

УДК 552.08

DOI 10.17513/use.38208

## КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНО ПРЯМО И ОБРАТНО НАМАГНИЧЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССИИ (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)

Урусова Б.И., Лайпанов У.М., Узденов Ш.Х.

ФГОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет имени У.Д. Алиева»,  
Карачаевск, e-mail: urusova50@mail.ru

В данной работе впервые проведены комплексные экспериментальные исследования стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород габбро-базальт, базальт. Рассмотрены проблема геомагнетизма – обратная магнитная полярность, а также физическая природа стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород габбро-базальт, базальт. Определены: первичность магнитной породы; степень сохранности; наличие структур распада; оценены присутствие и время образования вторичных магнитных горных пород. Получено, что намагниченность прямо намагниченных горных пород не меняется до 873 К в малых внешних магнитных полях и совпадает с направлением внешнего магнитного поля при температуре 873 К, а направление вектора обратной остаточной намагниченности горных руд андезито-базальт не меняется при одновременном воздействии температуры до 800 К и слабых магнитных полей разных направлений. Установлено, что температура Кюри прямо намагниченных горных пород находится в области 850 К, так как имеются мельчайшие вкрапления, магнетиты, которые можно считать однодоменными. Породы, содержащие вторичный магнетит, характеризуются стабильной обратной намагниченностью, что является необходимым условием появления первичной термоостаточной намагниченности. Несмотря на высокую стабильность  $J_n$  горных руд, намагниченность рассматриваемых образцов магнитно стабильна по отношению к переменному магнитному полю. Направление вектора естественной остаточной намагниченности также не меняется при одновременном воздействии температуры и слабых магнитных полей разных направлений порядка земного поля. При этом температура Кюри составляет около 800 К, угол магнитного наклона – 60°. Обратная намагниченность горных пород имеет внутримолекулярный характер и связана с обменным взаимодействием двух магнитных фаз: ферромагнитной и промежуточной области между ферромагнитным и антиферромагнитным состоянием. Обратно намагниченные горные породы не следует использовать для восстановления направления геомагнитного поля, так как намагниченность обусловлена вторичными магнитными минералами.

**Ключевые слова:** горные породы, габбро-базальт, базальт, температура Кюри, магнитное поле, термоостаточная намагниченность, геомагнетизм

## COMPREHENSIVE STUDY OF STABLY DIRECTLY AND INVERSELY MAGNETIZED ROCKS OF KARACHAY-CHERKESSIA (NORTH CAUCASUS)

Urusova B.I., Laipanov U.M., Uzdenov Sh.Kh.

Karachay-Cherkess State University named after U.D. Aliyev, Karachayevsk,  
e-mail: urusova50@mail.ru

In this work, for the first time, comprehensive experimental studies of stably directly and reversely magnetized rocks gabbro-basalt, basalt were carried out. The problems of geomagnetism such as reverse magnetic polarity, as well as the physical nature of stably directly and reversely magnetized rocks gabbro-basalt, basalt are considered. It was found that the magnetization of directly magnetized rocks does not change up to 873 K in small external magnetic fields and coincides with the direction of the external magnetic field at a temperature of 873 K. The direction of the reverse residual magnetization vector of andesite – basalt rock ores does not change with simultaneous exposure temperatures up to 800 K and weak magnetic fields. It was found that the Curie temperature of directly magnetized rocks is in the region of 850 K, since there are tiny inclusions, magnetites, which can be considered single-domain. Rocks containing secondary magnetite are characterized by stable reverse magnetization, which is a necessary condition for the appearance of primary thermoremanent magnetization. Despite the high stability of  $J_n$  of rock ores, the magnetization of the samples under consideration is magnetically stable with respect to an alternating magnetic field. Curie temperature is about 800 K, the magnetic inclination angle is 60°. The reverse magnetization of rocks is intramolecular in nature and is associated with the exchange interaction of two magnetic phases: ferrimagnetic and the intermediate region between the ferromagnetic and antiferromagnetic states. Reverse magnetized rocks should not be used to restore the direction of the geomagnetic field, since the magnetization is due to secondary magnetic minerals.

