

ВАРИАЦИИ ПАЛЕОНАПРЯЖЕННОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, ЗАПИСАННЫЕ В АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ КЕРАМИКЕ ПОЗДНЕГО БРОНЗОВОГО И РАННЕГО ЖЕЛЕЗНОГО ВЕКОВ ЦЕНТРА РУССКОЙ РАВНИНЫ

© 2023 г. О. В. Пилипенко^{1, *}, И. Е. Начасова¹, Е. С. Азаров^{2, **}

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

²Государственный исторический музей, г. Москва, Россия

*E-mail: pilipenko@ifz.ru

**E-mail: hazari4@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.01.2023 г.

После доработки 05.05.2023 г.

Принята к публикации 15.05.2023 г.

Проведены петромагнитные и археоманитные исследования фрагментов керамики конца эпохи бронзы и начала железного века археологических памятников Гришинский исток III, Тюков городок и Шишкинское городище, расположенных в бассейне р. Оки, Рязанской обл. РФ. В общей сложности получено сорок три определения напряженности геомагнитного поля для временного интервала XV–IV вв. до н. э. Из них на образцах керамики Гришинский исток III было получено 10 определений, Тюков городок – 11 определений, Шишкинское городище – 22 определения. В исследуемом интервале времени имеют место повышенные значения напряженности геомагнитного поля 55–59 мкТл, что существенно выше среднего уровня напряженности поля для территории Русской равнины в IV–первой половине III тыс. до н. э. Полученные значения $VADM$ для центра Русской равнины попадают в широкий интервал значений, полученный по расположенным в том же долготном секторе одновозрастным археологическим памятникам Грузии. Разброс данных может быть связан как с большой ошибкой определения возраста по ^{14}C , сопоставимой по величине с протяженностью самого исследуемого временного интервала, так и с высокой скоростью изменения магнитного поля в этот интервал времени.

Ключевые слова: археоманитизм, вариации палеонапряженности геомагнитного поля, эпоха бронзы, ранний железный век, “текстильная” керамика.

DOI: 10.31857/S0002333723060157, EDN: DSXCIY

ВВЕДЕНИЕ

Изучение термоостаточной намагниченности обожженной керамики археологических памятников позволяет получить абсолютные значения напряженности древнего геомагнитного поля, которые нельзя получить при исследовании других видов намагниченности. Археоманитные исследования были выделены в отдельный раздел геофизики в связи с высокой точностью привязки объектов исследования к временной шкале [Бурлацкая, 1965]. К сожалению, распределение археоманитных данных во времени и в пространстве неравномерно: большая часть определений напряженности геомагнитного поля относится к двум последним тысячелетиям [Начасова, 1998]. В связи с этим стоит актуальная задача пополнения археоманитной базы данных информацией, полученной в результате изучения кера-

мического материала более ранних периодов времени.

Анализ совокупности археоманитных данных о палеонапряженности геомагнитного поля, полученных на материалах археологических памятников Евразии для последних восьми тысяч лет, показал, что происходит плавное изменение напряженности поля, которое может быть аппроксимировано суперпозицией колебаний различных периодов от 500 до 8000 лет, характерной чертой которых является дрейф [Начасова, 1998]. Картину изменения напряженности геомагнитного поля можно представить как результат сложения нескольких колебаний, обладающих дрейфом разной направленности. Скорость дрейфа для всех колебаний можно принять равной $\sim 0.2^\circ/\text{год}$, что хорошо согласуется с прямыми измерениями скорости западного дрейфа $\sim 0.18^\circ/\text{год}$

по результатам прямых геомагнитных наблюдений [Bullard et al., 1950]. Амплитуды различных колебаний меняются в зависимости от долготы. Это приводит к расхождениям в картинах изменения напряженности геомагнитного поля в регионах, относящихся к разным долготным секторам. В связи с этим прямое сопоставление полученных данных о напряженности геомагнитного поля имеет смысл, если территории, для которых получены данные, относятся к регионам, разница по долготе которых отличается на единицы градусов.

Наибольшее число данных о напряженности древнего геомагнитного поля в Евразии до нашей эры получено для районов, относящихся к широтному поясу 40° – 45° с.ш. Несколько лет назад были начаты археомагнитные исследования керамического материала многослойных археологических памятников: Сахтыш I и Сахтыш II – $56^{\circ}48'$ с.ш., $40^{\circ}33'$ в.д. [Начасова и др., 2018; 2022], Дмитровская слобода II – $55^{\circ}34'$ с.ш., $42^{\circ}03'$ в.д. [Pilipenko et al., 2019] и Вёкса III – $59^{\circ}17'$ с.ш., $40^{\circ}10'$ в.д. [Начасова и др., 2020]. Данная работа является частью исследования, цель которого получить информацию о напряженности геомагнитного поля в регионе европейской части России, расположенном севернее данного широтного пояса, на приблизительно одной долготе, на временном интервале от неолита до рубежа эр. Работа посвящена петромагнитным и археомагнитным исследованиям “текстильной” (или “сетчатой”) керамики позднего бронзового и раннего железного веков из археологических памятников Гришинский исток III, Тюков городок и Шишкинское городище, расположенных на территории бассейна р. Оки Рязанской обл. РФ.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

“Сетчатая” керамика является наиболее распространенной категорией находок и типом древностей в археологических памятниках лесной полосы Восточной Европы позднего бронзового и раннего железного веков. Свое название она получила от специфической обработки внешней поверхности выбиванием или прокатыванием различных приспособлений (палка с намотанным шнуром, выхолощенная еловая шишка и др.), в результате которой такая рельефная поверхность напоминала сплошной сетчатый узор или же отпечатки текстильной ткани. Такие отпечатки могли наноситься как с декоративной целью, так и с технологической целью заглаживания поверхности от следов изготовления [Лопатина, 2009]. В раннем железном веке на территории Волго-Окского междуречья традиция нанесения “сетчатых” или “текстильных” отпечатков продолжает существовать в древностях дяковской и городец-

кой археологических культур. На керамике городецкой культуры в VI–V вв. до н.э. появляются и так называемые “рогожные” отпечатки в виде рельефных крупных квадратных отпечатков на поверхности, которые не встречались ранее.

Археологический памятник Гришинский исток III ($54^{\circ}41'19''$ с.ш., $40^{\circ}57'33''$ в.д.) расположен примерно в 75 км на восток от г. Рязань, у с. Лакаш [Азаров, 2017]. Древнее поселение располагалось недалеко от места впадения р. Пры в р. Оку. Городище было обнаружено в ходе работ Окской археологической экспедиции Государственного исторического музея под руководством Б.А. Фоломеева в 1988 г. и исследовано в 1989 и 1990 гг. [Фоломеев, 1990; 1991]. Археологический памятник занимает небольшой участок гряды, протянувшейся с запада на восток в пойме левого берега р. Оки, у северной оконечности оз. Лакаш.

В ходе полевых исследований поселения Гришинский исток III был обнаружен археологический материал (фрагменты сосудов и орудия труда из камня), большая часть которого соотносится с памятниками с “текстильной” керамикой третьей четверти II тыс. до н. э. (рис. 2) [Азаров, 2017]. Петромагнитному и археомагнитному исследованиям была подвергнута коллекция керамики, состоящая из 30 фрагментов сосудов из культурного слоя, который представлял собой единый литологический слой, включающий разновременные археологические материалы II тыс. до н. э. (табл. 1). Фрагменты представляют собой обломки обожженных глиняных лепных сосудов, имеющие снаружи желтый и серо-желтый цвет. Середина фрагментов часто имеет темно-коричневый, почти черный цвет, что свидетельствует о неравномерности прокала при обжиге сосудов [Цетлин, 2012]. Практически вся керамика покрыта “сетчатыми” (“текстильными”) отпечатками, что и дает название керамике. По остаткам угля, обнаруженным в заполнении котлованов жилищ, в Геологическом институте РАН было проведено датирование по ^{14}C и получена серия из пяти радиоуглеродных дат (ГИН 6529: 3170 ± 80 BP, $1618-1257$ CalBC (95.4%); ГИН 6530: 3080 ± 80 BP, $1506-1116$ CalBC (95.4%), ГИН 6530г-1: 3090 ± 40 BP, $1441-1258$ CalBC (95.4%), ГИН 6531: 3060 ± 40 BP, $1421-1216$ CalBC (95.4%), ГИН 6532: 3160 ± 50 BP, $1519-1292$ CalBC (95.4%) – здесь и далее калибровка выполнена в программе OxCal 4.4 [<https://c14.arch.ox.ac.uk/>]), согласно которой возраст поселения с “текстильной” керамикой относится к XV–XIII вв. до н. э. [Сулержицкий, Фоломеев, 1993].

Другим материалом исследования была керамика, найденная в культурных отложениях археологического памятника Тюков городок, расположенного примерно в 55 км на северо-северо-во-

Таблица 1. Список исследованных фрагментов керамики, отобранных в культурных слоях археологических памятников Гришинский исток III (ГИ), Тюков городок (ТГ), Шишкинское городище (ШГ). Под одним условным музейным номером может быть совокупность фрагментов керамики, найденной на определенном участке квадрата

№ фрагмента керамики (Условный музейный номер)	Временной интервал (возраст керамики)
ГИ1(40) ГИ2 (45) ГИ3 (51) ГИ4 (53) ГИ5 (57) ГИ6 (59) ГИ7 (62) ГИ8 (70) ГИ9 (71) ГИ10 (76) ГИ11 (86) ГИ12 (88) ГИ13 (89) ГИ14 (87) ГИ15 (92) ГИ16 (93) ГИ17 (96) ГИ18 (113) ГИ19 (118) ГИ20 (122) ГИ21 (151) ГИ22 (152) ГИ23 (156) ГИ24 (157) ГИ25 (146) ГИ26 (148) ГИ27 (149) ГИ28 (161) ГИ29 (162) ГИ30 (169)	1500—1200 лет до н. э. (1350 ± 150 лет до н. э.)
ТГ23(59), ТГ24(59) ТГ28 (37) ТГ1 (81) ТГ2 (85) ТГ3 (75) ТГ6 (184), ТГ7 (184), ТГ29 (184), ТГ30(184) ТГ18 (64) ТГ19 (63), ТГ20 (63) ТГ8 (90) ТГ9(92), ТГ10 (92), ТГ11 (92) ТГ13(100), ТГ14(100), ТГ15(100) ТГ16(108), ТГ22(108)	ТГ1: 1000—750 лет до н. э. (875 ± 125 лет до н. э.)

