

УДК 550.383.32

НАПРЯЖЕННОСТЬ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В НЕОЛИТЕ В ЦЕНТРЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ

© 2018 г. И. Е. Начасова¹, О. В. Пилипенко^{1*},
Г. П. Марков¹, С. К. Грибов^{2**}, Ю. Б. Цетлин^{3***}

¹Институт физики Земли РАН, г. Москва, Россия

²Геофизическая обсерватория “Борок”, Ярославская область, Россия

³Институт археологии РАН, г. Москва, Россия

*e-mail: pilipenko@ifz.ru

**e-mail: gribov@borok.yar.ru

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

Поступила в редакцию: 14.06.2017 г.

В результате проведенных археомагнитных исследований получены данные об изменении напряженности геомагнитного поля в центре Русской равнины (в районе поселения Сахтыш, $\varphi = 56^{\circ} 48' N$, $\lambda = 40^{\circ} 33' E$) во временном интервале V–III тыс. до н.э. Напряженность геомагнитного поля изменяется в основном в пределах 30–60 мкТл. В первой половине V тыс. до н.э. средний уровень напряженности поля – около 35 мкТл, во второй половине V – начале IV тыс. до н.э. происходит повышение до значения около 50 мкТл, затем напряженность поля опять понижается, в IV – III тыс. до н.э. средний уровень напряженности поля – около 40 мкТл. Сравнение картины изменения напряженности геомагнитного поля по полученным данным с данными для района Кавказа для этого же временного интервала обнаруживает сходные характерные черты.

DOI:

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена археомагнитному исследованию образцов обожженной керамики неолитического поселения Сахтыш I с целью получения данных об изменении напряженности геомагнитного поля в неолите в центре Русской равнины.

Ряды данных о напряженности геомагнитного поля, полученные для регионов Испании, Кавказа, Средней Азии и Сибири для последних семи – восьми тысячелетий показали, что изменение напряженности поля может быть аппроксимировано суперпозицией ряда дрейфующих волн различных периодов [Начасова, 1998; Начасова и Акимова, 2015; Начасова и др., 2015а, 2015б]. На “основное” 8-тысячелетнее колебание накладываются колебания меньшей продолжительности. Повышенный интерес к временному интервалу V–III тыс. до н.э. связан с тем, что на него приходится минимум “основного” колебания напряженности геомагнитного поля. Полученные данные обеспечат новой информацией об изменении напряженности геомагнитного поля в неолите, что позволит уточнить характер изменения геомагнитного поля.

Исследование изменчивости геомагнитного поля во времени и в пространстве дает критерии построения теории генерации геомагнитного

поля. Получение и накопление данных о древнем геомагнитном поле не только необходимо для решения задачи генерации магнитного поля Земли, но и может внести существенный вклад в решение центральной проблемы археологии – синхронизации древних культур.

2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Неолитическое поселение Сахтыш I расположено в Тейковском районе Ивановской области Российской Федерации ($\varphi = 56^{\circ} 48' N$, $\lambda = 40^{\circ} 33' E$). Археологические раскопки проводились Верхневолжской археологической экспедицией Института археологии РАН. Стратиграфический разрез Сахтыш I представляет собой 12 пластов, мощность каждого из которых составляет 5 см по вертикали [Цетлин, 1991; 2008]. Исследуемая коллекция фрагментов керамики, отобранных на стратиграфическом контрольном участке 2 (СКУ-2), была представлена шестью неолитическими культурами: волго-окской (ВО) – 5 образцов, верхневолжской (ВВ) – 15 образцов, с ямочно-гребенчатой керамикой (ЯГ) – 27 образцов, с редкочечной (РЯ) – 3 образца, с редкочечной тонкостенной (РЯтн) – 8 образцов и с волосовской (ВОЛ) – 4 образца. Всего было исследовано 62 образца. Все

образцы представляют собой фрагменты обожженной керамики, цвет которой меняется от светлого-коричневого до темно-коричневого.

3. МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплексом методов, хорошо разработанным в петромагнетизме, проведены исследования состава ферромагнитной фракции, присутствующей в изучаемых археологических образцах неолитического поселения Сахтыш I, путем проведения терромагнитного анализа (ТМА) по зависимостям намагниченности насыщения от температуры и определения точек Кюри, а также методом порошковой рентгеновской дифракции. ТМА был проведен по температурной зависимости намагниченности насыщения $J_s(T)$ в постоянном магнитном поле ~ 0.6 Тл в атмосфере воздуха на вибромагнитометре (ОРИОН, Россия).

Рентгенодифрактометрическое исследование осуществлено при комнатной температуре на многофункциональном дифрактометре STADI-MP (STOE, Германия) с изогнутым германиевым кристаллом-монокроматором (отражение 111), обеспечивающим строго монохроматизированное $\text{CoK } \alpha_1$ -излучение. Сбор данных проходил в режиме поэтапного перекрывания областей сканирования с помощью линейного позиционно-чувствительного детектора, угол захвата которого составлял 6.5° по брэгговскому углу 2Θ с шириной канала 0.02° и экспозицией в 20 с. Всего было произведено по восемь последовательных непрерывных сканирований каждого образца в интервале углов $2\Theta = 20\text{--}115^\circ$ с постоянным шагом детектора 0.5° , в результате чего суммарное время накопления импульсов в каждой точке достигало ~ 2000 с. Это дало возможность набрать необходимую статистику. Обработка результатов проводилась с использованием пакета программ “STOE WINXPOW (Version 2.23)”, “Powder-2” и JANA2000. Для идентификации соединений использовалась “База порошковых стандартов ICDD PDF-2” (версия 2008 г.).