**Keywords:** rocks, gabbro-basalt, basalt, Curie temperature, magnetic field, thermoremanent magnetization, geomagnetism

На сегодняшний день по разным причинам в Карачаево-Черкессии (Северный Кавказ) мало изучены горные породы. Поэтому научный и практический интерес представляют следующие вопросы:

1) проблема геомагнетизма как обратная магнитная полярность;

2) физическая природа стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород.

В недрах Земли ферромагнитная гипотеза геомагнитного поля есть вероятная, так как значительное количество ферромагнитных веществ находится в оболочке или мантии Земли. Сферический слой из ферро-

магнитных веществ мощностью в несколько десятков километров способен создать магнитное поле Земли. Если намагниченное тело имеет произвольную форму, его потенциал равен:

$$U = \int_S (JdS)r - \int_T (\text{div}(J/r))dr, \quad (1)$$

где  $U$  – потенциал намагниченного тела;  
 $J$  – интенсивность намагниченности;  
 $r$  – радиус-вектор поверхности из точки измерения до элемента поверхности;  
 $S$  – площадь поверхности рассматриваемого тела.

А для тела, имеющего объемную магнитную массу, потенциал равен:

$$U = \int_T \rho(dr/r) = \int_r (dm/r), \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность тела;  
 $dm$  – магнитная масса в элементе объема.  
 Для ферромагнитной гипотезы необходимым условием является существование первоначального магнитного поля, где возникают намагниченность оболочки вещества, стабильно прямо и обратно намагниченности.

Целью данной работы является экспериментально исследовать геологические объекты стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород габбро-базальт, базальт Карачаево-Черкессии (Северный Кавказ).

### Материал и методы исследования

Для комплексного изучения стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород были отобраны пробы горных пород геологами Карачаево-Черкесской Республики (Северный Кавказ) с известным номером буровой скважины и возрастом (таблица).

Экспериментальные исследования геологических объектов (габбро-базальта и базальта) были выполнены в лаборатории магнетизма на кафедре физики Карачаево-Черкесского государственного университета в течение 2022–2023 гг. в несколько этапов:

- 1) определяли химический состав горных пород при помощи спектрального анализа на основе спектрометра Д – 24;
- 2) образцы горных пород вырезали и придавали форму параллелепипеда размером 40x10x10 мм<sup>3</sup>;
- 3) был собран блок измерения намагниченности и автоматической записи на ЭВМ от температуры и магнитного поля. Измеряли  $J_n$  баллистическим методом при магнитных полях, которое создавали сверхпроводящим соленоидом с постоянной 1,91 кЭ и критическим током 25 А [1]. Чувстви-

тельным элементом служила двухслойная аксиальная катушка с дифференциальной намоткой секции. Стабилизация тока через образец осуществлялась с помощью схемы стабилизации тока на базе стабилизатора напряжения  $U = 1199$ . Ток через образец не превышал  $10^{-5}$  А/час.

Средняя квадратичная ошибка в измерении величины  $J_n$  составляет  $\sim 1,5\%$ , угол магнитного наклона  $I^0$  и магнитного склонения  $(D) \sim 0,6^0$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Авторами статьи впервые на территории Карачаево-Черкессии (Северный Кавказ) проведены экспериментальные исследования геологических объектов стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород: габбро-базальта и базальта.

В таблице приведены результаты экспериментальных исследований магнитных свойств стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород ( $J_n$  – намагниченность,  $I^0$  – угол магнитного наклона,  $T^0$  – температура Кюри).

Исследования показали, что намагниченность прямо намагниченных горных пород не меняется до 873 К в малых внешних магнитных полях и совпадает с направлением внешнего магнитного поля при температуре 873 К. Температура Кюри прямо намагниченных горных пород находится в области 850°К. Это говорит о том, что эти горные породы содержат, по-видимому, мельчайшие вкрапления – магнетиты, которые можно считать однодоменными [2], они составляют 10% от общей массы горных пород.

