

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАЛЕОНАПРЯЖЁННОСТИ НА ПОРОДАХ АРМЕНИИ МЕЛОВОГО И ЮРСКОГО ВОЗРАСТОВ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ)

*Щербакова В.В.¹, Щербаков В.П.¹, Жидков Г.В.¹, Павлов В.Э.,²
Виноградов Ю.К.¹*

*¹ГО «Борок» филиал ИФЗ РАН, п. Борок, Ярославская обл.,
valia@borok.yar.ru*

²ИФЗ РАН, Москва, pavlov-home@rambler.ru

Поведение напряжённости геомагнитного поля $H_{др}$ во времени остаётся актуальной и дискуссионной проблемой палеомагнетизма, и дополнение базы данных по $H_{др}$ новыми надёжными определениями палеонапряжённости является важной задачей. С этой целью в 2006 году на территории Армении работала международная экспедиция с участием Перин М. (Университет г. Монпелье, Франция), Айвазяна (Институт геологии и геофизики, Армения) и Павлова В.Э. (ИФЗ, Россия). Была отобрана представительная коллекция образцов из разрезов различного

186

возраста (олигоцен, палеоген, мел, юра), при этом отбирались лавы и обожжённые контакты. Отдельно следует отметить, что работы велись, в частности, на разрезах, которые ранее изучались Большаковым А.С. и Солодовниковым Г.М. и по которым этими авторами опубликованы полученные ими определения $H_{др}$. К настоящему времени изучена часть коллекции, отобранной в 2006 году, а именно – обожжённые контакты из разрезов Товуз, Паравакар (мел) и Кафан (юра), ниже представлены результаты определения на них палеонаправлений и палеонапряжённости.

Термочистка и компонентный анализ намагничённости выполнялись в Москве, в ИФЗ РАН; чистка велась в немагнитной печи до температур, при которых полностью разрушалась природная (NRM) намагничённость. Остальная часть работы сделана в Геофизической Обсерватории «Борок» и включала:

а) определение палеонапряжённости по методу Телье-Коз; при этом лабораторное поле $H_{лаб}$ равнялось 20 мкТ. После каждого двух

температурных шагов до возрастающих температур T_i проводились измерение восприимчивости и нагрева до более низких температур T_{i-2} ("check-points"). Всего делалось не менее (16-18) парных нагревов до возрастающих температур, вплоть до 670 °C, и (5-8) check-points.

б) сравнительное определение $H_{др}$ по методу Вилсона-Буракова, когда сравниваются на предмет подобия две кривые - $NRM(T, H_{др})$ и $TRM(T, H_{лаб})$. Для удобства сравнения, файл данных $TRM(T, H_{лаб})$ помножался на подобранный численный коэффициент, и построенная по этим данным третья кривая $TRM^*(T, H_{лаб})$ пунктирной линией выводилась на график.

в) измерения магнитных параметров образцов – коэрцитивной силы H_c , остаточной коэрцитивной силы H_{cr} , намагниченности насыщения I_s , остаточной намагниченности насыщения I_{rs}

г) термомагнитные исследования I_s и I_{rs} , а именно - снятие кривых $I_{si}(T)$ при последовательных нагревах образцов до температур T_i : {(200, 300, 400, 500, 600, 700)°C} и кривых $I_{rs0}(T)$ и $I_{rs1}(T)$ при двух последовательных нагревах образца до точки Кюри T_c .

д) оценка доменной структуры по термомагнитному критерию (определение хвостов $pTRM$).

По файлам данных, полученным в процессе выполнения процедуры Телье-Коз, для каждого образца строились две диаграммы: Араи-Нагата (АН-) и Зийдервельда (Zd-) (в координатах образца). Это позволило нам при отборе АН-диаграмм для оценки палеонапряженности у каждого отдельного образца сравнивать непосредственно температурное поведение как скаляра - абсолютной величины NRM , так и вектора NRM . Для оценки $H_{др}$ АН-диаграммы отбирались по следующим критериям:

187

1) сегмент АН-диаграммы, по которому проводится линейная аппроксимация для оценки $H_{др}$, должен был включать не менее 4 репрезентативных точек;

2) изменение NRM в пределах этого сегмента $\geq 20\%$ от величины полной NRM ;

3) направление вектора NRM в этом сегменте постоянно;

4) до и в пределах температурного интервала, по которому проводится оценка $H_{др}$, разница в величинах $pTRM$ -check и первичной $pTRM$, нормализованная на величину полной TRM , $\leq 5\%$.