До проведения рентгенодифрактометрического исследования каждый образец демонстрационной коллекции образцов предварительно диспергировался ультразвуком в воде. Далее по стенке пробирки с помощью неодимового магнита вручную вытягивалась ферромагнитная фракция. Для лучшей сепарации такая процедура проводилась несколько раз. Доменное состояние зерен магнетита было оценено по величине отношений M_{rs}/M_s и B_{cr}/B_c [Day et al., 1977; Evans and Heller, 2003], где M_s — магнитный момент насыщения, M_{rs} — остаточный магнитный момент насыщения, B_c — коэрцитивная сила; B_{cr} — остаточная коэрцитивная сила. Для каждого образца из демонстрационной коллекции

были сняты петли магнитного гистерезиса на вибромагнитометре (VSM MicroMag 3900, США), по параметрам которых проведена оценка доменного состояния. Гистерезисные параметры определены с коррекцией на величину парамагнитного фона.

Из 62 фрагментов керамики были выпилены кубические образцы с ребром ~ 1 см. Измерения намагниченности образцов проводились на магнитометре JR-6 (AGICO, Чехия), в трёх ортогональных положениях вращения образца, чувствительность прибора $\sim 2.4 \times 10^{-6}$ А/м. Перед началом цикла нагревов были выполнены измерения естественной остаточной намагниченности (NRM). Весь эксперимент проводился по модифицированному методу Теллье [Thellier and Thellier, 1959; Coe et al., 1978]. Образцы нагревались в немагнитной печи MMTD80 (Magnetic Measurements, Великобритания), остаточное магнитное поле в которой не более 10 нТл. Циклы нагрев — охлаждение без поля и нагрев — охлаждение в поле $B_{\text{лаб}} = 50$ мкТл проводились от 200 до 600°C с шагом 50°C на всех образцах керамики. По результатам измерений для каждого образца строилась диаграмма Араи-Нагаты [Nagata et al., 1963]. Для того, чтобы контролировать возможные изменения в способности образца приобретать термоостаточную намагниченность TRM при температурах блокирования ниже температуры проверки на образцах со всех исследуемых пластов повторно создавались и измерялись, так называемые, pTRM check-point при температурах 300, 400 и 500°C [Peterson et al., 2014].

Также на образцах коллекции были проведены повторные нагревы без поля, так называемые, pTRM check-tail, на температурах 250, 350, 450 и 550°C для исключения возможных изменений в составе носителей намагниченности при температурах блокирования выше температуры проверки [Peterson et al., 2014]. Образцы фрагментов керамики, у которых отклонения значений pTRM check-point и pTRM check-tail превышали 10% от величины pTRM и NRM на данном температурном шаге, исключались из исследования.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ЗЕРЕН ФЕРРОМАГНИТНОЙ ФРАКЦИИ

На демонстрационной коллекции образцов объёмом $\sim 1 \text{ см}^3$ (10 штук) различных типов керамики (№ 32 РЯ, 190 ЯГ, 193 ЯГ, 452 РЯ, 506 ЯГ, 511 ВОЛ, 603 РЯтн, 762 ВВ, 806 ВВ, 807 ВО) был проведен ТМА по температурной зависимости намагниченности насыщения $J_s(T)$ (рис. 1). Все кривые $J_s(T)$ имеют выпуклый вид с практически совпадающим ходом первичного и повторного нагревов. При этом только у двух образцов (№ 32 РЯ и 762 ВВ) кривые $J_s(T)$ указывают на присутствие

