

## ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ ГОРНЫХ РУД

Урусова Б.И., Лайпанов У.М.

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

Приведены экспериментальные результаты возможности перемагничивания горной руды – габбро при одновременном воздействии температуры и слабых магнитных полей разных направлений порядка земного поля. Для измерения намагниченности насыщения и стабилизации температуры созданы экспериментальные установки: схема стабилизации температуры и схема автоматической записи остаточной намагниченности насыщения от температуры. При комнатной температуре (200 °С), величина и направление естественной намагниченности кубиков из разных частей образцов горной руды одинаковы как в случае прямо намагниченных, так и обратно намагниченных горных руд. Это связано с однородной намагниченностью в исследуемых образцах горных руд – габбро. Экспериментальные исследования показали, что направление естественно остаточной намагниченности прямо намагниченных образцов горных руд-габбро не изменяется до температуры ~600 °С при небольших магнитных полях и около ~600 °С совпадает с направлением внешнего поля. Когда внешнее поле направлено обратно, направлению естественной остаточной намагниченности не меняется до температуры ~400 °С, а выше ~500 °С происходят изменения знака направления. Магнитные явления в горной руде-габбро и условия образования в ней остаточной намагниченности являются весьма специфическими и наблюдаются следующие факторы: ферромагнитные зерна очень малы от 1 до 10 мкм в отличие от обычно рассматриваемых ферромагнитных массивных образцов; неоднородное рассеяние частиц по образцу; малость внешнего намагничивающего поля, в сравнении с внутренним образца (поле эффективной анизотропии и коэрцитивной силой); внешние немагнитные воздействия, оказывающие влияние на остаточную намагниченность; температура Кюри прямо намагниченных образцов находится в интервале 500–600 °С. Горная руда – габбро содержит мельчайшую выраженность магнита и составляет примерно 10%.

**Ключевые слова:** горная руда – габбро, остаточная намагниченность насыщения, перемагничивание, температура, Кюри, магнитное поле

## REMAGNETIZATION OF MINING ORES

Urusova B.I., Laypanov U.M.

*Karachaevo-Cherkessk State University named after U.D. Aliev, Karachaevsk,  
e-mail: urusova50@mail.ru*

The experimental results of the possibility of remagnetization of mining ore – gabbro with simultaneous influence of temperature and weak magnetic fields of different directions of the order of the Earth's field are presented. To measure the magnetization of saturation and stabilization of the temperature created by the experimental setup: schematic of temperature stabilization and automatic recording of the remanent saturation magnetization on temperature. At room temperature (200 °C), the magnitude and direction of the natural magnetization of the cubes from different parts of the samples of mining ore are the same as in the case of directly magnetized, as well as back magnetized mining ores. This is due to homogeneous magnetization in the samples of mountain ores – gabbro. Experimental studies have shown that the direction of naturally residual magnetization of directly magnetized samples of ore – gabbro does not change to a temperature of ~600 °C at small magnetic fields and about ~600 °C coincides with the direction of the external field. When the external field is directed back, the direction of the natural residual magnetization does not change to a temperature of ~400 °C, and above ~500 °C there is a change in the direction sign. Magnetic phenomena in mining ore-gabbro and conditions of formation of residual magnetization in it are very specific and the following factors are observed: the ferromagnetic grains are very small from 1 to 10 microns in contrast to the usual the considered ferromagnetic bulk samples; heterogeneous scattering particles in the sample; the smallness of the external magnetizing field, in comparison with an internal sample (field effective anisotropy and coercivity); a non-magnetic external effects influencing the residual magnetization; Curie temperature directly magnetized samples is in the range of 500–600 °C. Mining and ore – gabbro contains a smallest intensity of the magnet from and it's about 10%.

**Keywords:** mining ore-gabbro, residual saturation magnetization, remagnetization, temperature, Curie, magnetic field

Горные руды обычно содержат некоторое количество ферромагнитных зерен или ферримагнитных минералов. Поэтому большинство горных руд 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 интенсив-

ность 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.

