

УДК 552:537.8(470.6)

**ПРИРОДА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ
ГОРНЫХ ПОРОД РАЙОНА РЕКИ МАРУХИ (СЕВЕРНЫЙ КAVKAZ)****Урусова Б.И., Лайпанов М.З., Узденова Ф.А.***ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева»,
Карачаевск, e-mail: urusova50@mail.ru*

Приведены экспериментальные результаты: а) спектрального анализа горных пород – габбро, гранит-аплит, габбро-базальт и базальт, для того чтобы выявить химический состав магнитных горных пород; б) температурного размагничивания остаточной намагниченности насыщения; в) для всех образцов определена температура Кюри. Для измерения спектрального анализа использовали ДФС-24, а естественную остаточную намагниченность измеряли потенциометрическим методом. Показано, что естественная намагниченность горных пород: базальт, габбро-базальт, гранит-аплит, габбро – образуется вследствие разрушения границы домена, что обусловлено тепловым движением, намагниченность которого направлена по полю. Если граница домена разрастается, то намагниченность направлена противоположно полю. Наши экспериментальные исследования показали, что намагниченность в горных породах: базальт, габбро-базальт, гранит-аплит, габбро – зависит от величины напряженности магнитного поля, температуры. Естественная намагниченность, остаточная намагниченность и временная намагниченность зависят от того, сколько времени находились породы в магнитном поле Земли, а также от скорости кристаллизации пород. Экспериментальные исследования показали, что магнитные явления в горных породах – габбро, гранит-аплит, габбро-базальт, базальт – и условия образования в ней естественной остаточной намагниченности обуславливаются наличием хаотически распределенных малых ферромагнитных зерен порядка до 10 мкм. Определена температура Кюри намагниченных горных пород для гранит-аплит – 750 К, габбро-базальт – 764 К, базальт – 800 К, габбро – 771 К. Все горные породы: габбро, гранит-аплит, габбро-базальт, базальт – содержат мельчайшую выраженность магнита и составляют в среднем 15%. Форму магнитных частиц определяли при помощи математического моделирования и численного метода Монте-Карло.

Ключевые слова: горные породы, габбро, гранит-аплит, габбро-базальт, базальт, остаточная намагниченность насыщения, температура Кюри, компьютерное моделирование

NATURE OF THE NATURAL RESIDUAL MAGNETIZATION OF MINING ORE**Urusova B.I., Laypanov M.Z., Uzdenova F.A.***Umar Aliev Karachai-Cherkess State University, Karachayevsk, e-mail: urusova50@mail.ru*

Experimental results are presented: a) spectral analysis of rocks – gabbro, granite-aplite, gabbro-basalt and basalt, in order to reveal the chemical composition of magnetic rocks; b) temperature demagnetization of the residual saturation magnetization; c) the Curie temperature is determined for all samples. To measure the spectral analysis, DFS-24 was used, and the natural residual magnetization was measured by the potentiometric method. It is shown that the natural magnetization of rocks: basalt, gabbro-basalt, granite-aplite, gabbro – is formed due to the destruction of the domain boundary, which is caused by thermal motion, the magnetization of which is directed along the field. If the domain boundary expands, the magnetization is directed opposite to the field. Natural magnetization, residual magnetization, and temporary magnetization depend on how long the rocks have been in the Earth's magnetic field, as well as on the rate of rock crystallization. Experimental studies have shown that magnetic phenomena in rocks – gabbro, granite-aplite, gabbro-basalt, basalt and conditions for the formation of natural residual magnetization in it are caused by the presence of chaotically distributed small ferromagnetic grains of the order of up to 10 microns. The Curie temperature of magnetized rocks is determined for granite-aplite – 750 K, gabbro-basalt – 764 K, basalt – 800 K, gabbro – 771 K. All rocks – gabbro, granite-aplite, gabbro-basalt, basalt contain the smallest intensity of the magnet, and is about an average of 15%. The shape of magnetic particles was determined using mathematical modeling and the numerical Monte Carlo method.

