

ЗАПИСЬ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В КЕРАМИКЕ ЦЕНТРА РУССКОЙ РАВНИНЫ В III–II ТЫС. ДО Н. Э.

© 2022 г. И. Е. Начасова^{1, *}, О. В. Пилипенко^{1, **}, Ю. Б. Цетлин^{2, ***}

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

²Институт археологии РАН, г. Москва, Россия

*E-mail: inachasova@mail.ru

**E-mail: pilipenko@ifz.ru

***E-mail: yu.tsetlin@mail.ru

Поступила в редакцию 02.12.2020 г.

После доработки 23.08.2021 г.

Принята к публикации 27.08.2021 г.

Проведены археомагнитные исследования керамики культурных отложений многослойных археологических памятников Сахтыш I и Сахтыш II Ивановской области РФ. Получены данные об изменении напряженности геомагнитного поля в центре Русской равнины во второй половине III–первой трети II тыс. до н. э. Средний уровень напряженности геомагнитного поля на рассматриваемом временном интервале (~50 мкТл) существенно выше среднего уровня напряженности поля (~40 мкТл) в IV–первой половине III тыс. до н. э. Это является отражением “основного” 8-тысячелетнего колебания напряженности геомагнитного поля. Совокупность данных, полученных в результате археомагнитных исследований керамического материала эпохи неолита и бронзы многослойных памятников Сахтыш I и Сахтыш II, позволила определить характерное время вариации напряженности геомагнитного поля в этом временном интервале примерно в 1600–1800 лет. Подобная вариация четко прослеживается для Евразии в последние четыре тысячелетия, что говорит о стабильности вариаций во времени.

Ключевые слова: археомагнетизм, палеонапряженность, вариации напряженности геомагнитного поля, эпоха бронзы.

DOI: 10.31857/S0002333722020090

ВВЕДЕНИЕ

Данные о напряженности геомагнитного поля в последние тысячелетия можно получить путем проведения археомагнитных исследований, то есть изучения термоостаточной намагниченности обожженного материала археологических памятников. Наибольшее число данных о напряженности древнего геомагнитного поля в Евразии до нашей эры получено для районов, в основном относящихся к широтному поясу 40°–45° с.ш. [Начасова, 1998; Начасова, Пилипенко, 2019; Gallet et al., 2015; Kovacheva et al., 2014; Tema et al., 2012]. Научный интерес представляет получение информации о напряженности геомагнитного поля с целью построения временных рядов данных для исследования характеристик вариаций геомагнитного поля в более северных регионах. Несколько лет назад авторами были начаты археомагнитные исследования в районе Русской равнины, расположенном севернее 50° с.ш. В результате исследования керамического материала археологических памятников центра Русской равнины были получены данные, относящиеся к временному интервалу неолита [Начасова и др., 2018; 2020]. Данная работа посвящена археомаг-

нитному исследованию керамики эпохи бронзы многослойных археологических памятников центра Русской равнины Сахтыш I и Сахтыш II. Полученные данные позволят уточнить характер вариаций напряженности геомагнитного поля, что не только необходимо для решения центральной задачи геомагнетизма – исследования механизма генерации магнитного поля Земли, но и могут внести вклад в решение задач хронологии древних культур.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Археологические памятники Сахтыш I и Сахтыш II, расположены в Тейковском районе Ивановской области Российской Федерации ($\varphi = 56^{\circ}48' \text{ с.ш.}$, $\lambda = 40^{\circ}33' \text{ в.д.}$) на расстоянии около восьмисот метров друг от друга. Стоянки располагались по берегу древнего озера, существовавшего в эпоху голоцена [Хотинский, 1977], которое позднее было заторфовано. Фрагменты керамики были отобраны в ходе раскопок поселений Сахтыш I и Сахтыш II, проводившихся Ю.Б. Цетлиным в составе Верхневолжской археологической экспедицией Института археологии РАН [Цетлин, 1991; 2008].

В ходе раскопок на стратиграфическом контрольном участке 2 (СКУ-2) поселения Сахтыш I в трех верхних пластах были найдены фрагменты керамики трех культур эпохи бронзы: сетчатой, штрихованной и фатьяноидной, а также обломки керамики, отнесенной археологами к эпохе бронзы. Мощность по вертикали первого верхнего пласта, включающего дерн, составляет 10 см, двух других пластов – 5 см. Археомангнитному и петромагнитному исследованию были подвергнуты 9 фрагментов сетчатой керамики, 1 фрагмент штрихованной керамики, 2 фрагмента фатьяноидной керамики и 3 фрагмента, относящиеся к эпохе бронзы.

На стратиграфическом контрольном участке 1 (СКУ-1) поселения Сахтыш II в четырех верхних пластах были найдены фрагменты керамики двух культур эпохи бронзы: сетчатой и фатьяноидной, а также фрагменты керамики, относящиеся к эпохе бронзы. Мощность по вертикали первого верхнего пласта, включающего дерн, составляет 10 см, мощность трех других пластов – 5 см. Исследуемая коллекция фрагментов керамики, отобранных на СКУ-1 поселения Сахтыш II, была представлена 30 фрагментами сетчатой керамики, 1 фрагментом фатьяноидной керамики и 8 фрагментами неопределенной культуры эпохи бронзы.

Фрагменты керамики представляют собой чешуйки обожженной глиняной посуды, которые снаружи имеют кирпичный или желтоватый оттенок, а внутри темно-коричневый, почти черный цвет. Всего археомангнитными и петромагнитными методами было исследовано 54 фрагмента керамики.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения исследований керамического материала поселений Сахтыш I и Сахтыш II из фрагментов керамики выпиливались кубические образцы с максимальным ребром ~0.9 см. Термомагнитным анализом (ТМА) проведено исследование состава ферромагнитной фракции по зависимости магнитного момента насыщения от температуры $M_s(T)$ и определению точек Кюри (рис. 1). ТМА был проведен в постоянном магнитном поле ~0.7 Тл в атмосфере воздуха на вибромагнитометре (ОРИОН, Россия). Образцы парциально нагревались до температур 350, 400, 450, 500, 700°C в постоянном магнитном поле и охлаждались до 30°C вне магнитного поля.

Доменное состояние зерен магнетита было оценено по величине отношений M_{rs}/M_s и B_{cr}/B_c [Day et al., 1977], где M_s – магнитный момент насыщения, M_{rs} – остаточный магнитный момент насыщения, B_c – коэрцитивная сила, B_{cr} – остаточная коэрцитивная сила (рис. 2). Для каждого фрагмента керамики были сняты петли магнитного гистерезиса на вибромагнитометре (VSM MicroMag 3900, США), по параметрам которых построены диаграммы Дея и проведена оценка доменно-

го состояния. Гистерезисные параметры определены с коррекцией на величину парамагнитного фона.

Перед началом эксперимента по определению древнего геомагнитного поля ($B_{др}$) были выполнены измерения естественной остаточной намагниченности (NRM) и исследована анизотропия магнитной восприимчивости (AMS). Измерения намагниченности образцов проводились на магнитометре JR-6 (AGICO, Чехия) в трех ортогональных положениях вращения образца, чувствительность прибора $\sim 2.4 \times 10^{-6}$ А/м. Для исследования анизотропии магнитной восприимчивости использовался каппаметр Multi-Function Kappa-bridge MFK1-FA (AGICO, Чехия).

Эксперимент по определению напряженности древнего геомагнитного поля проводился по модифицированному методу двойных нагревов Телье [Thellier, Thellier, 1959; Coe, 1967; Coe et al., 1978] на трехкомпонентном магнитометре (ОРИОН, Россия) в автоматическом режиме работы. Циклы нагрев–охлаждение без магнитного поля и нагрев–охлаждение в магнитном поле $B_{лаб} = 50$ мкТл проводились от 100 до 600°C с шагом 25°C на воздухе. В компьютерной программе к трехкомпонентному магнитометру по результатам измерений для каждого образца строились диаграмма Зийдервельда (в координатах образца) [Zijderveld, 1967], кривая размагничивания NRM(T) и диаграмма Арай–Нагата [Nagata et al., 1963]. Для каждого образца по диаграмме Арай–Нагата (рис. 3, рис. 4) определялся угловой коэффициент K , равный тангенсу угла наклона прямой, и рассчитывалась напряженность древнего геомагнитного поля по формуле $B_{др} = K B_{лаб}$. Расчет тангенса угла наклона прямой проводился на прямолинейном участке диаграммы Арай–Нагата в температурном интервале (T_1 , T_2) индивидуальном для каждого образца. Важно отметить, что для оценки палеонапряженности в методе Телье в данном исследовании брались температурные интервалы (T_1 , T_2), максимально близкие температурному интервалу, в котором выделяется характеристическая компонента намагниченности на диаграммах Зийдервельда.

