

УДК 550.382.3

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

© 2010 г. Б.И. Урусова, З.А. Салпагарова, У.М. Лайпанов

Карачаево-Черкесский государственный университет,
ул. Ленина 29, г. Карачаевск, 369200,
kcsu@mail.ru

Karachi-Cherkess State University,
Lenin St., 29, Karachaevsk, 369200,
kcsu@mail.ru

Экспериментально исследованы магнитная восприимчивость, магнитная анизотропия восприимчивости и кажущаяся восприимчивость горных пород (андезито-базальт) при комнатных температурах и магнитных полях до $1,6 \cdot 10^3$ А/м.

Ключевые слова: намагниченность, магнитная восприимчивость, магнитная анизотропия, кажущаяся восприимчивость, андезит-базальт, порода.

In work are considered a magnetic susceptibility, magnetic anisotropy of a susceptibility and a seeming susceptibility of rocks (andezit-basalt) at room temperatures and magnetic fields to $1,6 \cdot 10^3$ A/m.

Keywords: magnetization, magnetic susceptibility, magnetic anisotropy, seeming susceptibility, andezit-basalt, rock.

Горные породы обычно содержат некоторое количество ферромагнитных зерен или ферримагнитных минералов. Поэтому большинство горных пород обнаруживают свойственные ферромагнетикам магнитный гистерезис и температуру Кюри, хотя их намагниченность в ряде случаев очень незначительно превышает намагниченность парамагнетиков. Рассеянное состояние ферромагнитных частиц не влияет на интенсивность намагниченности и точку Кюри, но магнитная восприимчивость и гистерезисные характеристики горных пород имеют отличительные от чистых ферромагнетиков особенности. С точки зрения магнетизма «идеализированными горными породами» являются такие, в которых небольшое количество мелких ферромагнитных частиц эллипсоидальной формы распределено равномерно, частицы имеют хаотическую ориентацию и находятся друг от друга на расстояниях, исключающих магнитное взаимодействие между ними.

Целью данной работы является исследовать при комнатных температурах и магнитных полях до $1,6 \cdot 10^3$ А/м (20 Э) магнитную восприимчивость магнитную анизотропию восприимчивости и кажущуюся восприимчивость горных пород (андезито-базальт), взятых из правобережья р. Б. Зеленчук Карачаево-Черкесской Республики, номер буровой скважины 16/1061, возраст $p_z + K_z$.

Намагниченность горных пород (андезито-базальт) измеряли баллистическим методом [1]. По кривым намагничивания вычисляли величину магнитной восприимчивости κ :

$$\kappa = I/H \quad (1)$$

или удельной магнитной восприимчивости χ

$$\chi = I/\rho H, \quad (2)$$

где I – намагниченность, соответствующая различным значениям напряженности магнитного поля; H – напряженность приложенного магнитного поля; ρ – плотность горной породы (андезито-базальт).

На рис. 1 риведена зависимость магнитной восприимчивости (андезито-базальт) от величины приложенного магнитного поля H .

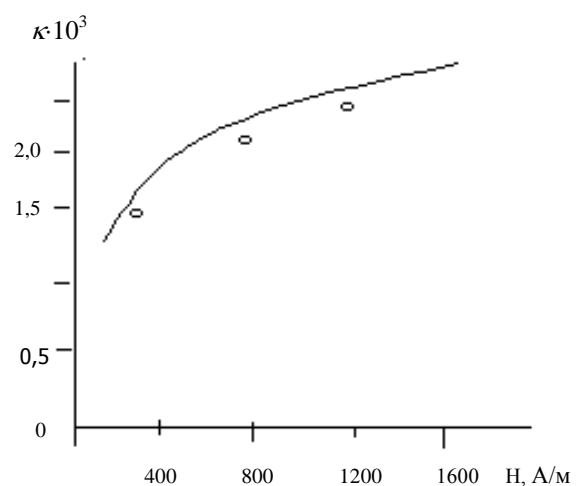


Рис. 1. Зависимость магнитной восприимчивости горных пород от внешнего магнитного поля

Измеренная магнитная восприимчивость горных пород является кажущейся из-за влияния размагничивающего фактора зерен ферромагнитных минералов,

содержащихся в горных породах. Зная истинную намагниченность и размагничивающий фактор горной породы (андезито-базальт) можно вычислить кажущуюся восприимчивость κ_A .