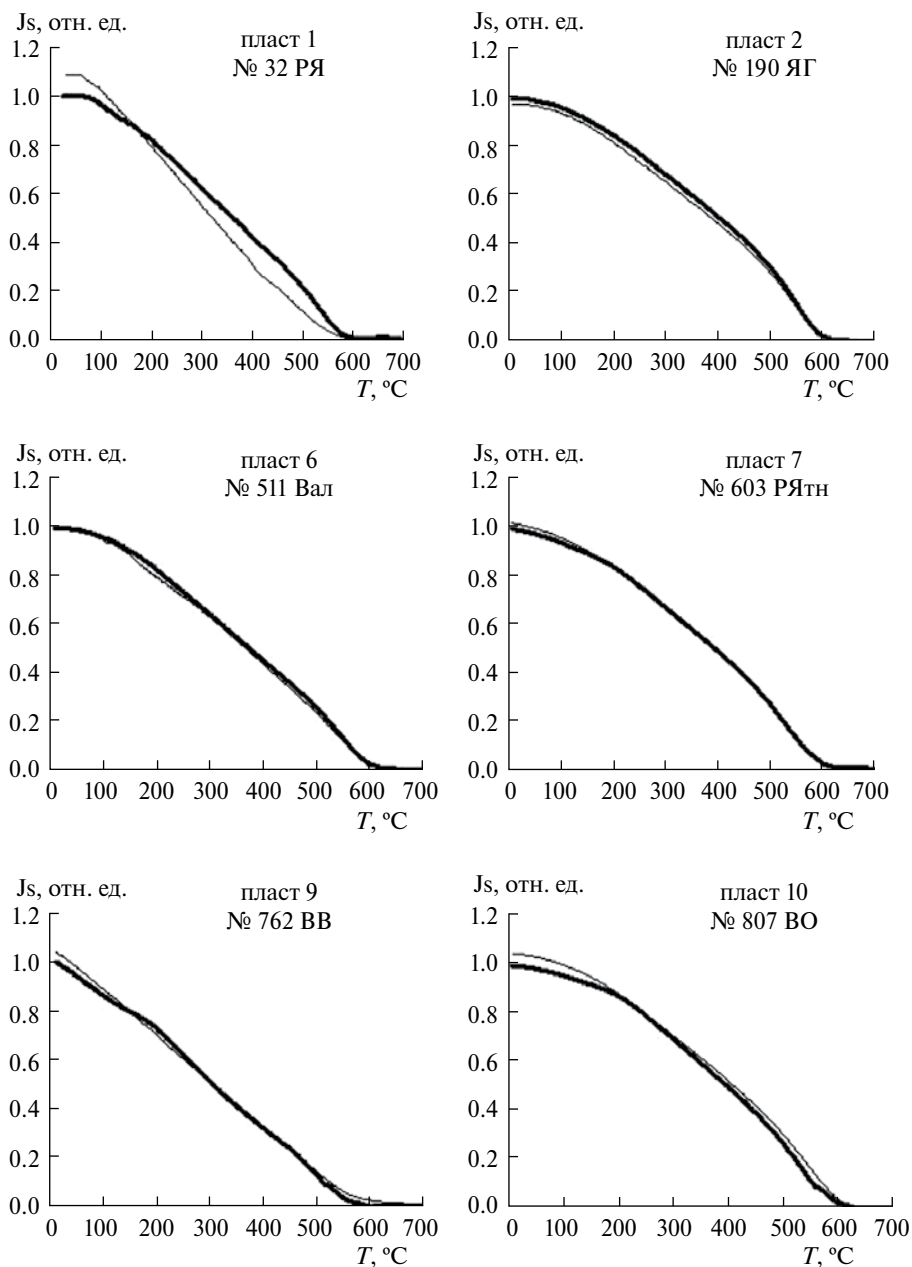


Рис. 1. Результаты терромагнитного анализа по зависимости намагниченности насыщения от температуры демонстрационной коллекции образцов керамики.

фазы с $T_c \sim 575^\circ\text{C}$, характеризующей стехиометрический магнетит, тогда как остальные образцы демонстрационной коллекции имеют точки Кюри от 600 до 610°C , что указывает на принадлежность их магнитной фракции к нестехиометрическим (катион-дефицитным) магнетитам. Причем, судя по совпадению кривых $J_s(T)$ первого и повторного нагревов, данные соединения показывают достаточно высокую температурную стабильность.

Судя по распределению отношений M_{rs}/M_s , B_{cr}/B_s на диаграмме Дзю (рис. 2, табл. 1), магнитные

минералы демонстрационной коллекции образцов (№№ 190 ЯГ, 603 РЯтн, 762 ВВ, 806 ВВ, 807 ВО) в основном попадают в область псевдооднодоменных (PSD) частиц; для образца № 511 ВОЛ размеры зерен отвечают границе псевдооднодоменной-многодоменной (PSD-MD) области.

Рентгеновские дифрактограммы отсепарированных магнитных фракций образцов демонстрационной коллекции образцов (№№ 190 ЯГ, 511 ВОЛ, 603 РЯтн, 762 ВВ, 806 ВВ, 807 ВО) в исходном состоянии дают систему дифракционных

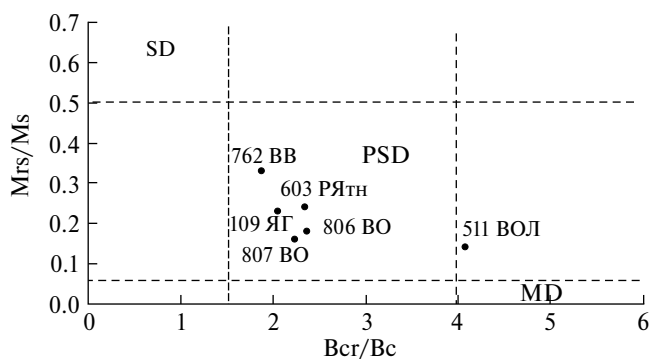


Рис. 2. Диаграмма Дэй с вынесенными на нее образцами керамики демонстрационной коллекции.

максимумов с межплоскостными расстояниями, принадлежащими к кристаллическим структурам типа шпинели и корунда. Причем, в пяти исследованных образцах (№№ 603 РЯТН, 806 ВВ, 807 ВО) определена только одна шпинельная фаза, в двух (№№ 190 ЯГ, 762 ВВ) — две шпинельные фазы и в четырех образцах (№№ 190 ЯГ, 762 ВВ, 806 ВВ, 807 ВО) наряду со шпинельной фазой установлена также и гексагональная фаза. Рассчитанные параметры элементарных ячеек для каждой из этих фаз даны в таблице 2. Как видно, период кристаллической решетки a_0 шпинельной фазы 1 близок к таковому для магнетита, а шпинельной фазы 2 соответствует окисленной его разновидности; параметры гексагональной фазы a_0 и c_0 отвечают гематитовым. Для образца 511 ВОЛ определить параметры решетки не удалось.

Таким образом, проведенные петромагнитные и рентгенодифрактометрические исследования фрагментов керамики показали, что основными носителями намагниченности в образцах являются устойчивые к нагревам магнетит и катион-дефицитный магнетит псевдооднородной структуры, что говорит о пригодности керамического

материала для определения напряженности древнего геомагнитного поля.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ НАПРЯЖЕННОСТИ ДРЕВНЕГО ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ВРЕМЕННАЯ ПРИВЯЗКА ПОЛУЧЕННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Для получения данных о древнем геомагнитном поле были проведены лабораторные исследования по модифицированной методике двойных нагревов Телле [Thellier and Thellier, 1959; Coe, 1978]. Для каждого образца по диаграмме Арай-Нагаты (рис. 3) определялся угловой коэффициент K наклона прямой и рассчитывалась напряженность древнего геомагнитного поля по формуле $B_{др} = K B_{лаб}$, где $B_{лаб} = 50$ мТл.