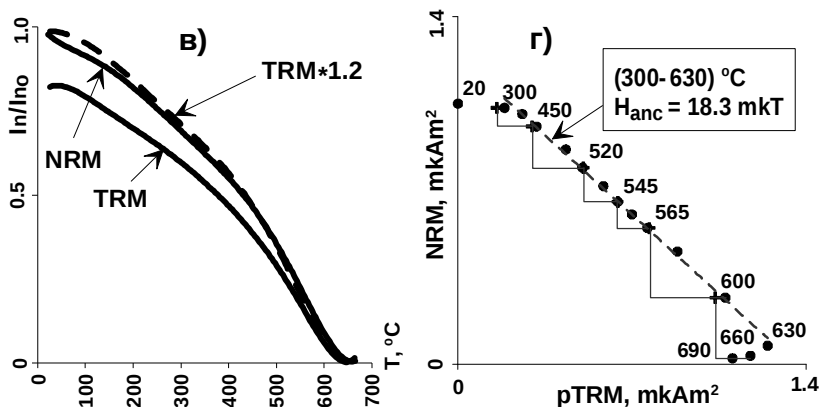
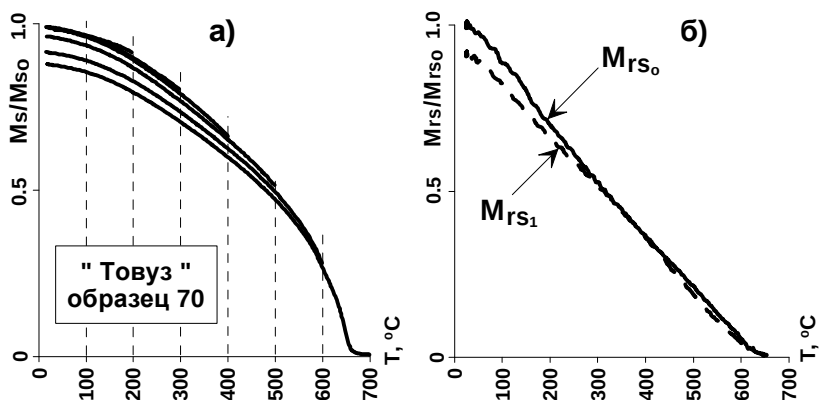


Рис. 1. Исследование магнитных свойств образца.

Магнитные свойства. Обожженные породы двух изученных разрезов – Товуза и Кафана - обнаруживают сходные магнитные свойства и очень похожее поведение различных кривых, которое, в частности, прослеживается на рис.1 для образца №70 (Товуз). Кривые $I_{\text{sl}}(T)$ (Рис. 1а) гладкие, выпуклые по форме, мало меняются при последовательных нагревах вплоть до 700 $^{\circ}\text{C}$, так что общее изменение величины $I_s \leq 10\%$. Температуры Кюри T_c , определённые по этим кривым, лежат в области (620-660) $^{\circ}\text{C}$, что указывает на маггемит как основной ферромагнитный носитель остаточной намагниченности. Что касается поведения I_{rs} (Рис.1б), видно, что в интервале температур $\{T_0 - (200-300) ^{\circ}\text{C}\}$ кривая $I_{\text{rs1}}(T)$ идёт несколько ниже $I_{\text{rs0}}(T)$, дальше они становятся мало различимы вплоть до полного разрушения I_{rs} . У кривых $\text{NRM}(T, H_{\text{др}})$ и $\text{TRM}(T, H_{\text{лаб}})$, снятых по методу Вилсона, как правило, обнаруживается интервал подобия в области температур от (300-400) $^{\circ}\text{C}$ и до T_c , у отдельных образцов эти кривые подобны практически во всём температурном интервале $(T_0 - T_c)$ (Рис.1в). T_c , определяемые по кривым $I_{\text{rs0}}(T)$ и $\text{NRM}(T, H_{\text{др}})$, также лежат выше 600 $^{\circ}\text{C}$. Всё это говорит в пользу

188

того, что у исследованных образцов ферромагнетик устойчив к нагревам и сохранил информацию о первичной NRM, имеющей термоостаточную природу,



