ФИЗИКА ЗЕМЛИ, 2025, № 3, с. 41–53

УДК 550.383.32

АРХЕОМАГНИТНЫЙ ВОЗРАСТ ФРАГМЕНТОВ КЕРАМИКИ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО МНОГОСЛОЙНОГО ПАМЯТНИКА ИВАНОВСКОЕ III

© 2025 г. О. В. Пилипенко[1, *], Ю. Б. Цетлин[2, **]

[1] Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия
[2] Институт археологии РАН, г. Москва, Россия

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

Поступила в редакцию 26.03.2024 г.
После доработки 15.08.2024 г.
Принята к публикации 15.08.2024 г.

На основе археомагнитного исследования четырех фрагментов керамики из двух культурных слоев многослойного археологического памятника Ивановское III предложен возраст керамики по корреляции со сводной кривой ***VADM*** для центральной части Русской равнины. Для двух фрагментов керамики из первого культурного слоя возраст эпоха поздней бронзы, определенный типологически и радиоуглеродным методом, согласуется с возрастом, определенным на основании корреляции со сводными археомагнитными данными ***VADM***. Радиоуглеродные даты по неразложившейся древесине, найденной в слое торфа, расположенном под вторым культурным слоем, имеют широкий диапазон значений. Сравнение с графиком зависимости ***VADM*** от возраста для центральной части Русской равнины позволяет утверждать, что один из фрагментов керамики, найденный во втором культурном слое, имеет неолитический возраст. Для второго фрагмента керамики из второго культурного слоя получены низкие значения ***VADM***, не характерные ни для эпохи поздней бронзы, ни для развитого неолита. Отличительной особенностью образцов с низкими определениями ***VADM*** является то, что в них содержится термически нестабильный маггемит. Возможно, возраст второго фрагмента керамики соответствует раннему неолиту в результате перемешивания слоев из-за хозяйственной деятельности людей, неоднократно заселявших данную площадку.

Ключевые слова: археомагнетизм, археонапряженность геомагнитного поля, метод Телье–Коэ, обожженная керамика.

DOI: 10.31857/S0002333725030045, **EDN:** FEZVDU

ВВЕДЕНИЕ

Археомагнитные данные, содержащиеся в базе данных “Continuous Archeomagnetic and Lake Sediment data for the past X kyrs”, (*CALS*10*k*.2) [Korte et al., 2011], неравномерно покрывают временную шкалу. Большая часть определений древнего геомагнитного поля относится к двум последним тысячелетиям. В связи с этим встает задача пополнения археомагнитной базы данных новой информацией, полученной в результате изучения керамического материала более ранних периодов времени. Несколько лет назад были начаты археомагнитные исследования в центральных районах Русской равнины [Начасова и др., 2018; 2020; Pilipenko et al., 2019; Пилипенко и др., 2023]. В результате изучения керамического материала многослойных археологических памятников были получены данные, относящиеся к временному интервалу от неолита (~5000 лет до н.э.) до раннего железного века (~500 лет до н.э.). Привязка по возрасту значений магнитного поля к временной шкале содержит ошибки определения возраста керами-

ки как археологическими, так и абсолютными методами датирования. Радиоуглеродный метод датирования применяется к содержащим органику вмещающим породам, остаткам древесины и угля, найденным на месте очагов и кострищ древних поселений, а также к саже, которая образуется на поверхности сосуда в результате обжига или приготовления пищи. В связи с этим возникает несколько проблем. Во-первых, различные органические материалы, такие как древесина и уголь, могут попасть в культурный слой в результате более поздних процессов переотложения [Кулькова, 2014]. Во-вторых, сажа может быть загрязнена более молодым углеродом из почвы в процессе захоронения фрагментов керамики [Кулькова, 2014]. В-третьих, при датировании самой керамики не всегда понятен источник углерода в керамической матрице, а именно является ли углерод "геологическим", т.е. содержался в глинах, из которых изготавливалась керамика или это углерод из органики, которая была добавлена в керамическое "тесто" [Кулькова, 2014; Зазовская, 2016].

В основе метода радиоуглеродного датирования лежит предположение, что соотношение нестабильного изотопа ^{14}C к стабильному ^{12}C является постоянной величиной. Однако из-за изменения потока космических заряженных частиц, летящих от Солнца и вызывающих ионизацию в атмосфере, или из-за изменения магнитного поля Земли данное утверждение может не выполняться. Таким образом, возраст изготовления и последнего обжига керамики не является тем же самым возрастом, определенным по соотношению радиоактивного изотопа ^{14}C к стабильному изотопу ^{12}C. Поэтому, несмотря на то, что точность определения возраста радиоуглеродным методом в настоящее время составляет всего ~25–50 лет, сам метод может дать некорректный результат.

Помимо физических причин, существуют и другие, связанные с тем, что фрагменты сосудов, найденные в культурных слоях, могут быть перемещены в результате древней хозяйственной деятельности людей, неоднократно населявших площадку поселения [Цетлин, 1991].

Задача минимизации ошибки определения возраста керамики остро стоит перед специалистами, работающими в области изучения древних культур. Археомагнетизм при достаточном количестве накопленных данных об изменении величины магнитного поля Земли в прошлом может помочь в решении этой задачи. Суть археомагнитного метода заключается в сопоставлении значений элементов геомагнитного поля (в том числе и археонапряженности), в котором был намагничен керамический образец, с соответствующими величинами на кривых вариаций для исследуемой территории, что позволяет определить момент, когда элементы геомагнитного поля совпадают [Бурлацкая, 2007]. Этот момент дает возможность узнать время образования намагниченности в образце и время образования самого образца, особенно в периоды, когда археологическое датирование подвергается сомнению [Aitken, Weaver, 1962]. Археомагнитный метод датирования предполагает, что археомагнитная запись достаточно стабильна, чтобы оставаться постоянной на протяжении тысячелетий. Данная работа является продолжением серии работ, посвященных археомагниным исследованиям памятников центра Русской равнины [Начасова и др., 2018; 2020; Pilipenko et al., 2019; Пилипенко и др., 2023] и посвящена попытке уточнить возраст фрагментов керамики, типологически относящейся к эпохе поздней бронзы, найденных при раскопках многослойного археологического памятника Ивановское III.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужили фрагменты керамики, найденные в двух культурных слоях стратиграфического контрольного участка 1 (СКУ 1) многослойного археологического памятника Ивановское III, находящегося в Переславском районе Ярославской области, в 4 км к юго-востоку от пос. Ивановское ($\varphi = 56^{o}48'40''$с.ш., $\lambda = 39^{o}0'21''$в.д.). Остатки древнего поселения были обнаружены в начале 60-х годов прошлого столетия при осушительных работах на торфянике. Археологические раскопки проводились Верхневолжской археологической экспедицией Института археологии АН СССР под руководством Д.А. Крайнова [Крайнов и др., 1990; Цетлин, 1991; 2008]. Древнее поселение Ивановское III — это археологический памятник, состоящий из четырех основных культурных слоев, охватывающих временной интервал от мезолита до эпохи поздней бронзы. Культурные слои разновременные и фиксируют различные этапы заселения человеком данной

территории. Уникальность стратиграфии стоянки Ивановское III и хорошая сохранность органогенных остатков в слоях позволили провести широкий отбор образцов торфа, древесного угля, обработанной и необработанной древесины и датировать их радиоуглеродным методом в разные годы в лабораториях Геологического института, Института географии и Ленинградского отделения Института Археологии АН СССР.

