

УДК 550.384.33

ГЕОФИЗИКА

А. С. БОЛЬШАКОВ, Г. М. СОЛОДОВНИКОВ

ПАЛЕОНАПРЯЖЕННОСТЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В НИЖНЕМ ТРИАСЕ

(Представлено академиком М. А. Садовским 30 VII 1974)

Вопрос о напряженности геомагнитного поля $H_{др}$ в прошлые геологические эпохи является в настоящее время одним из актуальнейших в палеомагнетизме. Определение $H_{др}$ по естественной остаточной намагниченности J_n горных пород, по сравнению с нахождением направления древнего геомагнитного поля палеомагнитным методом, сталкивается с дополнительными принципиальными и техническими трудностями, главной из которых является нахождение объекта исследований, обладающего, с одной стороны, естественной остаточной намагниченностью в необходимой сохранности, а с другой — достаточной минералогической стабильностью при лабораторных нагреваниях. Этими причинами, по-видимому, объясняется тот сравнительно небольшой перечень работ, который посвящен нахождению $H_{др}$ палеомагнитным методом (1, 2).

Необходимость минералогической стабильности в процессе лабораторных нагреваний обусловлена тем, что в настоящее время единственным теоретически и экспериментально обоснованным методом определения $H_{др}$ является метод последовательных нагреваний Телье (3). Из всех пород, обладающих термоостаточной намагниченностью, требованиям, предъявляемым к объектам для определения $H_{др}$, наилучшим образом удовлетворяют обожженные породы (4-6).

Напряженность геомагнитного поля в триасовом периоде была определена очень небольшим числом авторов (7-9), причем полученные результаты вызывают некоторые сомнения, так как в (7) и (8) были применены методы нахождения $H_{др}$, требующие строгих доказательств возможности их применения, а в (9) использован слишком малый статистический материал. Кроме того во всех перечисленных работах определения $H_{др}$ выполнялись главным образом на образцах изверженных пород — наиболее минералогически нестабильных объектах.

Осреднение всех имевшихся данных привело Смита (10) к выводу, что в триасовом периоде напряженность геомагнитного поля составляла $1/3$ от современной.

Настоящая работа является развитием попытки авторов (11) определить $H_{др}$ в триасовом периоде по намагниченности обожженных осадочных пород, взятых из контакта с эффузивами, с использованием большого статистического материала и детальным исследованием магнитных свойств изучаемых геологических объектов.

Определение $H_{др}$ выполнено на образцах туфоаргиллитов и туфоалевролитов, обожженных базальтовыми лавовыми потоками. Исследованные породы были отобраны на полуострове Таймыр в эффузивном трапповом комплексе, расположенном у оз. Лама ($\varphi=69^{\circ},5$ с. ш., $\lambda=91^{\circ}$ в. д.), состоящего из большого числа лавовых потоков, разделенных осадочными породами. Базальтовые потоки имеют мощность 10-20 м. По возрасту комплекс относят к нижнему триасу.

Всего было изучено 4 обожженных контакта осадочных пород с базальтами. Мощность слоев осадков 4–6 м, шлаковые зоны в контактах отсутствуют, мощность зон обжига по внешнему виду достигает 50 см.

Из каждого контакта было взято до 200 образцов обожженных пород и несколько десятков образцов базальтов. Отбор образцов осадочных пород выполнялся как по вертикали — до 4–6 м от линии контакта, так и по горизонтали — расстояние между крайними образцами составляло 100–

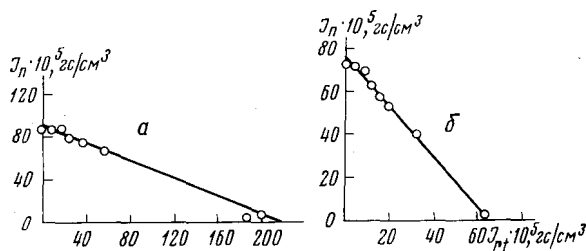


Рис. 1. Зависимости Араи — Нагаты для образцов, расположенных на различных расстояниях от линии контакта. 2 контакт. *a* — образец № 643-2, $l=4$ см, $K=0,44$; *b* — образец № 610-1, $l=28$ см, $K=1,16$

150 м. Магнитные свойства обожженных пород исследовались по вертикальным разрезам. Определения $H_{др}$ выполнялись по методике Телье. Контроль за минералогической стабильностью в процессе нагреваний осуществлялся методом вторичных нагревов.

Хотя в некоторых деталях контакты различаются между собой, они обладают целым рядом общих свойств. В каждом контакте: 1) направления J_n базальтов, обожженной и необожженной частей осадочной породы близки, что говорит об одновозрастности базальтов и осадочных пород; 2) термокривые J_n подобны термокривым J_{rt} у образцов, расположенных на расстояниях $l=0-50$ см от линии контакта; 3) на расстояниях $l>50-60$ см подобие термокривых начинает нарушаться; 4) состав ферромагнитных минералов по простиранию контакта неоднороден.