Паравакар. Все изученные образцы этого разреза проявляют схожее поведение I_s и I_{rs} , типичные кривые $I_s(T)$ и $I_{rs}(T)$ приведены на Рис. 2, а, б (образец 115). Температуры Кюри T_c , определяемые по этим кривым, лежат в области (600-650) °С. Однако видно, что при последовательных нагревах, в интервале температур (200-400)°С, I_s заметно падает по величине, хотя общий выпуклый вид кривых $I_{si}(T)$ сохраняется (Рис. 2а). Кривые $I_{rs0}(T)$ и $I_{rs1}(T)$ заметно различаются по форме, по величине I_{rs1} несколько меньше I_{rs0} (Рис.2б). Это указывает на то, что в процессе нагревов ферромагнитный материал испытывает изменения. Но при этом у кривых $NRM(T, H_{др})$ и $TRM(T, H_{лаб})$, снятых по методу Вилсона, как правило, обнаруживается интервал подобия в области температур от (200-300) °С и до T_c , у отдельных образцов эти кривые подобны практически во всём температурном интервале (T_0-T_c) (Рис.2с). Можно предположить, что носителями NRM являются мелкие ферромагнитные частицы, близкие по размеру к однодоменным, которые мало меняются при нагревах и сохраняют первичный сигнал, но их вклад в величины I_s и I_{rs} незначителен. Мы сделали оценку доменной структуры образцов этого разреза по термомагнитному критерию, что подтвердило это предположение: величина хвостов $pTRM$ оказалась на уровне шумов прибора, т.е. носителями $pTRM$ являются зёрна практически однодоменные по размеру.

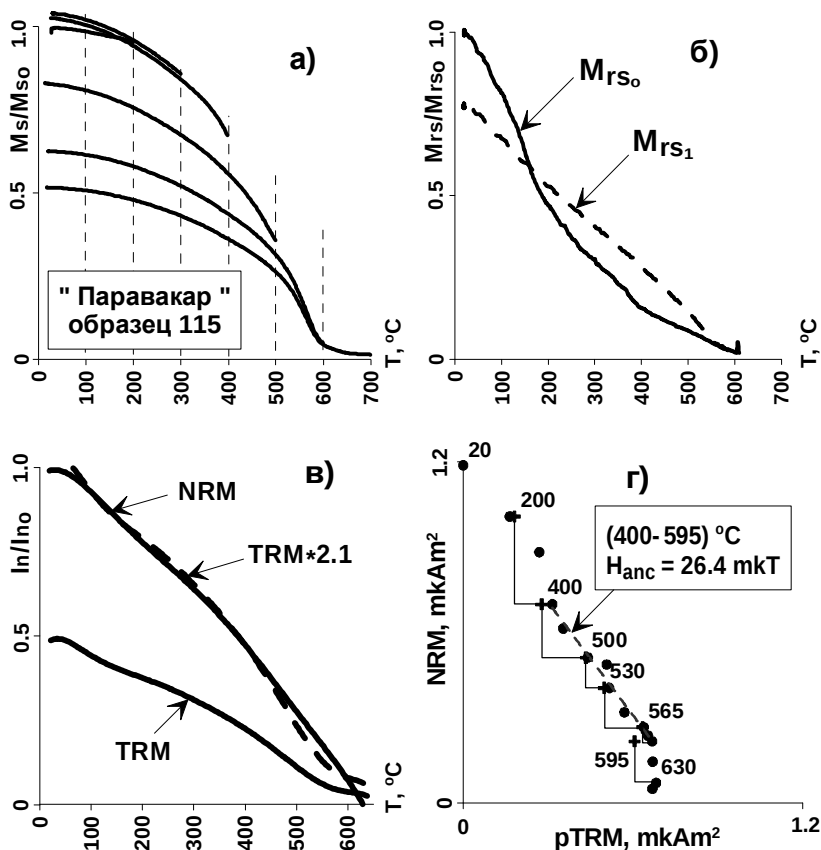


Рис. 2. Исследование магнитных свойств образца.

Что не менее важно, диаграммы Арай-Нагата (рис. 2г) не фиксируют резких изменений в области температур (300-400) °C, в частности, check-points (крестики) располагаются близко к первичным точкам. Значения $H_{др}$, полученные по таким диаграммам, хорошо согласуются между собой и по величине близки к $H_{др}$ по разрезу Товуз, который имеет практически тот же возраст. Все эти соображения послужили для нас поводом не отказываться от данных по Паравакару и, с определёнными оговорками, представить их в статье.

Результаты. В Таблице представлены наши результаты определения палеонаклонения $J_{др}$, величины $H_{др}$, полученной двумя способами – Телье и Вилсона, значения VDM, рассчитанные с использованием $J_{др}$, и, для сравнения, аналогичные данные из статей Большакова и Солодовникова. В качестве ошибки определения

использована стандартная ошибка σ . Возраст разрезов – стратиграфический. При расчёте VDM во внимание принимались значения $H_{др}$, полученные методом Телье.

Таблица. Палеомагнитные данные.