I культурный слой залегает на глубине ~54–58 см от дневной поверхности. Слой I относится к эпохе поздней бронзы. В нем были найдены фрагменты сосудов, типологически относящиеся к культуре текстильной керамики (рис. 1). Время бытования этой культуры в лесной зоне лежит в широком диапазоне от 1700 лет до н.э. до 700 лет до н.э. [Лавенто, 2011; Новиков, 2020].

Под слоем I основного раскопа, расположенного в 50 м от СКУ 1, залегают слои древесного и ольхового торфа. В этих слоях торфа найдена неразложившаяся древесина, по которой в разные годы выполнено радиоуглеродное датирование [Крайнов и др., 1990; Тимофеев и др., 2004], что позволило оценить возраст I культурного слоя как не древнее ~1800 ± 100 г. до н.э.

На глубине 104–116 см от дневной поверхности залегает II культурный слой, в котором найдены фрагменты керамики, типологически относящиеся к эпохе поздней бронзы. Культурный слой II основного раскопа археологического памятника Ивановское III залегает в основании ольхового торфа, по которому в разные годы получена серия радиоуглеродных дат [Крайнов и др.,1990; Тимофеев и др., 2004]. Это позволило отнести культурный слой II к возрасту не моложе ~2740 ± 100 г. до н.э.

III культурный слой основного раскопа залегает на глубине 130–140 см от дневной поверхности в основании ольхово-тростникового торфа, по которому также в разные годы получена серия радиоуглеродных дат [Крайнов и др.,1990; Тимофеев и др., 2004]. Определения абсолютного возраста, дополненные спорово-пыльцевым анализом [Крайнов и др., 1973], позволяют отнести этот слой к раннему неолиту.

IV культурный слой основного раскопа залегает на глубине 162–177 см от дневной поверхности и приурочен к низам опесоченного древесно-тростникового торфа. По древесине и углю получены радиоуглеродные даты, позволяющие отнести культурный слой к мезолитическому возрасту [Крайнов, Хотинский, 1977; Крайнов и др., 1990].

Для материалов самого СКУ 1 радиоуглеродные датировки отсутствуют.

В Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН на петромагнитное и археомагнитное исследования были переданы Институтом археологии РАН четыре фрагмента керамических сосудов. Два фрагмента керамики были найдены в культурном слое I и два фрагмента керамики в культурном слое II. И та, и другая керамика испытала нагревание выше температуры каления глины (>600 °C). Об этом свидетельствует неоднородный темно-коричневый цвет образцов, образовавшийся в результате использования сосудов для приготовления на огне горячей пищи (рис. 1). Все обломки происходят от стенок сосудов. Максимальный размер фрагментов 6 × 7 см, а их толщина не превышает 0.7 см.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения состава ферромагнитной фракции на образце объемом 1 см^3, изготовленном из каждого фрагмента керамики, был проведен термомагнитный анализ (ТМА) на вибромагнитометре (ОРИОН, Россия) по зависимости намагниченности насыщения от температуры $Js(T)$ и выполнено определение температур Кюри. Образцы ступенчато нагревались на воздухе со скоростью 1 °/с до температур 250, 350, 400, 450, 500, 600, 700 °C в постоянном магнитном поле ~0.7 Тл и затем охлаждались до 30 °C также со скоростью 1 °/с.

На образцах керамики на вибромагнитометре (PMC VSM MicroMag 3900, США) были измерены петли магнитного гистерезиса при комнатной температуре и кривые перемагничивания полем противоположного знака, по которым определены гистерезисные параметры с коррекцией на величину парамагнитного и диамагнитного вкладов: Js — намагниченность насыщения, Jrs – остаточная намагниченность насыщения, Bc – коэрцитивная сила, Bcr – остаточная коэрцитивная сила. Учет величины парамагнитного вклада осуществлен в автоматическом режиме на вибромагнитометре. Ферримагнитная намагниченность насыщения составляла 70 % от полной величины намагниченности насыщения.

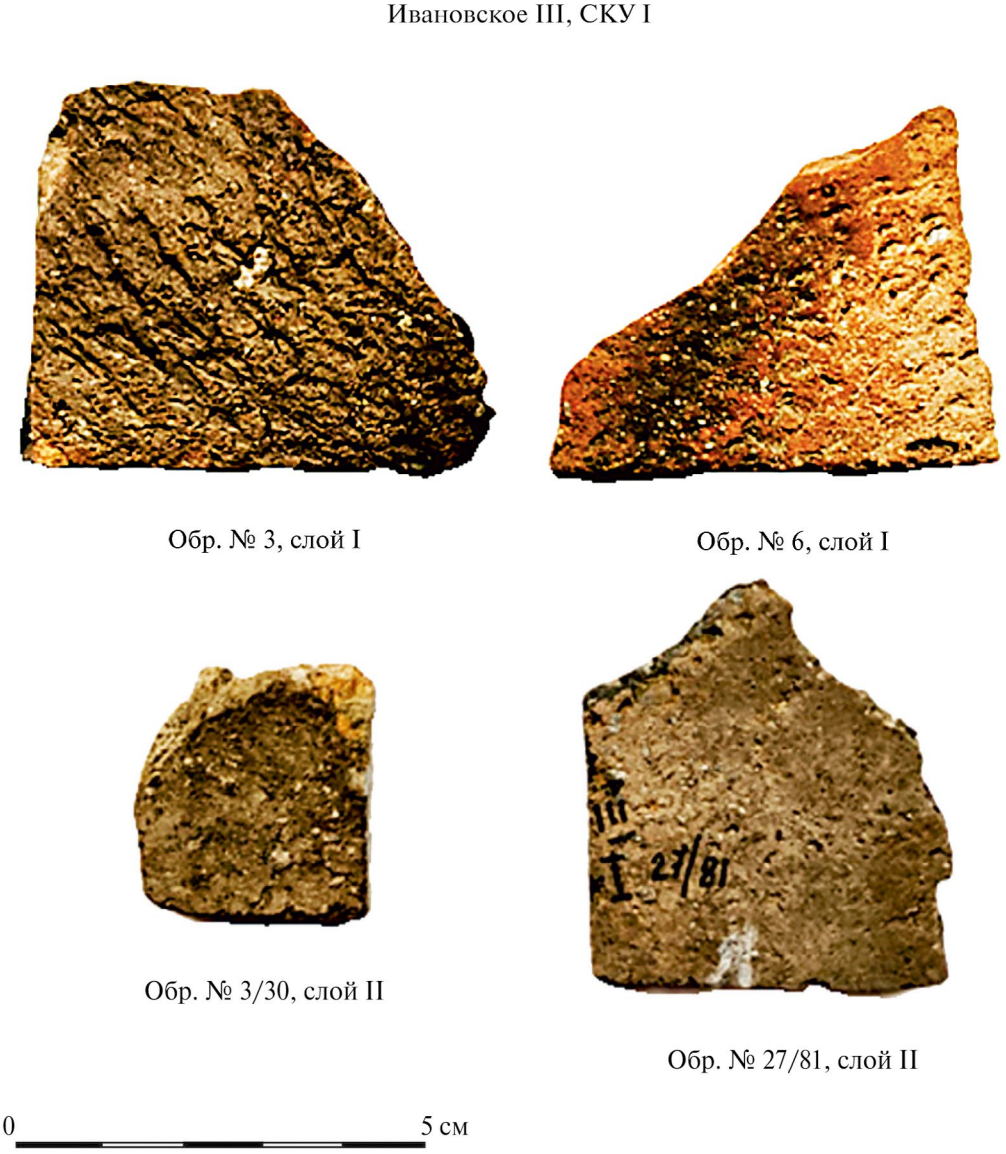

Рис. 1. Внешний вид фрагментов керамики, найденных в культурных слоях I и II многослойного археологического памятника Ивановское III.