Скорость нагрева, охлаждения и скорость охлаждения образца при создании лабораторной TRM равнялись 1°C/с. В компьютерной программе к трехкомпонентному магнитометру не предусмотрена оценка зависимости приобретенной TRM от скорости охлаждения образца (устное сообщение Жидкова Г.В.).

При исследованиях образцов на трехкомпонентном магнитометре для того, чтобы контролировать возможные изменения в способности образца приобретать термоостаточную намагниченность TRM – проводилась так называемая процедура “*pTRM check*”, заключающаяся в проверочных нагревах до более низких температур

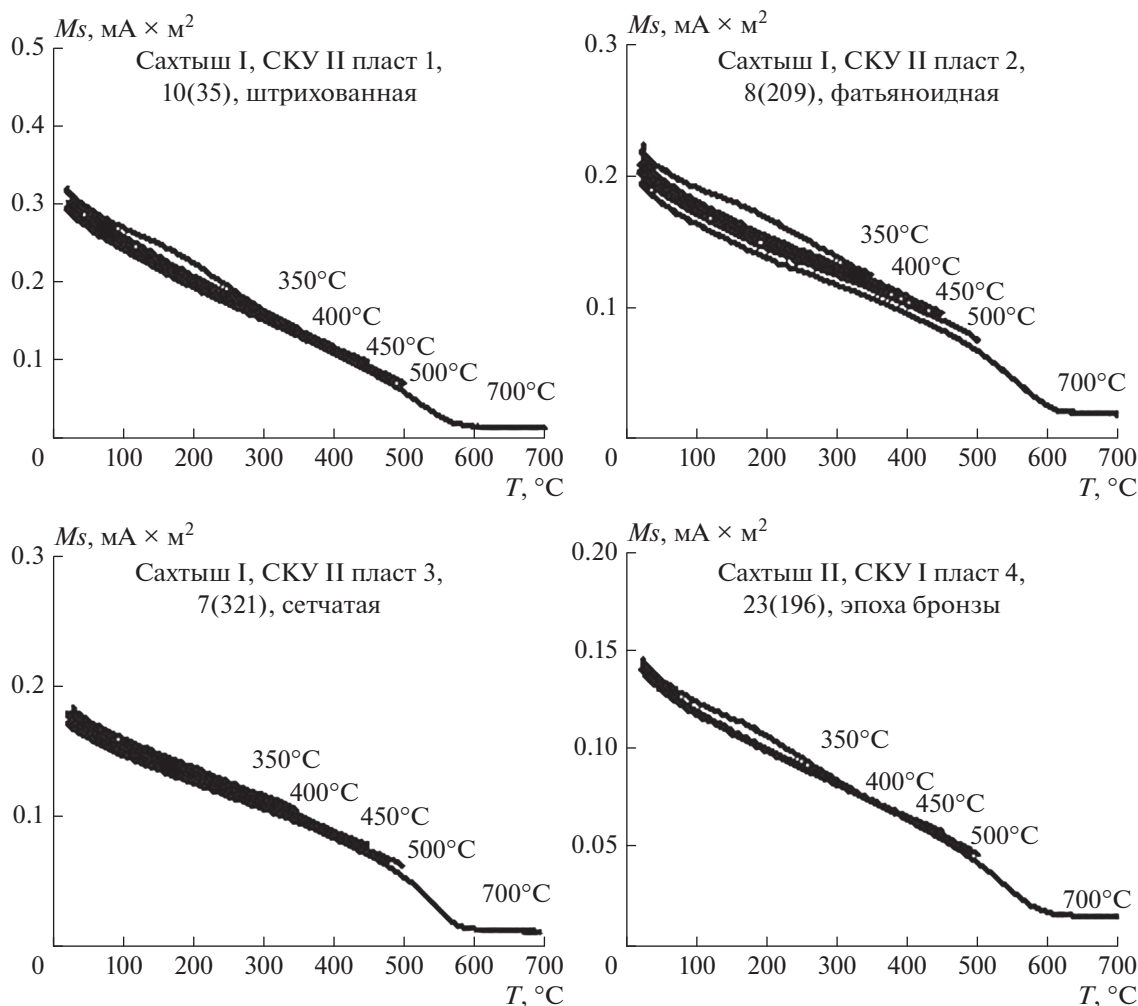


Рис. 1. Парциальные кривые зависимости магнитного момента насыщения в постоянном магнитном поле 0.7 Тл от температуры для разных типов фрагментов керамики, найденной в культурных отложениях археологических памятников Сахтыш I и Сахтыш II. Цифры около кривых обозначают температуры нагрева.

после каждого второго температурного цикла [Prevot et al., 1985]. Таким образом, повторно создавались и измерялись *pTRM check-point* при температурах 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 и 500°C. Об отсутствии каких-либо изменений в процессе нагревов говорят мало отличающиеся положения *pTRM check-point* от положения первичных *pTRM* на диаграммах Арай–Нагата

В работе анализ результатов проводился по компьютерной программе *SrtViewer*, которая в автоматическом режиме рассчитывала значение $B_{др}$, среднеквадратичную ошибку среднего и параметры оценки качества данных.

Перечислим критерии отбора, которые использовались при анализе полученных результатов. Для оценки $B_{др}$ на диаграммах Арай–Нагата принимались в расчет только те образцы, для которых в температурном интервале (T_1, T_2):

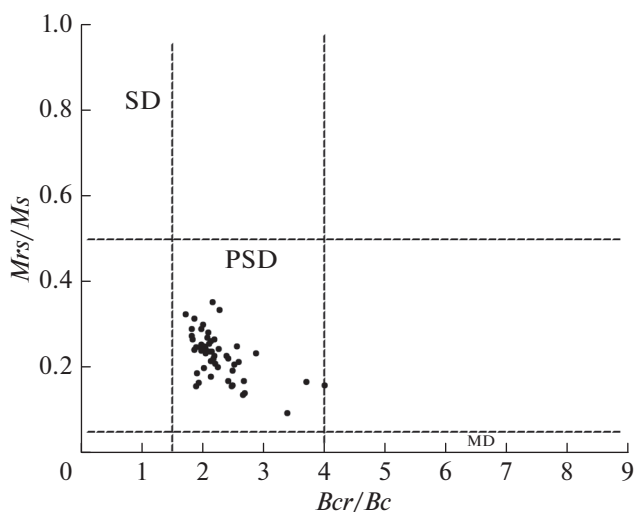
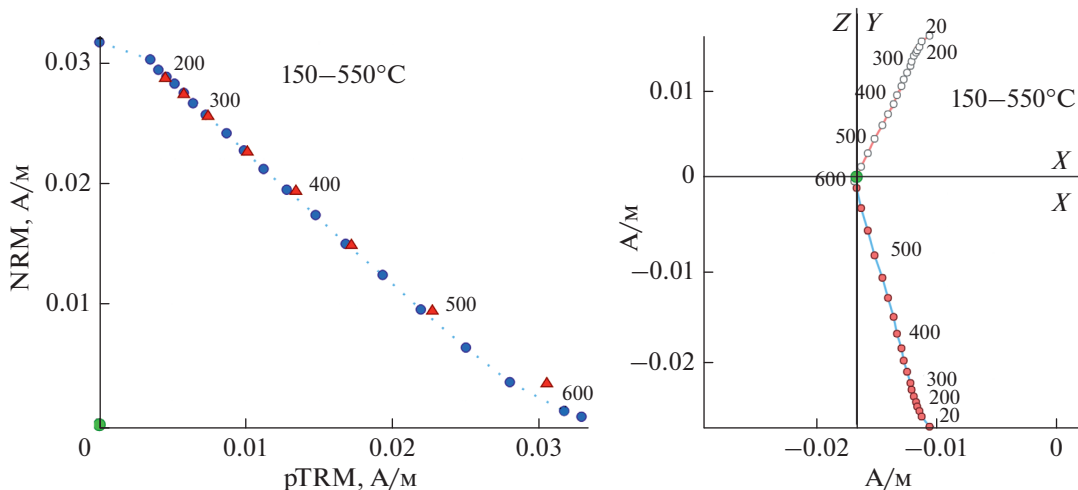
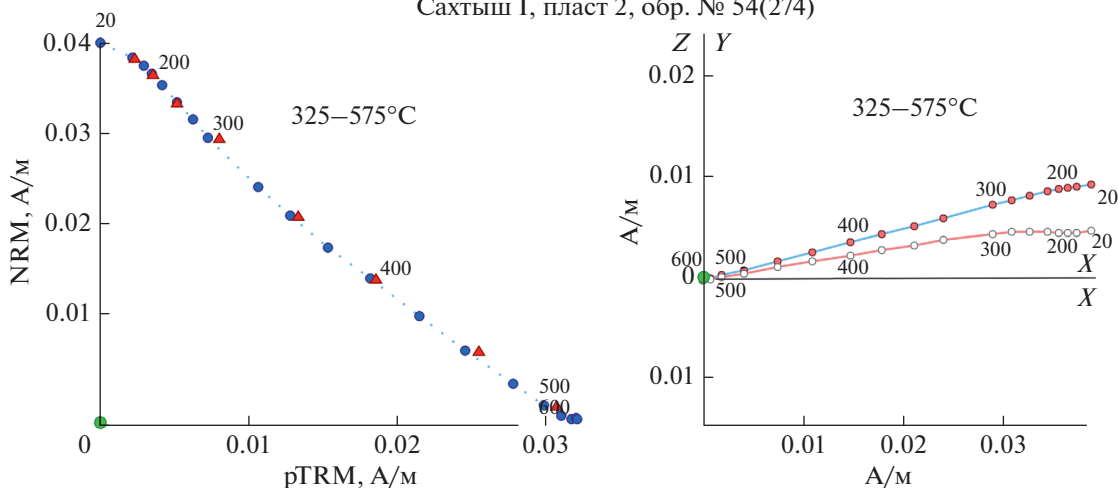


Рис. 2. Диаграмма Дея.

