

# Результаты терромагнитного анализа меловых отложений Лагичского разреза (Вандамская тектоническая зона, Южный склон Большого Кавказа, Азербайджан)

© З. А. Новрузов, М. И. Исаева, Т. Д. Гараева, А. А. Багирова, 2017

Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Поступила 19 декабря 2016 г.

Проведено магнітно-мінералогічні дослідження туфобрекчій, туфопісковиків, аргілітів, мергелів і силіцидів крейди (альб, сеноман і турон-коньяк) Лагічського розрізу Вандамської тектонічної зони Великого Кавказу (Азербайджан). Для терромагнітного аналізу використано магнітний параметр залишкової намагніченості насичення  $J_{rs}$ . За ходом кривої і за блокувальною температурою досліджуваних зразків визначено магнітно-мінеральний склад носіїв природної залишкової намагніченості. В результаті аналізу кривих розмагнічування  $J_{rs}$  встановлено, що основними носіями природної залишкової намагніченості досліджуваних зразків є магнетит і гематит. На кількох зразках під час терморозмагнічування  $J_{rs}$  виявлено піротин (грейгіт), але за даними мінералогічних досліджень відділу “Аналітичного Центру” Інституту геології Національної академії наук Азербайджану цей мінерал у зразках відсутній. Водночас підтверджено наявність магнетиту і гематиту в крейдянних відкладах досліджуваного розрізу.

**Ключові слова:** терромагнітний аналіз, криві  $J_{rs}$ , магнітно-мінеральний склад, крейдяні відклади.

**Введение.** Изучением меловых отложений Южного склона Большого Кавказа занимались Г. В. Абиш, Л. И. Богданович, В. П. Батурич, М. И. Гутман, А. С. Муровцев, Н. Н. Ростовцев, Л. А. Гречишкин, В. В. Вебер, В. Е. Хаин, Э. Ш. Шихалибейли, И. А. Воскресенский, А. Г. Халилов, Б. М. Исаев и др.

В тектоническом отношении зона Южного склона Большого Кавказа чрезвычайно сложна. Литологически мезозойские отложения представлены в флишевой фации и фаунистически бедно охарактеризованы. Такая ситуация крайне затрудняет применение палеонтологического метода для возрастного расчленения толщ пород.

До настоящего времени геофизическое изучение меловых отложений Лагичского разреза (Вандамская тектоническая зона) практически не проводилось. С использованием метода магнетизма горных пород нами впервые были проведены магнитно-минералогические исследования меловых отложений (альб, сеноман, турон-

коньяк, сантон) указанного выше разреза с целью выявления магнитных минералов-носителей естественной остаточной намагниченности.

В данной статье представлены результаты терромагнитного анализа меловых отложений Лагичского разреза, новые данные о магнитно-минералогическом составе исследуемых отложений, полученные с помощью методов магнетизма горных пород. Преимуществом терромагнитного анализа в сравнении с другими методами исследования является очень высокая его чувствительность, т. е. достаточно мизерного количества магнитного минерала в породе (~ 0,01 %), чтобы можно было его обнаружить и измерить намагниченность.

Данные терромагнитного анализа меловых отложений позволяют диагностировать магнитные минералы, находящиеся в породах исследуемого разреза.

**Геологическое описание объекта исследования.** Выделенные (более или менее уверен-

но) ярусы нижнего и среднего мела расположены в восточной части Южного склона Большого Кавказа в районах Гирдыман-Пирсагатского перевала (Закатало-Ковдагского синклиниорий) и с. Джульян (Вандамский антиклинорий) [Халилов и др., 1997].

Лагичский разрез находится в Вандамской тектонической зоне горной цепи Большого Кавказа (рис. 1). Представлен отложениями нижнего и середины верхнего альба, сеномана и турон-коньяка. Вдоль дороги, начиная с отметки 1000—1200 м от поселка Лагич до деревни Намаздаг, было отобрано 43 штуфа. Из отобранных штуфов пород было выпилено 150 кубиков для палеомагнитных исследований.