Таблица 1. Окончание

№ фрагмента керамики (Условный музейный номер)	Временной интервал (возраст керамики)
ТГ21(61) ТГ25(46) ТГ26(44) ТГ27(40) ТГ4(181), ТГ5(181)	ТГП: 750–500 лет до н. э. (625 ± 125 лет до н. э.)
ТГ12(99) ТГ17(95)	1000–500 лет до н. э. (750 ± 250 лет до н. э.)
ШГ1(17) ШГ2(18) ШГ3(26) ШГ4(27) ШГ5(28) ШГ6(33) ШГ7(35) ШГ8(43) ШГ9(44) ШГ10(45) ШГ18(52) ШГ19(58) ШГ20(59) ШГ24(66) ШГ25(67) ШГ29(80) ШГ30(83)	ШГП: 500–300 лет до н.э. (400 ± 100 лет до н.э.)
ШГ11(22) ШГ12(34) ШГ13(36) ШГ14(42), ШГ15(42) ШГ16(49) ШГ17(50) ШГ21(65) ШГ22(71) ШГ23(77) ШГ26(82) ШГ27(84) ШГ28(92)	ШГІ: 700–300 лет до н. э. (500 ± 200 лет до н. э.)

сток от г. Рязань, у д. Макеево (55°6'57" с.ш., 39°58'33" в.д.), рис. 1. Древнее городище находилось на юго-восточном берегу оз. Лебединое, входящего в систему слабопроточных озер верховьев р. Пра. Городище, расположенное на озерной террасе, было открыто в 1928 г. О.Н. Бадером, исследовалось И.К. Цветковой в 1967 г., Т.Б. Поповой

в 1968 г., Б.А. Фоломеевым в 1970–1971 гг. и 1988 г. [Фоломеев, 1993]. Культурный слой был вскрыт на общей площади 600 кв.м. Исследования позволили определить, что в конце бронзового – начале раннего железного веков здесь появилось городище, которое относится к памятникам с “текстильной” керамикой как развитого (сред-

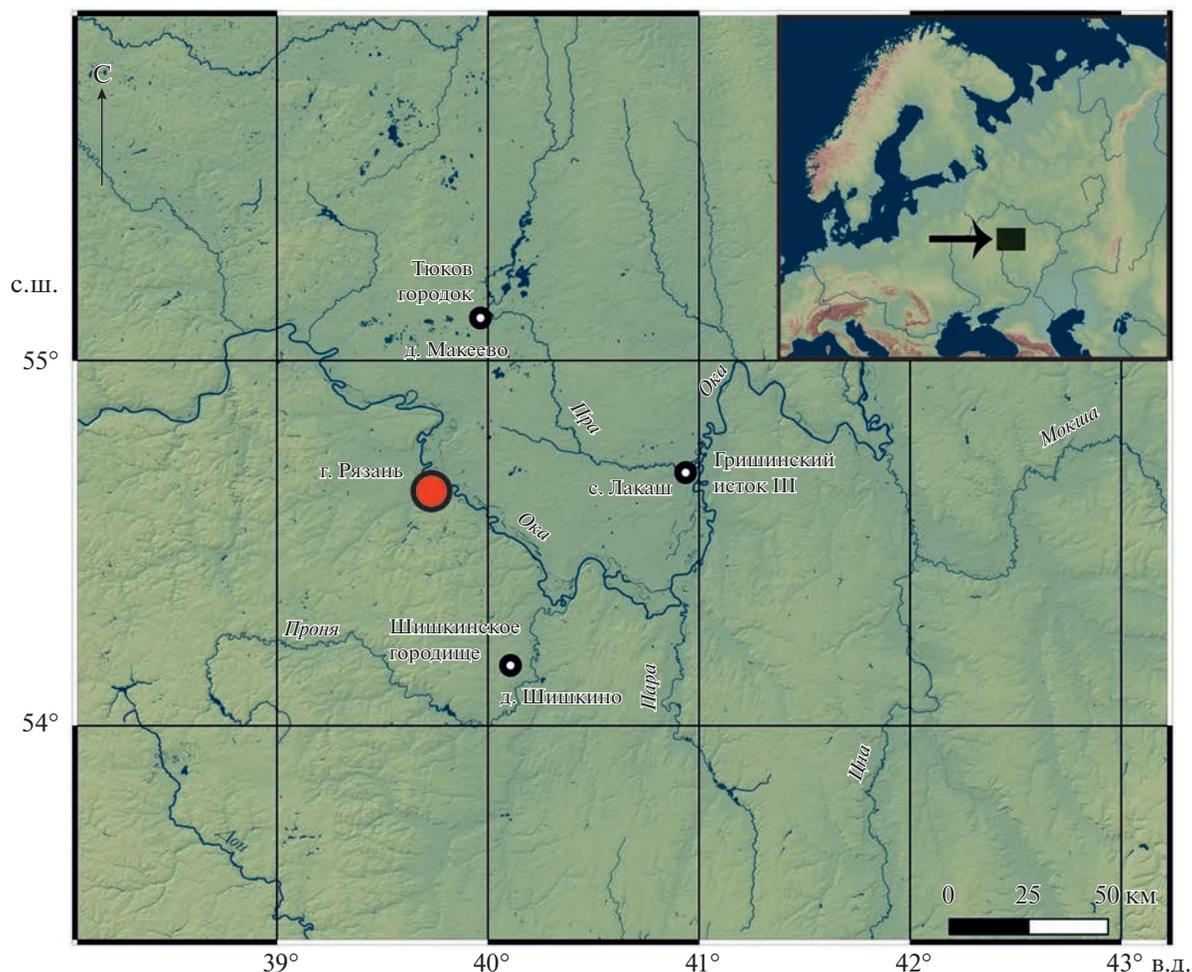


Рис. 1. Географическая карта с нанесенными на нее объектами исследования. На врезке показан исследуемый район на карте Европы.

него) периода ее существования на рубеже эпох, так и в более поздний период [Фоломеев, 1975; 1993]. Петромагнитному и археомгнитному исследованиям была подвергнута коллекция, состоящая из 30 фрагментов “текстильной” керамики, найденной в культурном слое (табл. 1). Фрагменты представляют собою черепки обожженной глиняной посуды, покрытые “сетчатыми” отпечатками и имеющие снаружи желтовато-кирпичный цвет, а внутри темно-коричневый, почти черный цвет.

Время раннего периода существования городища рубежа эпох – начала раннего железного века определено радиоуглеродным методом в Геологическом институте РАН из подсыпки площадки городища (ГИН 5763: 2700 ± 40 ВР, 922–800 CalBC (95.4%), ГИН 5766: 2580 ± 49 ВР, 828–544 CalBC (95.4%)) как первая половина первого ты-

сячелетия до н.э. [Фоломеев, 1993]. По целому ряду совокупных данных (радиоуглеродного датирования органических материалов из слоев, вмещающих схожий тип керамики из других археологических памятников, хронологии других типов древностей из этого региона и изменений топографического расположения) можно предположить возраст фрагментов керамики: ТГ21, ТГ22, ТГ25, ТГ26, ТГ27 как, ~750–500 гг. до н. э. – группа ТГII. Аналогично, возраст фрагментов керамики: ТГ1, ТГ2, ТГ3, ТГ6, ТГ7, ТГ8, ТГ9, ТГ10, ТГ11, ТГ13, ТГ14, ТГ15, ТГ16, ТГ18, ТГ19, ТГ20, ТГ23, ТГ24, ТГ28, ТГ29, ТГ30 лежит в пределах, ~1000–750 гг. до н.э. – группа ТGI. Возраст фрагментов керамики ТГ4, ТГ5, ТГ12, ТГ17 определяется как ~1000–500 гг. до н. э. и включает обе группы.

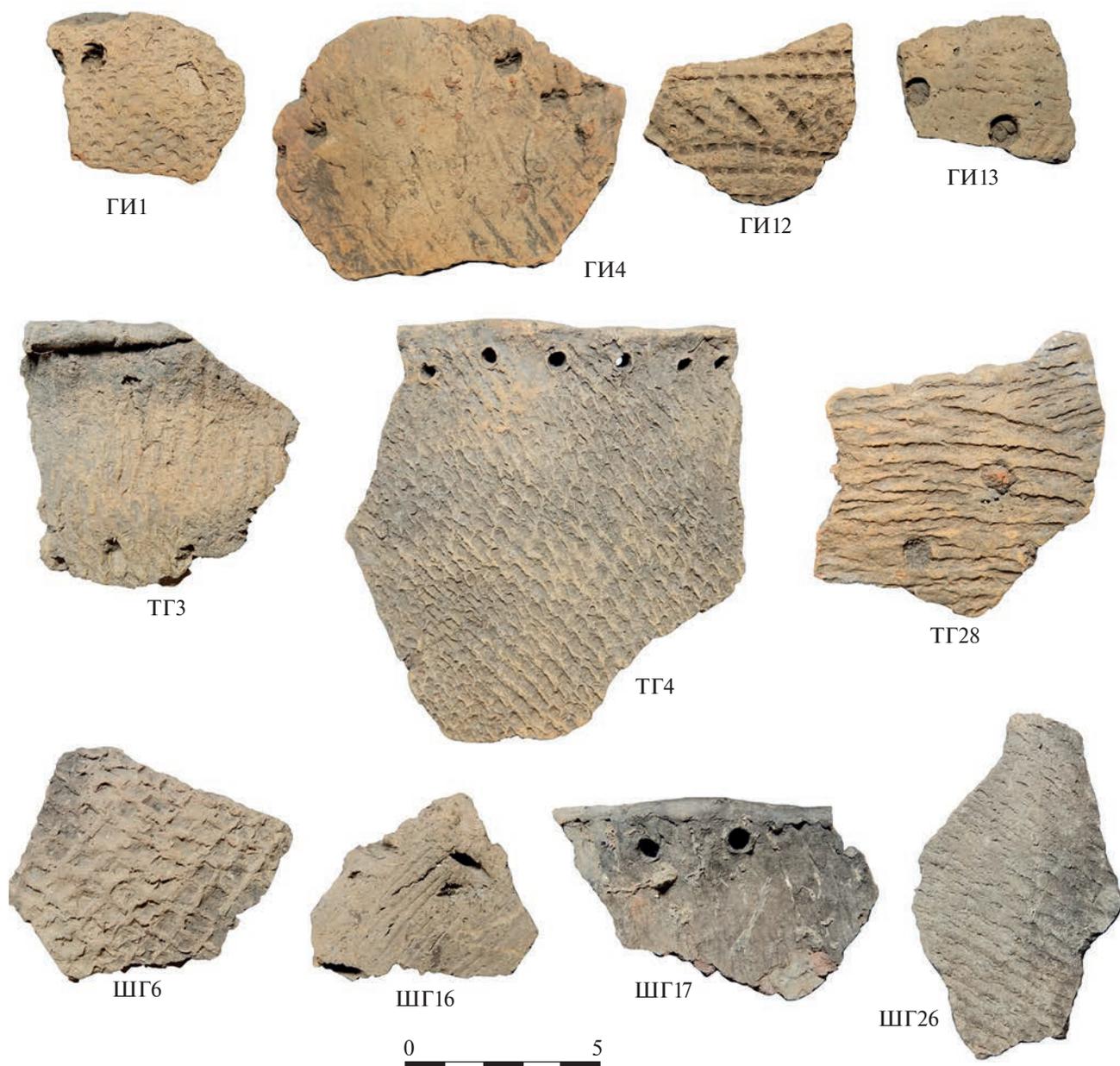


Рис. 2. Внешний вид керамики археологических памятников Гришинский исток III (ГИ), Тюков городок (ТГ) и Шишкинское городище (ШГ).