На рисунках 1 и 2 приведены полученные экспериментальные результаты размагничивания переменным магнитным полем прямо намагниченных образцов горных пород: 1) габбро-базальт и 2) базальт.

Угол магнитного наклона находится в пределах от 40<sup>0</sup> до 60<sup>0</sup>. Температура Кюри равна 900°К [2].

Терромагнитные измерения показали, что намагниченность насыщения  $J_{rs}(T)$  является однофазной. На рисунках 3 и 4 приведены экспериментальные результаты зависимости остаточной намагниченности насыщения от температуры  $J_{rs}(T)$  горных пород: 1) габбро-базальт и 2) базальт.

Полученные экспериментальные результаты показывают, что намагниченность прямо намагниченных горных пород нестабильна.

Результаты экспериментальных исследований магнитных свойств стабильно прямо и обратно намагниченных горных пород ( $J_n$  – намагниченность,  $I^0$  – угол магнитного наклоения,  $T^0$  – температура Кюри)

№	Название породы	Название местности	Номер буровой скважины	Возраст	$J \cdot 10^{-6}$ естественная намагниченность	$I^0$ угол магнитного наклоения	$D^0$ Угол магнитного склоения	$T^0 K$ Температура Кюри	Стабильность $J_n$ по $H_0$
1	Габбро-базальт	КЧР Зеленчукский р-н, р.Маруха	7/1051	n	2030	60	47	850	Стабилен
2	Базальт	КЧР Зеленчукский р-н, р. Маруха	17/1942	PZ <sub>1</sub> -KR	1950	42	30	720	Стабилен

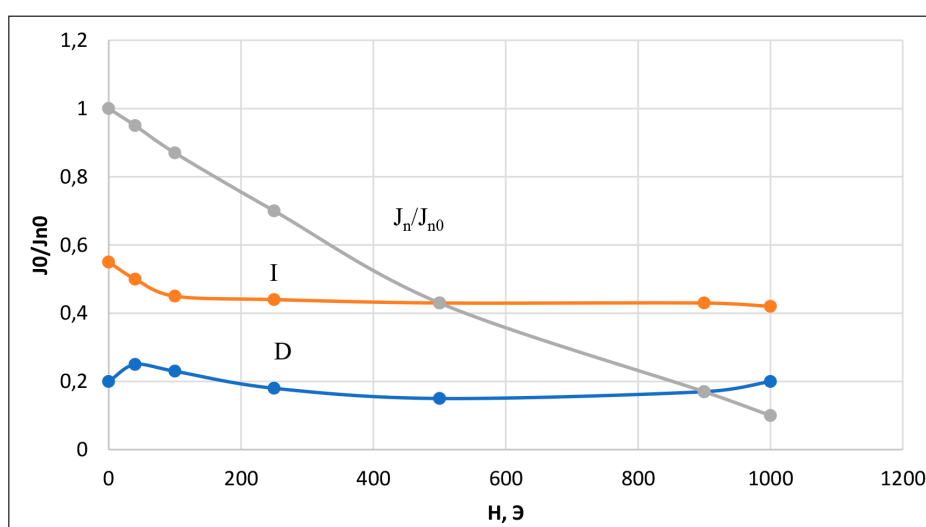


Рис. 1. Экспериментальные результаты размагничивания переменным магнитным полем прямо намагниченного образца горной породы габбро-базальт