Сахтыш I, пласт 1, обр. № 10(35)



Сахтыш I, пласт 2, обр. № 54(274)



Сахтыш I, пласт 3, обр. № 56(334)

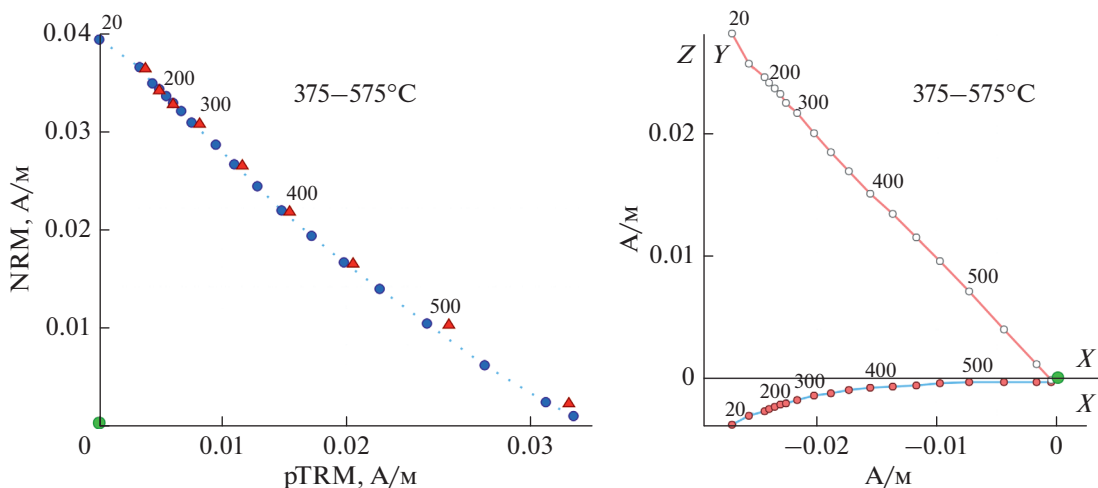


Рис. 3. Примеры диаграмм Арай–Нагаты – левый столбец; примеры диаграмм Зийдервельда – правый столбец для фрагментов керамики, найденной в пластах культурных отложений археологического памятника Сахтыш I, SKU 2. Символами синий кружок обозначены результаты исследований по модифицированному методу Телье, красный треугольник – pTRM *check-point*. Цифры около символов обозначают температуры нагрева в °C.

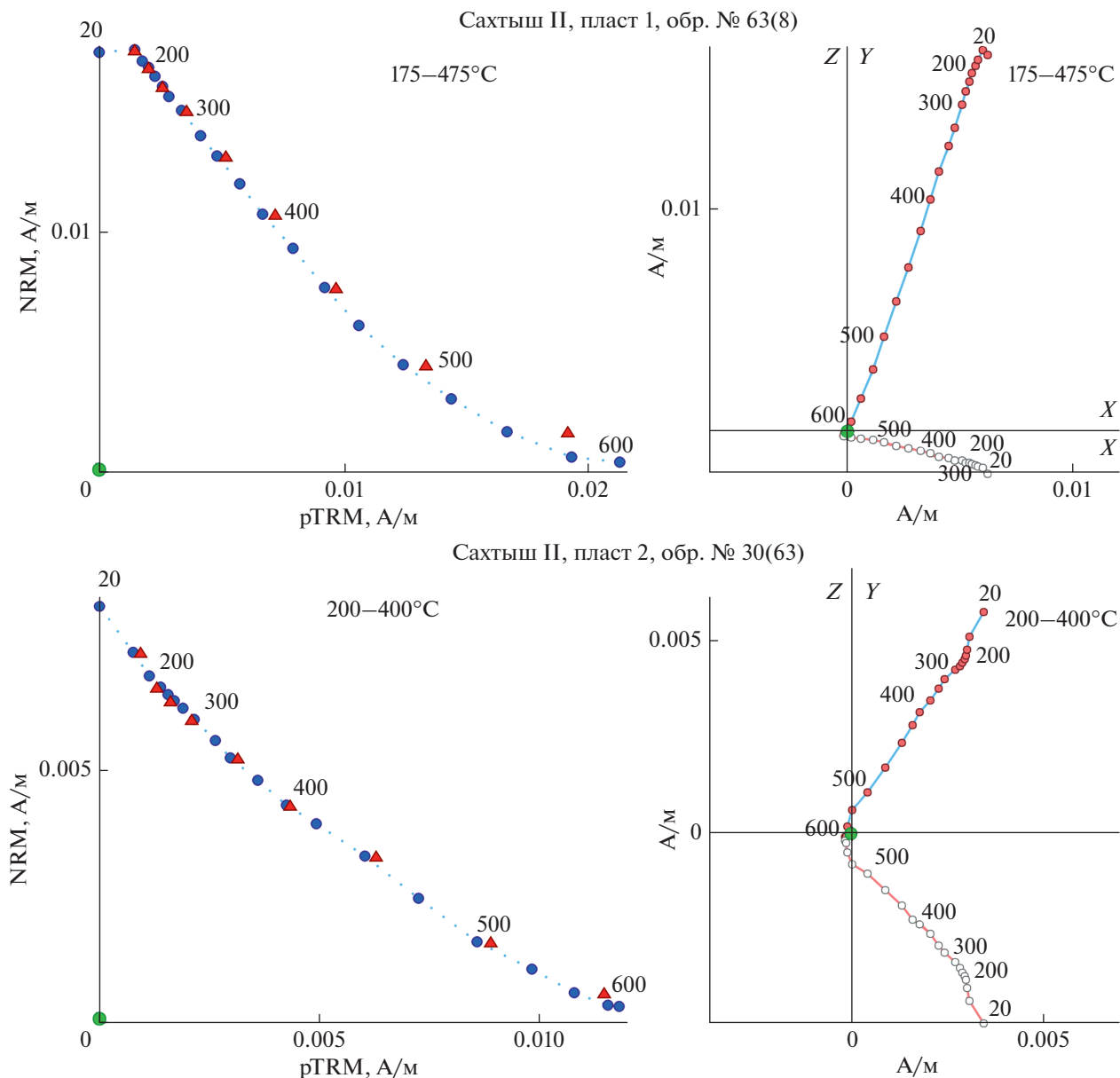


Рис. 4. Примеры диаграмм Арай–Нагаты – левый столбец; примеры диаграмм Зийдервельда – правый столбец для фрагментов керамики, найденной в пластах культурных отложений археологического памятника Сахтыш II, СКУ 1. Символами синий кружок обозначены результаты исследований по модифицированному методу Телье, красный треугольник – pTRM *check-point*. Цифры около символов обозначают температуры нагрева в °С.