Следующим объектом исследования в данной работе была керамика, найденная в насыпи вала Шишкинского городища, расположенного примерно в 55 км на юго-юго-восток от г. Рязань, у д. Шишкино (54°9'57" с.ш., 40°6'26" в.д.), рис. 1, [Фоломеев, 1993; 1994]. Городище находилось на правом берегу р. Итья, являющейся левым притоком р. Проня Окского бассейна. Памятник известен с 1928 г., обследовался в 1977 г. Б.А. Фоломеевым и позднее им же, в 1987 г., исследовался вал

и культурный слой городища. Насыпной вал высотой в 2.5 м расположен к востоку от площадки городища. В нижней части насыпи найдены фрагменты “сетчатой” керамики конца бронзового — начала раннего железного веков и керамики городецкой культуры раннего железного века. Фрагменты сосудов представляют собой обломки обожженных глиняных лепных сосудов, покрытые “сетчатыми” и “рогожными” отпечатками и имеющие снаружи серый, серо-желтый и желтый цвет.

Результаты радиоуглеродного датирования угля из насыпи вала и с площадки Шишкинского городища, а также известное время существования найденных там же наконечников стрел позволили автору раскопок, Б.А. Фоломееву, получить достаточно надежную основу для датирования городища. Время сооружения средней насыпи вала можно отнести к V–IV вв. до н. э. (образец угля из средней насыпи – ГИН 5769: 2440 ± 80 BP, 775–397 CalBC (95.4%), образец угля из среднего слоя площадки городища – ГИН 5468: 2360 ± 60 BP, 753–230 CalBC (95.4%)). Время сооружения верхней насыпи можно отнести к III–II вв. до н. э. (образец угля из верхней насыпи – ИГАН 1109: 2129 ± 77 BP, 380 CalBC–21 CalAD (95.4%)) Возникновение нижней насыпи вала произошло до V в. до н. э., вероятнее всего в VI в. до н. э. или чуть ранее [Фоломеев, 1993; 1994]. Сказанное выше, а также совокупность иных данных (радиоуглеродное датирование органики из слоев, вмещающих схожие типы керамики из других археологических памятников, время появления керамики городищской культуры с “рогожными” отпечатками) позволяет предположить две условные группы керамики с разной степенью точности времени существования – V–IV вв. до н. э. (ШГII) и VII–IV вв. до н. э. (ШГI) (табл. 1). Обе группы керамики встречаются во всех частях насыпи.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения исследований керамического материала археологических памятников Гришинский исток III, Тюков городок и Шишкинское городище из фрагментов керамики были выпилены образцы, имеющие форму параллелепипеда с максимальной длиной ребра ~0.9 см. Толщина фрагментов керамики из поселения Гришинский исток III, ранних условных групп Тюкова городка (ТГI) и Шишкинского городища (ШГI) составляет в среднем 6–8 мм; более поздних (ТГII и ШГII) – 4–7 мм. Из каждого фрагмента керамики было выпилено три-четыре образца.

Перед началом эксперимента по определению древнего геомагнитного поля ($H_{др}$) были выполнены измерения естественной остаточной намагниченности (NRM), магнитной восприимчивости 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 измерения магнитной восприимчивости и анизотропии магнитной вос-

приимчивости использовался каппаметр Multi-Function Kappabridge MFK1-FA (AGICO, Чехия).

Эксперимент по определению напряженности древнего геомагнитного поля проводился по модифицированному методу двойных ступенчатых нагревов Телье–Коэ [Thellier, Thellier, 1959; Coe, 1967; Coe et al., 1978]. Образцы нагревались в немагнитной печи MMTD80 (Magnetic Measurements, Великобритания), остаточное магнитное поле в которой не более 10 нТл. В печи создавалось постоянное магнитное поле ($H_{лаб} = 50$ мкТл). Циклы нагрев – охлаждение образцов в нулевом магнитном поле и циклы нагрев в нулевом магнитном поле – охлаждение в магнитном поле проводились на воздухе от 150 до 550°C с шагом 50°C. Положение образца в печи в процессе эксперимента не изменялось по отношению к лабораторному полю печи. По результатам измерений для каждого образца в программе SrtViewer (версия 1.10.5.1, автор Г.В. Жидков) строилась диаграмма Арай–Нагаты [Nagata et al., 1963] и диаграмма Зийдервельда (в координатах образца) [Zijderveld, 1967]. По диаграмме Арай–Нагаты определялся угловой коэффициент K , равный тангенсу угла наклона прямой, и рассчитывалась напряженность древнего геомагнитного поля по формуле $H_{др} = K \times H_{лаб}$. Расчет K проводился на прямолинейном участке диаграммы Арай–Нагаты в температурном интервале (T_1, T_2) индивидуальном для каждого образца, где T_1 – начальная и T_2 конечная температура расчетного интервала. Важно отметить, что для оценки палеонапряженности берутся температурные интервалы (T_1, T_2) максимально близкие к температурному интервалу, в котором выделяется характеристическая компонента намагниченности на диаграммах Зийдервельда. Отсутствие магнито-минералогических изменений в ходе нагревов подтверждается наличием идущей в ноль диаграммы Зийдервельда характеристической компоненты NRM .

В работе анализ результатов проводился по программе SrtViewer, которая позволяет рассчитать значение $H_{др}$, среднеквадратичную ошибку σ среднего арифметического K и параметры оценки качества данных. Перечислим критерии отбора, которые использовались при анализе полученных результатов. Для оценки $H_{др}$ на диаграммах Арай–Нагаты принимались в расчет только те образцы, для которых в температурном интервале (T_1, T_2) выполнялись следующие требования:

1) число анализируемых точек N было не менее четырех;

2) $Gap \rightarrow 1$, где Gap – параметр, отражающий равномерность распределения анализируемых точек N на диаграмме Арай–Нагаты по оси NRM

в температурном интервале (T_1 , T_2) [Coe et al., 1978; Драбкина и др., 2011];

3) относительное изменение NRM составляет не менее 0.35 от ее полной величины – параметр $f = (NRM_{T_2} - NRM_{T_1}) / NRM_{T_0}$ [Coe et al., 1978], где NRM_{T_1} – величина NRM при минимальной температуре интервала определения палеонапряженности; NRM_{T_2} – величина NRM при максимальной температуре интервала определения палеонапряженности; NRM_{T_0} – величина NRM , измеренная перед началом эксперимента;

4) интегральный параметр q (*quality*) оценки качества [Coe et al., 1978; Драбкина и др., 2011], объединяющий четыре параметра (Gap , f , σ , K) составлял $q \geq 5$;

5) для того, чтобы контролировать возможные изменения в способности образца приобретать термоостаточную намагниченность TRM , проводилась процедура *pTRM check*, заключающаяся в проверочных нагревах до более низких температур после каждого второго температурного цикла [Prévot et al., 1985]. Таким образом, повторно создавалась и измерялась *pTRM* при температурах 200, 300, 400 и 500°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 фит-линии $NRM-TRM$ в интервале (T_1 , T_2) на диаграмме Араи–Нагаты, выраженное в процентах – параметр $DRAT < 15\%$ [Selkin, Tauxe, 2000];

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

7) на образцах коллекции были проведены повторные циклы нагрев и охлаждение без поля, так называемые, *pTRM tail-check* – проверки “хвоста” *pTRM*, на температурах 150, 250, 350, 450 и 550°C для исключения возможных изменений в составе носителей намагниченности при температурах ниже температуры блокирования [Riisager, Riisager, 2001; Paterson et al., 2014]. Образцы, у которых разница между двумя измерениями остатка NRM после нагревов до одной и той же температуры в нулевом поле превышала 10%, исключались из исследования. Расчет значений *pTRM tail-check* проводился в программе Microsoft Excel, поэтому точки *pTRM tail-check* не наносились на диаграмму Араи–Нагаты, построенную в программе SrtViewer. Надо заметить, что все исследованные образцы всегда удовлетворяли данному требованию.

После определения величины палеонапряженности на первом образце-дубле, фрагменты керамики, которые не удовлетворяли перечисленным выше критериям отбора, были исключе-

ны из эксперимента. У образцов, у которых точки на диаграмме Зийдервельда шли в начало координат, расчет величины древнего геомагнитного поля велся на прямолинейном участке диаграммы Араи–Нагаты, как правило, соответствовавшем температурному интервалу 150–500°C. Если диаграммы Зийдервельда демонстрировали двухкомпонентный состав и диаграмма Араи–Нагаты имела излом, то оценка поля проводилась на высокотемпературном интервале ~350–550°C.

На втором образце-дубле, удовлетворяющем критериям отбора 1)–7), было проведено исследование состава ферромагнитной фракции по зависимости магнитного момента насыщения от температуры $M_s(T)$ и определение температур Кюри. Термомагнитный анализ (ТМА) был проведен в постоянном магнитном поле ~0.7 Тл на воздухе с помощью вибромагнитометра (ОРИОН, Россия). Образцы ступенчато нагревались до температур 350, 400, 450, 500, 700°C в постоянном магнитном поле; охлаждение до 30°C после каждого нагрева проводилось в нулевом магнитном поле.

Затем на маленьких образцах керамики (массой $m \sim 7 \times 10^{-5}$ кг), которые удовлетворяли критериям отбора 1)–7), было определено доменное состояние зерен по величине отношений M_{rs}/M_s и H_{cr}/H_c [Day et al., 1977], где: M_s – магнитный момент насыщения; M_{rs} – остаточный магнитный момент насыщения; H_c – коэрцитивная сила; H_{cr} – остаточная коэрцитивная сила. Для образцов керамики были сняты кривые магнитного гистерезиса и обратного разрушающего поля на вибромагнитометре VSM MicroMag 3900 (Lake Shore Cryotronics, Inc., США). Гистерезисные параметры определены с коррекцией на величину парамагнитного вклада. Оценка доменного состояния проведена по зависимости M_{rs}/M_s от H_{cr}/H_c (диаграмма Дея).