Альбский ярус представлен ритмичным чередованием (0,05—0,15 м) туфопесчаников, туфобрекчий и темных, зеленовато-серых (0,05—0,07 м) аргиллитов, мергелей и силицидов. Мощность отдельных маркирующих пластов песчаников может достигать 0,8—1,5 м. После этой темноцветной толщи обнажается светлая (желто-цветная) толща альба, сложенная мощными массивными (до 507 м) пластами грубых туфобрекчий, туфопесчаников, чередующихся с редкими пропластками аргиллитов, мергелей и силицидов (0,05—0,07—0,1 м). Вдоль разреза угол падения отложений альбского возраста варьирует в пределах 75—88°, а азимут простирания — СВ 350—20°.

Переход от альбского яруса к сеноманскому сопровождается туфоконгломератовой пачкой

мощностью 55—60 м, состоящей из крупных обломков и глыб известняков, эффузивно-пирокластических и лавовых образований. Угол падения отложений сеноманского возраста изменяется в пределах 15—40°, азимут — СВ 15—25°.

Турон-коньякский ярус представлен грубо-обломочной терригено-карбонатной толщей общей мощностью не менее 60—80 м, состоящей из светло-красноватых гравелитов (0,1—25—60 м), известняков и силицитов (0,05—15 м), окрашенных в розовый и красный цвета. Угол падения отложений турон-коньякского возраста — 25—40°, азимут простирания — СВ 35—55°.

Для получения первичной информации по магнитно-минералогическому составу исследуемых пород авторами настоящей статьи был использован термомагнитный анализ меловых отложений [Буров, Ясонов, 1979].

**Методика проведения измерений.** Кривые термомагнитного анализа были сняты на аппаратуре, сконструированной в лаборатории главного геомагнитного поля Института физики Земли АН СССР, позволяющей фиксировать изменения величин  $J_s$  и  $J_{rs}$  в процессе нагрева образца от 20 до 700 °С. Ход термомагнитной кривой  $J_{rs}(T)$  снимался по показаниям термомагнитометра М-266М (класс точности 1,0, чувствительность порядка  $1 \cdot 10^{-9}$  Тл). Абсолютная систематическая ошибка определения остаточной намагниченности  $J_{rs}$  при заданной температуре составляет  $\pm 1$  деления шкалы М-266М. Относительные ошибки построения тер-



Рис. 1. Район проведения исследований.

момагнитной кривой  $J_{rs} / J_{rs_0}$  (с учетом рабочего диапазона) указаны непосредственно на кривых.

Изучались кривые зависимости остаточной намагниченности насыщения от температуры.

Методика измерений температурных зависимостей  $J_{rs}(T)$  предусматривает такую скорость нагрева, при которой обеспечивается полный прогрев образца при каждой заданной температуре, т. е. порядка  $700^\circ\text{C}/\text{ч}$ . Измерения температурной зависимости  $J_{rs}(T)$  происходило с пошаговым нагревом образца через каждые  $20^\circ\text{C}$ , начиная от комнатной температуры до  $600\text{—}700^\circ\text{C}$ .

**Термомагнитный анализ кривых  $J_{rs}$  и магнитно-минералогический состав меловых отложений.** Термомагнитный анализ, основанный на изучении температурных зависимостей  $J_s(T)$  и  $J_{rs}(T)$ , базируется на том физическом явлении, что при достижении точки Кюри  $T_C$  (для  $J_s(T)$ ) или температуры блокирования  $T_B$  (для  $J_{rs}(T)$ ) теряются ферромагнитные свойства магнитного материала [Бузов, Ясонов, 1979]. Другими словами, при диагностике магнитных минералов одной из важнейших характеристик является точка Кюри — температура, при которой происходит разрушение упорядоченного состояния магнитных моментов (спинов) ферромагнетика, трансформирующего его в парамагнетик [Dunlop, Özdemir, 2001]. Переход такого рода не сопровождается химическими изменениями в веществе и не приводит к изменениям в его кристаллической структуре. Такая трансформация относится к фазовым переходам второго рода [Dunlop, Özdemir, 2001; Бузов, Ясонов, 1979]. Эти переходы полностью обратимы и наблюдаются как при нагревании образца, так и при его охлаждении.

