



УДК 550.384

ПАЛЕОИНФОРМАТИВНОСТЬ ТЕРМОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ, СФОРМИРОВАННОЙ В УСЛОВИЯХ СЖАТИЯ

В.И. Максимочкин¹, А.С. Павлов¹¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

На океаническом базальте со дна Красного моря исследовано образование термоостаточной намагниченности (TRM_p) в условиях квазиодноосного сжатия. Показано, что величина TRM_p зависит от направления магнитного поля относительно оси преимущественного сжатия: влияние давления максимально при параллельной ориентации и минимально при перпендикулярной ориентации поля относительно оси сжатия. Проведено определение величины магнитного поля по TRM_p, сформированной в стрессовых условиях, методом Телье-Кое. Показано, что поле, рассчитанное по TRM_p, созданной при P_{||}N (P=100 МПа) занижено на 41.6%, при перпендикулярной ориентации – на 10%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТЕРМОСТАТОЧНАЯ НАМАГНИЧЕННОСТЬ, МЕТОД ТЕЛЬЕ, ПАЛЕОНАПРЯЖЕННОСТЬ, ПОВЫШЕННЫЕ ДАВЛЕНИЯ, КВАЗИОДНООСНОЕ СЖАТИЕ

DOI 10.5425/2304-7380_2022_38_61

<https://elibrary.ru/hzeksx>

1. ВВЕДЕНИЕ

Информацию о величине древнего магнитного поля получают по магматическим породам, первичная остаточная намагниченность которых имеет термоостаточную природу. Метод определения палеонапряженности геомагнитного поля, предложенный еще в середине прошлого столетия Телье [1] основан на сравнении термомагнитных свойств природной остаточной намагниченности (NRM) и создаваемой в лаборатории термоостаточной намагниченности (TRM). В методе Телье в модификации Кое [2], который с успехом используется и в настоящее время, сравнивается величина разрушения NRM при нагревах образца в отсутствие магнитного поля с образованием парциальной термоостаточной намагниченности в этом же температурном интервале. Обычно термоостаточную намагниченность в лаборатории создают при нормальном давлении, поэтому такое сравнение правомерно для эффузивных изверженных пород, формирование NRM которых происходит при давлениях близких к атмосферному. Для изверженных пород, которые формировались в стрессовых условиях, такое сравнение может быть неправомерным. В конце двадцатого века экспериментально [3,4] и теоретически [5] было показано, что повышенные давления оказывают существенное влияние на формирование термоостаточной намагниченности. В частности, по оси сжатия образуется TRM меньшей величины, чем при атмосферном давлении. Вследствие этого палеонапряженность

Электронная почта авторов для переписки:

Максимочкин Валерий Иванович, e-mail: maxvi@physics.msu.ru
Павлов Алексей Сергеевич, e-mail: alexey2001@mail.ruАдрес редакции журнала
«Гелиогеофизические исследования»:ФГБУ «ИПГ»
129128; Россия, Москва
ул. Ростокинская, 9.
e-mail: vestnik@ipg.geospace.ru

геомагнитного поля определяемая методом Телье-Коэ по породам, которые формировались в стрессовых условиях, может быть занижена. Низкие значения напряженности геомагнитного поля и противоречивые данные, получаемые по разновозрастным породам, но с различными условиями формирования NRM, возможно, связаны с не учетом влияния стрессовых условий на свойства термоостаточной намагниченности пород. Обзор данных о палеонапряженности геомагнитного поля по океаническим базальтам, добытым с разной глубины [6] показывает большой разброс виртуального дипольного магнитного момента ВДМ = $(4.8 \pm 3.6) \cdot 10^{22}$ Ам², т.е. более 70%. По Сибирским траппам Норильского района также получен довольно большой разброс ВДМ = $(0.54-3.2) \cdot 10^{22}$ Ам² и в целом низкое его значение [7], хотя по разновозрастным пермо-триасовым sillам с востока Сибирской платформы [8] получены достаточно высокие значения ВДМ $\sim 6 \cdot 10^{22}$ Ам².