Перед началом эксперимента по определению величины археонапряженности магнитного поля ($B_{др}$) были выполнены измерения естественной остаточной намагниченности (*NRM*), магнитной восприимчивости (*K*) и исследована анизотропия магнитной восприимчивости (*AMS*). Измерения *NRM* проводились на ротационном магнитометре JR-6 (AGICO, Чехия) в трех ортогональных положениях вращения образца, чувствительность прибора ~2.4×10^{-6} А/м. Для измерения величины магнитной восприимчивости и анизотропии магнитной восприимчивости использовался каппаметр Multi-Function Kappabridge MFK1-FA (AGICO, Чехия).

После проведения термомагнитного анализа, определения ферромагнитного состава и коэрцитивных свойств образцов были проведены археомагнитные исследования.

Эксперимент по определению археонапряженности магнитного поля Земли проводился по модифицированному методу двойных ступенчатых нагревов Телье–Коэ [Thellier, Thellier, 1959; Coe, 1967] на трехкомпонентном магнитометре (ОРИОН, Россия) в автоматическом режиме работы. Циклы нагрев–охлаждение без магнитного поля и нагрев–охлаждение в лабораторном магнитном поле $B_{лаб}$, равном 50 мкТл, проводились на воздухе в температурном диапа-

зоне от 100 до 600°С с шагом 25°С. В компьютерной программе SrtViewer (версия 1.10.5.1, автор Г.В. Жидков) по результатам измерений для каждого образца строились диаграмма Зийдервельда (в координатах образца) [Zijderveld, 1967], кривая размагничивания $NRM(T)$ и диаграмма Араи–Нагаты [Nagata et al., 1963]. Для каждого образца по диаграмме Араи–Нагаты определялся угловой коэффициент k, равный тангенсу угла наклона прямой (линейной аппроксимации точек), и рассчитывалась величина археонапряженности магнитного поля по формуле $B_{др} = k \times B_{лаб}$. Расчет углового коэффициента k проводился по прямолинейному участку диаграммы Араи–Нагаты в температурном интервале (T_1, T_2), подбираемом индивидуально для каждого образца.

Скорость нагрева, охлаждения и скорость охлаждения образца при создании лабораторной $TRM_{лаб}$ равнялись 1°/с, что гораздо больше скорости охлаждения керамики в естественных условиях. Для того чтобы оценить влияние скорости охлаждения на результаты эксперимента, на двух образцах из каждого фрагмента керамики выполнен Телье–Коэ анализ на минимально возможной скорости охлаждения, равной 0.2 °/с.

Ниже перечислены критерии отбора, которые использовались при анализе полученных результатов. Для оценки $B_{др}$ на диаграммах Араи–Нагаты принимались в расчет только те образцы, для которых в температурном интервале (T_1, T_2) выполнялись следующие условия:

1) число анализируемых точек на диаграмме Араи–Нагаты было не менее четырех;

2) $Gap \to 1$, где Gap — параметр, отражающий равномерность распределения анализируемых точек N на диаграмме Араи–Нагаты по оси NRM в температурном интервале (T_1, T_2) [Coe et al., 1978];

3) интегральный параметр q (*quality*) оценки качества, объединяющий четыре параметра (Gap, f, σ, k), составлял $q \geq 5$ [Coe et al., 1978], где f — часть NRM, приходящаяся на интервал (T_1, T_2) от первоначальной NRM_0; σ — средняя квадратичная ошибка определения углового коэффициента k;

4) для того чтобы контролировать возможные изменения в способности образца приобретать TRM, проводилась процедура *pTRM check*, заключающаяся в проверочных нагревах до более низких температур после каждого второго температурного цикла [Coe et al., 1978]. Таким образом, повторно создавалась и измерялась $pTRM$ при температурах 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550 и 600°C (*pTRM check-point*). Абсолютное значение максимального из отклонений *pTRM check-points* от их первоначальных значений в интервале (T_1, T_2), нормированное на длину отрезка $NRM–pTRM$ в интервале (T_1, T_2) на диаграмме Араи–Нагаты, выраженное в процентах — параметр $DRAT < 15\%$ [Selkin, Tauxe, 2000];

5) сумма отклонений *pTRM check-points* от их первоначальных значений в интервале (T_1, T_2) — кумулятивный параметр $CDRAT < 16\%$ [Kissel, Laj, 2004].

Уменьшение влияния анизотропии $TRM_{лаб}$ достигается путем создания лабораторной $TRM_{лаб}$ в направлении высокотемпературной компоненты NRM образца фрагмента керамики по методике, предложенной Н.В. Сальной [Сальная, 2022; Пилипенко и др., 2024].

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Термомагнитный анализ по зависимости намагниченности насыщения от температуры показал, что кривые $Js(T)$, соответствующие образцам 3-1, 6-1, 3/30-1, имеют перегиб в районе 575°С, что соответствует точке Кюри магнетита (рис. 2). Кривые $Js(T)$ для образца 27/81-1 имеют перегиб в районе 610°С, что соответствует точке Кюри маггемита. От нагрева к нагреву величины Js образцов стабильно снижаются, так что кривые $Js(T)$ проходят чуть ниже относительно друг друга. Это говорит о продолжающемся процессе окисления магнетита (для образцов № 3-1, 6-1, 3/30-1) и маггемита (для образца № 27/81-1) на воздухе. После достижения 700°С остается приблизительно 5% от начальной величины Js, что свидетельствует о небольшом вкладе парамагнитных минералов.

На кривых магнитного гистерезиса (рис. 3) присутствует перегиб в интервале 0.1–0.2 Тл, соответствующий низкокоэрцитивному магнитному минералу, такому как магнетит $Bcr = 32–46$ мТл. Небольшой рост магнитного момента вплоть до 0.8 Тл, который исчезает на кривых без парамагнитного вклада, говорит о наличии парамагнетитков.

Петли магнитного гистерезиса, широкие в средней части, закрываются в магнитном поле 0.1–0.2 Тл. Коэрцитивные отношения,