Если же в процессе нагрева образца происходят фазовые превращения первого рода [Браут, 1967] и при этом возникают новые минералы (магнитные или немагнитные), указанные превращения четко отражаются как в дополнительных неповторяющихся при новых нагревах перегибах на кривых  $J_s(T)$  и  $J_{rs}(T)$ , так и в изменениях значений кривых  $J_s(T)$  или  $J_{rs}(T)$  после первого нагрева.

Зависимость точки Кюри от состава магнитного минерала лежит в основе метода диагностики магнитных минералов — термомагнитно-

го анализа. Строятся кривые температурного размагничивания остаточной намагниченности насыщения  $J_{rs}(T)$  и полной (индуктивной) намагниченности насыщения  $J_s(T)$ . Далее определяются точка Кюри (для  $J_s(T)$ ) и блокирующие температуры  $T_B$  (для  $J_{rs}(T)$ ), а также температуры фазовых превращений (если таковые имеются)  $J_{rs}(T)$  и  $J_s(T)$  в процессе нагрева.

Однако термомагнитный анализ магнитных минералов позволяет не только идентифицировать состав минералов, но и оценить их устойчивость к температурным воздействиям. Оценка этой устойчивости определяют по величине отношения  $J_{rs} / J_{rs_0}$ .

В наших исследованиях для диагностики состава магнитных минералов использованы блокирующая температура  $T_B$  и характер кривой термомагнитного размагничивания  $J_{rs}(T)$ . Анализ кривых термомагнитного размагничивания  $J_{rs}(T)$  исследуемых образцов позволил выделить две группы кривых размагничивания. К первой группе относятся кривые, блокирующая температура  $T_B$  которых равна  $580^\circ\text{C}$ . После первого нагрева и охлаждения значения  $I_{rs}$  и  $I_{rs_0}$  почти не изменились. Другими словами, значение отношения  $J_{rs} / J_{rs_0}$  приблизительно равно 1, а сама кривая при повторном нагреве повторяет кривую при первом нагреве (рис. 2), что свидетельствует о том, что при нагреве образцов не произошло фазовых переходов первого рода. Форма кривых этой группы пород и  $T_B = 580^\circ\text{C}$  подтверждают присутствие в образцах магнитомягкого минерала — магнетита.

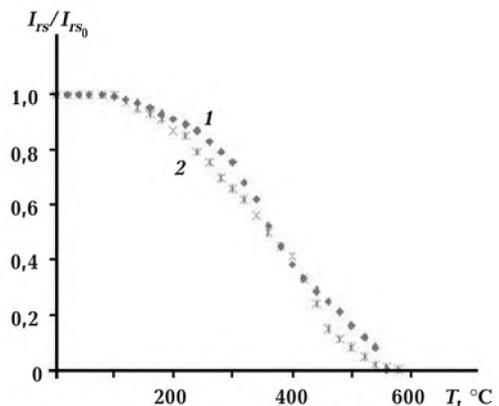


Рис. 2. Типичные кривые температурного размагничивания первой группы пород (магнетит): 1 — первичный нагрев, 2 — вторичный нагрев.

Породы этой группы кривых относятся к альбскому ярусу. Они представлены темно-зелеными, серыми туфопесчаниками, аргиллитами и мергелями.

Ко второй группе относятся образцы, у которых наблюдаются блокирующие температуры  $T_G = 660 \div 680$  °С (рис. 3) по кривым температурной зависимости  $J_{rs}(T)$ . Значения отношения  $J_{rs} / J_{rs_0}$  варьируют в пределах от 0,8 до 1,0, что свидетельствует об относительной устойчивости магнитных минералов к температурным воздействиям. Ход кривых температурного размагничивания этой группы образцов становится более пологим, что указывает на увеличение более мелкой фракции магнитных минералов. Уменьшение значения первоначальной  $I_{rs_0}$  от значений  $I_{rs}$  после нагрева и остывания, по всей видимости, связано с вязкой компонентой, которая снимается после 100—150 °С при первом нагреве образцов. Ход кривых температурной зависимости  $J_{rs}(T)$  и блокирующие температуры  $T_G \approx 680$  °С указывают на то, что носителем намагниченности в этой группе пород является гематит.