Намагниченность горных руд зависит от целого ряда факторов и, в частности, от величины напряженности магнитного поля, температуры, давления, химических изменений, времени, механических деформаций и др. А промежуток времени, в течение которого магматические, горные руды приобретают тот или иной вид намагниченности, зависит от скорости остывания магм или скорости седиментации и диагенеза. Он может меняться в пределах от нескольких часов до десятков и тысяч лет.

Так как к настоящему времени в Карачаево-Черкесской республике (КЧР) не исследованы и не изучены магнитные свойства горных руд ввиду удаленности объектов исследований от научных центров; сложности и экономической дороговизны, неоднородности состава горнорудных руд и взаимодействие между ними, поэтому представляло интерес изучить горную руду – габбро.

**Целью данной работы** является экспериментальным путем выяснить возможность перемагничивания горной руды – габбро при одновременном воздействии температуры и слабых магнитных полей разных направлений порядка земного поля.

#### **Материалы и методы исследования**

Образцы горных руд – габбро были взяты из левобережья р. Марухи, Зеленчукского района, Карачаево-Черкесской республики, номером буровой скважины № 7/1022 и возрастом  $vPR - PZ_1$ .

Так как диапазон изменения первичной остаточной намагниченности одной и той же горной руды весьма велик, одно и то же значение намагниченности может быть у руд различного состава и учитывая, что существует еще вторичная остаточная намагниченность, которая возникает в результате последующего умеренного разогрева (например, при метаморфизме) или механической деформации (при тектонических нарушениях, дислокациях, метаморфизме и т.д.), химических изменениях, а также при общем размагничивании в ходе времени или под влиянием переменных магнитных полей локального происхождения.

Поскольку вторичная остаточная намагниченность, накладываясь на первичную остаточную намагниченность, затрудняет получение истинных значений, образцы в процессе экспериментальных измерений подвергали магнитной или термической

чистке. Сущность магнитной чистки пород заключается в том, что образец подвергали размагничиванию в плавно меняющемся переменном магнитном поле, в результате чего нестабильная вторичная остаточная намагниченность удалялась, а более стабильная первичная остаточная намагниченность сохраняется как бы в чистом виде.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

На рис. 1 приведена экспериментальная установка для стабилизации температуры. Схема стабилизации работала таким образом, что разностный сигнал сводился к нулю путем изменения тока через нагреватель. Питание потенциометра Р-306 осуществлялось от стабилизатора тока, что позволило устранить возможности изменения температуры из-за сползания рабочего тока потенциометра. Необходимая постоянная времени схемы стабилизации для данной температуры подбиралась посредством изменения коэффициента усиления предварительного усилителя Ф-116 и параметров фильтра схемы У-1136. Измерения температуры проводились «золото – хромель» термопарой «К», ЭДС которой измерялась потенциометром Р-348. Измерения намагниченности насыщения от температуры автоматически записывались на ЭВМ.

Ориентированный образец – габбро кубической формы медленно нагревался до 200 °С. При постоянной температуре образец – габбро выдерживался около 5 часов и затем медленно охлаждался до комнатной температуры. Затем несколько раз повторяли нагрев от комнатной температуры до 600 °С с шагом 100 °С. Опыты показали, что степень нагрева не вносит существенных изменений намагниченности горной руды габбро.

Исследование температурной зависимости остаточной намагниченности насыщения проводилось баллистическим методом [1–2] и велась автоматическая запись исследуемых процессов (см. рис. 2). Для регистрации сигнала с измерительной катушки использовался микроверметр Ф-190, при этом величина погрешности измерений составляла 2,5%. Измерительная катушка имела две секции. Намотанные проводом ПЭЛ 0.05 навстречу друг другу и дополнительную докомпенсирующую секцию из 60 витков. Так что сигнал, возникающий в них при изменении однородного поля, был скомпенсирован.