Исследование отклонений от прямой линии на диаграмме Арай-Нагаты по результатам исследования намагниченности обожженных глиняных изделий с помощью метода Телле, проведенное К.С. Бураковым и И.Е. Начасовой [Бураков, Начасова, 1983; Начасова, 1998] привело к заключению, что закономерности в этих отклонениях можно отнести к трем типам: кривые вогнутые, выпуклые и волнообразные. Наибольший разброс определений напряженности геомагнитного поля, полученный по разновозрастным образцам (до 20%), зафиксирован, если отклонение от прямой имеет вогнутый вид. К счастью, материала с подобными особенностями не так много. Исследование причин появления такого вида отклонений привело к выводу, что во время обжига органические добавки, внесенные в керамику и кирпичи, сгорая, создают восстановительную среду. Если при охлаждении печь закрыта и нет доступа воздуха, то в ферромагнитной фракции будет преобладать двухвалентное железо. Керамика приобретает черный цвет, что и было отмечено при рассмотрении образцов, при исследовании намагниченности которых, были получены отклонения от прямой

Таблица 1. Петромагнитные характеристики демонстрационной коллекции образцов керамики.

№ образца	M_s , А * м ² /кг	M_{rs} , А * м ² /кг	B_c , мТл	B_{cr} , мТл	M_{rs}/M_s	B_{cr}/B_c	Структура
190 ЯГ	9.65	2.23	8.59	17.64	0.23	2.05	PSD
511 ВОЛ	21.09	2.96	6.59	26.89	0.14	4.08	PSD-MD
603 РЯТН	22.89	5.48	11.02	25.86	0.24	2.35	PSD
762 ВВ	37.85	12.48	16.99	32.01	0.33	1.88	PSD
806 ВВ	32.69	6.04	6.81	16.14	0.18	2.37	PSD
807 ВО	181.90	28.78	8.50	19.07	0.16	2.24	PSD

Примечание: M_s — магнитный момент насыщения; M_{rs} — остаточный магнитный момент насыщения; B_c — коэрцитивная сила; B_{cr} — остаточная коэрцитивная сила; PSD — псевдооднородные зерна, MD — многодоменные зерна.

Таблица 2. Кристаллографические параметры магнитной фракции образцов демонстрационной коллекции керамики.

№ образца	Параметры фаз, Å			Примечание
	Фаза 1	Фаза 2	Фаза 3	
	a_0	a_0	a_0, c_0	
190 ЯГ	8.404(7)	8.324(7)	5,0277(15) 13,712(8)	Соотношение площадей пиков шпинельных фаз 1 и 2 (по дифракционным отражениям 220 и 511) равно 0,34 и 0,39, соответственно
603 РЯтн		8,335(6)		Наблюдается единичный пик гексагональной фазы (отражение 104)
806 ВВ		8,355(4)	5,040(4) 13,777(21)	
807 ВО		8,3307(23)	5,031(5) 13,737(18) 301,1(7)	
762 ВВ	8,381(21)	8,317(19)	5,032(3) 13,729(12)	Соотношение площадей пиков шпинельных фаз 1 и 2 (по отражениям 400 и 511) равно 0,6 и 0,69, соответственно

Примечание: a_0, c_0 — периоды кристаллической решетки; числа в скобках — погрешность определения параметров решетки в последнем знаке.

вогнутого вида. Проведенный эксперимент показал, что самое близкое к истинному значению напряженности поля получается не на прямолинейном участке, а в температурном интервале 170–450 °С. В случаях, когда имеется резкое изменение наклона в районе ниже 300 °С прямолинейных участков диаграммы Араи-Нагаты, определение напряженности поля не производится. Таких случаев очень немного. После применения критериев “pTRM check-point” и “pTRM check-tail” и исключения образцов, не удовлетворяющих критериям, было принято 58 определений напряженности древнего геомагнитного поля (таблица 3).

Хронология неолитических культур Центра Русской равнины (таблица 4), полученная на основе проведенного изотопно-углеродного датирования материала 35 неолитических поселений [Цетлин, 2008], позволяет сделать временную привязку фрагментов разного типа керамики, отобранных из пластов культурных отложений памятника Сахтыш I. Такая оценка имеет ошибки, связанные с разного рода причинами: с неопределенностью датирования этапов развития неолитических культур центра Русской равнины, расхождением средних датировок с временной привязкой интервалов развития разных культур в районе исследования, неопределенностью положения отобранного керамического материала в пласте культурных отложений и возможностью отнесения керамического материала к соседнему пласту. Временной интервал накопления пластов культурных отложений

памятника Сахтыш I в первом приближении можно определить по временной привязке совокупности керамического материала, отобранного из 1-го и 12-го пластов. Из пласта 1 были отобраны фрагменты керамики ЯГ, РЯ и РЯтн. Совокупность такого материала в пласте 1 позволяет определить интервал его накопления примерно в пределах 2800–2500 гг. до н.э., принимая во внимание, что к этому временному интервалу относятся финальные этапы развития культур, для которых определяющими являются ямочно-гребенчатая и редко-ямочная керамика. В пласте 12 обнаружены фрагменты керамики верхневолжской и волго-окской культур, что позволяет отнести начало накопления 12-го пласта к ~5020 г. до н.э. Таким образом, исходя из длительности временного интервала накопления культурных отложений памятника Сахтыш I, состоящих из 12 пластов, среднюю продолжительность накопления одного пласта можно оценить в ~210 лет.

Весь период существования поселения Сахтыш I можно разделить на два этапа — древний (около тысячи лет), в который развивается волго-окская и верхневолжская культуры, и более поздний этап (около полутора тысяч лет), для которого характерно существование на протяжении всего этого этапа культуры с ямочно-гребенчатой керамикой.