Разрез	Возраст	Палеонаклонение, град.	Щербакова и др. (2007)					Большаков, Солодовников (1981, 1983)		
			метод Вилсона- Буракова		метод Телье-Коз			$VDM, \times 10^{22} \text{ Ам}^2$	$H_{др}, \text{ мкТ}$	число определений
			число опре- делений	$H_{др}, \text{ мкТ}$	число опре- делений	$H_{др}, \text{ мкТ}$	$VDM, \times 10^{22} \text{ Ам}^2$			
Товуз - 6	коныак- сантон (90-83 млн. лет)	40.3	21	22.0 ± 1.0	36	20.3 ± 0.5	4.4 ± 0.2	4.4 ± 0.2	22 ± 1	139
Паравакар - 1		45.5	15	31.0 ± 3.0	27	26.9 ± 0.9	5.5 ± 0.2	4.3 ± 0.3	22 ± 2	57
Кафан - 1	оксфорд-кимеридж (161-151 млн. лет)	31.8	17	11.3 ± 0.5	31	10.1 ± 0.5	2.3 ± 0.1			
Кафан - 2		17.7	9	7.5 ± 0.4	11	7.2 ± 0.4	1.8 ± 0.1			
Кафан - 3		24.3	12	18.0 ± 0.5	12	17.4 ± 0.7	4.2 ± 0.2			
Кафан - ср.		24.9				11.1 ± 0.6	2.7 ± 0.2	3.0 ± 0.2	14.4 ± 0.9	184

Видно, что оба метода – Телье и Вилсона – дают очень близкие значения $H_{др}$, что в определённой степени увеличивает надёжность наших результатов. Полученные значения VDM для всех трёх разрезов низкие – в (2-4) раза ниже его современной величины $8.12 \times 10^{22} \text{ Ам}^2$ - и вполне согласуются с данными для этих же разрезов Большакова, Солодовникова. На рис. 3 (см. Щербаков, Сычёва) показаны определения $H_{др}$ для интервала (400 – 0) млн. лет, представленные в базе данных. Косые крестики обозначают данные Большакова и Солодовникова. Гистограмма сверху рисунка представляет результат статистического анализа данных в интервале (400–5) млн. лет, проведенного авторами (Щербаков, Сычёва), и указывает на существование двух мод в значениях VDM: близкой к современному и приблизительно в 2 раза ниже.

Наши новые результаты, показанные черными кружками, хорошо вписываются в общий спектр данных и поддерживают гипотезу о том, что в геологической истории Земли напряжённость геомагнитного поля не всегда была такой, как в настоящее время, и существовали длительные временные интервалы с низким значением напряженности поля, в частности, в мелу и юре.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 06-05-64538.

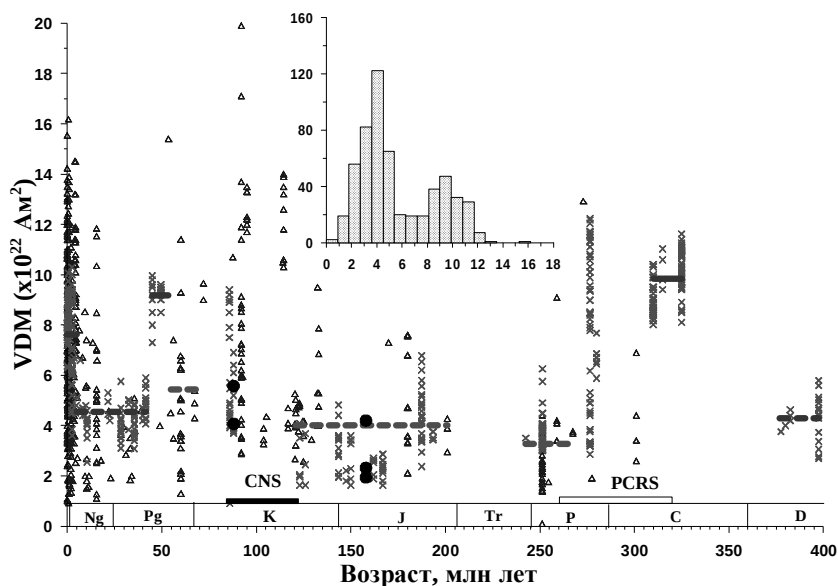


Рис. 3. Сводка данных по VDM за последние 400 млн. лет.

1. Большаков А.С., Солодовников Г.М. О напряженности геомагнитного поля в позднемеловое время // Физика Земли. 1981. №10. С. 58-68.
2. Большаков А.С., Солодовников Г.М. Напряженность геомагнитного поля в Армении в поздней юре и раннем мелу // Физика Земли. 1983. №12. С. 82-90.
3. Щербаков В.П., Сычёва Н.К. Об изменении величины геомагнитного диполя за геологическую историю Земли // Физика Земли. 2006. № 3.