует теоретической зависимости $I_T(\alpha, \beta, T)$, полностью лежащей внутри экспериментального диапазона $I_T(T) \pm \Delta I_T(T)$, где $I_T(T) \pm \Delta I_T(T)$ - экспериментальная кривая $I_T(T)$ с соответствующим коридором ошибок, полученная при охлаждении образца горной породы во внешнем магнитном поле.

В заключении рассмотрены перспективы дальнейшего теоретического и экспериментального изучения процессов самообращения намагниченности горных пород и представлены выводы диссертации.

Приведённый после заключения **список использованной литературы** содержит 76 ссылок.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИИ

На защиту выносятся следующие положения:

1. На основании теории коллинеарного ферримагнетизма Нееля и уравнения баланса энергий построена полуфеноменологическая модель явления самообращения намагниченности горных пород, базовым физическим механизмом которой является однофазный механизм самообращения намагниченности N типа Нееля. В качестве модели горной породы рассмотрен ансамбль одноосных однодоменных невзаимодействующих ферримагнитных зёрен.
2. В рамках построенной модели рассчитаны теоретические зависимости термонамагниченности $I_T(T)$ ансамбля ферримагнитных зёрен в широком диапазоне магнитных параметров α , β , H , I_{S0} , K_{10} , где α , β - константы

молекулярного поля, H - напряжённость внешнего магнитного поля, I_{S0} , K_{10} – спонтанная намагниченность ферромагнетика и первая константа кристаллографической анизотропии при температуре абсолютного нуля. При классификации расчетных кривых $I_T(T)$ в зависимости от значения H выделено три типа зависимостей $I_T(T)$, два из которых характеризуют разный ход процессов самообращения намагниченности.

3. Проведенное сопоставление расчетных кривых температурной зависимости термонамагниченности $I_T(T)$ с кривыми $I_T(T)$, полученными в экспериментах по самообращению намагниченности на образцах природных пикроильменитов, синтезированных гемоильменитов и природных титаномагнетитов демонстрирует качественное соответствие результатов моделирования экспериментальным данным.
4. В рамках построенной модели явления самообращения намагниченности N типа смоделировано и изучено самообращение намагниченности горных пород, связанное как с выбором констант молекулярного поля α , β из диапазона N типа, так и с диффузией магнитных ионов между ферромагнитными подрешётками.
5. Построенная модель явления самообращения намагниченности горных пород существенно расширяет возможности физического эксперимента и позволяет детально исследовать процессы самообращения намагниченности по механизму N типа во всём диапазоне магнитных параметров, таких как константы молекулярного поля α , β , напряжённость намагничивающего поля H и др., без необходимости проведения соответствующих лабораторных экспериментов.

СПИСОК РАБОТ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Основное содержание диссертации и результаты выполненных исследований опубликованы в следующих работах:

1. В.И. Трухин, Н.С. Безаева. Самообращение намагниченности природных и синтезированных ферритмагнетиков // Успехи Физических Наук. - 2006. - Том 176. - №5. - С. 507-535.
2. В.И. Трухин, Н.С. Безаева, Т.В. Матвеева, П. Рошетт. Физическая и компьютерная модели явления самообращения намагниченности горных пород// Физика Земли. – 2006. - №2. - С. 50-63.
3. Н.С. Безаева, Т.В. Матвеева, В.И. Трухин. Модель явления самообращения намагниченности горных пород // Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2005. - № 2. – С. 59-61.
4. В.И. Трухин, Т.В. Матвеева, Н.С. Безаева. Моделирование самообращения намагниченности горных пород// Сборник тезисов докладов научной конференции Ломоносовские чтения. Секция физики. - Апрель 2005. - С. 140-142.
5. V.I. Trukhin, N. Bezaeva, E. Kurochkina. The paleomagnetic field and possible mechanisms for the formation of reverse rock magnetization// International Conference “Moscow International Symposium on Magnetism”, Russia, Moscow, June 25-30, 2005, Books of abstracts of MISM - P. 698.
6. В.И. Трухин, Н.С. Безаева. Геомагнитное поле и эволюция Земли // Экология и жизнь. – 2007. - №1. - С. 38-43.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Nagata T., Uyeda S., Akimoto S., *Self-reversal of thermoremanent magnetization of igneous rocks*, J. Geomag. Geoelect., vol.4, p.22-38, 1951.
- [2] Néel, L., *L'inversion de l'aimantation permanente des roches*, Annales de Géophysique, vol. 7, №2, p.90-102, 1951.
- [3] Néel L., *Propriétés magnétiques des ferrites: ferrimagnétisme et antiferromagnétisme*, Annales de Physique (Paris), vol.3, p.137-198, 1948 (Имеется перевод: сборник «Антиферромагнетизм», Москва: ИЛ, 1956).
- [4] Трухин В.И., Караевский С.Х., *Самообращение намагниченности природных пикроильменитов*, Москва: МГУ, 1996.
- [5] Трухин В.И., Жилиева В.А., Томилин Е.Ф., Конилов А.Н., *Особенности и возможный механизм самообращения TRM синтезированных гемоильменитов*, Физика Земли, №2, стр. 52-59, 1997.
- [6] Трухин В. И., Жилиева В. А., Курочкина Е. С., *Самообращение намагниченности природных титаномагнетитов*, Физика Земли, том 40, №6, стр. 42-53, 2004.

Подписано к печати 27.12.2006

Тираж 100 экз. Заказ № 193

Отпечатано в отделе оперативной печати

Физического факультета МГУ