Таким образом, в данной работе вначале сделали археомагнитные исследования на первых образцах-дублях. Затем на вторых образцах-дублях и кусочках фрагментов керамики, удовлетворяющих вышеперечисленным критериям отбора 1)–7), провели петромагнитные исследования. После термомагнитного анализа и определения доменной структуры магнетита на третьих образцах-дублях повторно провели археомагнитные исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

У большинства образцов кривые $M_s(T)$ первого и повторного нагревов совпадают полностью (рис. 3б, 3г, 3д, 3е). В других случаях, кривые повторного нагрева проходят несколько ниже, повто-

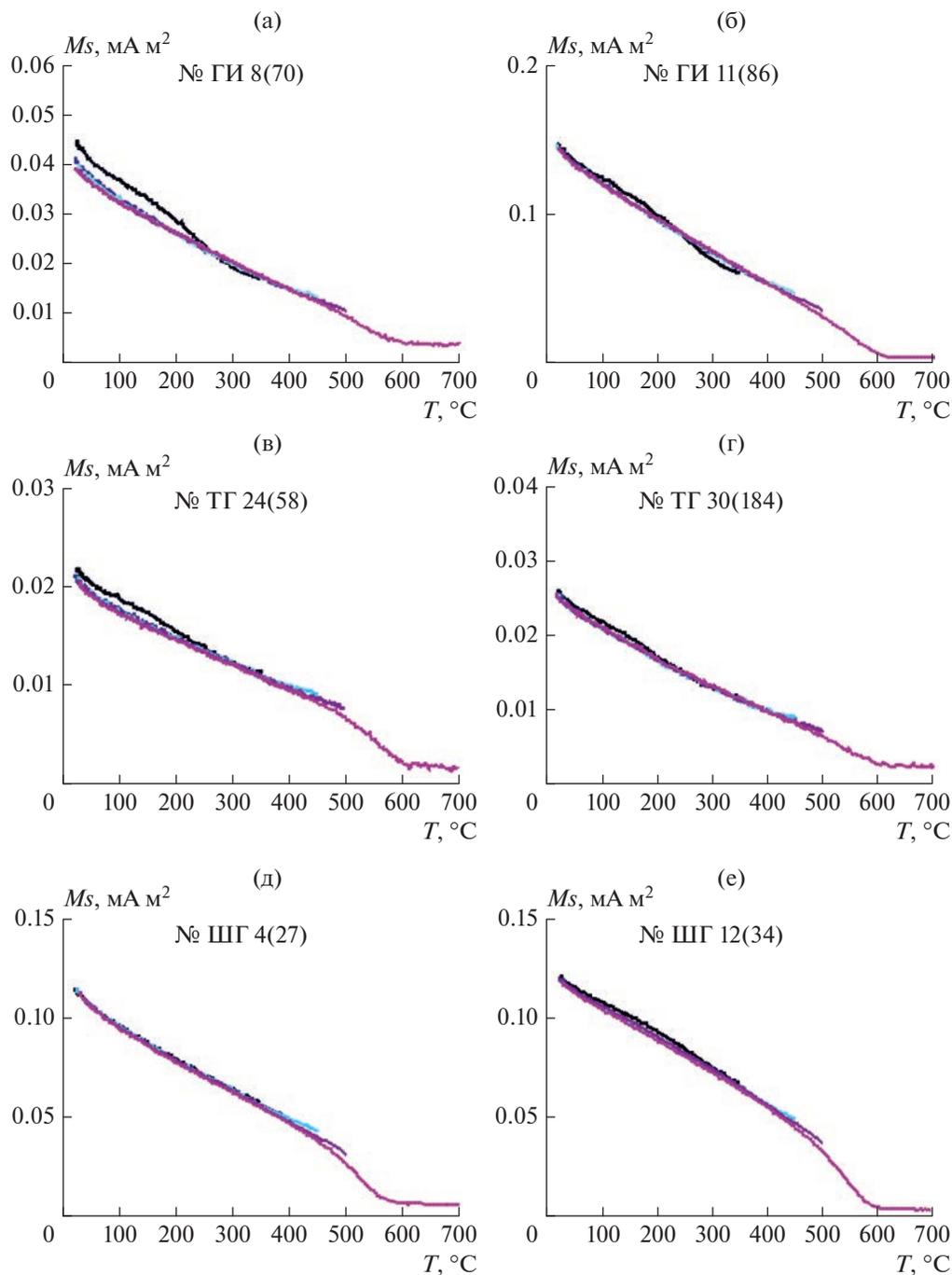


Рис.3. Примеры термомагнитного анализа по зависимости магнитного момента насыщения M_s от температуры T , выполненного на образцах керамики археологических памятников Гришинский исток III (ГИ), Тюков городок (ТГ) и Шишкинское городище (ШГ). Черный цвет соответствует нагреву до 350°C, голубой цвет – нагрев до 400°C, синий цвет – нагрев до 450°C, фиолетовый цвет – нагрев до 500°C, розовый цвет – нагрев до 700°C.

ря ход кривых предыдущих нагревов (рис. 3а, 3в). Кривые $M_s(T)$ указывают на присутствие фазы с температурой Кюри ~ 580 – 610°C , характеризующей магнетит и/или маггемит. Небольшое падение величины магнитного момента после 350°C в

ходе повторных нагревов свидетельствует об образовании гематита в данных образцах фрагментов керамики.

Все образцы, удовлетворяющие критериям отбора 1)–7), достигают насыщения в магнитном

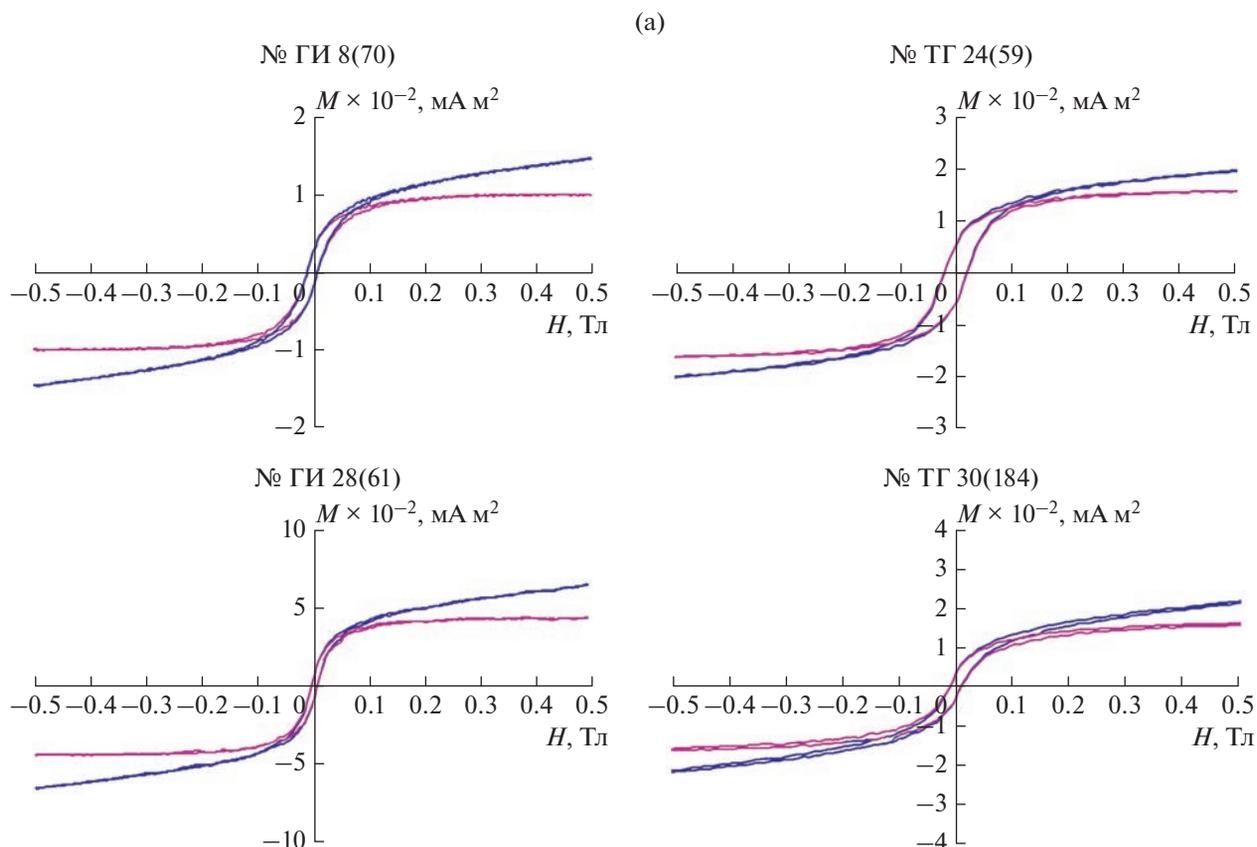


Рис. 4. (а) — Примеры кривых магнитного гистерезиса для образцов керамики археологических памятников Гришинский исток III и Тюков городок — синий цвет. Примеры кривых магнитного гистерезиса за вычетом парамагнитного вклада — фиолетовый цвет; (б) — примеры кривых магнитного гистерезиса для образцов керамики археологического памятника Шишкинское городище — синий цвет. Примеры кривых магнитного гистерезиса за вычетом парамагнитного вклада — фиолетовый цвет.

поле ~ 0.2 Тл (рис. 4). Кривые магнитного гистерезиса характерны для низкокоэрцитивного ферромагнитного минерала. Судя по распределению отношений M_{rs}/M_s , H_{cr}/H_c на диаграммах Дзю (рис. 5) для образцов керамики археологических памятников Гришинский исток III, Тюков Городок и Шишкинское городище размер магнитных зерен в основном попадает в псевдооднодоменную область (PSD), за исключением единичных точек для каждого объекта исследования, которые попали в область, характерную для смеси псевдооднодоменных и многодоменных зерен (MD) [Day et al., 1977].

Таким образом, проведенные петромагнитные исследования фрагментов керамики показали, что основным носителем термоостаточной намагниченности в образцах являются PSD зерна магнетита или устойчивые к нагревам зерна маггемита. Возможно, что маггемит образовался в

ходе нагрева образцов до 350°C в процессе термомагнитного анализа.

Величины магнитной восприимчивости керамики Гришинский исток III изменяются в диапазоне $(0.17-7.27) \times 10^{-3}$ ед. СИ, Тюков городок — $(0.03-10.15) \times 10^{-3}$ ед. СИ, Шишкинское городище — $(1.46-6.33) \times 10^{-3}$ ед. СИ. Ряды данных NRM высокослабично коррелируют с рядами данных магнитной восприимчивости образцов фрагментов керамики Гришинский исток III (коэффициент линейной корреляции $r = 0.99$ для числа $N = 8$ определений палеонапряженности) и Шишкинское городище ($r = 0.72$ для $N = 14$). Т.е. вероятность того, что у двух некоррелируемых рядов будут такие коэффициенты корреляции, меньше 1% [Тейлор, 1985]. Это говорит о том, что величина NRM определяется концентрацией одного единственного минерала - носителя намагниченности. В то же время, NRM и магнитная восприимчивость керамики Тюков городок коррелиру-