1) число анализируемых точек было не менее четырех;

2) изменение NRM составляет не менее 0.2 от ее полной величины (параметр f);

3) интегральный параметром q (*quality*) оценки качества [Coe et al., 1978] равнялся $q \geq 5$;

4) абсолютное значение максимального из отклонений проверочных точек pTRM – *check points* от их первоначальных значений на интервале (T_0, T_2) , нормализованное на длину фит-линии NRM–TRM в интервале (T_1, T_2) – параметр DRAT < 15% [Selkin, Tauxe, 2000];

5) сумма отклонений проверочных pTRM точек от их первоначальных значений на интервале (T_0, T_2) – параметр CDRAT < 16% (кумулятивный DRAT) [Kissel, Laj, 2004].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ЗЕРЕН ФЕРРИМАГНИТНОЙ ФРАКЦИИ

На первом дубле образцов объемом $\sim 1 \text{ см}^3$ был проведен ТМА по температурной зависимости парциального магнитного момента насыщения $M_s(T)$ на вибромагнитометре (рис. 1). Все термо-

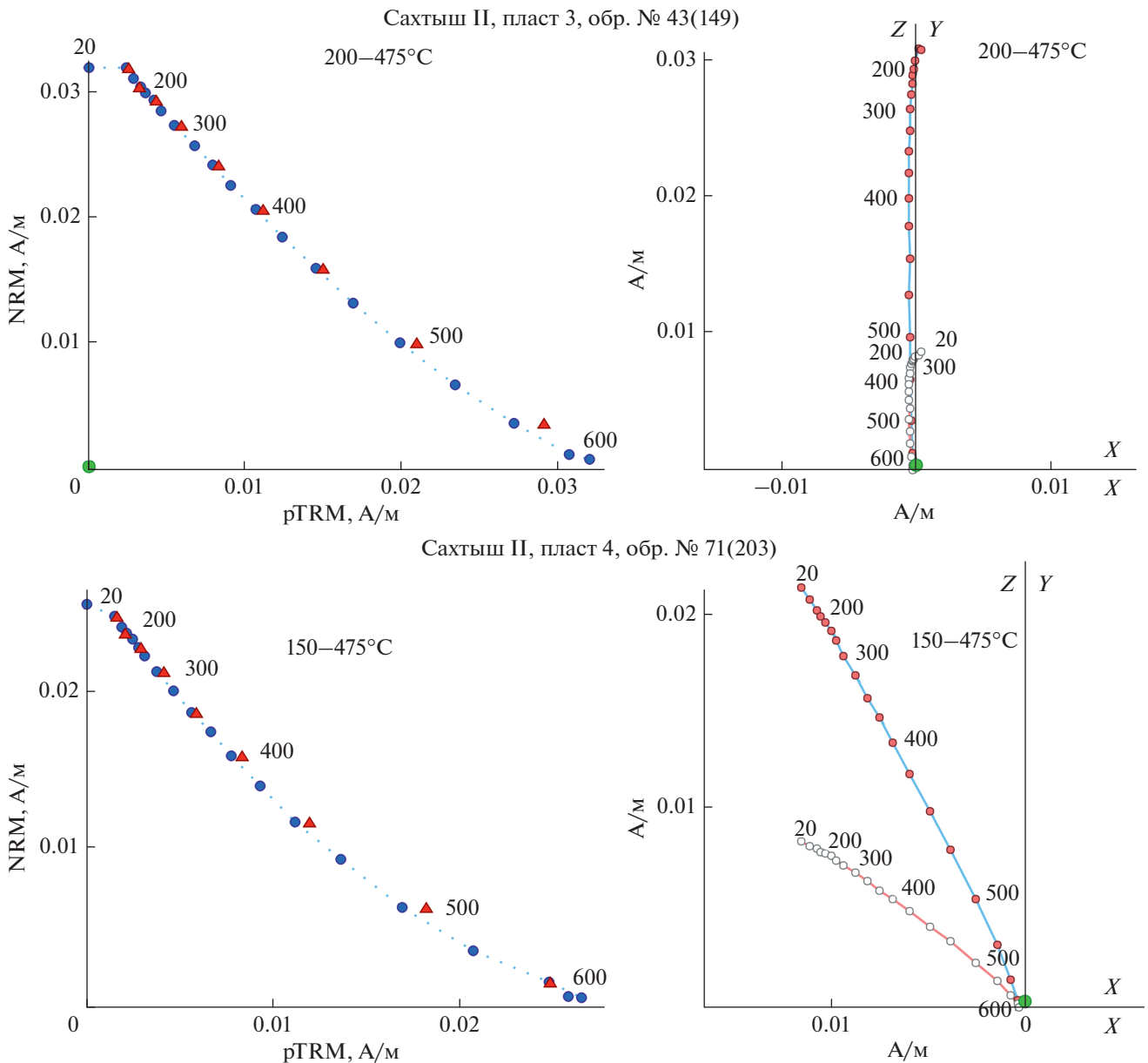


Рис. 4. Окончание.

магнитные кривые $M_s(T)$ имеют выпуклый вид. Часть кривых первичного и повторного нагревов совпадают полностью. Другая часть кривых повторного нагрева проходит чуть ниже, но полностью повторяет ход кривых предыдущих нагревов. Кривые $M_s(T)$ указывают на присутствие фазы с точкой Кюри $T_c \sim 570\text{--}580^\circ\text{C}$, характеризующей магнетит. Небольшое падение величины магнитного момента после 350°C в ходе повторных нагревов свидетельствует об образовании маггемита в данных образцах.

Судя по распределению отношений M_{rs}/M_s , B_{cr}/B_c на диаграмме Дэя (рис. 2), размер магнитных минералов в основном попадает в область псевдооднодоменных зерен (PSD) [Evans, Heller, 2003].

Измерения AMS показали наличие в образцах высокой степени анизотропии, достигающей 10–15%. Поэтому при проведении измерений на трехкомпонентном термомагнитометре для уменьшения влияния магнитной анизотропии термоостаточная намагниченность создавалась в направлении вектора естественной остаточной намагниченности.

В ходе петромагнитных исследований не выявлены явные различия в составе и структуре ферримагнитной фракции в зависимости от типа керамики, что, скорее всего, связано со схожестью технологий изготовления керамического материала из-за проникновения и ассимилирования культур.

Таблица 1. Напряженность геомагнитного поля $B_{др}$, определенная на фрагментах керамики, отобранных на археологическом памятнике Сахтыш I

| Номер фрагмента керамики (музейный номер) | Вид керамики | $T_1-T_2, ^\circ\text{C}$ | N | q | f | DRAT, % | CDRAT, % | $B_{др} \pm \sigma, \text{мкТл}$ |
|---|--------------|---------------------------|-----|--------|------|---------|----------|----------------------------------|
| Пласт 1 | | | | | | | | 43.3 ± 5.6 |
| 4(78) | Фатьяноидная | 150–350 | 9 | 8.50 | 0.44 | 7.29 | 5.3 | 34.3 ± 2.2 |
| 9 (30) | Сетчатая | 150–425 | 12 | 9.82 | 0.58 | 4.57 | 9.27 | 54.4 ± 2.9 |
| 10(35) | Штрихованная | 150–550 | 17 | 111.69 | 0.80 | 2.32 | 5.91 | 54.9 ± 0.4 |
| 4 (38) | Эпоха бронзы | 250–525 | 12 | 29.72 | 0.74 | 2.02 | 3.78 | 26.8 ± 1.0 |
| 51(70) | Эпоха бронзы | 250–475 | 10 | 9.74 | 0.50 | 7.57 | 11.89 | 46.3 ± 2.5 |
| Пласт 2 | | | | | | | | 54.5 ± 7.1 |
| 8(209) | Фатьяноидная | 150–450 | 13 | 9.20 | 0.72 | 5.85 | 5.28 | 44.1 ± 3.5 |
| 53(283) | Сетчатая | 150–400 | 11 | 6.08 | 0.41 | 3.86 | 1.69 | 42.9 ± 2.6 |
| 54(274) | Сетчатая | 325–575 | 11 | 32.16 | 0.68 | 2.75 | 11.57 | 57.7 ± 1.0 |
| 55(265) | Сетчатая | 350–500 | 4 | 10.48 | 0.62 | 3.07 | 3.82 | 73.1 ± 2.0 |
| Пласт 3 | | | | | | | | 48.5 ± 3.3 |
| 7(321) | Сетчатая | 350–500 | 7 | 22.72 | 0.37 | 1.99 | 2.74 | 40.7 ± 0.5 |
| 56(334) | Сетчатая | 375–575 | 9 | 22.49 | 0.67 | 5.20 | 13.79 | 46.9 ± 1.2 |
| 57(263) | Сетчатая | 325–475 | 7 | 45.25 | 0.37 | 3.10 | 6.59 | 56.4 ± 0.9 |
| 58(360) | Сетчатая | 225–500 | 12 | 17.92 | 0.80 | 2.16 | 5.23 | 49.9 ± 3.6 |

Примечание: (T_1, T_2) – температурный интервал на диаграмме Араи–Нагата, по которому проводилась оценка $B_{др}$; N – число анализируемых точек на диаграмме Араи–Нагата; f – доля NRM, которая приходится на интервал (T_1, T_2); фактор q – интегральная оценка качества данного результата; σ – среднеквадратичная ошибка среднего. Средняя величина напряженности геомагнитного поля $B_{др}$ по пластам выделена жирным шрифтом.