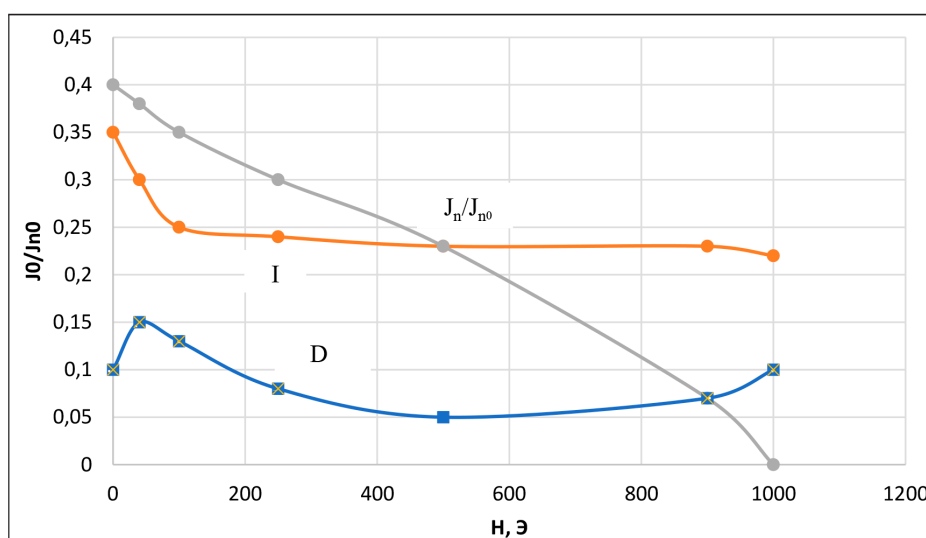


Рис. 2. Экспериментальные результаты размагничивания переменным магнитным полем прямо намагниченного образца горной породы базальт

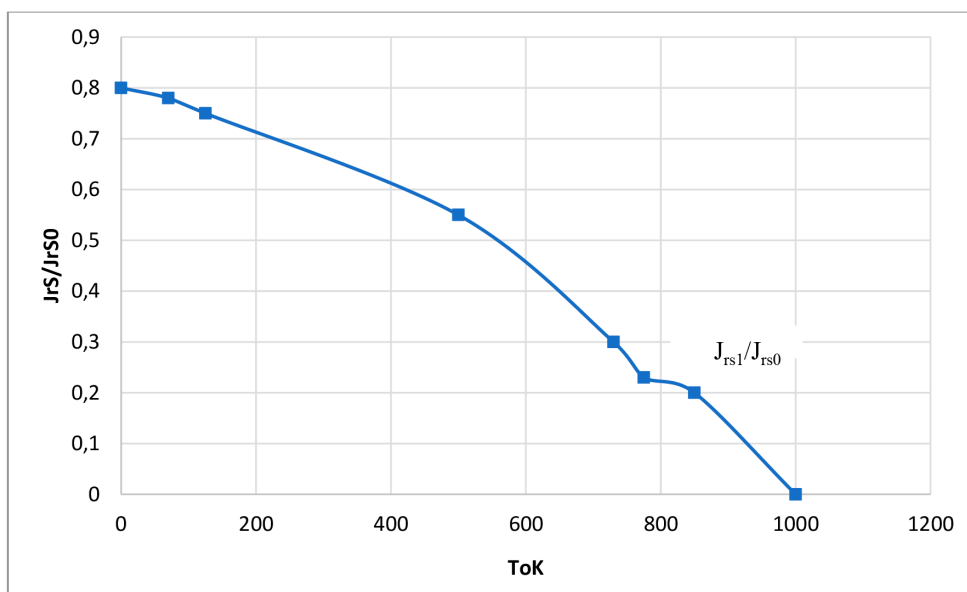


Рис. 3. Экспериментальные результаты зависимости остаточной намагниченности насыщения от температуры  $J_{rs}(T)$  горной породы габбро-базальт