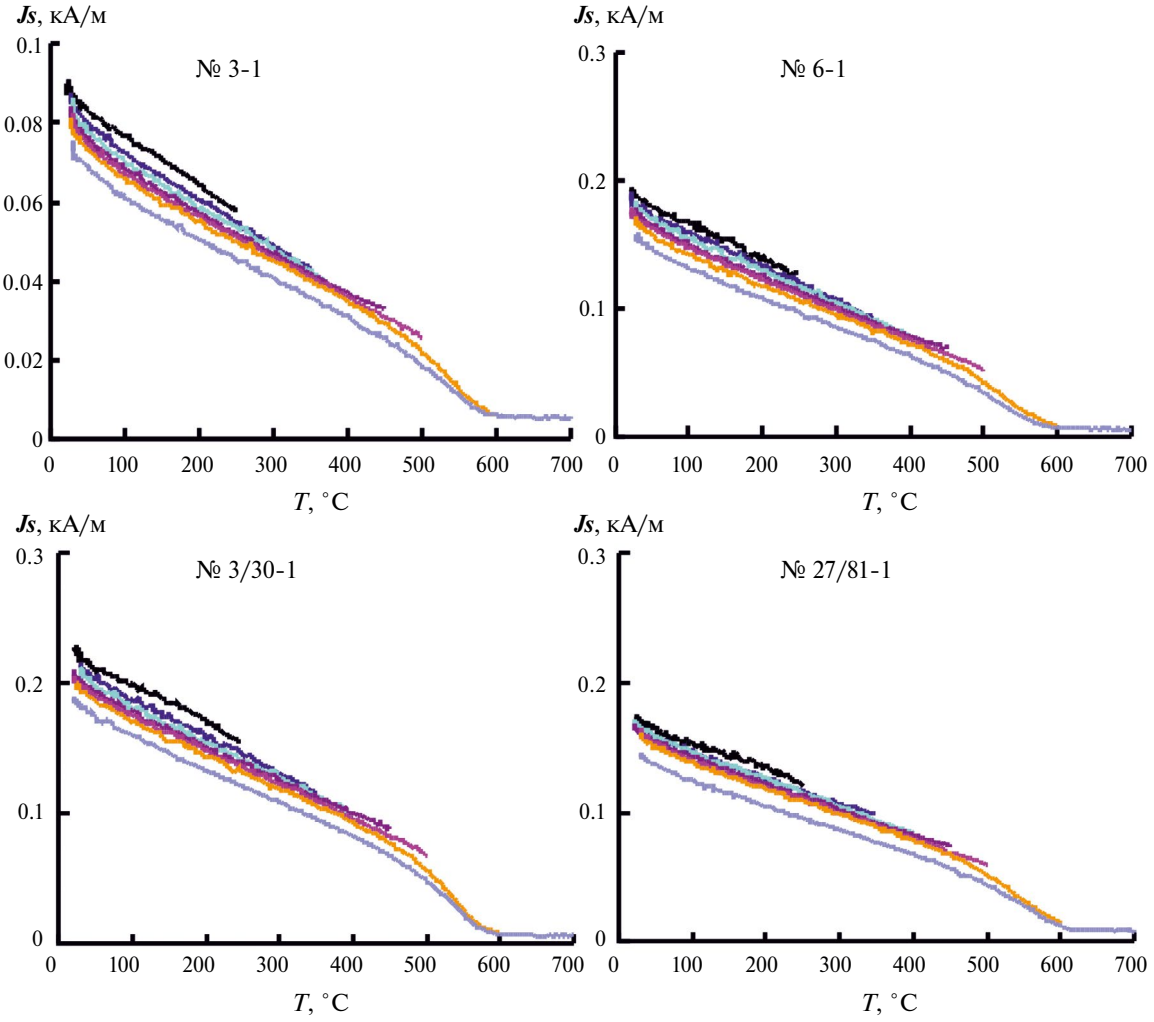

Рис.2. Результаты ТМА образцов по зависимости намагниченности насыщения *Js* от температуры *T*. Черный цвет соответствует нагреву до 250°C, синий — до 300°C, голубой — до 350°C, фиолетовый — до 400°C, розовый — до 450°C, коричневый — до 500°C, оранжевый — до 600°C, лиловый — до 700°C.

рассчитанные по петлям магнитного гистерезиса с удаленным парамагнитным вкладом: *Jrs*/*Js* =0.18–0.31 и *Bcr*/*Bc* = 2.26–2.74. Все это свидетельствует о наличии в составе псевдооднодоменных (PSD) частиц магнетита.

Таким образом, проведенные петромагнитные исследования фрагментов керамики показали, что основным носителем термоостаточной намагниченности в фрагментах керамики № 3, 6 и 3/30 являются PSD зерна магнетита. В фрагменте керамики № 27/81 основным носителем намагниченности является маггемит. Также небольшое окисление магнетита и образование маггемита продолжают идти в процессе нагрева образцов в ходе термомагнитного анализа.

Распределение проекций осей эллипсоида *AMS* на стереограмме (рис. 4а) характерно для плоскостной анизотропии, что может быть связано с технологией изготовления керамики. *AMS* возникает на стадии раскатывания формовочной массы. Среднее значение степени анизотропии магнитной восприимчивости, рассчитанное по четырем образцам из фрагмента керамики $P'_{ср}$ для фрагмента №3 равняется 1.105 ± 0.004, №6–1.072 ± 0.015, 3/30 — 1.088 ± 0.008, 27/81 — 1.058 ± 0.006. На рис. 4б изображена диаграмма Флинна [Flinn, 1962], на которой показано, что магнитные зерна обладают сплюснутой формой.

РЕЗУЛЬТАТЫ АРХЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

После проведения эксперимента по методике Телье–Кое, построения диаграмм Араи–Нагаты (рис. 5) и применения перечисленных выше