Для этой цели предположили, что в горной породе ферромагнитное зерно находится внутри произвольной полости. Тогда эффективное магнитное поле $H_{\text{эфф}}$ в полости будет равно [2]:

$$H_{\text{эфф}} = H - (L - M) I; \quad (3)$$

$$I = \kappa_A H_{\text{эфф}}, \quad (4)$$

где L и M – размагничивающие факторы горной породы и полости.

Обозначая через H_i – эффективное магнитное поле; I_i – интенсивность намагничивания; N – размагничивающий фактор отдельного зерна ферромагнитного минерала, присутствующего в полости; p – объемное содержание данного минерала в породе, получили следующие формулы:

$$H_i = H_{\text{эфф}} - N I_i; \quad (5)$$

$$I_i = \kappa H_i; \quad (6)$$

$$I = p I_i. \quad (7)$$

На основании уравнений (1)–(7) получили выражение для кажущейся магнитной восприимчивости:

$$\kappa_A = \frac{p\kappa}{1 + [N + (L - M)p]\kappa}. \quad (8)$$

Если $p \ll 1$,

$$\kappa_A = \frac{p\kappa}{1 + N\kappa}. \quad (9)$$

Полученная формула (9) справедлива для идеализированной породы (для одной частицы). Обозначая кажущуюся удельную восприимчивость ферромагнитного минерала (андезито-базальт) χ_A , а его весовую концентрацию q , получим вместо (8) соотношение

$$\chi_A = \frac{\kappa_A}{p_A} = \frac{q\chi}{1 + [N + (L - M)qp_A/p]p\chi}, \quad (10)$$

где p_A – плотность ферромагнитного минерала (андезито-базальт).

Из формулы (10) следует

$$\chi_A = \frac{q\chi}{1 + N p\chi}.$$

Так как горная порода содержит большое количество ферромагнитных трехосных сфероидов со случайно распределенными направлениями их больших осей, то кажущаяся восприимчивость горной породы выразится следующим образом:

$$\chi_A = \frac{q\chi}{3} \left(\frac{1}{1 + N_1\kappa} + \frac{1}{1 + N_2\kappa} + \frac{1}{1 + N_3\kappa} \right) = \frac{p\kappa}{1 + N\kappa},$$

где N_1, N_2, N_3 – размагничивающиеся факторы вдоль главных осей ($N_1 + N_2 + N_3 = 4\pi$).

Экспериментальная величина размагничивающего фактора N на 20 % меньше соответствующей величины для сферы ($4\pi/3$).

Если $N\kappa \gg 1$, то кажущаяся восприимчивость почти равна $1/N$, что говорит о том, что она больше зависит от размагничивающего фактора, чем от истинной восприимчивости горной породы.

Во всех наших рассуждениях магнитная восприимчивость полагалась изотропной величиной на ос-

нове предположений об изотропности истинной восприимчивости и случайного распределения направленных больших осей ферромагнитных частиц. Если эти допущения неверны, то восприимчивость проявляет анизотропные свойства. Анизотропная магнитная восприимчивость является тензором второго порядка κ_{ij} и может быть представлена эллипсоидом восприимчивости. Следует отметить, что по определению величина, обратная квадрату длины радиус-вектора эллипсоида восприимчивости, равна величине восприимчивости в направлении радиус-вектора. Поэтому геометрическое место концов векторов, представляющих восприимчивость, параллельное H , не образует эллипсоида (рис. 2).