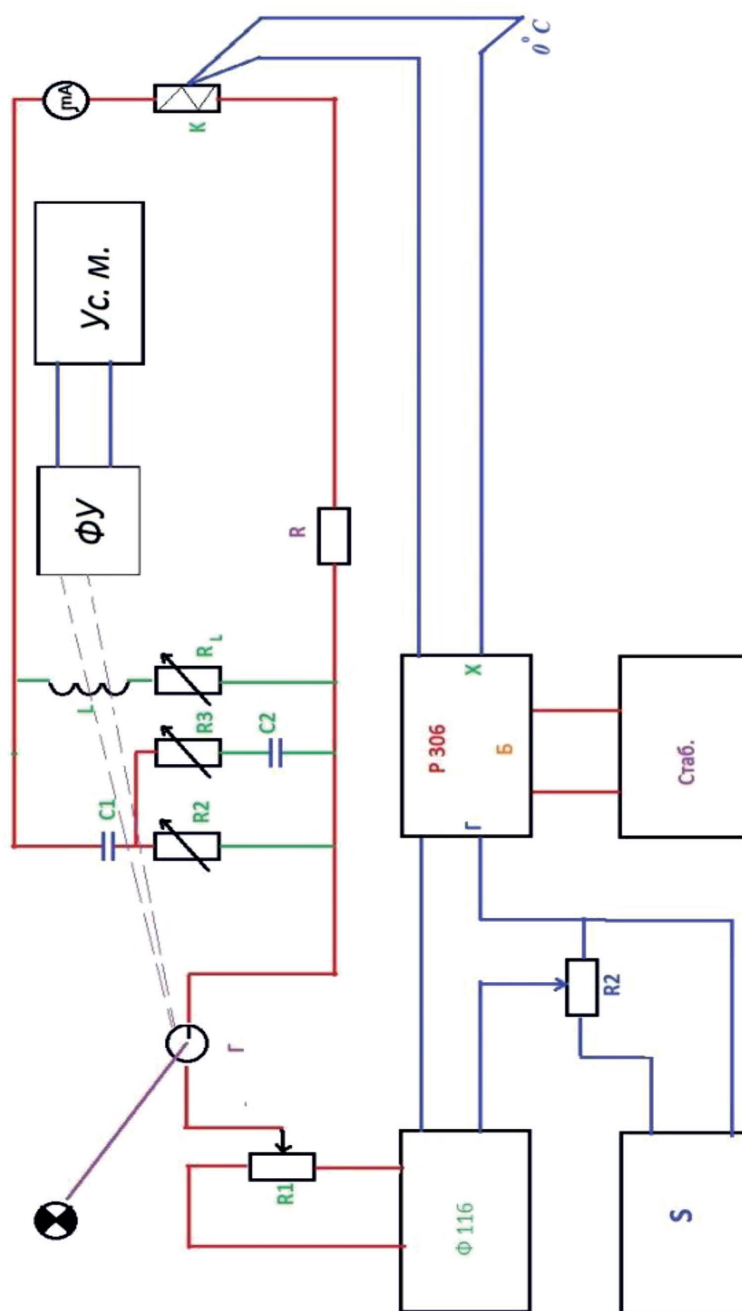


Рис. 1. Схема стабилизации температуры

При измерении намагниченности насыщения образец протодергивался через катушку, что позволяло избежать погрешности, связанной с первоначальным положением образца. Запись сигнала с катушек осуществлялась автоматически при помощи ЭВМ (см. рис. 2).

Магнитное поле создавалось с помощью сверхпроводящего соленоида с по-

стоянной напряженностью 1,91 кЭ и критическим током 25 мА поддерживалось с точностью до 0,5%. Неоднородность магнитного поля не превышала 0,4% на сантиметр. Блок питания соленоида позволял задавать нужное значение тока через соленоид, по измерительной величине которого рассчитывалась величина магнитного поля [3].