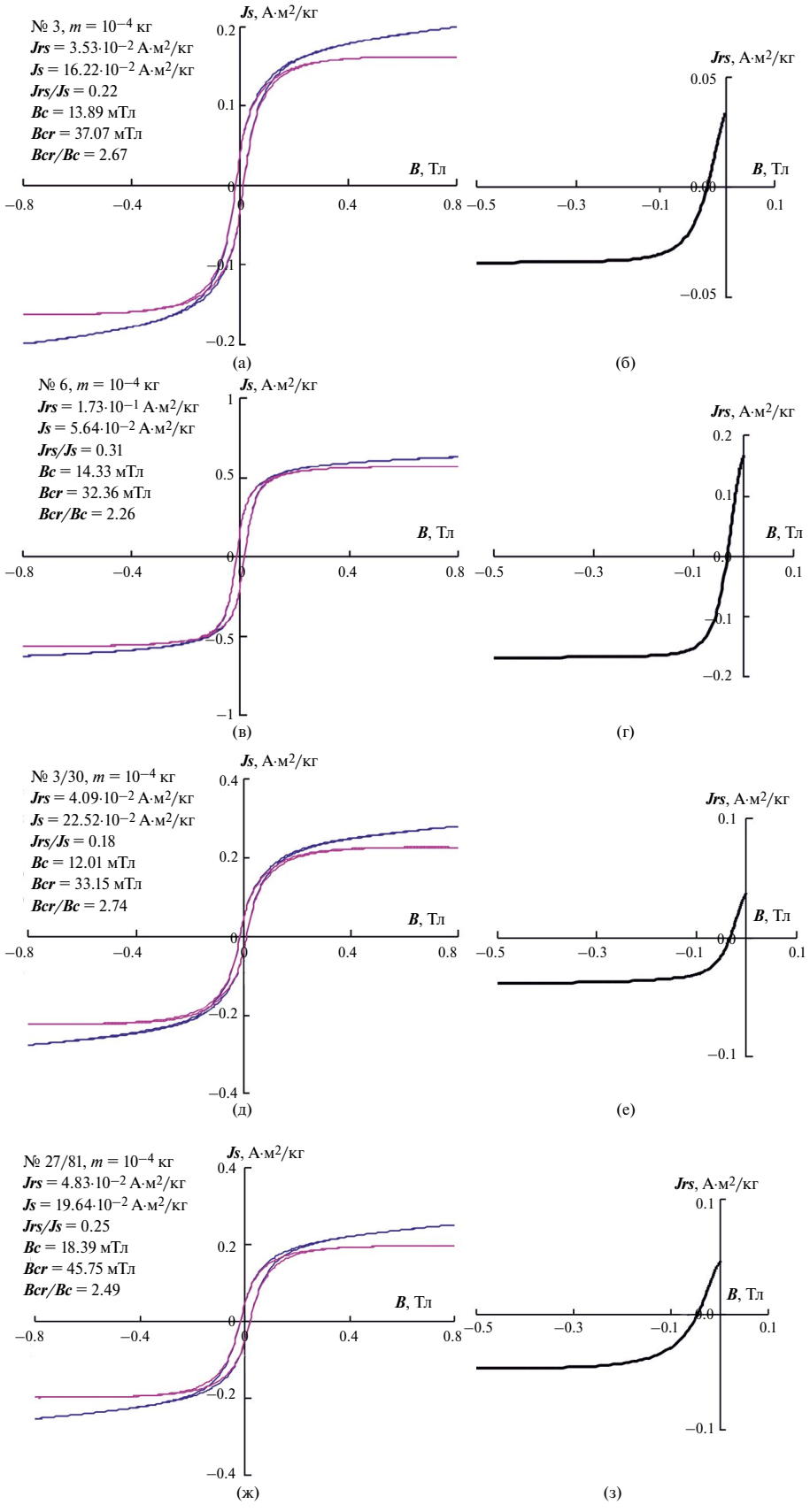

Рис. 3. Петли магнитного гистерезиса до удаления парамагнитного и диамагнитного вкладов — синяя линия и после — фиолетовая линия (а), (в), (д), (ж). Кривые перемагничивания *Jrs* в обратном магнитном поле (б), (г), (е), (з).

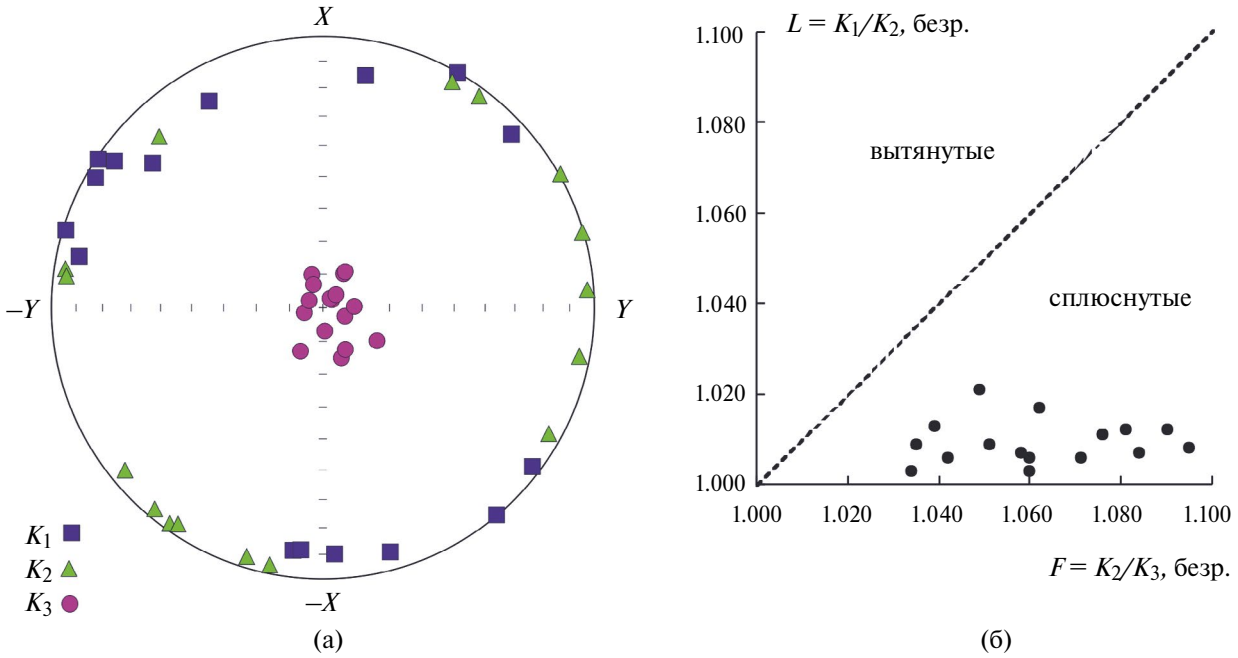

Рис. 4. Стереографическая проекция главных осей эллипсоида *AMS* в системе координат образцов, в которой координатные оси *X* и *Y* лежат в плоскости раскатывания формовочной массы, а ось *Z* перпендикулярна этой плоскости — (а). Диаграмма Флинна — (б). K_1 — максимальная ось, K_2 — промежуточная ось, K_3 — минимальная ось эллипсоида *AMS*.

критериев отбора получено 4 значения древнего магнитного поля. Каждое значение величины магнитного поля является взвешенным средним по трем определениям археонапряженности магнитного поля, когда скорость охлаждения дублей образцов была 1°/с, и по двум определениям археонапряженности, когда скорость охлаждения дублей была 0.2°/с (таблица). Полученные значения величины геомагнитного поля лежат в широком интервале от 13.3 до 54.8 мкТл. Величины археонапряженности магнитного поля, полученные на малой скорости охлаждения 0.2°/с, хорошо согласуются с величинами, полученными на скорости охлаждения 1°/с. Исключением являются образцы *6-6* и *6-7* из фрагмента керамики № 6. Они демонстрируют более высокие, чем ожидалось, величины (таблица), т. е. на этих образцах наблюдался обратный случай *cooling rate effect*. Это может быть связано с продолжающими идти минералогическими изменениями в процессе нагрева. Окисление, например, может привести к изменению знака *cooling rate effect* [Biggin et al., 2013]. Также это может быть связано со структурой ферримагнитных зерен, близкой к многодоменной [Biggin et al., 2013].

Для того чтобы сравнить полученные результаты с результатами археологических памятников, расположенных в других, но близких по широте и долготе районах, значения археонапряженности древнего магнитного поля были пересчитаны к величине виртуального аксиального дипольного момента (*VADM*) [Merrill et al., 1996], (табл.). Пересчет результатов данного исследования величины магнитного поля $B_{др}$ в *VADM* и построение графика зависимости *VADM* от возраста с нанесением результатов, полученных по керамическому материалу археологических памятников, расположенных на близких широтах и практически на одной долготе, дают представление о вариациях *VADM* в V—I тыс. до н.э. в центре Русской равнины (рис. 6). Для построения графика использованы данные, полученные авторами ранее для археологических памятников Сахтыш I (56°48′ с.ш., 40°33′ в.д., V — первая треть II тыс. до н.э.) и Сахтыш II (56°48′ с.ш., 40°33′ в.д., вторая половина III — первая треть II тыс. до н.э.) [Начасова и др., 2018; 2022], Дмитровская слобода II (55°34′ с.ш., 42°03′ в.д., середина II тыс. до н.э.) [Pilipenko et al., 2019], Векса III (59°17′ с.ш., 40°10′ в.д., V — III тыс. до н.э.) [Начасова и др., 2020], Гришинский исток III (54°41′с.ш., 40°57′в.д.), Тюков городок (55°7′ с.ш., 39°59′ в.д.), Шишкинское городище (54°10′ с.ш., 40°6′ в.д., середина II — середина I тыс. до н.э.) [Пилипенко и др., 2023].