Таким образом, проведенные петромагнитные исследования фрагментов керамики показали, что основным носителем термоостаточной намагниченности в образцах керамики являются неоднородно распределенные псевдооднодоменные зерна магнетита, устойчивые к нагревам, и что образцы пригодны для дальнейших археоманитных исследований.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ НАПРЯЖЕННОСТИ ДРЕВНЕГО ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Для получения данных о древнем геомагнитном поле были проведены лабораторные исследования по модифицированной методике двойных нагревов Телье. После измерения и расчета “pTRM *check-point*” и исключения образцов, на которых не удовлетворяются приведенные выше критерии отбора, было принято 45 определений напряженности древнего геомагнитного поля (табл. 1 и табл. 2). Все представленные в таблицах образцы, по которым выполнены определения $H_{др}$, удовлетворяют критерию $q \geq 5$ и имеют высокую степень надежности.

В основном диаграммы Зийдервельда демонстрировали однокомпонентный состав вектора NRM на всем температурном интервале, что соответствовало прямолинейным диаграммам

Араи–Нагата. Для таких образцов оценка древнего геомагнитного поля на диаграммах Араи–Нагата проводилась, как правило, на среднетемпературном интервале 150–450°C. Если диаграммы Зийдервельда демонстрировали двухкомпонентный состав и диаграмма Араи–Нагата имела излом, то оценка поля проводилась на высокотемпературном интервале ~250–600°C. Интервалы температур на диаграммах Араи–Нагата, на которых проводилась оценка $B_{др}$, приведены в табл. 1 и табл. 2.

ПРИВЯЗКА К ВРЕМЕННОЙ ШКАЛЕ

Проведено исследование керамического материала, отобранного из трех верхних пластов культурных отложений археологического памятника Сахтыш I и четырех верхних пластов памятника Сахтыш II. Напряженность поля изменяется от ~27 до ~73 мкТл, средний уровень ~50 мкТл (табл. 1 и табл. 2).

Культурные отложения обоих памятников относятся к одному временному интервалу. Из-за разницы в расположении поселений (поселение Сахтыш I располагалось на вершине суходола, а поселение Сахтыш II – у озера) временные отрезки накопления отложений пластов памятников несколько отличаются. Изменение напряженности геомагнитного поля во временном интервале накопления культурных отложений памятников

Таблица 2. Напряженность геомагнитного поля $B_{др}$, определенная на фрагментах керамики, отобранных на археологическом памятнике Сахтыш II

| Номер фрагмента керамики (музейный номер) | Вид керамики | $T_1-T_2, ^\circ\text{C}$ | N | q | f | DRAT, % | CDRAT, % | $B_{др} \pm \sigma, \text{мкТл}$ |
|---|--------------|---------------------------|-----|-------|------|---------|----------|----------------------------------|
| Пласт 1 | | | | | | | | 51.3 ± 5.2 |
| 59(3) | Сетчатая | 150–500 | 15 | 10.36 | 0.46 | 2.72 | 3.67 | 55.1 ± 2.2 |
| 60(7) | Фатьяноидная | 325–475 | 7 | 10.16 | 0.49 | 2.26 | 4.72 | 40.2 ± 1.6 |
| 62(12) | Сетчатая | 150–400 | 11 | 13.25 | 0.37 | 3.07 | 3.54 | 46.0 ± 1.1 |
| 63(8) | Эпоха бронзы | 175–475 | 13 | 80.88 | 0.59 | 3.64 | 8.02 | 63.9 ± 0.4 |
| Пласт 2 | | | | | | | | 52.9 ± 2.3 |
| 25(46) | Эпоха бронзы | 150–400 | 11 | 8.15 | 0.44 | 3.22 | 9.98 | 64.4 ± 2.4 |
| 26(30) | Сетчатая | 150–475 | 14 | 13.68 | 0.62 | 2.58 | 6.25 | 62.3 ± 2.5 |
| 27(60) | Сетчатая | 475–600 | 6 | 23.34 | 0.59 | 9.33 | 15.95 | 50.7 ± 0.9 |
| 28(43) | Сетчатая | 175–550 | 16 | 37.96 | 0.90 | 1.62 | 4.47 | 41.1 ± 1.1 |
| 29(48) | Сетчатая | 400–525 | 6 | 28.31 | 0.50 | 5.16 | 11.46 | 60.7 ± 0.7 |
| 30(63) | Сетчатая | 200–400 | 9 | 9.41 | 0.26 | 5.89 | 0.89 | 45.7 ± 1.1 |
| 31(73) | Сетчатая | 450–550 | 5 | 11.06 | 0.52 | 5.45 | 7.39 | 51.7 ± 1.8 |
| 32(74) | Сетчатая | 425–550 | 6 | 11.91 | 0.58 | 7.72 | 15.89 | 49.4 ± 1.9 |
| 33(75) | Сетчатая | 150–400 | 11 | 10.44 | 0.40 | 3.28 | 6.00 | 43.6 ± 1.7 |
| 34(62) | Сетчатая | 300–500 | 9 | 13.99 | 0.49 | 6.42 | 5.70 | 54.1 ± 1.5 |
| 64(49) | Сетчатая | 150–350 | 9 | 9.84 | 0.57 | 5.38 | 7.41 | 58.1 ± 2.5 |
| Пласт 3 | | | | | | | | 59.6 ± 2.1 |
| 36(104) | Сетчатая | 150–450 | 13 | 11.75 | 0.58 | 3.57 | 10.79 | 70.3 ± 2.2 |
| 39(95) | Эпоха бронзы | 150–350 | 9 | 5.51 | 0.31 | 4.29 | 5.31 | 48.5 ± 2.4 |
| 40(101) | Сетчатая | 325–600 | 12 | 69.97 | 0.68 | 3.13 | 7.13 | 59.5 ± 0.4 |
| 41(139) | Сетчатая | 150–475 | 14 | 10.86 | 0.22 | 1.69 | 0.54 | 60.3 ± 0.9 |
| 42(128) | Сетчатая | 175–450 | 15 | 13.84 | 0.46 | 6.01 | 10.01 | 66.7 ± 1.5 |
| 43(149) | Сетчатая | 200–425 | 12 | 37.16 | 0.71 | 1.49 | 6.64 | 60.8 ± 0.9 |
| 44(191) | Сетчатая | 200–575 | 16 | 55.15 | 0.92 | 2.70 | 7.80 | 68.9 ± 0.8 |
| 45(99) | Сетчатая | 150–400 | 11 | 9.09 | 0.51 | 4.52 | 10.21 | 57.9 ± 2.5 |
| 46(162) | Сетчатая | 150–425 | 12 | 13.58 | 0.81 | 3.44 | 6.81 | 64.6 ± 2.5 |
| 47(97) | Сетчатая | 350–500 | 7 | 73.89 | 0.59 | 3.92 | 7.93 | 47.5 ± 3.5 |
| 67(124) | Сетчатая | 200–550 | 15 | 25.42 | 0.91 | 2.03 | 8.81 | 56.7 ± 1.6 |
| 68(148) | Сетчатая | 375–550 | 8 | 33.00 | 0.61 | 4.20 | 9.67 | 53.3 ± 0.8 |
| Пласт 4 | | | | | | | | 61.9 ± 3.9 |
| 20(176) | Сетчатая | 200–450 | 11 | 17.10 | 0.52 | 2.66 | 7.55 | 59.7 ± 1.3 |
| 21(170) | Сетчатая | 200–450 | 11 | 10.09 | 0.57 | 2.53 | 5.88 | 50.1 ± 2.5 |
| 23(196) | Эпоха бронзы | 150–475 | 14 | 8.89 | 0.56 | 2.32 | 3.54 | 73.2 ± 2.8 |
| 69(199) | Сетчатая | 350–575 | 10 | 22.51 | 0.71 | 2.96 | 9.61 | 59.8 ± 1.4 |
| 71(203) | Сетчатая | 150–475 | 14 | 29.69 | 0.60 | 2.90 | 7.24 | 66.7 ± 0.9 |

Примечание: (T_1, T_2) – температурный интервал на диаграмме Арай–Нагата, по которому проводилась оценка $B_{др}$; N – число анализируемых точек на диаграмме Арай–Нагата; f – доля NRM, которая приходится на интервал (T_1, T_2); фактор q – интегральная оценка качества данного результата; σ – среднеквадратичная ошибка среднего. Средняя величина напряженности геомагнитного поля $B_{др}$ по пластам выделена жирным шрифтом.

Сахтыш I и Сахтыш II имеет три этапа: возрастание напряженности на первом этапе, высокие значения – на втором и уменьшение – на третьем (рис. 5). Нижние пласты культурных отложений откладывались в начале накопления, верхние – в конце, но при раскопках пласты номеровались

сверху. Самые молодые отложения – пласт 1. Самые низкие значения напряженности поля получены для временных отрезков накопления пластов 3 и 1 памятника Сахтыш I. Самые высокие – для временных отрезков накопления пластов 4 и 3 памятника Сахтыш II.