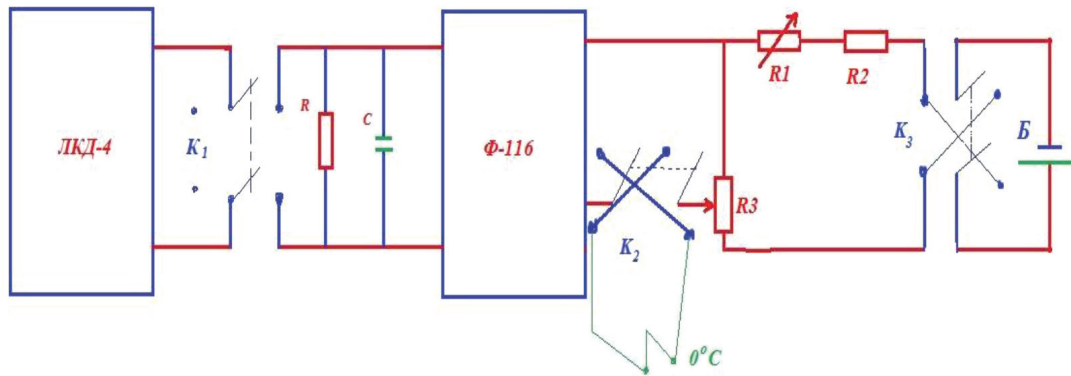


Рис. 2. Схема автоматической записи остаточной намагниченности насыщения от температуры

Направление тока изменяли при помощи ключа. Расчет истинного поля в образце проводился по формуле

$$H_{\text{ист}} = H_{\text{внеш}} - NI, \quad (1)$$

где  $N$  – размагничивающий фактор [4].

После каждого нагрева при комнатной температуре с каждого ориентированного образца были вырезаны несколько кубиков ( $30 \times 30 \times 30 \text{ мм}^2$ ) для изучения изменения вектора естественной остаточной намагниченности в разных температурных условиях и внешнего магнитного поля, а также для проверки стабильности намагничивания образца методом переменного магнитного поля (магнитное поле Земли скомпенсировано) [5].

При комнатной температуре ( $20^\circ\text{C}$ ) величина и направление естественной намагниченности кубиков из разных частей образцов горной руды одинаковы как в случае прямо намагниченных, так и обратно намагниченных горных руд [6]. По-видимому, это связано с однородной намагниченностью в исследуемых образцах горных руд – габбро.

Таким образом, эксперимент показывает, что направление естественной остаточной намагниченности прямо намагниченных образцов горных руд – габбро не изменяется до температуры  $\sim 600^\circ\text{C}$  при небольших магнитных полях и около  $\sim 600^\circ\text{C}$  совпадает с направлением внешнего поля. Когда внешнее поле направлено обратно, направление естественной остаточной намагниченности не меняется до температуры  $\sim 400^\circ\text{C}$ , а выше  $\sim 500^\circ\text{C}$  происходят изменения знака направления.

На рис. 3 приведены кривые изменения остаточной намагниченности насыщения –  $I_{\text{ТС}}$  от температуры.

Температура Кюри прямо намагниченных образцов находится в интервале  $500\text{--}600^\circ\text{C}$ . По-видимому, что прямо намагниченная горная руда содержит мельчайшую выраженность магнита от 1 до 10 мкм. Наши исследования показали, что выраженность магнита в горной руде – габбро составляет примерно 10%.

### Выводы

Экспериментальное исследование показало, что магнитные явления в горной руде – габбро и условия образования в ней остаточной намагниченности являются весьма специфическими и можно выделить следующие основные факторы:

1. Ферромагнитные зерна очень малы, от 1 до 10 мкм, в отличие от обычно рассматриваемых ферромагнитных массивных образцов.
2. Неоднородное рассеяние частиц по образцу.
3. Малость внешнего намагничивающего поля, в сравнении с внутренним образца (поле эффективной анизотропии и коэрцитивной силой).
4. Внешние немагнитные воздействия, оказывающие влияние на остаточную намагниченность.
5. Температура Кюри прямо намагниченных образцов находится в интервале  $500\text{--}600^\circ\text{C}$ . Прямо намагниченная горная руда содержит мельчайшую выраженность магнита от 1 до 10 мкм и составляет примерно 10%.