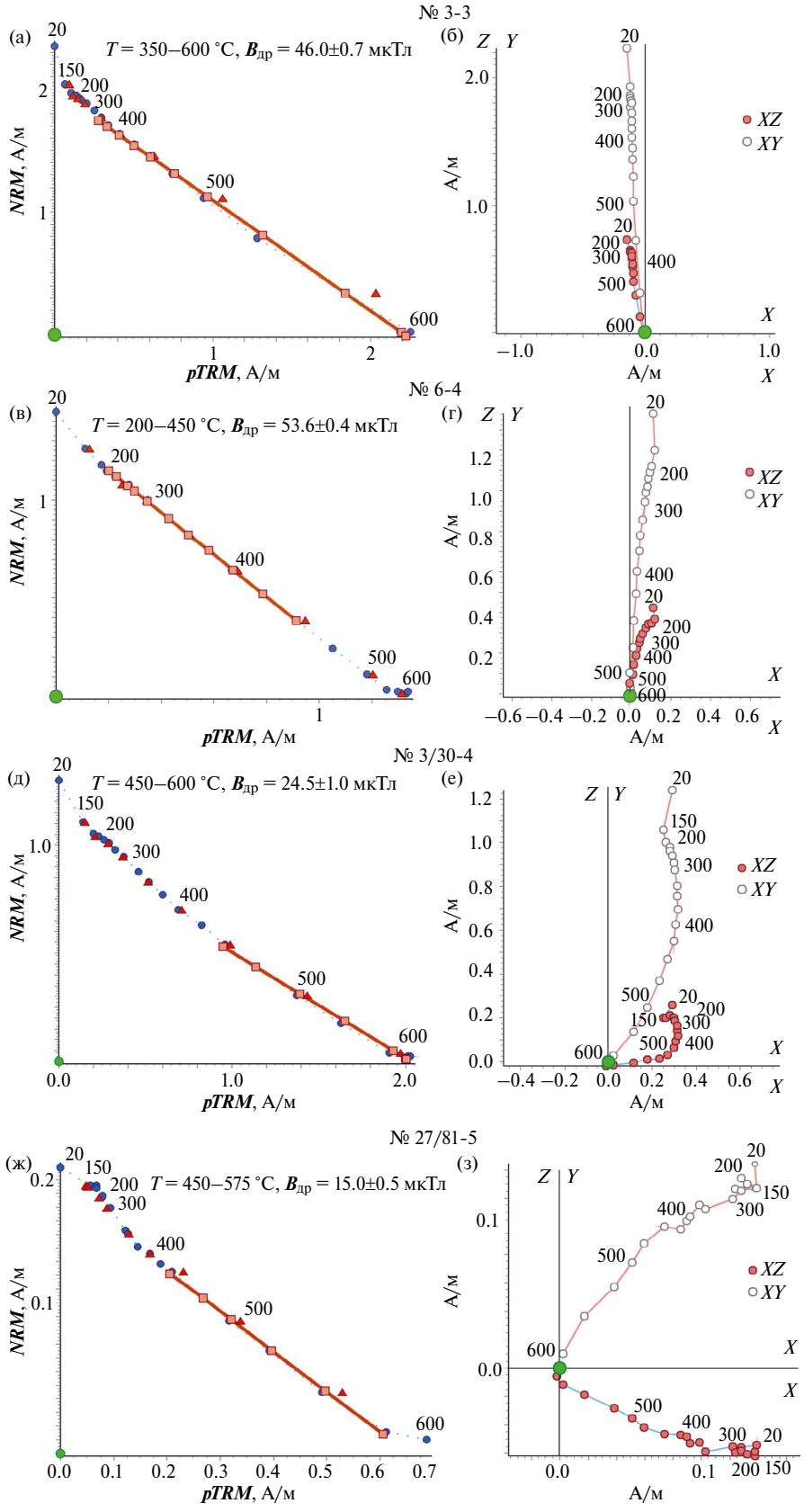

Рис. 5. Диаграммы Араи–Нагаты (а), (в), (д), (ж) и Зийдервельда (б), (г), (е), (з), полученные при охлаждении образцов в магнитном поле и вне магнитного поля со скоростью охлаждения 1°/с. Числами около точек обозначены температуры нагрева в °С.

Значения археонапряженности древнего геомагнитного поля $B_{др}$ и виртуального аксиального дипольного момента *VADM* со среднеквадратичной ошибкой σ, определенные на фрагментах керамики, отобранных на археологическом памятнике Ивановское III

№	T_1–T_2, °C	*N*	*Gap*	*q*	*f*	*DRAT*, %	*CDRAT*, %	$B_{др} \pm \sigma$, мкТл	*VADM* ± σ, 10^{22} А/м
3-3	350–600	11	0.84	47.70	0.88	7.49	12.73	46.0 ± 0.7	6.8 ± 0.1
3-4	350–600	11	0.85	51.32	0.83	7.56	12.73	51.9 ± 0.7	7.6 ± 0.1
3-5	350–600	11	0.87	22.96	0.84	7.12	14.07	53.6 ± 1.7	7.9 ± 0.3
3-6	350–600	6	0.75	16.30	0.73	3.94	2.44	49.8 ± 1.7	7.3 ± 0.2
3-7	350–600	6	0.76	6.41	0.61	4.57	2.58	50.1 ± 3.6	7.4 ± 0.5
3	~1800 ± 100 г. до н.э.							**49.4 ± 1.3**	**7.3 ± 0.2**
6-3	200–450	11	0.87	11.50	0.31	2.69	6.65	48.3 ± 1.1	7.1 ± 0.2
6-4	200–450	11	0.88	65.83	0.56	2.29	2.46	53.6 ± 0.4	7.9 ± 0.1
6-5	200–450	11	0.89	22.75	0.50	1.93	2.68	55.4 ± 1.1	8.1 ± 0.2
6-6	200–450	6	0.78	11.95	0.44	2.86	5.28	58.5 ± 1.7	8.6 ± 0.3
6-7	200–450	6	0.78	35.22	0.59	1.33	2.36	62.0 ± 0.8	9.1 ± 0.1
6	~1800 ± 100 г. до н.э.							**54.8 ± 2.3**	**8.0 ± 0.3**
3/30-3	450–600	7	0.77	7.94	0.51	4.63	11.54	29. 8 ± 1.5	4.4 ± 0.2
3/30-4	450–600	7	0.78	9.83	0.52	5.77	12.78	24.5 ± 1.0	3.6 ± 0.2
3/30-5	450–550	5	0.75	92.80	0.45	3.30	0.80	32.7 ± 0.1	4.8 ± 0.1
3/30-6	400–600	5	0.1	5.91	0.63	5.90	3.99	20.7 ± 1.6	3.0 ± 0.2
3/30-7	450–600	4	0.57	6.58	0.49	5.19	2.35	28.0 ± 1.2	4.1 ± 0.2
3/30	~2740 ± 100 г. до н.э.							**31.5 ± 2.1**	**4.8 ± 0.3**
27/81-3	450–575	6	0.78	11.36	0.57	7.23	9.90	11.7 ± 0.5	1.7 ± 0.1
27/81-4	450–575	6	0.78	15.4	0.54	4.72	0.11	13.7 ± 0.5	2.0 ± 0.1
27/81-5	450–575	6	0.79	15.84	0.61	5.41	3.23	15.0 ± 0.5	2.2 ± 0.1
27/81-6	450–600	4	0.64	10.18	0.62	5.98	3.68	15.1 ± 0.6	2.2 ± 0.1
27/81-7	450–600	4	0.64	13.43	0.56	7.33	3.25	12.5 ± 0.3	1.8 ± 0.1
27/81	~3500 ± 100 г. до н.э.							**13.3 ± 0.7**	**2.0 ± 0.1**

Примечания: взвешенные средние величины $B_{др}$ и *VADM* со среднеквадратичной ошибкой σ выделены жирным шрифтом. Номера образцов, которые охлаждались со скоростью 1°/с, набраны прямым шрифтом. Номера образцов, которые охлаждались со скоростью 0.2°/с, выделены курсивом.