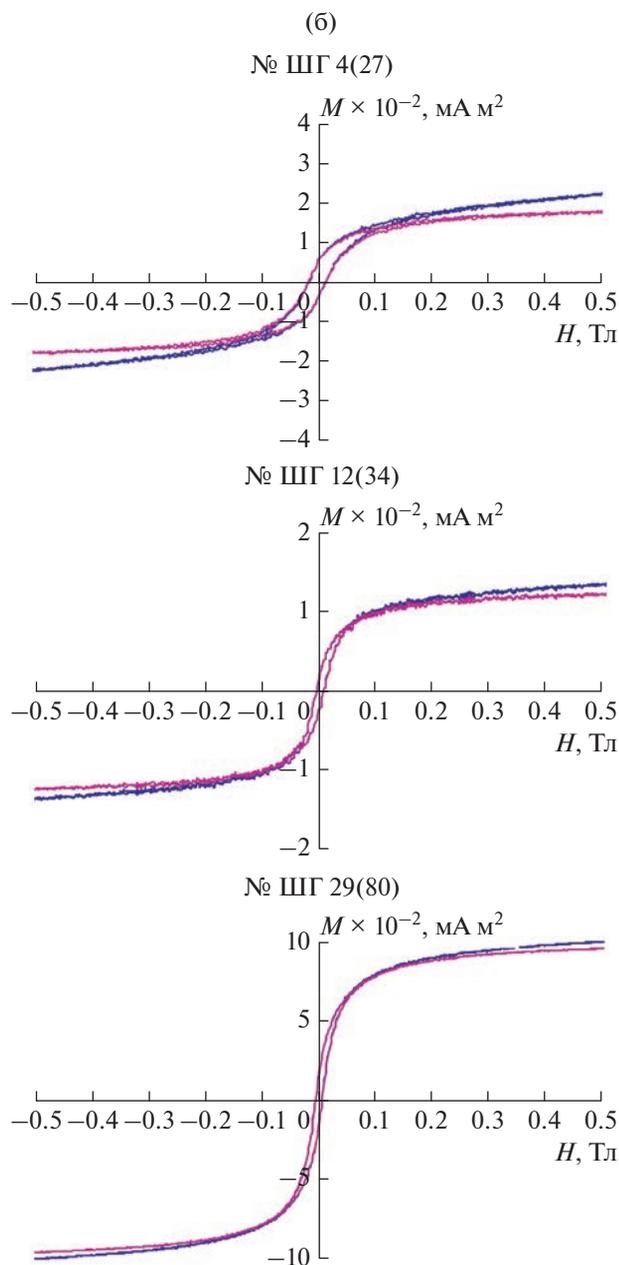


Рис. 4. Окончание

ют с невысоким коэффициентом линейной корреляции ($r = 0.26$ для $N = 8$), что может объясняться наличием в образцах нескольких минералов – носителей NRM , например, магнетита и маггемита.

Измерения анизотропии магнитной восприимчивости образцов керамики археологических памятников Гришинский исток III и Тюков городок показали невысокую степень AMS . Среднее значение степени анизотропии для керамики по-

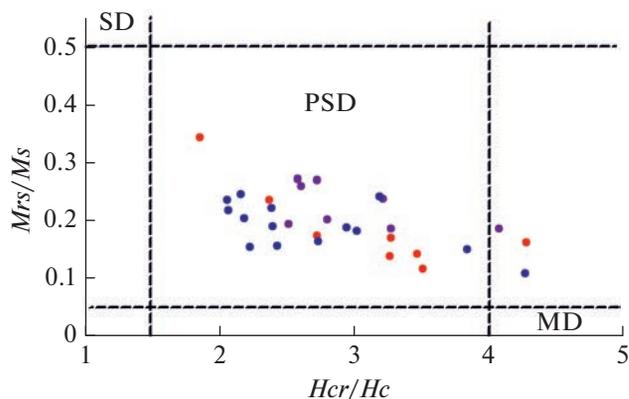


Рис. 5. Диаграмма Дэя для образцов керамики археологических памятников Гришинский исток III (фиолетовые символы), Тюков городок (красные символы) и Шишкинское городище (синие символы), по которым получены определения палеонапряженности, удовлетворяющие критериям отбора 1)–7).

селения Гришинский исток III составляет $P'_{cp} = 1.056 \pm 0.006$, а для керамики поселения Тюков

городок $P'_{cp} = 1.040 \pm 0.004$. Измерения анизотропии магнитной восприимчивости образцов керамики памятника Шишкинское городище показали на-

личие более высокой степени AMS : $P'_{cp} = 1.136 \pm 0.011$. Это говорит об имеющей место магнитной анизотропии, связанной с технологией изготовления керамики. Наличие выделенных направлений раскатывания глиняного “теста” на подготовительной стадии изготовления керамики привело к возникновению магнитной анизотропии. Уменьшение влияния магнитной анизотропии и, как следствие, влияния анизотропии $TRM_{\text{лаб}}$, достигается путем создания лабораторной $TRM_{\text{лаб}}$ в направлении высокотемпературной компоненты NRM образца фрагмента керамики. В нашем случае образцы из тонкостенной керамики не удалось выкладывать в печи так, чтобы вектор характеристической компоненты NRM образцов был сонаправлен с вектором напряженности лабораторного магнитного поля при создании $TRM_{\text{лаб}}$. Возможно, именно это отразилось на низкотемпературной области диаграмм Арай–Нагаты, которые в интервале температур 150–200°C часто имели излом и отклонение от прямолинейного направления (рис. 6в, рис. 7в, рис. 8в, 8д).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АРХЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

После проведения эксперимента по методике Телье–Кое и отбраковки образцов получено 43

определения напряженности древнего геомагнитного поля (табл. 2). Для образцов керамики Гришинский исток III было принято 10 определений, Тюков городок – 11 определений, Шишкинское городище – 22 определения. Полученные определения напряженности геомагнитного поля лежат в широком интервале ~38–69 мкТл.

Для того чтобы сравнивать полученные результаты с результатами археологических памятников, расположенных в других регионах, необходимо пересчитать полученные величины палеонапряженности магнитного поля на величину виртуального аксиального дипольного момента ($VADM$) по формуле:

$$VADM = 4\pi R^3 H_{др} / \mu_0 (1 + 3 \sin^2 \varphi)^{1/2},$$

где $R = 6.4 \times 10^6$ м – радиус Земли, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость вакуума, φ – географическая широта региона [Merrill et al., 1996]. Пересчет результатов данного исследования палеонапряженности магнитного поля 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: 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], Вёкса III (59°17' с.ш., 40°10' в.д., V–III тыс. до н.э.) [Начасова и др., 2020], дают представление о вариациях $VADM$ в V–I тыс. до н.э. в центре Русской равнины (рис. 9а). Как видно из рисунка, в изменении $VADM$ от времени прослеживается закономерный характер. Начиная с V тыс. до н.э. в течение ~800 лет наблюдается рост величины $VADM$ с достаточно низких значений (4.4×10^{22} Ам²) до высоких (9.32×10^{22} Ам²). Далее на временном интервале конец V–первая половина IV тыс. до н.э. имеет место падение величины $VADM$. Затем почти от III тыс. до н.э. до первой половины I тыс. до н.э. опять наблюдается рост величины $VADM$ до 8.8×10^{22} Ам².

Расчет по программе для наиболее широко используемых глобальных моделей изменения $VADM$, например, “Continuous Archeomagnetic and Lake Sediment data for the past X kyr”, (CALS10k.2) [Korte et al., 2011], работающей в приложении GEOMAGIA50. v3.2 [https://geomagia.gf-rotterdam.de], представляет собой аппроксимацию на основе нами же полученных и опубликованных данных. Других данных об изменении магнитного поля в исследуемых долготном (38°–44° в.д.) и широтном (55°–60° с.ш.) секторах с конца II тыс. до рубежа эр нет, что отражает неравномерное пространственно-временное распределение архео-

магнитных и палеомагнитных данных, на основе которых строятся планетарные модели геомагнитного поля. Поэтому сравнить полученные нами данные с моделью не представляется возможным.

Археологические памятники Сахтыш I, Сахтыш II, Дмитровская слобода II, Вёкса III, Гришинский исток III, Тюков городок и Шишкинское городище лежат в долготном секторе 38°–47° в.д., в который попадают археологические памятники Грузии (средняя долгота ~44° в.д.). Грузия была первым районом проведения археомагнитных исследований российскими исследователями [Начасова, 1998]. На рис. 9б изображено изменение $VADM$, построенное по совокупности данных из GEOMAGIA50. v3.2, большая часть которых авторская [Начасова, Бураков, 1987; Бураков, Начасова, 1988]. При сравнении величин $VADM$, записанных в фрагментах керамики изученных нами археологических памятников Рязанской области с результатами, полученными по данным Грузии во временном интервале VII–VI вв. до н.э., обращает на себя внимание разброс данных $VADM$ по величине. Наличие такого разброса может быть связано с двумя причинами.

Первая связана с быстрым изменением напряженности магнитного поля в исследуемый интервал времени [Начасова, 1998]. По археомагнитным данным для Грузии на интервал времени VIII–первая половина VII века до н.э. и на V в. до н.э., приходится пики напряженности геомагнитного поля. Временной интервал, которым датируются образцы, достаточно велик, и напряженность геомагнитного поля существенно изменится за это время [Начасова, 1998].

Вторая причина связана с трудностью определения возраста керамики, найденной в этих археологических памятниках. В археологических исследованиях финал бронзового века (XI–VII вв. до н.э.) для многих территорий нередко называют “темными веками” из-за невыразительности и малой информативности материалов, что затрудняет их исследование и реконструирование культурно-исторической ситуации в это время. Этот период в цивилизационных центрах также связан с понятием “катастрофа бронзового века” [Клайн, 2018], отдельные последствия которой могли дойти и до севера Восточной Европы. Кроме того, в это же время наблюдается сильное похолодание при переходе от суббореального климатического периода к субатлантическому, получившее название “похолодание железного века”, которое закончилось лишь к III в. до н.э. [Клименко, 2004]. О возможной связи резких климатических колебаний (похолодание/потепление) с изменением напряженности