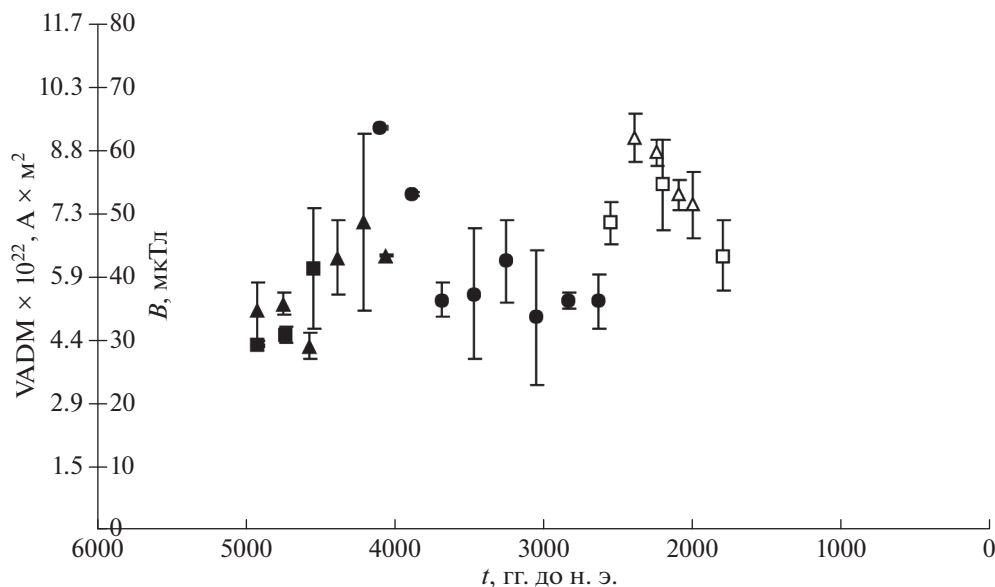


Рис. 5. Величины виртуального аксиального дипольного момента VADM и напряженности геомагнитного поля B со среднеквадратичной ошибкой σ по пласту (результаты исследований неолитической керамики памятника Сахтыш I: залитый кружок – по ямочно-гребенчатой керамике; залитый квадрат – по волго-окской керамике; залитый треугольник – по верхневолжской керамике; результаты данного исследования: полый квадрат – по материалу памятника Сахтыш I; полый треугольник – по материалу памятника Сахтыш II).

Оценка времени накопления верхних пластов памятников Сахтыш I и Сахтыш II имеет неопределенность. По литературным данным эпоха бронзы в лесной зоне Восточной Европы начинается примерно с начала II тыс. до н.э. [Юшкова, 2015]. В конце III тыс. до н.э. в лесной зоне появилась фатьяновская культура. Ее носители вступали в контакт с местным поздненеолитическим населением, что привело к сложению целого ряда фатьяноидных культур. Фатьяноидная керамика относится к периоду 2000–1700 гг. до нашей эры. Носители культур с сетчатой и штрихованной керамикой частично сосуществовали с носителями фатьяноидной культуры во II тыс. до н.э. [Цетлин, 1991; 2008].

В числе керамического материала, отобранного из пластов 1 и 2 памятника Сахтыш I и пласта 1 памятника Сахтыш II (табл. 1 и табл. 2), были фрагменты керамики фатьяноидной культуры, что позволяет временной интервал 2000–1700 гг. до н. э. принять как часть интервала накопления верхних пластов памятников.

Культурные отложения многослойного археологического памятника Сахтыш I накапливались с неолита по бронзовый век (с V по II тыс. до н. э.) [Цетлин, 1991; 2008]. Для получения независимой оценки времени накопления верхних пластов памятников Сахтыш I и Сахтыш II можно использовать данные о напряженности геомагнитного поля во временном интервале V–первая половина III тыс. до н. э., полученные в результате археомангнитных исследований неолитического керамического материала памятника Сахтыш I [Нача-

сова и др., 2018], (рис. 5). На рубеже V–IV тысячелетий до нашей эры напряженность поля имеет средний уровень ~50 мкТл. В первой половине V тыс. до н. э. и в интервале середина IV–середина III тыс. до н. э. средний уровень напряженности поля равнялся ~35–40 мкТл.

По мировым археомангнитным данным картина изменения напряженности геомагнитного поля в последние несколько тысячелетий может быть представлена суперпозицией колебаний. Основной вариацией напряженности поля является 8-тысячелетнее колебание с минимумом примерно в IV тыс. до н. э. и максимумом в I тыс. до н. э. [Брагинский, Бурлацкая, 1979; Бурлацкая, 1987].

Среднее значение напряженности геомагнитного поля во время накопления культурных пластов эпохи бронзы памятников Сахтыш I и Сахтыш II заметно выше, чем средний уровень напряженности поля в V–первой половине III тыс. до н. э. (рис. 5), что является проявлением 8-тысячелетней вариации напряженности геомагнитного поля. Это хорошо согласуется с археологическими представлениями о том, что эти отложения относятся к более позднему времени, чем неолитические отложения.

Таким образом, накопление культурных отложений верхних пластов памятников Сахтыш I и Сахтыш II можно отнести к временному интервалу вторая половина III–первая половина II тыс. до н. э.

Получить временную привязку интервала накопления исследованного материала можно также путем сопоставления данных об изменении напряженности поля с данными, полученными в

результате археомагнитных исследований керамики других археологических памятников. Для сопоставления картин изменения напряженности геомагнитного поля могут быть привлечены данные, полученные в результате исследований материалов археологических памятников из районов по возможности близких по долготе. Картинки изменения геомагнитного поля в разных долготных секторах имеют различия в связи с тем, что вариации напряженности поля с различными характерными временами имеют разнонаправленный дрейф [Начасова, 1998]. Для долготного сектора, к которому относятся памятники Сахтыш I и Сахтыш II, имеются данные о напряженности геомагнитного поля для временного интервала III–II тыс. до н. э., полученные в результате исследований материалов археологических памятников Кавказа (Грузия) [Бураков, Начасова, 1988; Начасова, Бураков, 1987] и Ближнего Востока (Сирия) [Gallet et al., 2015], (рис. 6, рис. 7). Картинки изменения напряженности геомагнитного поля на Кавказе и Ближнем Востоке весьма похожи. Напряженность поля в этом временном интервале меняется очень резко. По данным, полученным для Ближнего Востока и Кавказа, хорошо прослеживается яркая особенность изменения напряженности поля: падение напряженности поля на временном интервале последние столетия III тыс. до н. э.—первая треть II тыс. до н. э., с относительно высоких значений до низких значений, не встречающихся на других временных отрезках II тыс. до н. э. Сопоставление картины изменения напряженности геомагнитного поля, полученной по материалам верхних пластов памятников Сахтыш I и Сахтыш II с результатами исследований, проведенных по материалам археологических памятников Ближнего Востока и Кавказа, показало хорошую сходимость полученных картин изменения напряженности поля.

Таким образом, сравнение изменения напряженности геомагнитного поля по результатам исследования материала верхних пластов памятников Сахтыш I и Сахтыш II с результатами исследований памятников Ближнего Востока и Кавказа позволило сделать вывод о том, что накопление культурных отложений верхних пластов памятников Сахтыш I и Сахтыш II происходило во второй половине III тыс. до н. э.—первой трети II тыс. до н. э. Полученная оценка времени накопления культурных отложений памятников Сахтыш I и Сахтыш II хорошо согласуется с наличием в верхних пластах обоих памятников фатьяноидной керамики, с археологической временной привязкой 2000–1700 гг. до н. э.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изменение напряженности геомагнитного поля во временном интервале вторая половина III тыс. до н. э.—первая половина II тыс. до н. э. в

регионе Ближнего Востока (рис. 7) имеет вид вариации продолжительностью примерно 900 лет (с XXVI по XVIII вв. до н. э.). В XXVI в. до н. э. напряженность поля возрастала. Затем примерно три столетия она была на высоком уровне. Далее напряженность поля стала уменьшаться и достигла минимальных значений в XVIII в. до н. э. Картина изменения напряженности геомагнитного поля, полученная по материалам верхних пластов культурных отложений памятников Русской равнины Сахтыш I и Сахтыш II в. до н. э., имеет такой же вид (рис. 5). Сопоставление полученных картин изменения напряженности геомагнитного поля позволяет определить временные интервалы, к которым относится накопление пластов памятников Сахтыш I и Сахтыш II.