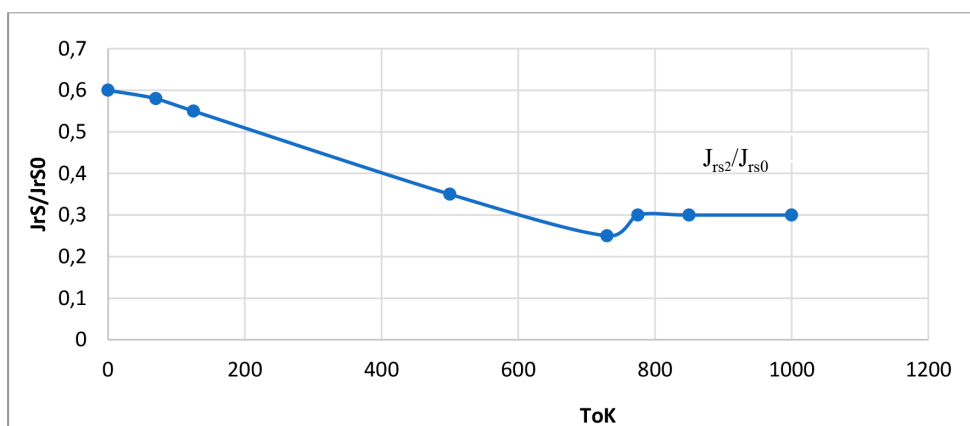


Рис. 4. Экспериментальные результаты зависимости остаточной намагниченности насыщения от температуры  $J_{rs}(T)$  горной породы базальт

Поэтому эти результаты можно использовать для восстановления геомагнитного поля того периода, когда формировалась горная порода [3]. Обратная намагниченность этих горных пород магнитно стабильна [4].

На рисунках 5 и 6 приведены экспериментальные результаты размагничивания переменным магнитным полем обратно намагниченных образцов: 1) габбро-базальт и 2) базальт.

Эксперименты показали, что температура Кюри составляет около 800°K для габбро-базальта и соответственно 720°K для базальта.

При малых магнитных полях направление вектора обратной остаточной намагниченности горных пород не меняется.

По-видимому, обратная намагниченность связана с обменным взаимодействием двух магнитных фаз: ферромагнитной и промежуточной области между ферромагнитным и антиферромагнитным состояниями [5].

Таким образом, из экспериментальных исследований следует, что породы, содержащие вторичный магнетит, характеризуются стабильной обратной намагниченностью, что является необходимым условием появления первичной термоостаточной намагниченности. Несмотря на высокую стабильность  $J_n$  горных пород, намагниченность рассматриваемых образцов магнитно стабильна по отношению переменному магнитному полю [6, с. 293].

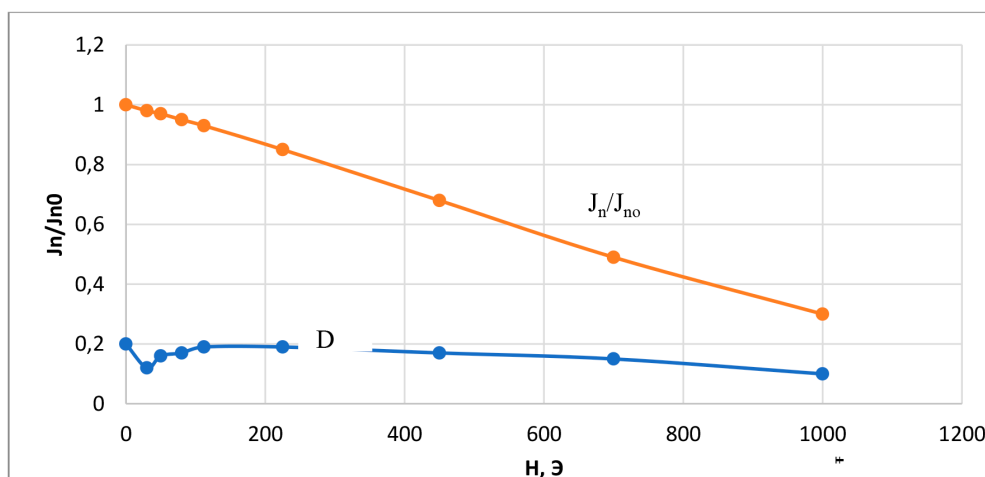


Рис. 5. Экспериментальные результаты размагничивания переменным магнитным полем обратно намагниченных образцов габбро-базальта