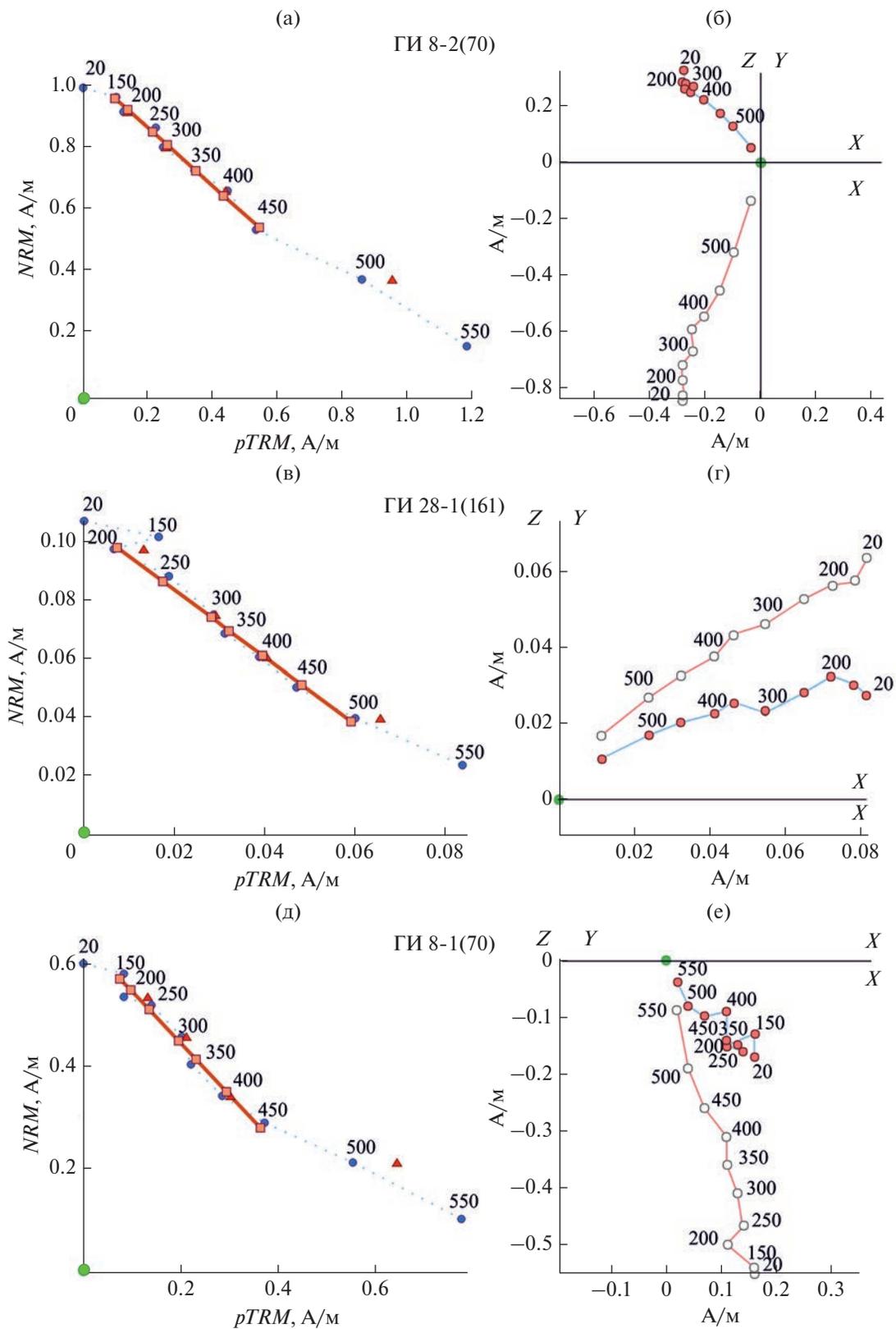


Рис. 6. Примеры диаграмм Арай–Нагаты – (а), (в) и диаграмм Зийдервельда – (б), (г) для фрагментов керамики, найденной в культурном слое археологического памятника Гришинский исток III, по которым получены определения величины магнитного поля и примеры диаграмм – (д), (е) для фрагментов керамики, не прошедших критерии отбора. Треугольниками обозначены *pTRM* check-point. Числа около символов обозначают температуры нагрева в °С.

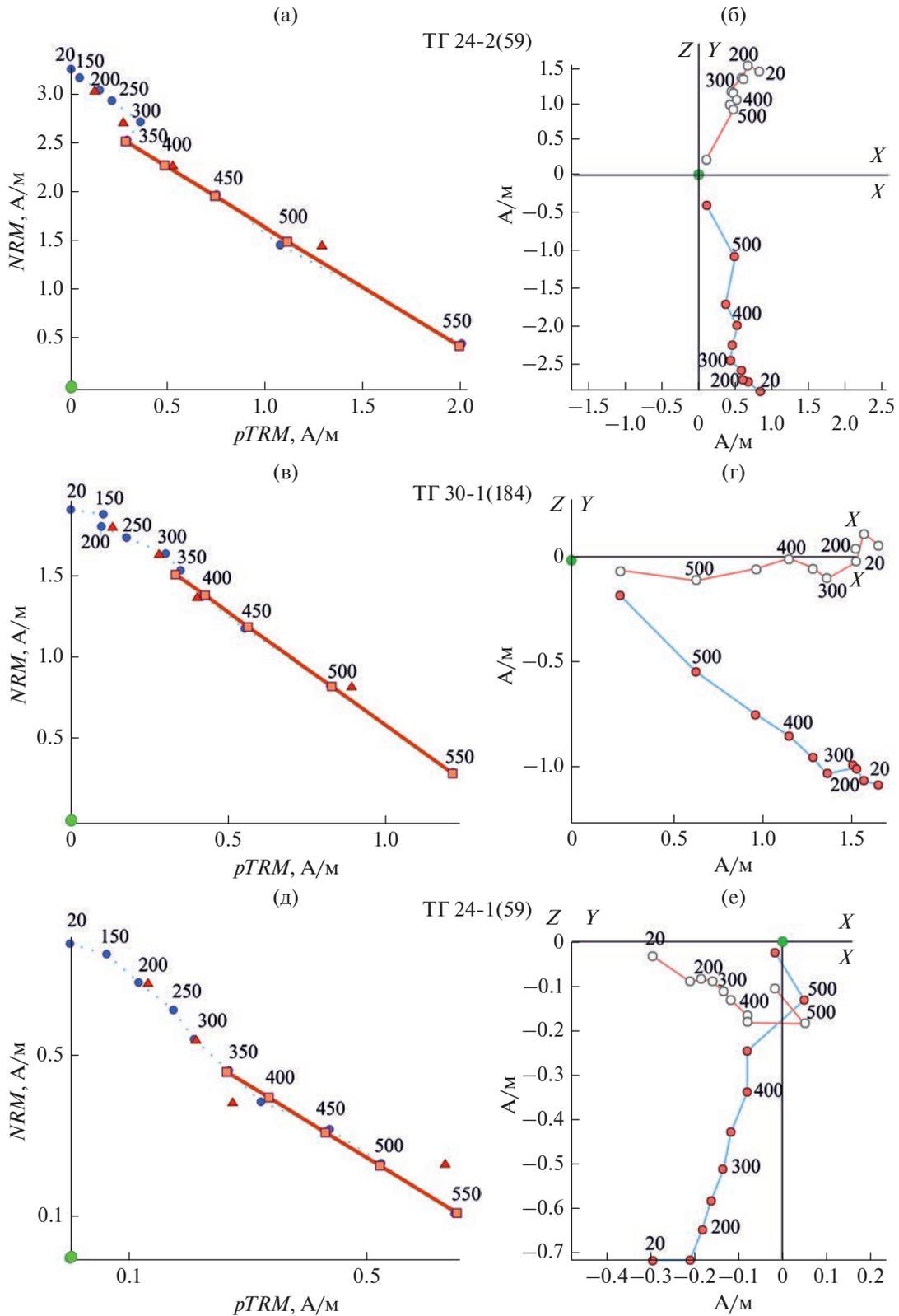


Рис. 7. Примеры диаграмм Арай–Нагаты – (а), (в) и диаграмм Зийдервельда – (б), (г) для фрагментов керамики, найденной в культурных слоях археологического памятника Тюков городок, по которым получены определения величины магнитного поля и примеры диаграмм – (д), (е) для фрагментов керамики, не прошедших критерии отбора. Обозначения как на рис. 6.

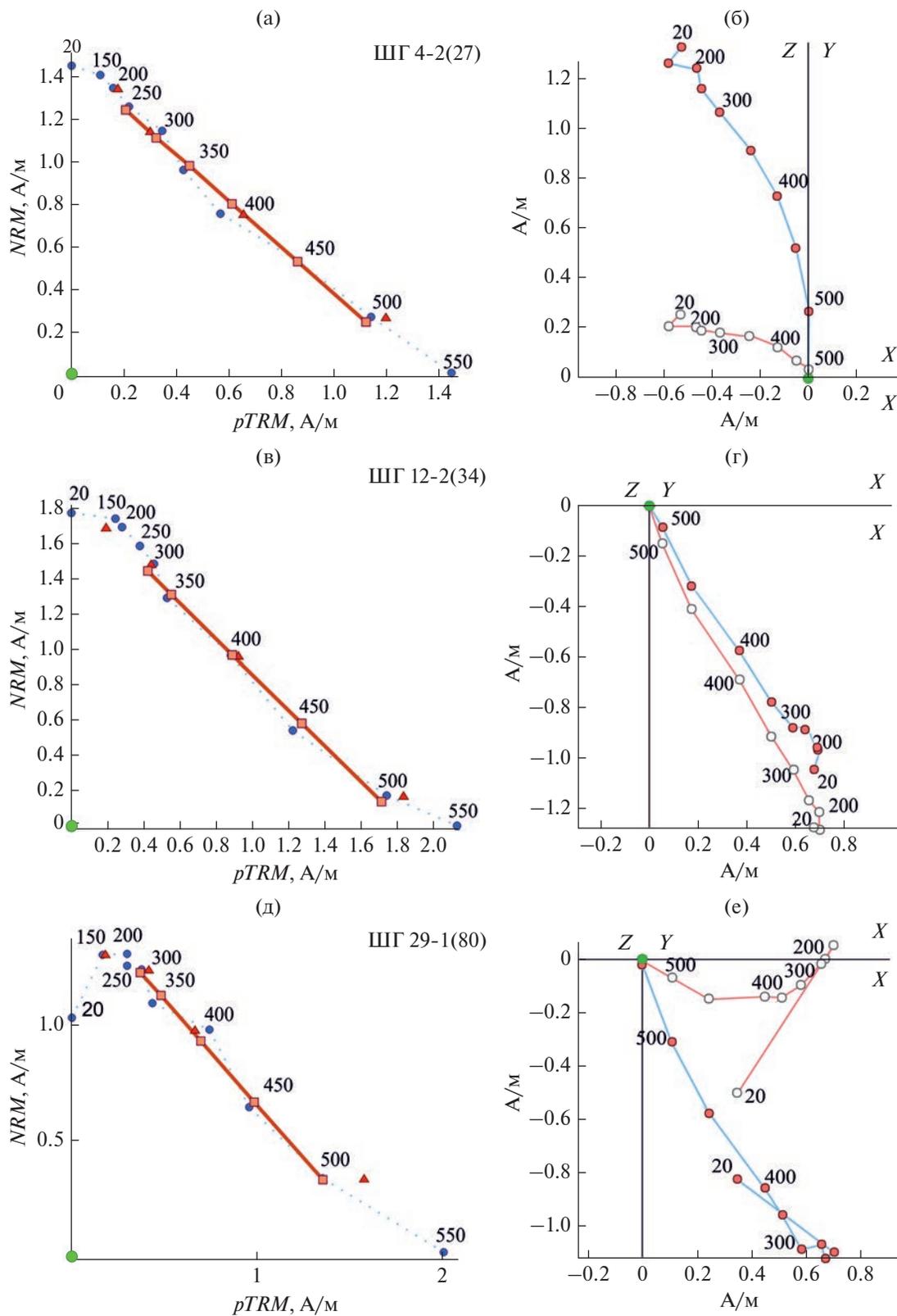


Рис. 8. Примеры диаграмм Арай–Нагаты – (а), (в) и диаграмм Зийдервельда – (б), (г) для фрагментов керамики, найденной в культурных слоях археологического памятника Шишкинское городище, по которым получены определения величины магнитного поля и примеры диаграмм – (д), (е) для фрагментов керамики, не прошедших критерии отбора. Обозначения как на рис. 6.