Породы второй группы кривых относятся к туронскому и коньякскому ярусам. Они представлены известняками и силицитами.

В процессе температурного размагничивания встречаются группы образцов, у которых наблюдается резкий перегиб в диапазоне температур 300—400 °С (рис. 4). Такое поведение кривых можно объяснить наличием в породах сульфидов железа (пирротина, гетита). При пошаговом нагревании образцов (с шагом 20 °С) происходит разрушение компонента намагниченности пирротина (или гетита) с блокирующей температурой  $T_G = 320 \div 380$  °С. При достижении температуры 580 °С происходит разрушение магнетитового компонента породы.

При повторном нагреве эта фаза (с  $T_G = 320 \div 380$  °С, т. е. пирротин или гетит) исчезает, что свидетельствует о неустойчивости пирротина (или гетита) к нагреву (при первом нагреве). Полное разрушение  $J_{rs}$  при температуре около 580—600 °С указывает на то, что другую фазу с  $T_G = 580$  °С представляет магнетит. Отношение  $J_{rs} / J_{rs_0}$  для данной группы кривых изменяется от 0,26 до 1,00. В некоторых случаях наблюдается увеличение  $J_{rs}$  после первого нагрева,

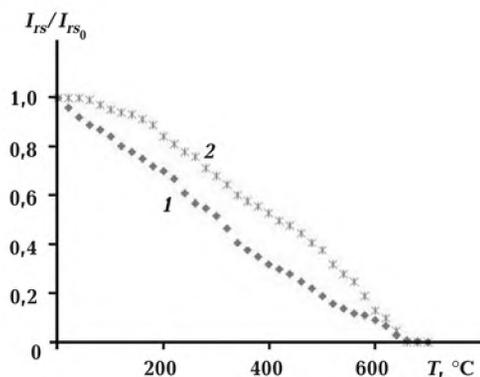


Рис. 3. Типичные кривые терморазмагничивания второй группы (гематит): 1 — первичный нагрев, 2 — вторичный нагрев.

что объясняется образованием магнетита из титаномагнетита в результате окисления (см. рис. 4).

Однако эти образцы сеноманского яруса, представленные известняками, с такого рода кривыми в коллекции исследуемых образцов встречаются довольно редко, поэтому можно пренебречь тем, что на кривых обнаружены перегибы, соответствующие блокирующей температуре пирротина. Тем более, что присутствие пирротина не подтверждается минералогическими исследованиями отдела Аналитического центра Института геологии и геофизики НАН Азербайджана [Мустафаев, 2005].

**Выводы.** Можно сказать, что магнитные минералы в образцах показали неплохую устойчивость к нагревам, которая проявлялась в стабильности кривых при повторных нагревах. От-

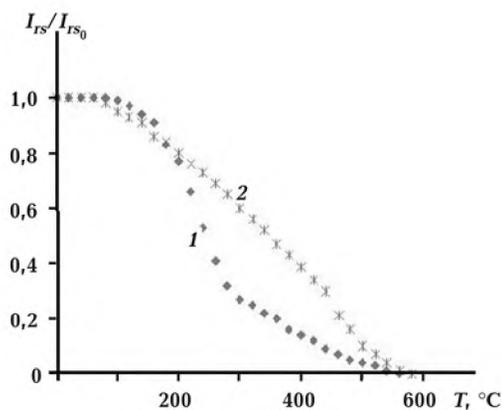


Рис. 4. Нетипичный случай проявления вторичного компонента при терморазмагничивании образцов при первичном (1) и вторичном (2) нагреве.

метим, что при термомагнитном анализе кривых остаточной намагниченности насыщения  $J_{rs}$ , значение блокирующей температуры  $T_b$  определяется как момент, при котором наблюдается наиболее быстрое падение на кривой  $J_{rs}(T)$  и превращение этих показателей в ноль.