Средние значения напряженности поля для пластов 4 и 3 памятника Сахтыш II имеют высокие величины (около 62 и 60 мкТл). Затем началось уменьшение напряженности поля. Временной интервал накопления пластов 4 и 3 можно отнести к XXV–XXIII вв. до н. э. Временной интервал уменьшения напряженности поля до минимальных значений — XXII–XVIII вв. до н. э. Среднее значение напряженности поля для пласта 2 — около 53 мкТл, для пласта 1 — около 51 мкТл. Близость средних значений, полученных для разных пластов, по-видимому, связана с разной представительностью и неравномерностью распределения материала во времени. В пласте 1 памятника Сахтыш II и в пластах 2 и 1 памятника Сахтыш I была найдена фатьяноидная керамика, отнесенная к периоду 2000–1700 гг. до н. э.

Напряженность геомагнитного поля, определенная по материалу пласта 1 памятника Сахтыш II, изменяется в пределах более высоких значений, чем значения, полученные по материалу пласта 1 памятника Сахтыш I, следовательно, пласт 1 памятника Сахтыш I накапливался в более поздний временной отрезок. Уровни средних значений напряженности поля на временных интервалах накопления пластов двух первых (4 и 3) и последних (2 и 1) пластов памятника Сахтыш II различаются примерно на 9 мкТл. Примерно настолько же отличается среднее значение напряженности поля для пласта 1 памятника Сахтыш I (около 43 мкТл) от среднего значения, полученного для пластов 2 и 1 памятника Сахтыш II. По-видимому, продолжительность временных отрезков накопления пластов 2 и 1 памятника Сахтыш II и пласта 1 памятника Сахтыш I близки. Каждый из них может быть оценен в 250–300 лет. Учитывая то, что в пласте 1 памятника Сахтыш II найдена фатьяноидная керамика, можно определить интервал накопления пластов 2 и 1 примерно в XXII–XX вв. до н. э. Таким образом, временной отрезок накопления одного пласта памятника Сахтыш II можно оценить примерно в 150 лет.

Временной отрезок накопления пласта 3 памятника Сахтыш I приходится на интервал

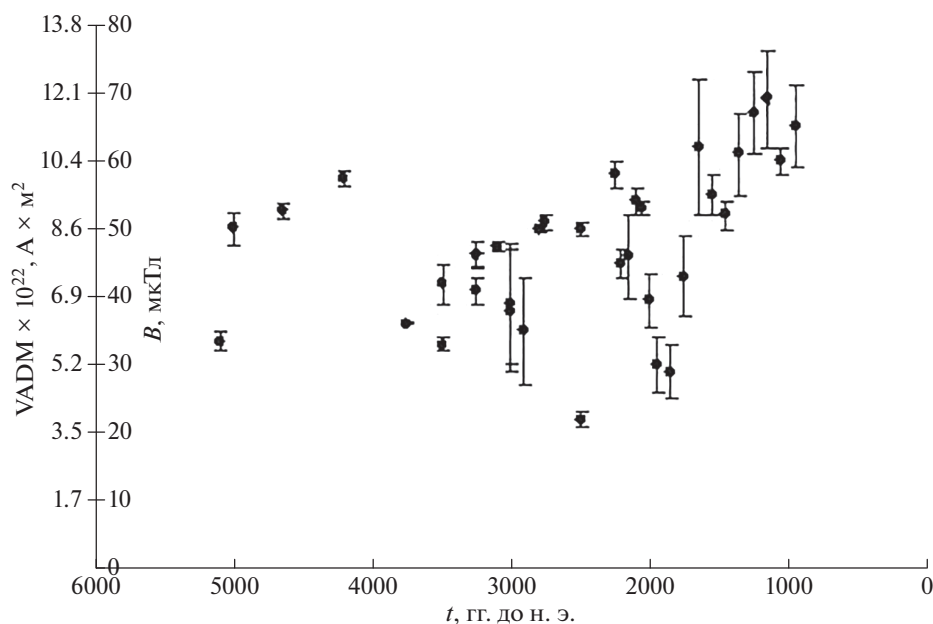


Рис. 6. Величины виртуального аксиального дипольного момента VADM и напряженности геомагнитного поля B по результатам исследования материала археологических памятников Кавказа, средние для объектов значения для V–III тыс. до н.э. и средние для 100-летних интервалов – для II–I тыс. до н.э. [Бураков, Начасова, 1988; Начасова, Бураков, 1987]. Вертикальные линии – среднеквадратичные ошибки определения среднего.

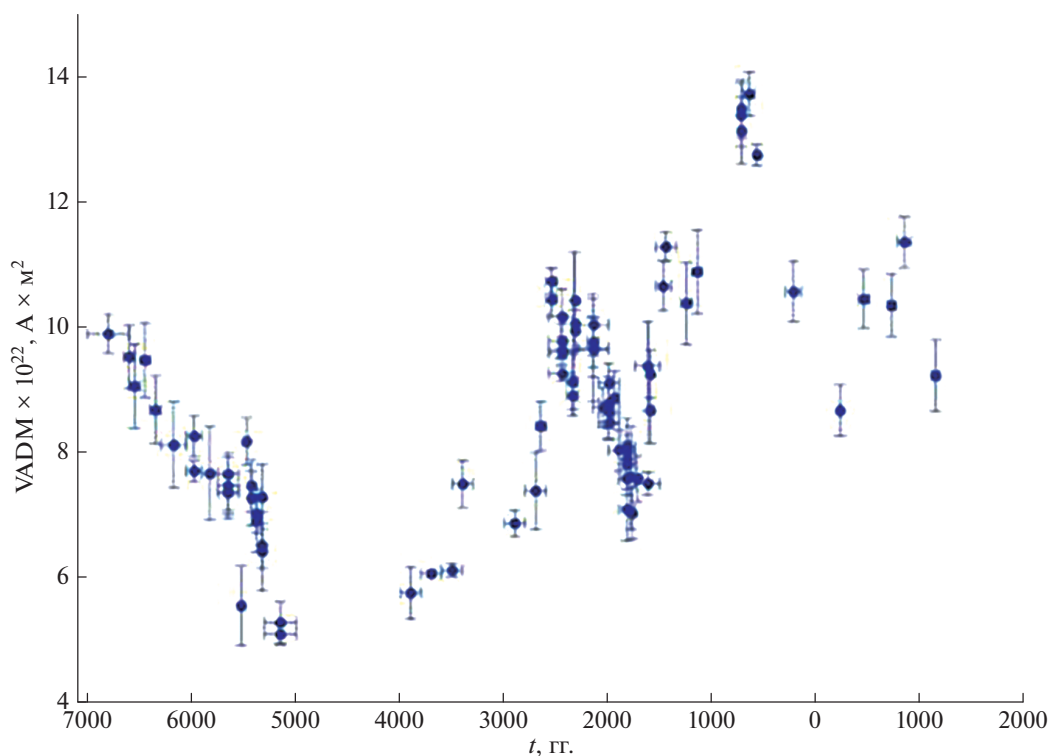


Рис. 7. Величины виртуального аксиального дипольного момента VADM, полученные в результате исследования материала археологических памятников Ближнего Востока [Gallet et al., 2015].

быстрого роста напряженности поля, но высоких значений (60–70 мкТл) напряженность поля на этом отрезке не достигла. Среднее значение – около 48 мкТл. Временной отрезок накопления пласта 3 памятника Сахтыш I приходится на ин-

тервал – конец первой половины–начало второй половины III тыс. до н.э. (возможно, продолжительностью в 100–200 лет). В пластах 2 и 1 памятника Сахтыш I была обнаружена фатьяноидная керамика, что указывает на то, что во временной

интервал, к которому относится накопление пласта 2, входит часть интервала, к которому отнесено существование фатьяноидной керамики, однако оценить, какая это часть, не представляется возможным. На временном отрезке накопления пласта 1 памятника Сахтыш I были получены самые низкие значения напряженности геомагнитного поля для времени накопления памятников Сахтыш I и Сахтыш II, также как для Ближнего Востока и Кавказа для этого временного интервала. Временной интервал накопления пласта 1 памятника Сахтыш I можно отнести к XX–XVIII вв. до н. э. Таким образом, время накопления 3 и 1 пласта памятника Сахтыш I можно оценить от 100 до 300 лет. По-видимому, увеличение временного интервала накопления пласта 1 связано с увеличением мощности последнего пласта памятника Сахтыш I.

Оценки временных отрезков накопления верхних пластов памятников Сахтыш I и Сахтыш II близки к оценкам, полученным при исследовании неолитических отложений памятника Сахтыш I. Оценки накопления пластов неолитических отложений, полученные для различных временных интервалов, лежат в пределах 180–210 лет [Начасова и др., 2018].