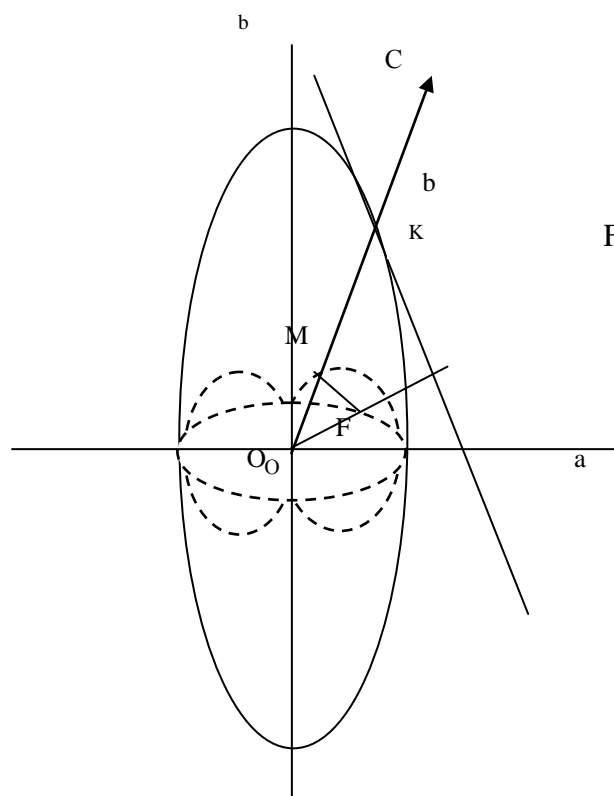


Рис. 2. Анизотропная магнитная восприимчивость: OC – направление магнитного поля H ; OF – анизотропная намагниченность горной породы, вызванная полем H ; OM – намагниченность, измеренная баллистическим методом горной породы; геометрическое место точек K представляет эллипсоид (сплошная линия); геометрическое место точек F (пунктирная линия) является эллипсоидом величины магнитной восприимчивости горной породы; a, b – главные оси эллипсоида

Из работы [3] следует, что величина магнитной восприимчивости горных пород в плоскости залегания и перпендикулярно к ней заметно отличается друг от друга. В нашем случае это расхождение достигает порядка ~25 %.

Если выразить степень анизотропии магнитной восприимчивости горной породы соотношением

$$p_{\text{max/min}} = \frac{\max \kappa_A}{\min \kappa_A},$$

то степень анизотропии составляет $p_{\text{max/min}} = 1,8$.

По-видимому, анизотропия магнитной восприимчивости горной породы обусловлена формой магнитного тела и кристаллографической анизотропией.

Из вышеизложенного следует, что:

– магнитная восприимчивость возрастает с увеличением магнитного поля;

– магнитная восприимчивость в слабых полях имеет сложную зависимость от рода, количества и размеров ферромагнитных зерен, а также от внутреннего напряжения в них;

– средняя форма ферромагнитных зерен в горной породе (андезито-базальт) близка к форме вытянутого сфероида со случайно распределенными направлениями их больших осей;

– степень анизотропии составляет $\rho_{\text{ид}} / \rho_{\text{ин}} = 1,8$;

– для горной породы при $Nk \gg 1$ кажущаяся восприимчивость равна $1/N$.

Полученные результаты исследования магнитной восприимчивости, магнитной анизотропии восприимчивости и кажущейся восприимчивости горных пород (андезито-базальт) имеют большое значение в геологии, петрографии и палеомагнетизме, а также их можно рекомендовать для выявления влияния анизотропии на направление остаточной намагниченности горных пород.

Литература

1. Галкина О.С., Урусова Б.И., Шалашов В.Ф. Магнитные и энергетические свойства сплавов // Физика металлов и металловедение. 1984. Т. 57, вып. 4. С. 828–830.
2. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. М., 1983. С. 302.
3. Ising G. The physical theory of rock magnetism // Ark Math. Astr. Fys. 1963. Vol. 29. P. 11–18.