Термомагнитными исследованиями в образцах пород исследуемого возраста были установ-

лены магнитные минералы — носители остаточной намагниченности — магнетит и гематит. Наличие магнетита и гематита в исследуемых образцах (альб, сеноман и турон-коньяк) подтверждается минералогическими исследованиями отдела Аналитического центра Института геологии и геофизики НАН Азербайджана [Мустафаев, 2005].

### Список литературы

- Халилов А. Г., Ализаде Ак. А., Алиев Г. А. Меловая система, Большой Кавказ. В кн.: *Геология Азербайджана. Т. I. Стратиграфия*. Гл. ред. Ак. А. Ализаде. Баку: Nafta-Press, 1997, С. 116—134.
- Браун Р. Фазовые переходы. Москва: Мир, 1967. 286 с.
- Буров Б. Г., Ясонов П. Г. Введение в дифференциальный термомагнитный анализ горных пород. Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 1979, 168 с.
- Мустафаев Г. В. Большой Кавказ (Южный склон). В кн.: *Геология Азербайджана. Т. III. Магматизм*. Гл. ред. Ак. А. Ализаде. Баку: Nafta-Press, 2005, С. 28—56.
- Dunlop D. J., Özdemir Ö., 2001. *Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers*. New York: Cambridge Univ. Press. 573 p.

## Results of thermo-magnetic analysis of Cretaceous deposits of the Lagich section (Vandam tectonic zone, South slope of the Greater Caucasus, Azerbaijan)

© Z. A. Novruzov, M. I. Isayeva, T. D. Garayeva, A. A. Bagirova, 2017

The magnetic study of a tuffbreccia, tuffaceous sandstone, clay rocks, chalky clays, marls and silicified Cretaceous deposits (the Albian Age, the Cenomanian Age and Turonian—Cognacian Age) the Lagich section of the Vandam tectonic zone of Greater Caucasus (Azerbaijan) has been carried out. For thermomagnetic analysis the magnetic parameter of saturation remanence  $J_{rs}$  is used. The magnetic and mineralogical structure of carriers of natural remanent magnetization is determined by the shape of curves and by blocking temperature  $T_b$  of the studied samples. As a result of the analysis of curves of demagnetization of  $J_{rs}$  it has been established that the main carriers of natural remanent magnetization of the studied samples in the Lagich section are magnetite and hematite. On several samples during thermodemagnetization of  $J_{rs}$  the curves have displayed the presence of pyrrhotite (greygit). But on mineralogical researches of department of “Analytical center” of Institute of Geology of National Academy of Sciences of Azerbaijan presence of pyrrhotite (greygit) in the studied samples hasn't been revealed. In Cretaceous deposits (the Albian Age, the Cenomanian Age and Turonian—Cognacian Age) however availability of magnetite and hematite are checked out by department of “Analytical center” in the Lagich section.

**Key words:** thermomagnetic analysis,  $J_{rs}$  curves, magnetic-mineral composition, Cretaceous deposits.

### References

- Khalilov A. G., Alizade Ak. A., Aliyev G. A.*, 1997. The Cretaceous System, the Greater Caucasus. In: *Geology of Azerbaijan. Vol. I. Stratigraphy*. Ed. Ak. A. Alizadeh. Baku: Nafta-Press, P. 116—134 (in Russian).
- Braut R.*, 1967. Phase transitions. Moscow: Mir, 286 p. (in Russian).
- Burov B. G., Yasonov P. G.*, 1979. Introduction to differential thermomagnetic analysis of rocks. Kazan: Kazan Publ. House. State. Univ., 168 p. (in Russian).
- Mustafayev G. V.*, 2005. Great Caucasus (Southern slope). In: *Geology of Azerbaijan. Vol. III. Magmatism*. Ed. Ak. A. Alizadeh. Baku: Nafta-Press, P. 28—56 (in Russian).
- Dunlop D. J., Özdemir Ö.*, 2001. Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers. New York: Cambridge Univ. Press. 573 p.