По данным о напряженности геомагнитного поля во временной интервал V–первая половина III тыс. до н. э., полученным в результате исследования керамического материала многослойного археологического памятника Сахтыш I, достаточно точно (в пределах 2–3 веков), был определен временной отрезок максимальных значений на столь древнем временном интервале (V–IV тыс. до н. э.). Временная привязка пластов культурных отложений была сделана на основе хронологии неолитических культур центра Русской равнины [Цетлин, 2008]. Совокупность данных о напряженности геомагнитного поля в районе Русской равнины на временном интервале V–II тыс. до н. э., полученных в результате археомангнитных исследований керамического материала из отложений эпох неолита и бронзы многослойных археологических памятников Сахтыш I и Сахтыш II, позволили определить характерное время вариации напряженности геомагнитного поля в этом временном интервале примерно в 1600–1800 лет. Подобная вариация четко прослеживается для Евразии в последние четыре тысячелетия [Начасова, 1998]. Таким образом, полученные данные подтверждают стабильность вариаций напряженности геомагнитного поля во времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате археомангнитных исследований керамики культурных отложений многослойных археологических памятников Сахтыш I и Сахтыш II Ивановской области РФ получены данные об изменении напряженности геомагнитного поля в

центре Русской равнины в эпоху бронзы. Сопоставление этих данных с данными о напряженности поля в эпоху бронзы на Ближнем Востоке и на Кавказе позволило получить временную привязку исследованного керамического материала памятников Сахтыш I и Сахтыш II. Был сделан вывод, что накопление культурных отложений происходило во второй половине III тыс. до н. э.—первой трети II тыс. до н. э. Напряженность геомагнитного поля изменялась в широких пределах от ~27 мкТл до ~73 мкТл. Средний уровень напряженности геомагнитного поля (~50 мкТл) существенно выше среднего уровня напряженности поля в IV–первой половине III тыс. до н. э. (~40 мкТл), который был получен в результате проведения археомангнитного исследования керамики неолитических отложений многослойного археологического памятника Сахтыш I. Изменение среднего уровня напряженности геомагнитного поля является проявлением 8-тысячелетней вариации напряженности поля. Данные о напряженности геомагнитного поля в районе Русской равнины в V–II тыс. до н. э. свидетельствуют о проявлении вариации напряженности геомагнитного поля с характерным временем ~1700 ± 100 лет, которая прослеживается для Евразии в последние четыре тысячелетия, что говорит о стабильности вариаций напряженности геомагнитного поля во времени.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена на базе Центра коллективного пользования ИФЗ РАН при финансовой поддержке Государственного задания ИФЗ РАН № 0144-2019-0006 и гранта РФФИ № 19-55-18006.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность Г.П. Маркову за всестороннюю поддержку в работе над статьей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брагинский С.И., Бурлацкая С.П.* Сферический анализ геомагнитного поля по археомангнитным данным // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1979. № 12. С. 59–66.
- Бурлацкая С.П.* Археомангнетизм. Изучение древнего геомагнитного поля. М.: ИФЗ АН СССР. 1987. 246 с.
- Бураков К.С., Начасова И.Е.* Изменение интенсивности геомагнитного поля на территории Грузии в V–III тысячелетиях до н. э. // Геомагнетизм и аэрономия. 1988. № 6. С. 1033–1035.
- Начасова И.Е.* Характеристики вариаций напряженности геомагнитного поля по археомангнитным данным. Дис. ... докт. физ.-мат. наук. ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН. 1998. 65 с.
- Начасова И.Е., Бураков К.С.* Изменение напряженности геомагнитного поля во втором тысячелетии до нашей эры на территории Грузии // Геомагнетизм и аэрономия. 1987. № 5. С. 869–872.

- Начасова И.Е., Пилипенко О.В. Археомангнитные исследования в ИФЗ РАН (исторический обзор, основные результаты) // Физика Земли. 2019. № 2. С. 123–136.
- Начасова И.Е., Пилипенко О.В., Марков Г.П., Грибов С.К., Цетлин Ю.Б. Напряженность геомагнитного поля в неолите в центре Русской равнины // Геомагнетизм и аэрномия. 2018. № 3. С. 451–468.
- Начасова И.Е., Пилипенко О.В., Марков Г.П., Недомолкина Н.Г. Напряженность геомагнитного поля в районе Русской равнины в V–III тыс. до н. э. // Физика Земли. 2020. № 2. С. 103–114.
- Цетлин Ю.Б. Периодизация неолита Верхнего Поволжья. Методические проблемы. М. 1991. 195 с.
- Цетлин Ю.Б. Неолит Центра Русской равнины. Орнаментация керамики и методика периодизации культур. Тула. 2008. 352 с.
- Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука. 1977. 199 с.
- Юшкова М.В. Памятники культуры сетчатой керамики в южном Приладожье. Древние культуры Восточной Европы: эталонные памятники и опорные комплексы в контексте современных археологических исследований. СПб.: МАЭ РАН. 2015. С. 278–318.
- Coe R.S. Paleointensities of the Earth's magnetic field determined from tertiary and quaternary rocks // J. Geophys. Res. 1967. V. 72. P. 3247–3262.
- Coe R.S., Gromme S., Mankinen E.A. Geomagnetic paleointensity from radiocarbon-dated flows on Hawaii and the question of the Pacific nondipole low // J. Geophys. Res. 1978. V. 83. № B4. P. 1740–1756.
- Day R., Fuller M.D., Schmidt V.A. Hysteresis properties of titanomagnetite: Grain size and composition dependence // Phys. Earth Planet. Inter. 1977. V. 13. P. 260–266.
- Evans M.E. Heller F. Environmental Magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetics. Academic Press. 2003. ISBN 0-12-243851-5. 299 p.
- Gallet Y., Molist M., Genevey A., Garcia X. C., Thebault E., Gomez A., Le Goff M., Robert B., Nachasova I. New LateNeolithic (c. 7000–5000 BC) archeointensity data from Syria. Reconstructing 9000 years of archeomagnetic field intensity variations in the Middle East // Phys. Earth Plan. Int. 2015. V. 328. P. 89–103.
- Kovacheva M., Kostadinova-Avramova M., Jordanova N., Lanos P., Boyadziev Y. Extended and revised archaeomagnetic database and secular variation curves from Bulgaria for the last eight millennia // Phys. Earth Planet Inter. 2014. V. 236. P. 79–94.
- Kissel C., Laj C. Improvements in procedure and paleointensity selection criteria (PICRIT-03) for Thellier and Thellier determinations: application to Hawaiian basaltic long cores // Phys. Earth Planet. Inter. 2004. V. 147. № 2–3. P. 155–169.
- Nagata T., Arai Y., Momose K. Secular variation of the geomagnetic total force during the last 5000 years // J. Geophys. Res. 1963. V. 68. № 18. P. 5277–5281.
- Prevot M., Mankinen E.A., Coe R.S., Gromme S.C. The Steens Mountain (Oregon) geomagnetic polarity transition 2. Field intensity variations and discussion of reversal models // J. Geophys. Res. 1985. V. 90. № B12. P. 10417–10448.
- Selkin P.A., Tauxe L. Long-term variations in palaeointensity // Philos. Trans. R. Soc. London, Ser A. 2000. V. 358. № 1768. P. 1065–1088.
- Tema E., Gomez-Paccard M., Kondopoulou D., AlmarY. Intensity of the Earth's magnetic field in Greece during the last five millennia: New data from Greek pottery // Phys. Earth and Plan. Int. 2012. V. 202–203. P. 14–26.
- Thellier E., Thellier O. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique // Ann. Geophys. 1959. V. 15. P. 285–378.
- Zijderveld J.D.A. Demagnetization of rocks: analysis of results. Methods in Paleomagnetism. Amsterdam a.o. 1967. P. 254–286.

Geomagnetic Field Record in Ceramics of the East European Plain in III–II Millennia B.C.

I. E. Nachasova^{a,*}, O. V. Pilipenko^{a, **}, and Yu. B. Tsetlin^{b, ***}

^aSchmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^bInstitute of Archaeology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*E-mail: inachasova@mail.ru

**E-mail: pilipenko@ifz.ru

***E-mail: yu.tsetlin@mail.ru

Archaeomagnetic studies of ceramic from cultural deposits of multilayered archaeological monuments Sakhtysh I and Sakhtysh II in the Ivanovo region of the Russian Federation have been carried out. The data on the changes in the geomagnetic field strength in the central region of the East European (Russian) plain in the second half of III millennium B.C. to the first third of II millennium B.C. are obtained. The average level of the geomagnetic field strength on the studied time interval (~50 μ T) is significantly higher than the average field strength (~40 μ T) in IV – first half of III millennium B.C. Based on the combination of data obtained by the archaeomagnetic studies of ceramics from the Neolithic and Bronze Age multilayer monuments Sakhtysh I and Sakhtysh II, the characteristic time of the variation in the geomagnetic field strength on this time interval is estimated at ~1600–1800 years. A similar variation is clearly observed for Eurasia during the last four millennia, which indicates the stability of the variations over time.

Keywords: archaeomagnetism, paleointensity, geomagnetic field strength variations, Bronze Age