Экспериментальное моделирование, проведенное нами в работах [9,10] на базальтах Красного моря и вулкана Толбачик показало, что метод Телье-Коэ дает занижение величины поля до 50% по TRMr, сформированной при P=100 МПа по оси сжатия. В естественных условиях направление геомагнитного поля при остывании породы и формировании первичной термоостаточной намагниченности может не совпадать с осью сжатия. Вследствие этого нами в работе проведено моделирование образования термоостаточной намагниченности в магнитном поле, направленном параллельно и перпендикулярно к оси сжатия. Проведено также определение величины магнитного поля методом Телье-Коэ по TRMr, сформированной в стрессовых условиях.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Эксперименты проведены на образцах в виде цилиндра диаметром 13 мм и высотой 10 мм, вырезанных из куска базальта П72-2, добытого со дна Красного моря.

Термоостаточная намагниченность в условиях напряжений сжатия создавалась в камере типа цилиндр-поршень (рис. 1). Цилиндр камеры с внутренним диаметром 16 мм изготовлен из немагнитного сплава ВТ-8, пуансоны – из керамики. Образец вместе с камерой нагревался с помощью резистивной печи при пропускании переменного тока по нихромовой проволоке с бифилярной намоткой. Температура измерялась термопарой типа К (хромель-алюмель). Спай термопары подводился к образцу через нижний пуансон. Магнитное поле для образования термоостаточной намагниченности создавалось с помощью двух пар колец Гельмгольца (к.Г.). В ячейке в качестве передающей среды использовалась смесь графита с пирофиллитом, которая помещалась между образцом, пуансонами и внутренней поверхностью цилиндра. Для создания усилия сжатия F использовался малогабаритный пресс из сплава ВТ-8, который вместе с камерой и кольцами Гельмгольца помещался в экран из пермаллоя.

Методика создания термоостаточной намагниченности в условиях квазиодноосного сжатия заключалась в следующем: образец помещался в камеру, как показано на рисунке 1, далее прикладывалось усилие сжатия и он нагревался до определенной температуры, включалось поле $H_{lab}=50$ мкТл и образец охлаждался до комнатной температуры в условиях сжатия, далее поле выключалось и снималось давление. Давление на торцевую поверхность образца рассчитывалось как $P=F/S$, где $S=\pi d^2/4$, F – усилие, создаваемое прессом, $d=16$ мм – диаметр пуансона.

Нами ранее в работе [10] было показано, магнитные свойства базальта П72-2 определяются зернами титаномагнетита с наиболее вероятной температурой Кюри $T_c=180$ °С. По термомагнитному критерию [11] зерна с блокирующими температурами 20-200 °С многодоменны (при терморазмагничивании остается «хвост» 23%); зерна с блокирующими температурами 250-200 °С псевдооднодоменны - «хвост» составляет 10%. Титаномагнетит при нагревах до 250 °С стабилен. Гистерезисные характеристики $I_{rs}/I_s=0.26$ и $H_{cg}/H_c=1.4$ по критерию Данлопа [12] свидетельствуют о преобладании псевдооднодоменных зерен.

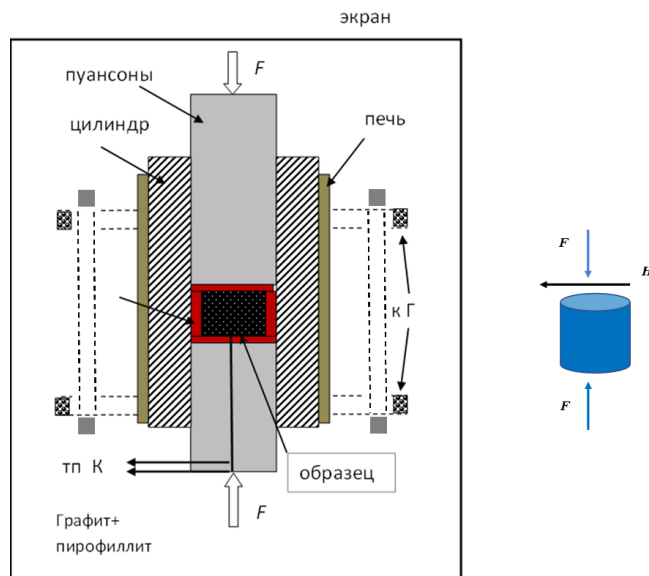


Рис. 1. Схема камеры для образования термоостаточной намагниченности в условиях сжатия. На правом рисунке черными стрелками показано направление магнитного поля (H) при создании термоостаточной намагниченности, синими стрелками - направление усилия сжатия (F)