В трех контактах (1, 2 и 3) наблюдается существенная зависимость величины $K=H_{др}/H_{совр}$ от расстояния от линии контакта. Пример зависимостей Араи — Нагаты для образцов, расположенных на разных расстояниях от линии контакта, показан на рис. 1. У обоих образцов хорошо выдержана линейность соотношения $J_n(J_{rt})$, однако тангенсы углов наклона прямых различаются более чем в 2 раза.

Зависимости величин $K_{ср}$ от расстояния до линии контакта приведены на рис. 2 (кривые 1). $K_{ср}$ получены осреднением величин K на интервале расстояний в 5 или 10 см. В трех контактах (рис. 2*a, б, в*) величина $K_{ср}$ значительно меньше на первых 10 см контакта, где во время обжига осадочные породы должны быть разогреты до высоких температур и приобрести полную термостатическую намагниченность (TRM). В четвертом контакте такой зависимости $K_{ср}$ от l не наблюдается (рис. 2*г*, кривая 1).

Известно, что подобными термокривыми обладают два вида намагниченности — термостатическая и химическая (CRM). Расчеты также показывают, что подобие термокривых будет сохраняться в широком интервале температур, если J_n является суммой TRM и CRM различных ферромагнитных минералов, входящих в состав породы. Поскольку по абсолютной величине CRM ферромагнетика обычно меньше его TRM, созданной в том же поле, то породы, имеющие разные ферромагнитные минералы, один из которых термонамагничен, а второй обладает CRM, будут давать меньшие величины K , чем термонамагниченные породы того же возраста.

Авторами было сделано предположение, что уменьшение величины K у линии контакта связано с образованием после обжига в обожженной породе нового ферромагнитного минерала, обладающего CRM. Независимо от механизма образования нового минерала — диффузии ионов железа из обжигающей породы или выделения окислов железа из гидротермальных растворов — процесс образования нового минерала должен проявляться более интенсивно у линии контакта и затухать по мере удаления от нее.

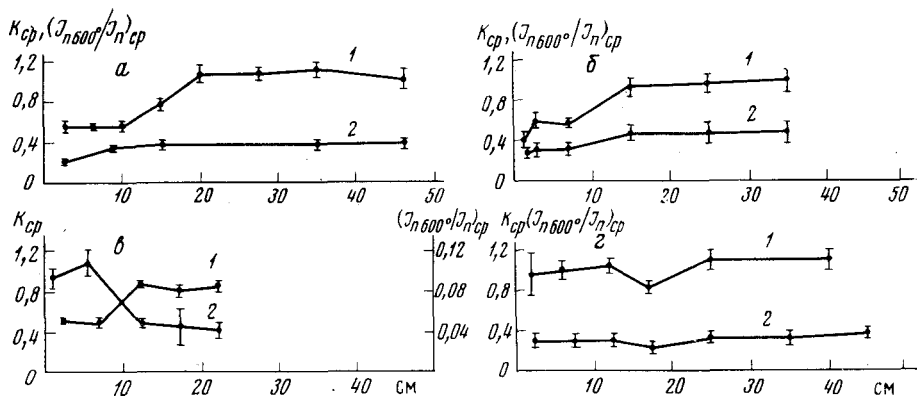


Рис. 2. Зависимости K_{cp} (1) и $(J_{n600}/J_n)_{cp}$ (2) от расстояния до линии контакта. а-г — соответственно 1-4 контакт

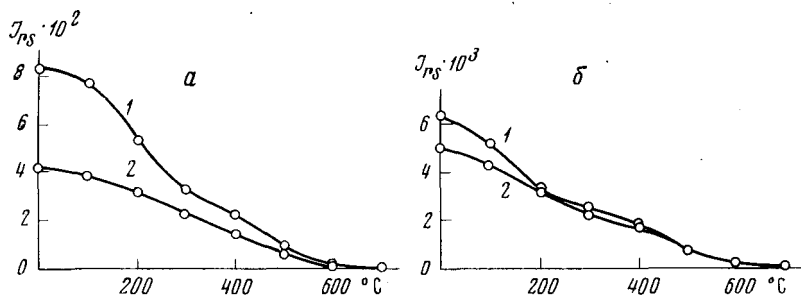


Рис. 3. Температурные кривые остаточной намагниченности насыщения J_{rs} до (1) и после (2) нагрева до 700° для образцов, взятых на различных расстояниях от линии контакта. 3 контакт. а — образец № 673-3, $l=1-2$ см; б — образец № 138-2, $l=22$ см

Для проверки сделанного предположения исследовалась зависимость $J_{n600}/J_n = f(l)$, где J_{n600} — остаток J_n после нагрева до 600°С. Величина J_{n600}/J_n может в какой-то мере характеризовать относительное «магнитное» содержание ферромагнитных минералов с температурой Кюри θ_c , большей 600°, и минералов с $\theta_c < 600^\circ$. Зависимости $(J_{n600}/J_n)_{cp} = f(l)$ для всех контактов приведены на рис. 2 (кривые 2).