Keywords: mountain ores, gabbro, granite-aplite, gabbro-basalt, basalt, remanent saturation magnetization, Curie temperature, computer modeling

Спектральный анализ включает в себя методы качественного и количественного определения состава объекта. Данные методы рассматривают спектры взаимодействия материи с электромагнитным излучением различных частот, а также изучают распределения элементарных частиц по массе и энергии [1].

Атомы любого химического элемента излучают или поглощают свет на определенных частотах. Это позволяет с помо-

щью спектрографа в определенных местах наблюдать спектральные линии (темные и светлые), характерные именно для каждого вещества. Зависимость количества вещества и его состояния определяется по интенсивности соответствующих спектральных линий.

Спектральный анализ по своей сущности является универсальным, так как обладает достаточной чувствительностью, позволяет одновременно определить не-

сколько десятков элементов (до 40), используемая аппаратура достаточно проста по сравнению с другими инструментальными методами (например, рентгеноспектральным и масспектральным) и очень рентабельна [2, 3].

Естественная намагниченность горных пород (гранит-аплит, габбро, габбро-базальт, базальт) проявляется в результате следующего механизма: если намагниченность домена направлена по полю, идет разрушение границы под действием теплового движения, если же намагниченность направлена противоположно полю, то разрастание границы будет в сторону домена. Внутри доменов образуются устойчивые зародыши, направленные вдоль поля. Если имеются предпосылки для образования естественной намагниченности, но вследствие малой магнитостатической энергии он не может быть осуществлен, то в последующем данный процесс может быть завершен за счет энергии теплового движения. Этот процесс возможен в случае, когда имеет место более выгодное энергетическое состояние, и он осуществляется при тепловом движении в результате случайных флуктуаций доменов.

В большинстве горные породы имеют в своем составе определенное количество ферромагнитных зерен или ферримангнитных минералов, и поэтому они подобно ферромагнетикам обладают магнитным гистерезисом и имеют температуру Кюри. Но величина намагниченности горных пород обычно весьма незначительно превышает намагниченность парамагнетиков. Такие параметры, как напряженность магнитного поля, температура, давление, химические и механические изменения, влияют на величину намагниченности горных пород [4]. Время, в течение которого в горных

породах образуется та или иная намагниченность, зависит как от скорости диагенеза и седиментации, так и от скорости остывания магм, из которых образуются горные породы. Данный промежуток времени лежит в пределах от нескольких часов до десятков тысяч лет [5].

В настоящее время на территории Карачаево-Черкесской Республики (КЧР) в должной мере не изучены магнитные свойства горных пород. Данный факт обусловлен рядом причин: удаленность объектов исследований от научных центров; сложность и экономическая дороговизна исследований, неоднородность состава горных пород. Поэтому представляло интерес изучить естественную остаточную намагниченность горных пород.

Целью работы является детальное изучение химического состава и естественной остаточной намагниченности горных пород КЧР (габбро, гранит-аплит, габбро-базальт, базальт) как для выявления магнитных пород и восстановления геомагнитного поля в геологическом прошлом, так и для объяснения механизма намагниченности горных пород.

Материалы и методы исследования

Образцы горных пород были взяты совместно с геологами КЧР с известными соответственно номером буровой скважины и возрастом (табл. 1).

Для проведения спектрального анализа использовали ДФС – 24. Образцы для проведения исследования высушивали и очищали от внешних загрязнений. Для анализа образец дробили на стальной плите, а затем в агатовой ступке и брали 10–15 г полученного порошка. Далее отбирали 5 г образца и доводили до порошка с размером частиц 0,01 мм который служил материалом для исследований.