Если принять возраст фрагментов керамики № 3 и 6 из слоя I, определенный археологическим методом с учетом результатов радиоуглеродного датирования как ~1800 ± 100 г. до н.э., то взвешенные средние величины $VADM = (7.3–8.0) \cdot 10^{22}$ Ам^2, рассчитанные по десяти дублям двух фрагментов керамики, удовлетворительно вписываются в картину изменения *VADM* от возраста (рис. 6).

Возраст фрагментов керамики, найденных в культурном слое II, определенный археологическими методами, соответствует эпохе поздней бронзы (2000–700 гг. до н.э.). Результаты абсолютного датирования радиоуглеродным методом по неразложившейся древесине из слоя ольхово-тростникового торфа, расположенного под культурным слоем II имеют достаточно широкий разброс дат от неолита до нижней границы эпохи поздней бронзы [Крайнов и др.,1990; Тимофеев и др., 2004]. Если принять, что среднее взвешенное значение $VADM = (4.8 \pm 0.3) \cdot 10^{22}$ Ам^2, определенное по пяти дублям образцов фрагмента керамики № 3/30, соответствует радиоуглеродной оценке возраста ~2740 ± 100 г. до н.э., то

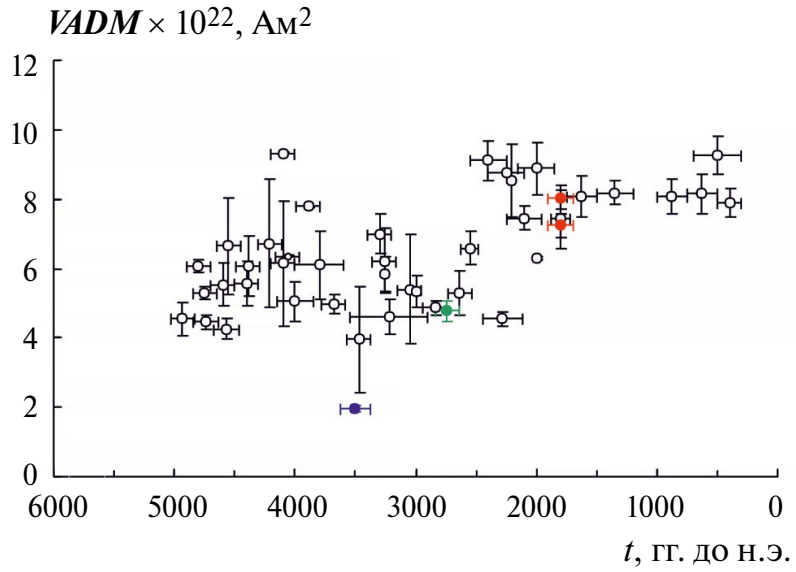

Рис. 6. Взвешенные средние величины виртуального аксиального дипольного момента *VADM* со среднеквадратичной ошибкой и ошибкой определения возраста. Результаты данного исследования керамики многослойного археологического памятника Ивановское III: для эпохи поздней бронзы — красные кружки, для эпохи неолита — зеленый кружок, для эпохи раннего неолита — синий кружок. Результаты исследований керамики неолита многослойных памятников Сахтыш I [Начасова и др., 2018], Векса III [Начасова и др., 2020], керамики эпохи бронзы многослойных памятников Сахтыш I и Сахтыш II [Начасова и др., 2022], Дмитровская слобода II [Pilipenko et al., 2019], керамики поздней бронзы–раннего железного века памятников Гришинский исток III, Тюков городок, Шишкинское городище [Пилипенко и др., 2023] — незалитые кружки.

точка удовлетворительно ложится на график зависимости *VADM* от возраста (рис. 6). Таким образом, возраст фрагмента керамики № 3/30 соответствует неолитическому возрасту.

На образцах, изготовленных из фрагмента керамики № 27/81 слоя II, получены низкие значения $VADM = (2.0 \pm 0.1)\cdot10^{22}$ Ам^2, нехарактерные как для поздней бронзы, так и для неолита в целом. На графике зависимости *VADM* от возраста, полученном в ходе исследования керамического материала центра Русской равнины, наименьшее значение $VADM = (4.0 \pm 1.5)\cdot10^{22}$ Ам^2 для возраста 3470 ± 100 г. до н.э. соответствует фрагментам неолитической керамики многослойного археологического памятника Сахтыш-I [Начасова и др., 2018]. Если принять, что значение $VADM = (2.0 \pm 0.1)\cdot10^{22}$ Ам^2 соответствует возрасту ~3470 ± 100, что не противоречит радиоуглеродным датировкам второго культурного слоя II [Крайнов и др.,1990; Тимофеев и др., 2004] археологического памятника Ивановское III, то следует объяснить низкое значение *VADM*.

Уменьшении угла наклона линии аппроксимации на диаграммах Араи–Нагаты может наблюдаться, если в ходе эксперимента Телье–Коэ разрушаемая температурой часть *NRM* меньше, чем приобретаемая *pTRM*. Это может быть, если в процессе нагрева продолжают идти минералогические изменения и образуется некоторое количество маггемита, на котором вновь созданная *pTRM* значительно превосходит разрушаемую температурой часть *NRM*. Судя по кривым $Js(T)$, в образцах, изготовленных из фрагмента керамики № 27/81, в отличие от других фрагментов, основным носителем намагниченности является маггемит с точкой Кюри ~610°C, который мог образоваться как во время обжига керамики в процессе ее изготовления, так и в ходе лабораторных температурных нагревов образцов (рис. 2). Таким образом, в процессе нагревов в экспериментах Телье–Коэ продолжается изменение ферримагнитного состава и образование маггемита, что и привело к росту концентрации магнитных частиц в образцах.

Другим возможным объяснением может служить нахождение в культурном слое II более древней ранненеолитической керамики из культурного слоя III. Фрагменты древней керамики могли попасть в более молодые культурные слои в результате перемешивания слоев, чему способствует древняя хозяйственная деятельность человека [Цетлин, 1991]. В плохо обо-

жженной, рыхлой по своей структуре керамике, в процессе нагревов в экспериментах Телье–Коэ образуется много новых частиц маггемита, что способствует росту *pTRM* по сравнению с разрушаемой частью *NRM*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе археомагнитного исследования четырех фрагментов керамики многослойного археологического памятника Ивановское III получено четыре определения виртуального аксиального дипольного магнитного момента. Для первого культурного слоя полученные значения *VADM* для двух фрагментов керамики удовлетворительно ложатся на график зависимости *VADM* от возраста, построенный по результатам археомагнитных исследований керамического материала центра Русской равнины. Это подтверждает возраст керамики для первого культурного слоя, определенный типологически и радиоуглеродным методом, как относящийся к эпохе поздней бронзы. Для второго культурного слоя один фрагмент керамики, датированный по своему положению в слое эпохой поздней бронзы, по величине *VADM*, скорее всего, соответствуют неолиту, что удовлетворительно согласуется с радиоуглеродными определениями возраста по неразложившейся древесине, найденной в слое торфа, расположенном под вторым культурным слоем. Возраст второго фрагмента керамики из культурного слоя II, возможно, соответствует раннему неолиту из-за перемешивания слоев. Не исключено, что заниженные значения *VADM* объясняются тем, что основным носителем термоостаточной намагниченности в этом фрагменте является неустойчивый к нагревам маггемит.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Археомагнитные и петромагнитные исследования выполнены в Центре коллективного пользования “Петрофизика, геомеханика и палеомагнетизм” ИФЗ им. О. Ю. Шмидта РАН [Веселовский и др., 2022] при финансовой поддержке Гос. задания № FMWU-2022-0005 ИФЗ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бурлацкая С.П. Археомагнетизм. Структура и эволюция магнитного поля Земли. М.: ГЕОС. 2007. 344 с.