Коллекция ямочно-гребенчатой керамики является наиболее представительной. Керамика отобрана из восьми пластов культурных отложений

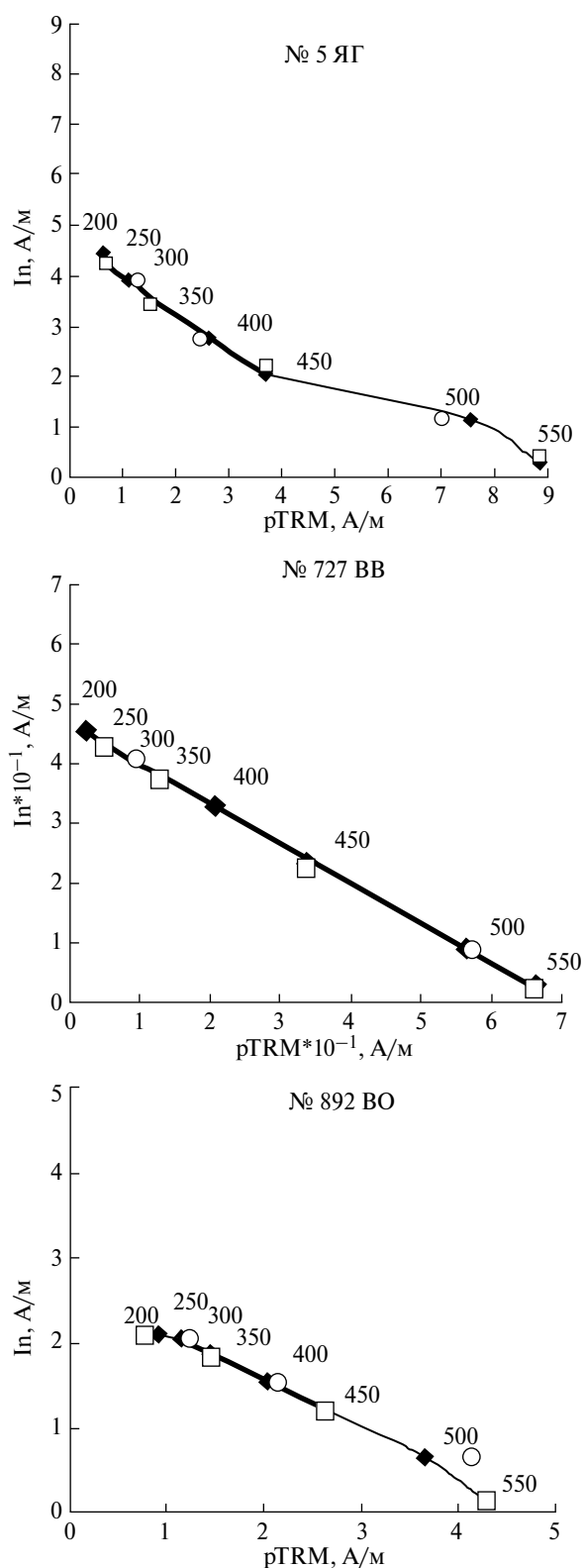


Рис. 3. Диаграммы Арай-Нагаты. Символами черный ромб обозначены результаты исследований по модифицированному методу Телье, белый кружок – pTRM check point, белый квадрат – pTRM check tail. Цифры около символов обозначают температуры нагрева.

(с 1 по 8). Временной интервал развития этой культуры ~4240–2520 гг. до н.э. (таблица 4). Можно принять этот материал в качестве опорного для позднего этапа существования поселения. Временной отрезок накопления одного пласта культурных отложений, из которых отобрана ЯГ керамика, составляет в среднем ~214 лет. Эта оценка практически совпадает с оценкой, полученной для всего временного интервала, охваченного культурными отложениями памятника Сахтыш I.

Развитию культуры с ямочно-гребенчатой керамикой предшествует период развития верхневолжской культуры, который датируется временным интервалом 5020–4060 гг. до н.э. Керамика верхневолжской культуры отобрана из 7–12-го пласта культурных отложений памятника. Временной интервал накопления 8-го пласта, соответствующего начальному этапу развития культуры с ямочно-гребенчатой керамикой, ~4240–4130 гг. до н.э., т.е. временной интервал финального этапа отложения керамики верхневолжской культуры вполне возможно относится к интервалу накопления нижней трети 7-го пласта. В этом случае оценка скорости накопления пласта культурных отложений дает продолжительность накопления пласта в среднем за ~180 лет.

В 10–12-м пластах памятника Сахтыш I были обнаружены фрагменты керамики волго-окской культуры. Время накопления керамики волго-окской культуры, параллельно с керамикой верхневолжской культуры, 5020–4450 гг. до н.э. Оценка средней продолжительности накопления пласта культурных отложений (10–12-го пласта) ~190 лет находится в согласии с оценкой, полученной по материалу верхневолжской культуры, что подтверждает правильность определения продолжительности накопления пластов.

Можно отметить некоторое изменение скорости накопления культурных отложений на разных временных интервалах. В 9-м пласте найдены только фрагменты керамики верхневолжской культуры, что, по-видимому, связано с быстрым развитием этой культуры и повышением скорости накопления культурных отложений.

Данные о геомагнитном поле, полученные в результате проведенных исследований, приведены в таблице 3. Временная привязка керамики, отобранной из пластов культурных отложений памятника Сахтыш I, была использована для построения картины изменения напряженности геомагнитного поля, во временном интервале функционирования поселения по данным, полученным по наиболее представительному материалу (трех неолитических культур – с ямочно-гребенчатой керамикой, верхневолжской и волго-окской культуры). На рисунке 4 а представлена картина изменения

Таблица 3. Напряженность геомагнитного поля по материалу неолитического поселения Сахтыш I