Таблица 1

Образцы горных пород

№ п/п	Название породы	Название местности	Номер буровой скважины	Возраст
1	Гранит-аплит	КЧР, Зеленчукский район, правобережье р. Маруха	1/1020	$\gamma\pi PZ_3$
2	Габбро	КЧР, Зеленчукский район, левобережье р. Маруха	7/1022	$\nu PR - PZ_1$
3	Габбро-базальт	КЧР, Зеленчукский район, водораздел р. Маруха	7/1051	$\nu PR - PZ_1$
4	Базальт	КЧР, Зеленчукский район, водораздел р. Маруха	17/1042	$PZ_1 - KR$

Фотографии спектров исследуемой пробы сравнивали с несколькими эталонами, концентрации в которых изменялись в 3–5 раз. Спектры изучаемых образцов и эталонов фотографировали при одинаковых условиях: силе тока, дуговом промежутке, освещении щели спектрографа (СТЭ-1), величине навески и т.д. Спектрограммы изучали на спектропроекторе ПС-18, методом подбора одинаковых почернений полученных линий элемента в исследуемой пробе и эталонах.

Результаты исследования и их обсуждение

Концентрации различных элементов определяли сравнением почернений спектральных линий в исследуемой пробе с почернением этой же линии в одном из эталонов, для которого концентрация известна, полученные результаты приведены на рис. 1.

Горная порода, находящаяся в магнитном поле Земли в течение определенного времени, приобретает естественную намагниченность [6, 7].

Для выявления однокомпонентности магнитных пород на всех образцах провели исследования температурного размагничивания остаточной намагниченности насыщения. На рис. 2 приведены кривые изменения остаточной намагниченности

насыщения $I_{rs}(T)$, образец 1 и соответственно образцы 2–4.

Также нами впервые для всех образцов экспериментально определена температура Кюри, которая соответствует: 1) гранит-аплит – 773 К, 2) габбро – 783 К, 3) габбро-базальт – 793 К, 4) базальт – 798 К. Из результатов исследования спектрального и термомагнитного анализа следует, что вкрапленные кристаллики являются первичным магнетитом. Это говорит о том, что магнитные свойства этих горных пород обусловлены первичным магнетитом.

Следует отметить, что естественная остаточная намагниченность в переменном магнитном поле, имеет направление вектора I_n магнитосодержащих пород геомагнитного поля периода формирования горных пород (рис. 3), которое соответствует 0,5 млн лет назад, было примерно таким же, как и в историческом прошлом. А физическая природа естественной остаточной намагниченности горных пород КЧР в связи с составом и структурой магнитных минералов говорит о возможности процессов самообращения.

В табл. 2 приведены результаты экспериментальных измерений исследуемых образцов, где а) I_n – естественная остаточная намагниченность; б) I^0 – угол магнитного отклонения; в) D^0 – угол магнитного склонения; г) T_k – термодинамическая температура и характер стабильности I_n по H_{\sim} .

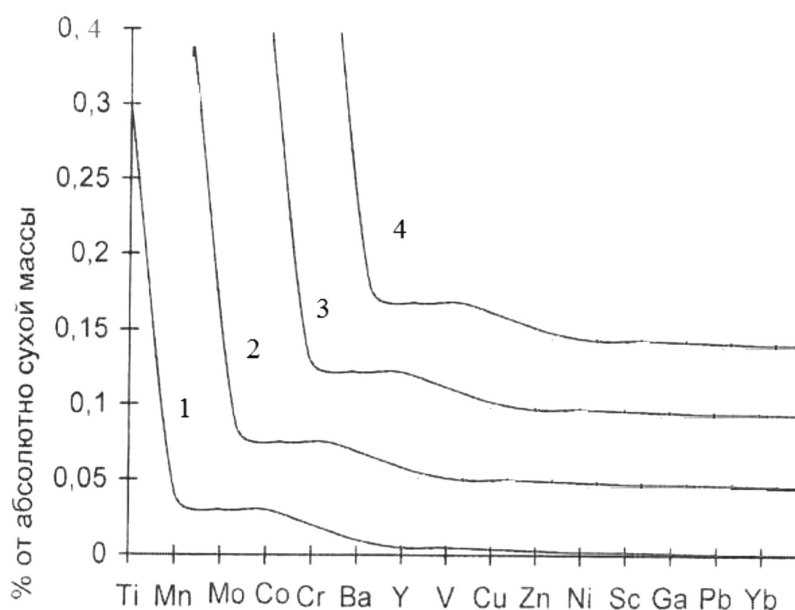


Рис. 1. Содержание химических элементов в образцах:
1 – гранит-аплит, 2 – габбро, 3 – габбро-базальт, 4 – базальт