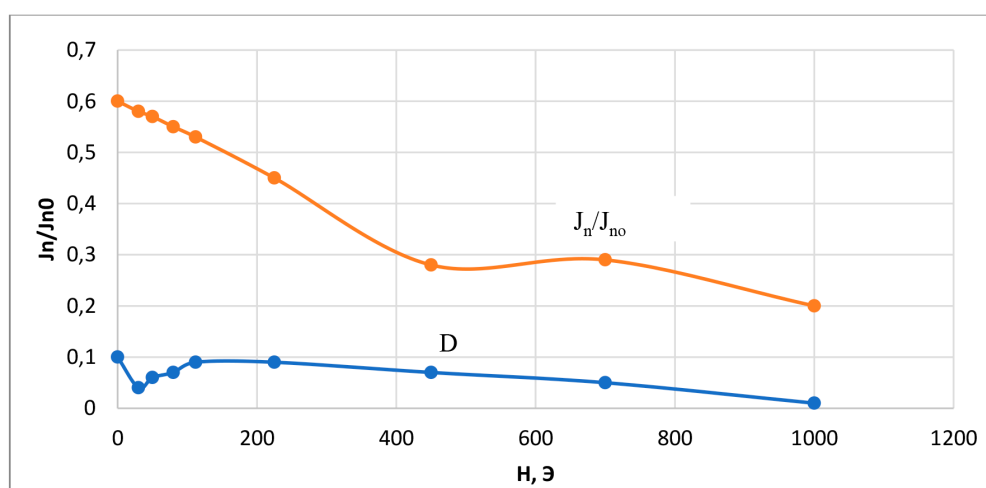


Рис. 6. Экспериментальные результаты размагничивания переменным магнитным полем обратно намагниченных образцов базальта

Естественная остаточная намагниченность не изменяет своего направления при помещении одновременно в малые магнитные поля и температуры [7].

Температура Кюри около 800°K, угол магнитного наклона – 60°, а для образца базальт соответственно 720°K и 45°.

### Выводы

1. Показано, что наличие прямой намагниченности связано с физико-химическими процессами, обусловленными намагничиванием горной породы по направлению геомагнитного поля, а обратная намагниченность – против геомагнитного поля.

2. Прямая намагниченность горных пород дает возможность восстановления гео-

магнитного поля Земли и объясняет механизм намагниченности горных пород.

3. Обратная намагниченность горных пород имеет внутримолекулярный характер и связана с обменным взаимодействием двух магнитных фаз: ферромагнитной и промежуточной области между ферромагнитным и антиферромагнитным состояниями.

4. Впервые на территории Карачаево-Черкессии комплексно изучены магнитные породы габбро-базальт, базальт.

5. Установлено, что прямая намагниченность исследуемых образцов обусловлена первичным происхождением, а обратная намагниченность – вторичным намагничиванием магнитных минералов и многокомпонентной магнитной системой.

6. Установлена зависимость полярности намагниченности горных пород от состава, структуры и генезиса магнитных минералов.

7. Обратную намагниченность горных пород абсолютно невозможно использовать для восстановления направления геомагнитного поля, так как намагниченность обусловлена вторичными магнитными минералами.

#### Список литературы

1. Урсова Б.И. Физика магнитных явлений горных руд. СПб., 2010. 123 с.

2. Урсова Б.И., Лайпанов У.М. Перемагничивание горных пород // Успехи современного естествознания. 2018. № 3. С. 128-132.

3. Carrasco J.P., Osete M.L., Torta J.M., Santis A.De. A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data // Earth and Planetary Science Letters. 2014. P. 98-109.

4. Catherine G. Modelling the geomagnetic field from syntheses of paleomagnetic data // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2011. P. 109-117.

5. Belokon V.I., Dyachenko O.I. Long- and Short-Range Magnetic Order in Titanomagnetite // Phys. Solid Earth. 2020. Vol. 56(6). P. 888-891.

6. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. СПб., 2014. 368 с.

7. Гончаров С.А., Пашенков П.Н., Плотников А.В. Физика горных пород: физические явления и эффекты в практике горного производства. М., 2016. 27 с.