№ пласта	Датировка $t \pm 100$, г. до н.э.	Неолитическая культура	№ образцов	$B \pm \sigma$, мкТл
1	2630	ЯГ	1, 2, 3, 5	36.1 ± 4.3
		РЯ	32	44.0 ± 1.6
2	2840	ЯГ	188, 190, 193, 196	36.2 ± 1.4
		РЯ _{ТН}	189, 191	42.6 ± 20.8
		ВОЛ	194	44.0 ± 0.1
3	3050	ЯГ	302, 303, 304	33.5 ± 10.6
		РЯ _{ТН}	314, 317	52.1 ± 4.5
		ВОЛ	301	30.1 ± 1.0
4	3260	ЯГ	372, 373, 374, 377, 382	42.4 ± 6.4
		ВОЛ	380	34.1 ± 0.4
5	3470	ЯГ	453, 454, 455	37.2 ± 10.3
		РЯ	452	57.6 ± 0.4
6	3680	ЯГ	507, 508, 509	36.3 ± 2.7
		ВОЛ	511	33.4 ± 0.8
		РЯ _{ТН}	513	54.8 ± 0.2
		РЯ	531	40.3 ± 2.8
7	3890	РЯ _{ТН}	602, 603	37.4 ± 3.9
		ЯГ	605	53.0 ± 0.2
		ВВ	601	43.3 ± 0.2
8	4100	ЯГ	664	63.5 ± 0.2
		ВВ	661, 662, 663	48.6 ± 13.9
9	4390	ВВ	727, 729, 732, 762	43.0 ± 6.0
10	4570	ВВ	806, 808	29.0 ± 2.1
	4550	ВО	807, 810	41.2 ± 9.6
11	4750	ВВ	826, 828, 829	35.7 ± 1.8
	4740	ВО	832, 834	30.8 ± 1.3
12	4930	ВВ	893, 895	34.5 ± 4.6
		ВО	892	29.1 ± 0.2

Примечание: В – напряженность геомагнитного поля, σ – среднеквадратичная ошибка

напряженности геомагнитного поля. Полученные определения усреднены по пластам культурных отложений и отнесены к середине временных отрезков накопления слоев, из которых отобран материал. Вертикальными линиями показана среднеквадратичная ошибка определений. Данные представлены как в величинах напряженности магнитного поля (мкТл), так и в пересчете на виртуальный аксиальный дипольный момент VADM ($A \cdot m^2$) [Merrill et. al., 1996].

6. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ход изменения напряженности геомагнитного поля со временем: увеличение напряженности поля

во второй половине V тыс. до н.э., затем уменьшение, и мало изменяющийся средний уровень в IV–III тыс. до н.э. при довольно большом разбросе единичных определений. Разброс единичных определений изменяется со временем. Наибольший разброс приходится на временные отрезки накопления 8-го и 2-го пласта. Во второй половине V тыс. до н.э., к которой относится время накопления 8-го пласта, происходит увеличение напряженности поля, т.е. скорость изменения напряженности поля возрастает. Это находит отражение в увеличении разброса получаемых определений. На временном отрезке накопления культурных отложений 2–5-го пластов появляются наиболее низкие значения напряженности поля (около 22 мкТл)

Таблица 4. Хронология неолитических культур центра Русской равнины в гг. до н.э. [Цетлин, 2008].

Этапы развития неолита	Археологические культуры	Датировка этапов по ^{14}C , гг. до н.э.
I	ВО	5290–5022
II	ВО, ВВ	5021–4451
III	ВВ	4450–4237
IV	ВВ, ЯГ	4236–4058
V	ЯГ	4057–3737
VI	ЯГ, РЯТН	3736–3523
VII	ЯГ, РЯТН, РЯ	3522–3237
VIII	ЯГ, РЯТН, РЯ, ВОЛ	3236–2844
IX	ЯГ, РЯТН, ВОЛ	2843–2523
X	РЯТН, ВОЛ	2522–2202
XI	ВОЛ	2201–1720

для всего исследуемого временного интервала, что приводит к увеличению разброса определений.

Наименьший разброс единичных определений характерен для определений, полученных по наиболее древнему материалу, отобранному из 10–12 пластов культурных отложений памятника. Пределы изменения единичных определений напряженности поля, полученные по материалу верхневолжской культуры и керамики ямочно-гребенчатого типа на временном интервале, в котором существуют обе культуры (четвертая четверть V тыс. до н.э.) хорошо согласуются.

Нужно отметить, что во временном интервале IV – середина III тыс. до н.э., полученные в результате исследования ямочно-гребенчатой керамики средние для пластов значения напряженности геомагнитного поля, как правило, ниже, чем полученные по другому материалу, а значения, полученные в результате исследования редкоямочной тонкостенной керамики – выше. По-видимому, это систематическое расхождение связано с особенностями состава и возможно процедуры обжига керамики.

Картина изменения напряженности геомагнитного поля в V–III тыс. до н.э. в районе памятника Сахтыш I говорит о том, что изменение напряженности поля происходит в основном в пределах 30–60 мкТл. В первой половине V тыс. до н.э. средний уровень напряженности поля – около 35 мкТл, затем происходит повышение до значения около 50 мкТл в четвертой четверти V тыс. до н.э., после чего напряженность поля опять понижается

до среднего уровня около 40 мкТл для временного интервала вторая четверть IV – середина III тыс. до н.э.