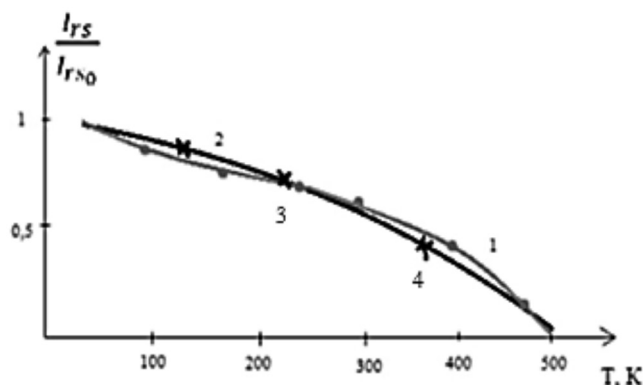


Рис. 2. Кривые изменения остаточной намагниченности насыщения от температуры $I_{rs}(T)$ (1 – гранит-аплит, 2 – габбро, 3 – габбро-базальт, 4 – базальт)

Таблица 2

Результаты экспериментальных измерений исследуемых образцов

№ п/п образец	Название породы	$I_n \cdot 10^6$	I^0	D^0	T_k	Стабильность I_n по H_{\sim}
1	Гранит-аплит	1120	51	321	500	стабильно
2	Габбро	1004	48	316	520	стабильно
3	Габбро-базальт	1003	49	315	510	стабильно
4	Базальт	1002	50	310	505	стабильно

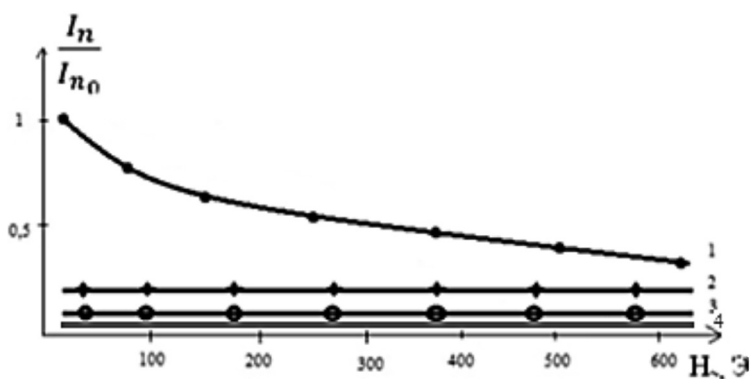


Рис. 3. Размагничивание переменным магнитным полем
(1 – гранит-аплит, 2 – габбро, 3 – габбро-базальт, 4 – базальт); 1 – $\frac{I_n}{I_{n0}}$; 2–4 – $D-I$

Для определения формы магнитных частиц использовали компьютерное моделирование и численные методы Монте-Карло. Далее, вычисляли алгоритм, который основан на теореме о среднем:

$$\int_{\Omega} f(x) dx = V f, \quad (1)$$

где V – объём области W , (W – k -мерный параллелепипед с объёмом V , содержащий об-

ласть W). В параллелепипеде W произвольно выберем большое число N равномерно распределённых магнитных частиц. Вычислили значение функции f для M магнитных частиц находящихся в области W . Оценивали величину интеграла по формуле

$$I = \frac{M}{N} W \cdot \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M f(x_j) = \frac{W}{N} \sum_{j=1}^M f(x_j). \quad (2)$$