В нашем случае термоостаточная намагниченность создавалась в поле $H_{\text{лаб}}=50$ мкТл. Эксперименты по созданию термоостаточной намагниченности в стрессовых условиях показали, что при параллельной ориентации магнитного поля относительно оси сжатия образуется TRM_p меньшей величины ($TRM_p/TRM=0.53$ для $P=100$ МПа), чем при нормальном давлении (рис. 2А). Это хорошо согласуется с результатами работ [9,10], где TRM_p создавалась при $H||F$ в условиях практически одноосного сжатия. При перпендикулярной ориентации магнитного поля относительно оси сжатия TRM_p , образуемая в стрессовых условиях, также оказалась меньше, чем при нормальном давлении - $TRM_p/TRM=0.77$. Вероятно это можно объяснить тем, что образец испытывал не одноосное сжатие, а квазиодноосное, так как усилие сжатия на образец передавалось через пластическую среду - смесь пирофиллита и графита. Вследствие этого давление на боковую поверхность цилиндрического образца оказалось отличным от нуля.

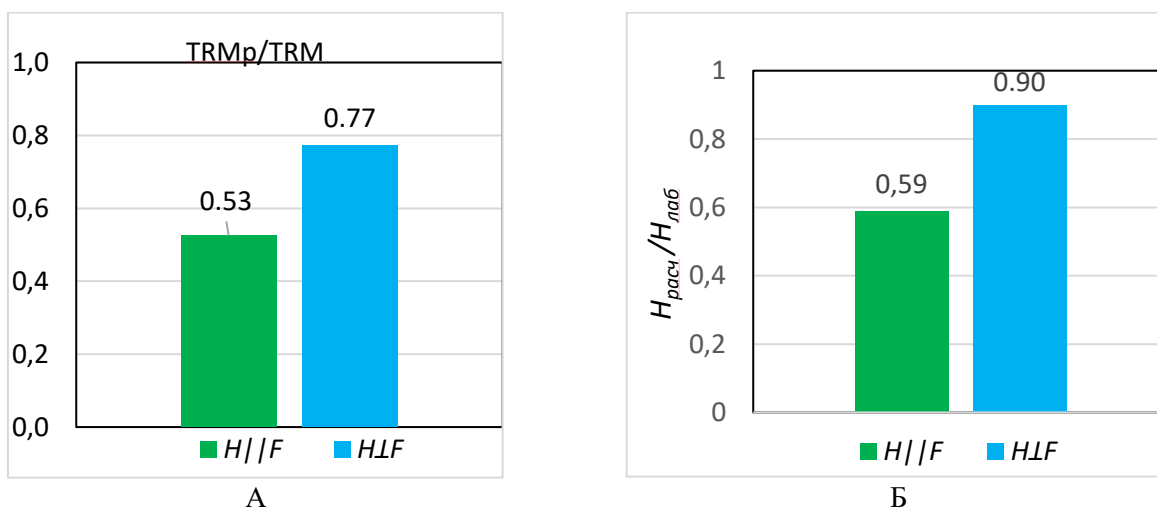


Рис. 2. Диаграммы, иллюстрирующие (А) зависимость величины термоостаточной намагниченности, сформированной в стрессовых условиях ($P=100$ МПа) и (Б) значения магнитного поля, определенного методом Телье-Коз по этой намагниченности от направления магнитного поля, действовавшего при формировании TRM, относительно оси сжатия. ($H||F$ – поле параллельно оси сжатия, $H\perp F$ – поле перпендикулярно относительно оси сжатия)

По термоостаточной намагниченности, сформированной при нормальном давлении и в стрессовых условиях при параллельной и перпендикулярной ориентации магнитного поля относительно оси сжатия, проведено определение магнитного поля методом Телье-Коэ [2]. Результаты показаны на рисунке 2Б. Видно, что при параллельной ориентации магнитного поля относительно оси сжатия расчетное значение магнитного поля оказалось на 41.6% меньше ($H_{\text{расч}}=29.2\pm 1.3$ мкТл), чем поле создания TRMр ($H_{\text{лаб}}=50$ мкТл), при перпендикулярной ориентации – всего на 10% ($H_{\text{расч}}=44.9\pm 2.1$ мкТл).