Анализ рядов данных о напряженности геомагнитного поля, полученных для регионов Испании, Кавказа, Средней Азии и Сибири для последних семи – восьми тысячелетий показал, что изменение напряженности поля может быть аппроксимировано суперпозицией ряда дрейфующих волн различных периодов. “Основное” колебание имеет характерное время около восьми тысячелетий. Минимум “основного” колебания приходится на временной интервал V–III тыс. до н.э., т.е. временной интервал, к которому относится время функционирования поселения Сахтыш I. Средний уровень напряженности поля в этот временной интервал примерно в два раза меньше, чем средний уровень в максимуме 8-тысячелетнего колебания. На основное колебание накладываются колебания меньших периодов. Вариации разных периодов имеют разнонаправленный дрейф, что приводит к различию картин изменения напряженности геомагнитного поля в различных регионах [Начасова, 1998]. Прямое сопоставление полученных данных о напряженности геомагнитного поля, имеет смысл только для территорий, относящихся к одному долготному сектору. Так можно сравнить данные, полученные по материалу поселения Сахтыш I с результатами исследования материалов кавказских археологических памятников [Бураков и Начасова, 1988] (рис. 4б). Совместное рассмотрение картин изменения напряженности геомагнитного поля в V–III тыс. до н.э., полученных для двух районов, относящихся к одному долготному сектору ($\lambda \sim 40^\circ \text{E}$), но существенно различающихся по широте (Ивановская область, $\phi \sim 57^\circ \text{N}$ и Кавказ, $\phi \sim 42^\circ \text{N}$) имело целью исследование вариаций напряженности поля в одном долготном секторе в связи с тем, что ранее был обнаружен долготный дрейф вариаций. Для исключения влияния погрешностей, связанных с ошибками временной привязки данных, полученных по результатам исследования керамики разного вида, была рассмотрена картина вариаций в районе памятника Сахтыш I на временном интервале IV – III тыс. до н.э., полученная только по ямочно-гребенчатой керамике (рис. 4а). Сравнение картин изменения напряженности геомагнитного поля показало, что картины вариаций напряженности поля во времени имеют большое сходство. Моменты появления максимальных значений, повышения и понижения напряженности поля относятся к близким временным интервалам, не смотря на то, что датировки объектов, из которых отбирались образцы, имеют широкие пределы. Материал памятника Сахтыш I привязан к временной шкале отрезками ~ 200 лет. Датировка материала Кавказа оценивается временными отрезками от 100 до

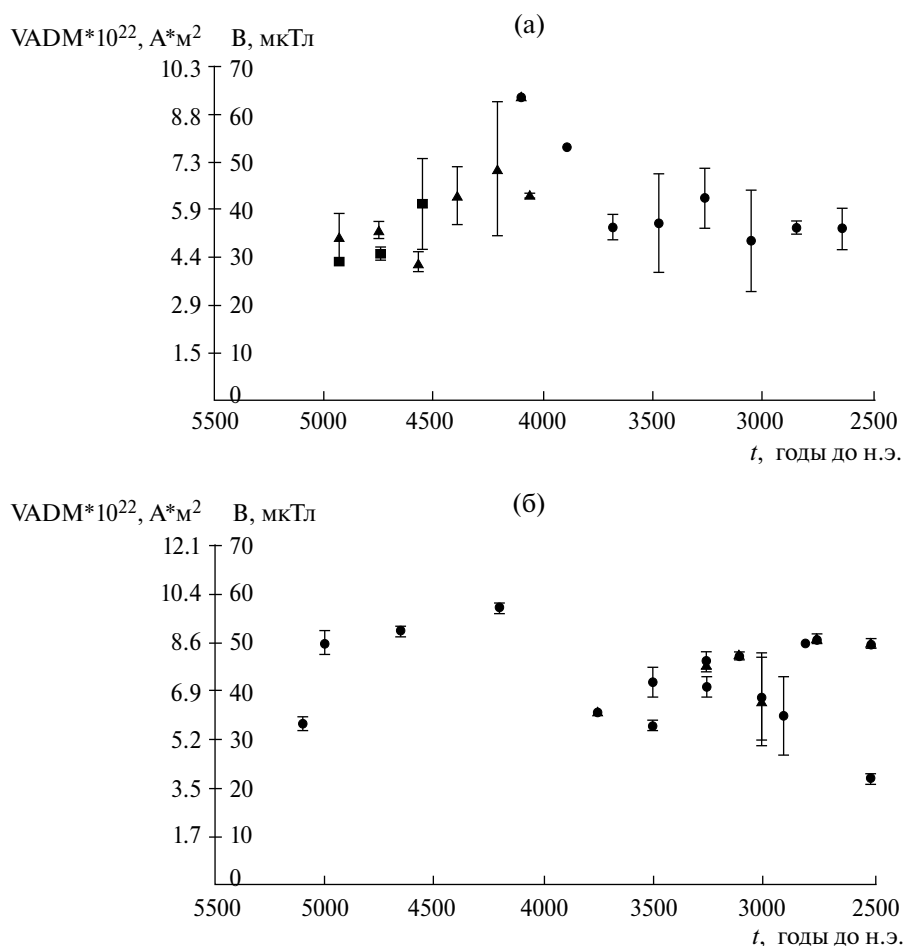


Рис. 4. Величина геомагнитного поля в единицах напряженности H и виртуального аксиального дипольного момента $VADM$ в зависимости от возраста керамики, полученная по материалу неолитического поселения Сахтыш I с указанием среднеквадратичной ошибки (а). Символами кружок обозначены результаты определений по ямочно-гребенчатой керамики, треугольник — по верхневолжской керамики, квадрат — по волго-окской керамики. Величина геомагнитного поля в единицах напряженности H и виртуального аксиального дипольного момента $VADM$ в зависимости от возраста керамики, полученная по материалу кавказских археологических памятников с указанием среднеквадратичной ошибки (б) [Бураков, Начасова, 1988].

600 лет. Полученная картина изменения напряженности поля свидетельствует о наличии вариаций, продолжительность которых может быть оценена в несколько столетий, что является характерной чертой изменчивости напряженности геомагнитного поля во времени. Данные о напряженности геомагнитного поля в обоих районах в основном располагаются в пределах 30–60 мкТл. Причем в ряде случаев разброс данных, полученных по материалам с одинаковой датировкой (отнесенным к одному и тому же временному отрезку), достигает ~30 мкТл, что связано, очевидно, с наличием быстрых (в несколько десятков лет) вариаций.