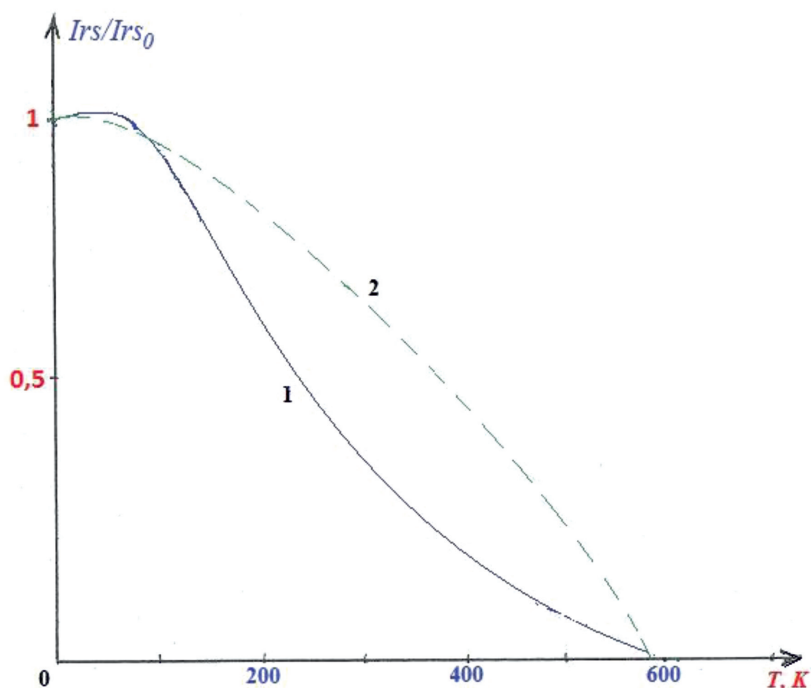


Рис. 3. Изменение остаточной намагниченности насыщения  $-I_{rs}$  от температуры (1 – прямо намагниченная кривая; 2 – обратно намагниченная кривая)

6. Когда внешнее магнитное поле направлено обратно в горной руде – габбро, направлению естественной остаточной намагниченности, то направление остаточной намагниченности не меняется до температуры  $\sim 400^\circ\text{C}$ , а выше  $\sim 500^\circ\text{C}$  происходит изменение знака.

#### Список литературы

1. Емуродский П.В. Электротехника и электроника / П.В. Емуродский. – М.: «Феникс», 2018. – 600 с.
2. Трухин В.И. Физическая и компьютерная модели явления самообращения намагниченности горных пород / В.И. Трухин, Н.С. Безаева, Т.В. Матвеева, П. Рошет // Физика Земли. – 2006. – № 2. – С. 50–63.
3. Гончаров С.А. Физика горных пород: физические явления и эффекты в практике горного производства / С.А. Гончаров, П.Н. Пашенков, А.В. Плотников. – М.: Дом МИ-СиС, 2016. – 27 с.
4. Урусова Б.И. Физика магнитных явлений горных пород. / Урусова Б.И. – СПб.: Инфо – да, 2010. – 123 с.

5. Heider F. Temperature dependence in magnetic crystal / F. Heider, S.L. Halgedain, D.I. Dunlop // Geophys. Res. Lett. – 1988. – Т. 15, № 5. – С. 199.

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

#### References

1. Emurodskii P.V. Elektrotehnika i elektronika. [Electrical engineering and electronics.]. Moscow, Feniks, 2018, 600.
2. Trukhin V.I. Physical and computer models of self-transformation of magnetization of rocks [Fizicheskaiia i komp'iuternaia modeli iavleniia samoobrashcheniia namagnichennosti gornykh porod ]. Fizika Zemli - Physics Of The Earth, 2006, no. 2, pp. 50.
3. Goncharov S.A. Fizika gornykh porod: fizicheskie iavleniia i efekty v praktike gornogo proizvodstva. [Physics of rocks: physical phenomena and effects in the practice of mining.]. Moscow, Dom MI-SiS, 2016, 27.
4. Urusova B.I. Fizika magnitnykh iavlenii gornykh porod [Physics of magnetic phenomena of rocks]. St. Petersburg, Info – da, 2010, 123.
5. Heider F. Temperature dependence in magnetic crystal. Geophys. Res. Lett, 1988, vol. 15, no. 5, pp. 199.
6. Rzhetskii V.V. Osnovy fiziki gornykh porod [Basics of rock physics]. St. Petersburg, Lenand, 2014, 368.