В трех контактах (1, 2 и 3) $(J_{n600}/J_n)_{cp}$ существенно и направленно зависит от l , что говорит о направленном изменении состава ферромагнитных минералов от линии контакта. В четвертом контакте зависимости величины $(J_{n600}/J_n)_{cp}$ от l практически нет. Сравнение кривых $K_{cp} = f(l)$ и $(J_{n600}/J_n)_{cp} = f(l)$ показывает, что направленное изменение K_{cp} всегда связано с направленным изменением минералогического состава по разрезу контакта.

На основании полученных результатов можно допустить, что в 1-м, 2-м и 3-м контактах образование намагниченности происходило в два этапа: в результате обжига верхние 50 см осадочной породы приобрели пол-

ную TRM; после обжига у линии контакта при низких температурах начали образовываться вторичные ферромагнитные минералы, которые приобрели химическую намагниченность. Процесс образования вторичных минералов шел от линии контакта и быстро затух с глубиной. В 4-м контакте влияние вторичных процессов оказалось незначительным.

Таблица 1

Контакт	Φ	Λ	θ_1	θ_2	n	$M_{др}/M_0$	σ
1	55°	128°	2°	2°	19	0,95	0,06
2	57	147	2	2	23	0,74	0,03
3	55	170	2	2	23	0,74	0,05
4	54	139	2	2	35	0,83	0,05

Если справедливо сделанное допущение, то образцы из зоны $l \leq 10$ см, содержащие ферромагнитные минералы, не подвергавшиеся естественному обжигу, должны быть менее минералогически стабильны при лабораторных нагревах, чем образцы из зоны $l=20-50$ см. Этот вывод подтверждается сравнением остаточной намагниченности насыщения J_{rs} , измеренной до и после нагрева образцов до 700°. Из графиков рис. 3 видно, что у образца из зоны до 10 см J_{rs} изменяется почти в два раза, в то время как у образца из зоны 20–50 см J_{rs} в результате нагрева изменяется незначительно. Последнее, по-видимому, указывает на то, что все ферромагнитные минералы, входящие в состав осадочных пород, расположенных на расстоянии $l=20-50$ см от линии контакта, подвергались разогреву до высоких температур в естественных условиях.

Таким образом, наиболее вероятно, что J_n обожженных пород из зоны $l \leq 10$ см является суммой TRM и CRM, в то время как J_n пород из зоны $l=20-50$ см — полной TRM и поэтому пригодна для определения напряженности древнего геомагнитного поля.

Определение напряженности древнего геомагнитного поля было выполнено обычным способом⁽¹²⁾. В качестве конечного результата принималось среднеарифметическое значение отношения древнего магнитного момента Земли $M_{др}$ к современному M_0 , вычисленное для n образцов из зоны $l=20-50$ см.

Для вычисления координат геомагнитных полюсов для каждого контакта были взяты данные по направлению J_n 20 обожженных образцов, предварительно подвергнутых магнитной чистке.

Результаты вычисления координат Φ , Λ геомагнитных полюсов, ошибки вычисления координат θ_1 , θ_2 , отношение $M_{др}/M_0$ и среднеквадратичная ошибка σ вычисления этого отношения сведены в табл. 1.

Координаты геомагнитных полюсов хорошо совпадают с данными других авторов⁽¹³⁾ и близки среднему положению полюса в нижнем триасе, это, по-видимому, говорит о том, что полученные данные относятся к спокойному, устойчивому периоду в геомагнитном поле нижнего триаса.

Как видно из данных таблицы, отношение $M_{др}/M_0$ близко к единице, и, таким образом, можно сделать вывод, что в нижнем триасе напряженность спокойного геомагнитного поля незначительно отличалась от современной.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
25 VI 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ P. I. Smith, Geophys. J. Roy. Astron. Soc., v. 13, 483 (1967). ² P. I. Smith, *ibid.*, v. 16, 457 (1968). ³ E. Телье, О. Телье, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 9 (1959). ⁴ R. N. Wilson, Geophys. J. Roy. Astron. Soc., v. 5, 45 (1961). ⁵ V. Bucha, I. Horasek, I. Rybar, Studia geophys. geod., v. 12, 56 (1968). ⁶ А. С. Большаков, Г. М. Солодовников, Физика Земли, № 9 (1968). ⁷ I. S. W. Van Zijl, K. W. T. Graham, A. Hals, Geophys. J. Roy. Astron. Soc., v. 7, № 2 (1962). ⁸ C. M. Carmichael, Earth and Planet Sci. Let., v. 3, № 4 (1968). ⁹ E. I. Schwarz, D. T. A. Symons, Phys. Earth Planet Inter., v. 2, № 1 (1969). ¹⁰ P. I. Smith, In: Palaeogeophysics, London — N. Y., 1970, p. 79. ¹¹ А. С. Большаков, Г. М. Солодовников, Физика Земли, № 5 (1973). ¹² А. С. Большаков, Г. М. Солодовников, там же, № 5 (1969). ¹³ А. Н. Храмов, Л. Е. Шоло, Палеомагнетизм, Л., 1967.