Определение среднего уровня напряженности геомагнитного поля при наличии вариаций имеет существенную погрешность в связи с недостаточной подробностью и неравномерностью

распределения по временной шкале полученных данных. При наличии систематических ошибок при получении данных о напряженности древнего геомагнитного поля погрешность определения среднего уровня возрастает. Средний уровень напряженности геомагнитного поля в районе памятника Сахтыш I во временном интервале IV — первая половина III тыс. до н.э., определенный по результатам исследования ямочно-гребенчатой керамики, ~39 мкТл, средние для пластов значения напряженности поля изменяются от 33.5 до 53.0 мкТл, а средний уровень, определенный по всему исследованному материалу ~42 мкТл (средние для пластов значения меняются в пределах 38.3–47.4 мкТл). Амплитуда вариаций напряженности геомагнитного поля на этом временном интервале может быть оценена в 7–10 мкТл. Сравнивая определения, полученные по разным наборам

данных можно в первом приближении получить оценку погрешности определения среднего уровня напряженности поля. При включении в рассмотрение всех полученных определений напряженности поля средний уровень изменился на ~ 3 мкТл. Это, по-видимому, заниженная оценка ошибки определения, так как наборы данных не независимые. Средний уровень напряженности геомагнитного поля во временном интервале IV — первая половина III тыс. до н.э., определенный по результатам исследования кавказского материала, совпадает со значением, полученным по всему исследованному материалу памятника Сахтыш I, отнесенному к этому временному интервалу, ~ 42 мкТл (средние для отдельных временных отрезков значения меняются в пределах 35.0–51.0 мкТл). По данным прямых наблюдений напряженность геомагнитного поля в середине XX века увеличивается с широтой от 48 мкТл в районе Кавказа до 51 мкТл в районе Москвы [Ивченко, Белугина, 1965], т.е. на 3 мкТл. По-видимому, ошибка определения среднего уровня напряженности геомагнитного поля существенно выше этой величины, что не позволяет получить широтный ход среднего уровня напряженности поля.

7. ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований получены данные об изменении напряженности геомагнитного поля в районе поселения Сахтыш I во временном интервале V–III тыс. до н.э. Напряженность поля изменяется в пределах 30–60 мкТл, имеют место вариации продолжительностью несколько столетий. В первой половине V тыс. до н.э. средний уровень напряженности поля — около 35 мкТл, затем происходит повышение до значения около 50 мкТл в четвертой четверти V тыс. до н.э. — первой четверти III тыс. до н.э, после чего напряженность поля опять понижается до среднего уровня около 40 мкТл для временного интервала вторая четверть IV — середина III тыс. до н.э. Картины изменения напряженности геомагнитного поля во временном интервале V–III тыс. до н.э., полученные в результате археомагнитных исследований, проведенных в двух районах, относящихся к одному долготному сектору ($\lambda \sim 40^\circ$ E), но существенно различающихся по широте (Ивановская область, $\varphi \sim 57^\circ$ N и Кавказ, $\varphi \sim 42^\circ$ N) показало, что картины вариаций напряженности геомагнитного поля во времени имеют большое сходство.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-05-00378 и гранта Министерства образования и науки РФ № 14.Z.50.31.0017.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бураков К.С., Начасова И.Е. Изменение интенсивности геомагнитного поля на территории Грузии в V–III тысячелетиях до н.э. // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 38. № 6. С. 1033–1035. 1988.
- Бураков К.С., Начасова И.Е. Введение поправки на химические изменения во время нагревов при определении напряженности древнего геомагнитного поля // Физика Земли. № 10. С. 93–96. 1985.
- Ивченко М.П., Белугина В.М. Каталог среднегодовых значений геомагнитного поля в магнитных обсерваториях с 1930 года, М. ИЗМИРАН СССР. 161 с. 1965.
- Начасова И.Е. Характеристики вариаций напряженности геомагнитного поля по археомагнитным данным. Автореф. докт. физ.-мат. наук. дисс. ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН. 65 с. 1998.
- Начасова И.Е., Акимова С.В. Вариации напряженности геомагнитного поля на пиренейском п-ове в последние тысячелетия // Физика Земли. № 5. С. 100–106. 2015.
- Начасова И.Е., Бураков К.С., Пилипенко О.В. Вариации напряженности геомагнитного поля в Сибири в последние тринадцать тысячелетий // Физика Земли. № 1. С. 46–53. 2015а.
- Начасова И.Е., Бураков К.С., Пилипенко О.В., Марков Г.П. Вариации геомагнитного поля и температуры в Испании в последнее тысячелетие // Физика Земли. № 4. С. 119–127. 2015б.
- Цетлин Ю.Б. Периодизация неолита Верхнего Поволжья. Методические проблемы. Москва. Институт археологии АН СССР, 196 с. 1991.
- Цетлин Ю.Б. Неолит центра русской равнины: орнаментация и методика периодизации культур. Тула: Гриф и К, 352 с. 2008.
- Coe R.S., Gromm'e S., Mankinen E.A. Geomagnetic paleointensities from radiocarbonated lava flows on Hawaii and the question of the Pacific nondipole low // J. Geophys. Res. V. 83. P. 1740–1756. doi:10.1029/JB083iB04p01740. 1978
- Day R., Fuller M., Schmidt V.A. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence // Physics Earth and Planetary Interiors. V. 13. P. 260–267. 1977.
- Evans M.E., Heller F. Environmental magnetism. Principles and applications of enviromagnetics. Academic press. An imprint of Elsevier Science. 299 p. 2003.
- Merrill R.T., McElhinny M.W., McFadden P.L. The magnetic field of the Earth. Paleomagnetism, the core, and the deep mantle. Academic Press. New York, Sydney, Tokyo, Toronto. 532 p. 1996.
- Nagata T., Arai Y., Momose K. Secular variation of the geomagnetic total force during the last 5000 years // J. Geophys. Res. V. 68. № 18. P. 5277–5281. 1963.
- Peterson G.A., Tauxe L., Biggin A.J., Shaar R., Jones L.C. Standard Paleointensity Definitions v1.0. 43 p. https://earthref.org/PmagPy/SPD/DL/SPD_v1.0.pdf. 2014.
- 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.