Если в области W точки распределены с плотностью вероятности $p(x)$, то, зная объём V , можно получить следующую оценку интеграла:

$$I = \frac{V}{M} \sum_{j=1}^M \frac{f(x_j)}{p(x_j)}. \quad (3)$$

Алгоритм решения интегрального уравнения:

$$\varphi(x) = \int_{\Omega} K(x, y) \varphi(y) dy + f(x). \quad (4)$$

Решение искали в виде суммы:

$$\varphi_M(x) = \sum_{j=0}^M \psi_j(x), \quad (5)$$

где

$$\psi_0(x) = f(x)$$

и

$$\psi_j(x) = \int_{\Omega} K(x, y) \psi_{j-1}(y) dy. \quad (6)$$

Пусть функционал равен

$$\Phi = \int_{\Omega} \varphi(x) g(x) dx. \quad (7)$$

Тогда переход от точки x_{m-1} к точке x_m определяется плотностью вероятности $K(x_{m-1}, x_m) dx_m$, где математическое ожидание случайной величины равно

$$\Phi_M = \sum_{j=0}^M g(x_j), \quad (8)$$

где Φ – искомый функционал.

Осуществляя переход, имеем $x_{m-1} \rightarrow x_m$. При этом случайную величину, с помощью которой оценивали функционал, вычисляли по формуле

$$\Phi_M = g(x_0) + \sum_{j=1}^M g(x_j) \frac{\prod_{m=1}^j K(x_{m-1}, x_m)}{\prod_{m=1}^j P(x_{m-1}, x_m)}. \quad (9)$$

Далее, адаптивным методом получили эллиптическую форму магнитных частиц.

Полученные результаты

1. Горные породы: гранит-аплит, габбро, габбро-базальт, базальт – содержат мелкозернистый первичный момент и характеризуются стабильной прямой намагниченностью и определяют направление геомагнитного поля периода формирования горной породы.

2. Получено, что направление геомагнитного поля около 0,5 млн лет назад было таким же, как и в историческом прошлом.

3. Естественная остаточная намагниченность горных пород: гранит-аплит, габбро, габбро-базальт, базальт – приобретает за счет процессов самообращения.

4. При помощи компьютерного моделирования и численного метода Монте-Карло, определили эллиптическую форму магнитных частиц.

Список литературы / References

1. Urusova B.I., Jatdueva S.U. Some magnetic properties of the ore mining // International scientific Research journal. Innovative science. 2015. No. 4. P. 3–5.
2. Емуродский П.В. Электротехника и электроника. М.: Феникс, 2018. 600 с.
Emurodskiy P.V. Electrical engineering and electronics. M.: Feniks, 2018. 600 p. (in Russian).
3. Трухин В.И., Безаева Н.С., Матвеева Т.В., Рошет П. Физическая и компьютерная модели явления самообращения намагниченности горных пород // Физика Земли. 2016. № 2. С. 50–63.
Trukhin V.I., Bezaeva N.S., Matveeva T.V., Roshet P. Physical and computer models of self-transformation of magnetization of rocks // Fizika Zemli. 2006. No. 2. P. 50–63 (in Russian).
4. Гончаров С.А., Пашенков П.Н., Плотноков А.В. Физика горных пород: физические явления и эффекты в практике горного производства. М.: Дом МИ-СиС, 2016. 27 с.
Goncharov S.A., Paschenkov P.N., Plotnikov A.V. Physics of rocks: physical phenomena and effects in the practice of mining. M.: Dom MI-SiS, 2016. 27 p. (in Russian).
5. Урусова Б.И. Физика магнитных явлений горных пород. СПб.: Инфо-да, 2010. 124 с.
Urusova B.I. Physics of magnetic phenomena of rocks. SPb.: Info-da, 2010. 124 p. (in Russian).
6. Heider F., Halgedain S.L., Dunlop D.I. Temperature dependence in magnetic crystal. Geophysical Research Letters. 1988. no. 5. P. 199.
7. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. СПб.: Ленанд, 2014. 368 с.
Rzhevskiy V.V., Novik G.Ya. Basics of rock physics. SPb.: Lenand. 2014. 368 p. (in Russian).