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментального моделирования показывают, что влияние квазиодноосного сжатия на формирование термоостаточной намагниченности океанического базальта зависит от направления магнитного поля относительно оси преимущественного сжатия. Влияние максимально при параллельной ориентации и минимально при перпендикулярной ориентации поля относительно оси сжатия. Из результатов моделирования следует, что палеонапряженность геомагнитного поля, определяемая методом Телье-Коэ по базальтам, которые остывали в стрессовых условиях, может быть занижена. При перпендикулярной ориентации магнитного поля относительно оси преимущественного сжатия ошибка определения палеонапряженности оказывается намного меньше, чем при параллельной ориентации.

Исследования в области палеомагнетизма дают информацию о структуре и динамике главного магнитного поля Земли, о положении и миграции магнитных полюсов, а также о ретроспективных процессах изменчивости магнитосферы Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Thellier E., Thellier O.* Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique // Ann. Geophys. 1959. V. 15. P. 285-376.
2. *Coe R.S.* The determination of paleo-intensities of the Earth's magnetic field with emphasis on mechanisms which could cause non-ideal behavior in Thellier's method // J. Geomagn. Geoelectr. 19, N 3, P. 157–179. <https://doi.org/10.5636/jgg.19.157> 1967.
3. *Максимочкин В.И.* Термонамагничивание горных пород в условиях высоких давлений // Физика Земли. № 9. С. 49–56. 1995.
4. *Трухин В.И., Максимочкин В.И.* Изменения намагниченности пород в земной коре обусловленные ростом давления и температуры // Физика Земли. № 11 С. 3–14. 1999.
5. *Хасанов Н.А., Максимочкин В.И., Валеев К.А.* Двухдоменная модель влияния давления на образование термоостаточной намагниченности // Физика Земли. № 6. С.80-88. 1999.
6. *Tauxe, L.* Long-term trends in paleointensity: The contribution of DSDP/ODP submarine basaltic glass collections // Phys. Earth Planet. Inter., 2006. 156, 223–241. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2005.03.022>
7. *Щербакова В. В., Жидков Г. В., Щербаков В.П. и др.* О проверке гипотезы низкого мезозойского поля на трапповых породах Сибири // Физика Земли. № 3. С. 47–67. 2015.
8. *Blanco D., Kravchinsky V.A., Valet J.P., Ali A., et. al.* Does the Permo-Triassic geomagnetic dipole low exist? // Phys. Earth Planet. Inter. V. 204. P. 11–21. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2012.06.005>
9. *Максимочкин В.И., Грачев Р.А.* Термоостаточная намагниченность, сформированная при повышенном давлении. Сборник Материалы XIV школы-конференции «Проблемы Геокосмоса 2022» (3–7 октября 2022 г., Санкт-Петербург, Россия, изд-во Санкт-Петербургский государственный университет, 2022, с.21-29
10. *Максимочкин В.И.* Свойства термоостаточной намагниченности, сформированной при повышенном давлении на базальте Красного моря // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия, (6): С. 1–8, 2022.
11. *Shcherbakova V.V., Shcherbakov V.P., Heider F.* // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2000. V. 105. № B1. P. 767–781. <https://doi.org/10.1029/1999JB900235>.
12. *Dunlop D.J.* // Journal of Geophysical Research. 2002. V 107, N B3, 2056. DOI:10.1029/2001JB000486.

PALEOINFORMATIVENESS OF THERMOREMANENT MAGNETIZATION FORMED UNDER COMPRESSION CONDITIONS

Maksimochkin V.I., Pavlov A.S.

Formation of thermoremanent magnetization (TRMp) under conditions of quasi-uniaxial compression was studied on oceanic basalt from the bottom of the Red Sea. It is shown that the value of TRMp depends on the direction of the magnetic field relative to the axis of predominant compression: the effect of pressure is maximum for a parallel orientation and minimum for a perpendicular orientation of the field relative to the axis of compression. The magnitude of the magnetic field was determined by the TRMp formed under stress conditions using the Tellier-Coe method. It is shown that the field calculated by TRMp ($P=100$ MPa) created at $P\parallel H$ is underestimated by 41%, and by 10% at perpendicular orientation.

KEYWORDS: THERMOREMANENT MAGNETIZATION, THE TELLIER METHOD, PALEOINTENSITY, ELEVATED PRESSURES, QUASI-UNIAXIAL COMPRESSION