Веселовский Р.В., *Дубиня Н.В.*, *Пономарев А.В. и др.* Центр коллективного пользования Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН “Петрофизика, геомеханика и палеомагнетизм” // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13. № 2. 0579.

https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2-0579

Зазовская Э.П. Радиоуглеродное датирование — современное состояние, проблемы, перспективы развития и применения в археологии //Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2016. № 1 (32). С.151–164.

Крайнов Д.А., *Зайцева Г.И.*, *Уткин А.В.* Стратиграфия и абсолютная хронология стоянки Ивановское III // Советская археология. 1990. № 3. С. 25–31.

Крайнов Д.А., *Хотинский Н.А.* Верхневолжская ранненеолитическая культура // Советская археология. 1977. № 3. С. 42–68.

Крайнов Д.А., *Хотинский Н.А.*, *Молодцова Е.М.*, *Урбан Ю.Н.* Древнейшая ранненеолитическая культура Верхнего Поволжья // Вестник АН СССР. 1973. № 5. С. 80–84.

Кулькова М.А. Радиоуглеродное датирование древней керамики // Самарский научный вестник. 2014. № 3(8). С. 115–122.

Лавенто М. Новые АМС-датировки текстильной керамики Среднего и Верхнего Поволжья. Тверской археологический сборник. Вып. 8. Том I. Тверь: Триада. 2011. С. 263–272.

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 аэрономия. 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.

Начасова И.Е., *Пилипенко О.В.*, *Цетлин Ю.Б.* Запись геомагнитного поля в керамике центра Русской Равнины в III–II тыс. до н.э. // Физика Земли. 2022. № 2. С.60–72.

Новиков А.В. К вопросу о развитии сетчатых керамических традиций в поздний период эпохи бронзы — раннем железном веке в окрестностях Галичского озера (по материалам городища Брюхово) // Археология Евразийских степей. Эпоха бронзы и ранний железный век. 2020. № 2. С. 329–347.

Пилипенко О.В., *Начасова И.Е.*, *Азаров А.С.* Вариации палеонапряженности геомагнитного поля, записанные в археологической керамике позднего бронзового и раннего железного веков центра Русской равнины // Физики Земли. 2023. № 6. С. 224–244.

Пилипенко О.В., *Марков Г.П.*, *Сальная Н.В.*, *Минаев П.А.*, *Афиногенова Н.А.* Что отражено в археомагнитной записи обожженной керамики? // Физики Земли. 2024. № 3. С. 107–128.

Сальная Н.В. Эволюция напряженности магнитного поля на территории Европейской части России во втором тысячелетии нашей эры. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург. 2022. 210 с.

Тимофеев В.И. Зайцева Г.И., *Долуханов П.М.*, *Шукуров А.М.* Радиоуглеродная хронология неолита Северной Евразии. СПб: Теза. 2004. 157 с.

Цетлин Ю.Б. Периодизация неолита Верхнего Поволжья. Методические проблемы. М.: Институт археологии АН СССР. 1991.196 с.

Цетлин Ю.Б. Неолит центра русской равнины: орнаментация и методика периодизации культур. Тула: Гриф и К. 2008. 352 с.

Aitken M.J., Weaver G.H. Magnetic dating: Some archaeomagnetic measurements in Britain // Archaeometry. 1962. V.5. P. 4–18.

Biggin A.J., *Badejo S.*, *Hodgson E.*, *Muxworthy A.R.*, *Shaw J.*, *Dekkers M.J.* The effect of cooling rate on the intensity of thermoremanent magnetization (TRM) acquired by assemblages of psedo-single domain, multidomain and interacting single-domain grains // Geophys. J. Int. 2013. V. 193. P. 1239–1249.

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. P. 1740–1756.

Flinn D. On folding during three-dimensional progressive deformation // Quarterly Journal of the Geological Society.1962. V. 118. № 1–4. P. 385–428.

Kissel C., *Laj C.* Improvements in procedure and paleointensity selection criteria (PICRIT-03) for Thellier and Thellier determintions: application to Hawaiian basaltic long cores // Phys. Earth Planet. Inter. 2004. V. 147. P. 155–169.

Korte M., *Constable C.*, *Donadini F.*, *Holme R.* Reconstructing the Holocene geomagnetic field // Earth Planet. Sci. Lett. 2011. V. 312. P. 497–505.

Merrill R., *McElhinny M.*, *McFadden P.* The magnetic field of the Earth, paleomagnetism, the core and the deep mantle // San Diego, USA: Academic Press. 1996. 531 p.

Nagata T., *Arai Y.*, *Momose K.* Secular variation of the geomagnetic total force during the last 5000 years // J. Geophys. Res. 1963. V. 68. P. 5277–5281.

Pilipenko O.V., *Nachasova I.E.*, *Gribov S.K.*, *Zelentsova O.V.* Archaeomagnetic studies of the material of the archaeological monument Dmitrievskaya Sloboda II of the second millennium B.C. Recent advances in rock magnetism, environmental magnetism and paleomagnetism. International Conference on Geomagnetism, Paleomagnetism and Rock Magnetism (Kazan, Russia). Springer International Publishing. 2019. P. 97–107.

Selkin P.A., *Tauxe L.* Long-term variations in palaeointensity // Philos. Trans. R. Soc. London, Ser A. 2000. V. 358. P. 1065–1088.

Thellier E., *Thellier O.* Sur l'intensité du champ magnéttique 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: Elsevier. 1967. P. 254–286.

Archaeomagnetic Age of Ceramic Fragments from the Archaeological Multilayered Monument Ivanovskoe III

O. V. Pilipenko[a, *] and Yu. B. Tsetlin[b, **]

[a]*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*
[b]*Institute of Archaeology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: pilipenko@ifz.ru*
***e-mail: yu.tsetlin@mail.ru*

Received March 26, 2024; revised August 15, 2024; accepted August 15, 2024

Abstract — Based on the archaeomagnetic study of four ceramic fragments from two cultural layers of the multilayered archaeological site Ivanovskoe III, the age of the ceramics is proposed based on the correlation with the VADM reference curve for the central part of the Russian Plain. For two ceramic fragments from the first cultural layer, the age of the Late Bronze Age that was determined typologically and by the radiocarbon method, is consistent with the age that was determined based on the correlation with the VADM summarized archaeomagnetic data. Radiocarbon dates for undecomposed wood found in the peat layer located under the second cultural layer have a wide range of values. Comparison with the graph of VADM dependence on age for the central part of the Russian Plain makes it possible to state that one of the ceramic fragments found in the second cultural layer is of Neolithic age. Low VADM values were obtained for the second ceramic fragment from the second cultural layer, which are not typical for either the Late Bronze Age or the advanced Neolithic. A distinctive feature of samples with low VADM determinations is that they contain thermally unstable maghemite. It is possible that the age of the second ceramic fragment corresponds to the Early Neolithic as a result of mixing the layers due to the economic activity of people who repeatedly inhabited this area.

Keywords: archeomagnetism, geomagnetic field archeointensity, Thellier-Coe method, fired ceramics