Таблица 2. Значения напряженности $H_{др}$ геомагнитного поля со среднеквадратичной ошибкой σ , определенные на фрагментах керамики, отобранных на археологических памятниках Гришинский исток III (ГИ), Тюков городок (ТГ) и Шишкинское городище (ШГ). Взвешенная средняя величина напряженности геомагнитного поля $H_{др}$ со среднеквадратичной ошибкой σ выделена жирным шрифтом. Серым цветом выделены номера образцов, определения палеонапряженности и параметры, по которым данные определения были удалены из рассмотрения

№ фрагмента керамики (музейный номер)	$T_1-T_2, ^\circ\text{C}$	N	Gap	q	f	$DRAT, \%$	$CDRAT, \%$	$H_{др} \pm \sigma, \text{ мкТл}$	
ГИ 6-1 (59)	200–500	7	0.81	4.89	0.55	5.22	5.55	57.8 ± 4.6	
ГИ 6-2 (59)	200–500	7	0.77	5.13	0.42	5.61	4.93	44.7 ± 3.2	
ГИ 8-1 (70)	150–450	7	0.81	4.42	0.45	11.95	18.30	50.3 ± 4.2	
ГИ 8-2 (70)	150–450	7	0.81	5.52	0.40	1.64	2.09	44.6 ± 2.9	
ГИ 9-1(71)	350–550	5	0.71	12.20	0.59	5.50	3.45	66.4 ± 2.3	
ГИ 9-2(71)	350–550	5	0.64	3.85	0.57	12.21	29.41	65.8 ± 6.3	
ГИ 11-1(86)	200–550	8	0.77	5.34	0.59	5.14	13.70	59.4 ± 5.1	
ГИ 11-2(86)	200–550	8	0.77	19.09	0.67	4.30	8.80	49.4 ± 3.0	
ГИ 16-1(93)	300–550	6	0.77	6.37	0.45	5.79	4.01	54.6 ± 1.2	
ГИ 16-2(93)			Разрушился в процессе измерений						
ГИ 19-1(118)	200–550	8	0.81	7.15	0.71	7.94	3.04	54.4 ± 4.4	
ГИ 19-2(118)			Разрушился в процессе измерений						
ГИ 23-1(118)	200–450	6	0.80	9.69	0.46	3.94	2.91	60.8 ± 1.9	
ГИ 23-2(118)			Разрушился в процессе измерений						
ГИ 28-1(161)	200–500	7	0.82	9.05	0.56	8.34	10.77	57.8 ± 2.9	
ГИ28-2(161)	200–550	8	0.82	6.48	0.68	4.35	6.77	51.2 ± 4.4	
			Гришинский исток III: 1350 ± 150 лет до н. э.						55.7 ± 2.6
ТГ1-1(81)	200–450	6	0.80	11.27	0.60	7.05	13.22	54.6 ± 2.3	
ТГ1-2(81)	200–450	6	0.79	6.79	0.65	3.35	2.27	53.7 ± 4.1	
ТГ8-1(90)	250–500	6	0.75	9.38	0.46	4.25	8.09	66.2 ± 2.4	
ТГ8-2(90)	250–500	6	0.71	3.99	0.48	5.72	9.07	66.7 ± 5.5	
ТГ14-1(87)	200–500	7	0.79	4.08	0.50	14.41	8.50	39.53 ± 3.9	
ТГ14-2(87)	200–500	7	0.80	5.71	0.54	1.76	2.67	47.6 ± 3.6	
ТГ20-1(63)	150–500	8	0.85	16.27	0.76	4.64	5.31	47.4 ± 2.6	
ТГ20-2(63)	150–500	8	0.84	6.13	0.57	9.64	12.76	59.1 ± 4.6	
ТГ24-1(59)			Не выделяется характеристическая компонента на диаграмме Зийдервельда						
ТГ24-2(59)	350–550	5	0.65	13.63	0.73	8.03	5.34	60.7 ± 2.1	
ТГ30-1(184)	350–550	5	0.68	12.59	0.62	4.52	6.64	69.4 ± 2.3	
ТГ30-2(184)	250–550	7	0.78	6.58	0.68	5.23	4.14	56.6 ± 4.6	
			Тюков городок, ТГГ: 875 ± 125 лет до н. э.						55.0 ± 3.3
ТГ21-1 (61)	150–400	6	0.80	5.58	0.44	2.59	2.51	58.2 ± 3.7	
ТГ21-2 (61)			Не выделяется характеристическая компонента на диаграмме Зийдервельда						
ТГ27-1 (40)	150–500	8	0.82	5.67	0.68	3.59	5.84	50.6 ± 5.0	
ТГ27-2 (40)			Не выделяется характеристическая компонента на диаграмме Зийдервельда						
			Тюков городок, ТГП: 625 ± 125 лет до н. э.						55.5 ± 3.9
ШГ12-1 (34)	200–500	7	0.77	6.03	0.79	7.41	1.24	48.3 ± 4.8	
ШГ12-2 (34)	300–500	5	0.72	5.82	0.74	8.02	1.34	42.2 ± 3.9	
ШГ13-1 (36)	150–500	8	0.80	8.09	0.63	6.24	14.53	58.6 ± 3.7	
ШГ13-2 (36)	150–500	8	0.73	1.5	0.46	6.02	13.04	28.1 ± 6.5	
ШГ14-1(42)	250–500	6	0.76	6.65	0.62	3.17	7.29	63.6 ± 4.5	

Таблица 2. Окончание

№ фрагмента керамики (музейный номер)	T_1-T_2 , °C	N	Gap	q	f	$DRAT$, %	$CDRAT$, %	$H_{др} \pm \sigma$, мкТл
ШГ14-2(42)	Разрушился в процессе измерений							
ШГ15-1(42)	200–500	7	0.75	7.65	0.61	1.35	1.54	66.9 ± 4.0
ШГ15-2(42)	200–500	7	0.76	6.76	0.64	2.94	2.95	64.7 ± 4.6
ШГ23-1(77)	Не выделяется характеристическая компонента на диаграмме Зийдервельда							
ШГ23-2(77)	150–450	7	0.83	6.01	0.67	5.50	1.72	60.7 ± 5.6
Шишкинское городище, ШГГ: 500 ± 200 гг. до н. э.								63.1 ± 3.7
ШГ1-1 (17)	150–450	7	0.82	5.93	0.72	9.58	2.22	52.4 ± 5.2
ШГ1-2 (17)	Разрушился в процессе измерений							
ШГ4-1 (27)	250–500	6	0.78	12.58	0.74	4.09	1.26	59.0 ± 2.7
ШГ4-2 (27)	250–500	6	0.78	7.09	0.68	6.48	4.57	54.1 ± 4.0
ШГ6-1 (33)	150–500	8	0.83	6.87	0.86	1.95	1.35	47.1 ± 4.9
ШГ6-2 (33)	150–500	8	0.80	8.93	0.80	6.34	10.06	44.9 ± 3.2
ШГ7-1(35)	Не выделяется характеристическая компонента на диаграмме Зийдервельда							
ШГ7-2(35)	150–450	7	0.81	6.90	0.62	4.07	9.71	54.7 ± 4.0
ШГ8-1 (43)	200–500	7	0.79	8.09	0.79	5.06	4.93	56.8 ± 4.4
ШГ8-2(43)	200–500	7	0.77	6.46	0.75	12.25	9.89	54.1 ± 4.8
ШГ19-1(58)	150–500	8	0.79	8.80	0.80	4.48	4.63	61.8 ± 4.4
ШГ19-2(58)	150–500	8	0.80	20.30	0.77	1.34	1.04	64.3 ± 2.0
ШГ24-1(66)	300–500	5	0.73	12.28	0.68	1.26	1.75	67.3 ± 2.7
ШГ24-2(66)	300–500	5	0.73	5.11	0.68	3.08	1.47	57.2 ± 5.6
ШГ29-1(80)	300–500	5	0.71	4.04	0.57	8.65	11.67	45.5 ± 4.5
ШГ29-2(80)	300–500	5	0.72	8.11	0.59	9.16	0.35	38.4 ± 2.0
ШГ30-1(83)	150–450	7	0.76	6.88	0.72	9.21	1.94	55.3 ± 4.4
ШГ30-2(83)	150–450	7	0.76	5.41	0.64	10.24	8.93	57.0 ± 5.1
Шишкинское городище, ШГГ: 400 ± 100 гг. до н. э.								53.8 ± 2.8

магнитного поля (повышение/понижение) также упоминается в литературе [Gallet et al., 2005; 2006].

Столь крупные социальные и климатические факторы, приведшие, по сути, к смене исторических эпох, значительным образом влияли на жизнь древних сообществ, что могло выразиться в выработке новых систем жизнеобеспечения, смене материальных культур и иных форм адаптации, деградации этих культур, миграции нового населения со своей культурой и т.д. Переход от бронзового века к железному, за некоторыми исключениями, довольно трудно фиксируется в археологических памятниках и имеет неточную и размытую датировку. Кроме того, датирование по ^{14}C в период VIII–V вв. до н. э. также характеризуется большой ошибкой определения возраста, сопоставимой по величине с протяженностью самого исследуемого временного интервала. В на-

учной литературе это явление имеет название “гальштатское плато” [Van der Plicht, 2004].

Различие в технологии изготовления керамики археологического памятника Шишкинское городище на подготовительной стадии обработки сырья (глина, ил и др.) и составления формовочной массы привело к возникновению магнитной анизотропии, и, как следствие, к возникновению AMS ($P' = 1.136 \pm 0.011$) и анизотропии TRM . В процессе изготовления керамики глина могла быть в абсолютно разном состоянии: от твердого до жидкого и обратно [Цетлин, 2012]. Неправильная форма керамических образцов не дала возможность учесть анизотропию TRM , что могло привести к занижению величины напряженности магнитного поля, а, следовательно, и $VADM$, определенного по этим образцам.

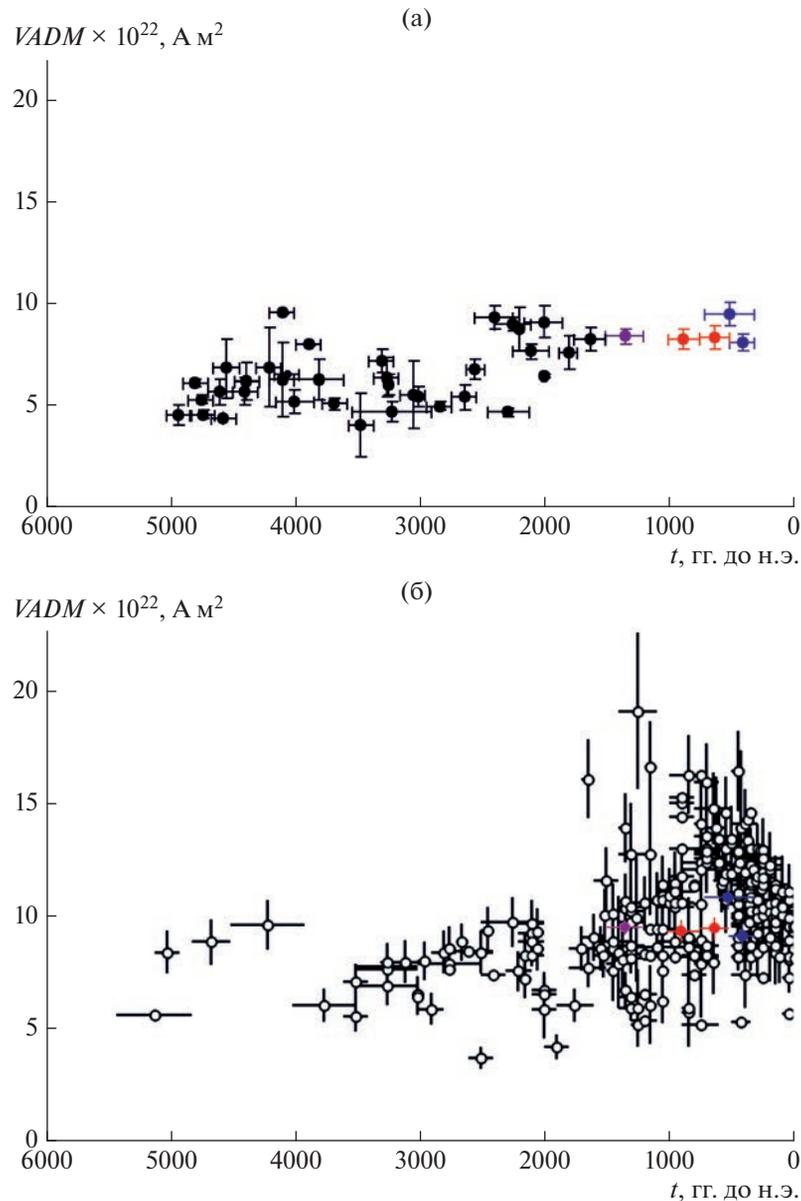


Рис. 9. (а) – Взвешенные средние величины виртуального аксиального дипольного момента $VADM$ со среднеквадратичной ошибкой и ошибкой определения возраста. Результаты данного исследования керамики археологических памятников поздней эпохи бронзы и раннего железного века: Гришинский исток III – фиолетовый цвет, Тюков городок – красный цвет, Шишкинское городище – синий цвет. Результаты исследований керамики неолита памятника Сахтыш I [Начасова и др., 2018], Вёкса III [Начасова и др., 2020], керамики эпохи бронзы памятников Сахтыш I и Сахтыш II [Начасова и др., 2022] и Дмитровская слобода II [Pilipenko et al., 2019] – черные кружки; (б) – величины виртуального аксиального дипольного момента $VADM$, полученные для археологических памятников Грузии по базе данных GEOMAGIA50. v3.2 [https://geomagia.gf-potsdam.de] – белый цвет и результаты данного исследования: Гришинский исток III – фиолетовый цвет, Тюков городок – красный цвет, Шишкинское городище – синий цвет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате археомагнитных исследований керамики из культурных отложений археологических памятников Гришинский исток III, Тюков городок и Шишкинское городи-

ще Рязанской области РФ получены данные об изменении напряженности геомагнитного поля в поздний период бронзового и раннего железного веков для центра Русской равнины. Накопление культурных отложений происходило во временном интервале 1500–300 лет до н. э. Напряжен-

ность геомагнитного поля изменялась в пределах от ~53 до ~63 мкТл. Объединение этих данных с данными о напряженности поля в неолите и в эпоху бронзы, полученными ранее по керамическому материалу археологических памятников Сахтыш I и Сахтыш II [Начасова и др., 2018; 2022], Вёкса III [Начасова и др., 2020], Дмитровская слобода II [Piliipenko et al., 2019], позволило получить картину изменения магнитного поля в центре Русской равнины.

Полученные значения $VADM$ для центра Русской равнины в XV–IV вв. до н.э. попадают в широкий интервал данных, полученный по расположенным в том же долготном секторе археологическим памятникам Грузии. Разброс данных может быть связан как с ошибкой определения возраста по ^{14}C , сопоставимой по величине с протяженностью самого исследуемого временного интервала, так и с высокой скоростью изменения магнитного поля в этот интервал времени.

Неучет анизотропии TRM образцов мог привести к занижению величины $H_{др}$, что, однако, не повлияло на тенденцию роста величины $H_{др}$, наблюдаемого в конце II–второй половине I тыс. до н.э. Средний уровень напряженности геомагнитного поля (~58 мкТл) существенно выше среднего уровня напряженности поля в IV–первой половине III тыс. до н.э. (~40 мкТл), который был получен в результате проведения археомагнитных исследований керамики неолитических отложений многослойных археологических памятников Сахтыш I и Векса III.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Палеомагнитные и петромагнитные исследования выполнены в Центре коллективного пользования “Петрофизика, геомеханика и палеомагнетизм” ИФЗ РАН [Веселовский и др., 2022] при финансовой поддержке Гос. задания № FMWU-2022-0005 ИФЗ РАН и гранта РФФИ № 19-55-18006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Азаров Е.С. К планиграфии поселений культуры “текстильной” керамики позднего бронзового века Почья. Жилые постройки // Археология евразийских степей. Эпоха бронзы и ранний железный век. Материалы III международной научной конференции “Ананьинский мир: культурное пространство, связи, традиции и новации”. Издательский дом “Казанская недвижимость”. 2017. № 3. С. 63–79.

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.

Бурлацкая С.П. Археомагнетизм. Исследование магнитного поля Земли в прошлые эпохи. М.: Наука. 1965. 127 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>

Драбкина Е.А., Попов В.В., Сергиенко Е.С., Смирнова Р.В. Исследование возможности определения палеонапряженности методом Телье по импактным породам // Вопросы геофизики. Вып. 44. 2011. С. 155–164.

Клайн Э.Х. 1177 год до н.э. М.: изд-во АСТ. 2018. 320 с.

Клименко В.В. Холодный климат ранней субатлантической эпохи в Северном полушарии. М.: изд-во МЭИ. 2004. 144 с.

Лопатина О.А. Опыт технологического изучения “текстильных” отпечатков. У истоков археологии Волго-Камья (к 150-летию открытия Ананьинского могильника). Археология Евразийских степей. Вып. 8. Елабуга: ИИ АН РТ, ИА РАН, ЕГМЗ. 2009. С. 204–213.

Начасова И.Е. Характеристики вариаций напряженности геомагнитного поля по археомагнитным данным. Автореферат 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., 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.

Сулерджицкий Л.Д., Фоломеев Б.А. Радиоуглеродные даты археологических памятников бассейна средней Оки. Древние памятники Окского бассейна / В.П. Челябинов (отв. ред.). Рязань: НПЦ по ОИПИКРО. 1993. С. 42–55.

Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. М.: Мир. 1985. 272 с.

Фоломеев Б.А. Тюков городок // Советская археология. 1975. № 1. С. 154–170.

Фоломеев Б.А. Отчет о работе Окской археологической экспедиции Государственного исторического музея за 1989 г. Архив ИА РАН. 1990. Р. 1. Д. 14847.

- Фоломеев Б.А. Отчет о работе Окско-Донской археологической экспедиции Государственного исторического музея за 1990 г. Архив ИА РАН. 1991. Р. 1. Д. 15718.
- Фоломеев Б.А. Окские городища. Памятники раннего железного века Окско-Донского междуречья. Сборник научных статей. Рязань. 1993. С. 3–21.
- Фоломеев Б.А. Шишкинское городище. Древности Оки. Труды ГИМ. Вып. 85. М.: Издательский центр ГИМ. 1994. С. 138–157.
- Цетлин Ю.Б. Древняя керамика. Теория и методы историко-культурного подхода. М.: ИА РАН. 2012. 384 с.
- Bullard E.C., Freedman C. Gellman H., Nixon J. The westward drift of the Earth's magnetic field // *Philos. Trans. R. Soc. London. Ser. A.* 1950. V. 243. P. 67–92.
- 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.
- Gallet Y., Genevey A., Fluteau F. Does Earth's magnetic field secular variation control centennial climate change? // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2005. V. 236. P. 339–347.
- Gallet Y., Genevey A., Le Goff M., Fluteau F., Eshraghi A. Possible impact of the Earth's magnetic field on the history of ancient civilizations // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2006. V. 246. P. 17–26.
- 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.
- 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. №18. P. 5277–5281.
- Paterson G.A., Tauxe L., Biggin A.J., Shaar R., Jonestrask L.C. On improving the selection of Thellier-type paleointensity data // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2014. V. 15(4). P. 1180–1192.
- 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.
- Prévot 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.
- Riisager P. Riisager J. Detecting multidomain magnetic grains in Thellier paleointensity experiments // *Phys. Earth Planet. Inter.* 2001. V. 125. P. 111–117.
- Selkin P.A., Tauxe L. Long-term variations in palaeointensity // *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A.* 2000. V. 358. № 1768. P. 1065–1088.
- Thellier E., Thellier O. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique // *Ann. Geophys. V.* 15. P. 285–378. 1959.
- Van der Plicht J. Radiocarbon, the calibration curve and Scythian chronology // Impact of the environment on human migration in Eurasia. NATO Science Series IV Earth and Environmental Sciences. V. 42 / E.M. Scott, A.Y. Alekseev, G. Zaitseva (eds.). Amsterdam: University of Groningen, Centre for Isotope Research. 2004. P. 45–61.
- Zijderveld J.D.A. A. C. demagnetization of rocks: analysis of results. Methods in Paleomagnetism / D. W. Collinson, K. Creer, S. Runcorn (eds.) Elsevier. 1967. P. 254–286.

Variations of Geomagnetic Paleointensity Recorded in the Archeological Ceramics of the Late Bronze and Early Iron Ages in the Central Russian Plain

O. V. Pilipenko^{a, *}, I. E. Nachasova^a, and E. S. Azarov^{b, **}

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

^bState Historical Museum, Moscow, Russia

*e-mail: pilipenko@ifz.ru

**e-mail: hazari4@yandex.ru

Abstract—The paper reports petromagnetic and archeomagnetic studies of ceramic fragments of the Late Bronze and Early Iron ages from archeological sites of the Grishinskii Istok III, Tyukov hillfort, and Shishkino hillfort, which are located in the Oka River basin, Ryazan district, Russian Federation. In total, 43 determinations of geomagnetic field intensity were obtained for the time interval of 1500–400 B.C., including 10 determinations for ceramics of the Grishinskii Istok III, 11 determinations for ceramics of the Tyukov hill-

fort, and 22 determinations for ceramics of the Shishkino hillfort. The studied time interval is characterized by the elevated values of the geomagnetic field intensity of 55–59 μT , which are much higher than the average field intensity for the Russian Plain in the IV–first half of III millennium B.C. Obtained *VADM* values for central Russian Plain fall in a wide range of values obtained on the Georgian archeological sites located in the same longitudinal sector. A large scatter of data can be related both to the large error in ^{14}C determination, which is comparable with the duration of the best studied time interval, and with the high rate of magnetic field variations within this time interval.

Keywords: archeomagnetism, variations of geomagnetic field intensity, Late Bronze age, Early Iron age, "textile" ceramics