АРХЕОЛОГИЯ: ИСТОКИ КУЛЬТУРЫ

ARCHEOLOGY: THE ORIGINS OF CULTURE

УДК 902.2:550.838

DOI: 10.21209/1996-7853-2021-16-6-49-61

Алхуссейни Амир Хамид Саффах,
Казанский (Приволжский) федеральный университет
(г. Казань, Россия),
e-mail: safah436@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8252-542X>

Магнитометрические методы в археологии (на примере раскопок в г. Урук, Ирак): систематический обзор литературы

В статье рассматриваются различные теоретические точки зрения и концепции, существующие в современной литературе по проблеме концептуализации магнитометрии в аспекте археологических исследований. Цель статьи – систематизировать характеристики магнитометрических методов путём изучения того, как в литературе описывается конвергенция вопросов магнитометрии и археологических раскопок, а также определить области для будущих исследовательских разработок. При проведении данного исследования использовались такие общенаучные методы, как системный подход, анализ, синтез, обобщение. Проанализированы 72 научные статьи, полученные по результатам библиографического поиска в базах данных Scopus и РИНЦ. Систематический обзор доступной научной литературы выявил ограниченный, но быстро растущий охват данного феномена научными исследованиями, которые в основном сосредоточились на нескольких аспектах: характеристика магнитометрических методов, потенциал и проблемы их использования в археологии; археологическая разведка – исследования магнитной восприимчивости, магнитометрические исследования; археомагнитное датирование. Магнитометрические методы нашли широкое применение в археологических исследованиях города Урука и его окрестностей. Анализ литературы дал представление о важном вкладе информации, хранящейся в магнитной записи, в современную археологию Урука. Исследование магнитометром будет продолжено и даст исчерпывающую картину структуры Урука с течением времени. Дальнейшие исследовательские усилия по расширению сферы исследования возможностей использования магнитометрии в археологии могут быть направлены на преодоление ряда проблем. Перспективы расширения использования магнитометрии в археологии связаны с преодолением ряда методологических и технологических ограничений. Объединение данных магнитометрии и результатов статистических исследований, например, байесовской статистики, позволяет снизить количество ошибок каждого метода и приводит к повышению точности результатов.

Ключевые слова: геофизические исследования, магнитометрические исследования измерения, археологические раскопки, планировка древних городов, Урук

Alhousseini Ameer Hameed Saffah,
Kazan (Volga) Federal University
(Kazan, Russia),
e-mail: safah436@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8252-542X>

Magnetometric Methods in Archaeology (on the Example of Excavations in Uruk, Iraq): Systematic Literature Review

The article examines various theoretical points of view and concepts that exist in the modern literature on the problem of conceptualization of magnetometry in the aspect of archaeological research. The aim of the article is to characterize magnetometric methods by studying the literature which describes the convergence of magnetometry and archaeological excavation issues, as well as to identify areas for future research developments. In

© Саффах Алхуссейни Амир Хамид, 2021

conducting this study, such general scientific methods as a systematic approach, analysis, synthesis, and generalization were used. 72 scientific articles obtained from the results of a bibliographic search in the Scopus and RSCI databases were analyzed. A systematic review of the available scientific literature revealed a limited but rapidly growing coverage of this phenomenon by scientific research, which mainly focused on several aspects: characteristics of magnetometric methods, potential and problems of their use in archaeology; archaeological exploration-magnetic susceptibility studies, magnetometric studies; archaeomagnetic dating. Magnetometric methods are widely used in archaeological research of the city of Uruk and its surroundings. An analysis of the literature has provided insight into the important contribution of the information stored in the magnetic record to the modern archaeology of Uruk. The magnetometer study will continue and provide a comprehensive picture of the Uruk structure over time. Further research efforts to expand the scope of research on the possibilities of using magnetometry in archaeology can be aimed at overcoming a number of problems. The prospects for expanding the use of magnetometry in archaeology are associated with overcoming a number of methodological and technological limitations. Combining the magnetometry data and the results of statistical studies, such as Bayesian statistics, reduces the number of errors of each method and leads to an increase in the accuracy of the results.

Keywords: geophysical research, magnetometric measurement research, archaeological excavations, planning of ancient cities, Uruk

Введение. Измерения магнитометром относятся к разряду пассивных методов геофизических исследований [1, с. 45; 2]. Магнитометрические методы стали важными инструментами для научного исследования археологических памятников, причём наиболее заметными из них являются магнитные разведочные исследования и археомагнитное датирование [2, с. 75]. За рубежом магнитометрия в археологии применяется более активно, чем в России [3, с. 44]. Принципы, лежащие в основе этих методов, первоначально применялись для поиска рудных месторождений (магнитные аномалии для геологии и ресурсов) или палеомагнитного датирования (палеомагнетизм). Когда эти методы были адаптированы для археологических целей, было установлено, что требуются совсем другие методологии исследования. Археологические объекты относительно невелики и захоронены на небольшой глубине, а требуемая точность датировки составляет порядка десятков лет. Что ещё более важно, связь между археологическими особенностями и магнетизмом часто трудно предсказать, поэтому планирование исследований значительно усложнено. С этим связана проблема интерпретации, точной локализации на местности поселения, а также выяснение особенностей внутренней планировки [4, с. 47]. Геофизические результаты сами по себе имеют лишь ограниченное применение для решения археологической проблемы. Именно археологическая интерпретация результатов с использованием всей возможной справочной информации (условия местности, археологические знания, результаты других исследований и т. д.) даёт полезные новые идеи [5–7]. Если связь между магнитными свойствами и их археологическим формированием не-

известна, такая интерпретация может стать спекулятивной.

Понимание возможностей и нюансов использования **магнитометрических исследований в археологии** важно и для теории, и для практики. Как теоретически, так и практически данная тема представляет собой важную область для углубления и расширения нашего понимания ряда вопросов археологической науки.

Эта статья фокусируется на обзоре существующих исследований в области использования магнитометрии в археологии. Определяются различные теоретические точки зрения и концепции, применяемые для обозначения областей использования магнитометрических методов и проблем их применения. Представлены результаты магнитометрических исследований в Уруке (Варка), Ирак.

Цель статьи – охарактеризовать магнитометрические исследования путём изучения того, как в литературе описывается конвергенция вопросов магнитометрии и археологических раскопок, а также определить области для будущих исследовательских разработок.

Методология и методы исследования. При проведении данного исследования использовались такие общенаучные методы, как системный подход, анализ, синтез, обобщение.

Нами отобраны и проанализированы 72 публикации с помощью систематического обзора литературы.

Первичный поиск производился по базе Scopus по следующему алгоритму:

1) отбирались статьи из ряда предметных областей: «археология», «история», «естественные науки» и др.;

2) в тексте заголовка или среди ключевых слов были слова “magnetic” (“magnetometry”) “archeology”.

Статей, заголовки которых содержали указанные слова, нашлось 217. В 93 найденных статьях ключи содержали слова “magnetic” (“magnetometry”) “archeology”. После объединения статей в общую базу, удаления дубликатов мы получили 40 статей.

Аналогичная стратегия поиска была использована нами для отбора релевантных статей на русском языке в РИНЦ в области «магнетизм», «магнитометрия», «археология». В результате поиска и отбора релевантными были признаны 32 статьи, которые отобрали для анализа и включили в нашу базу.

Далее по причине ограничений, налагаемых требованиями к объёму публикуемых материалов, приведены выборочные результаты системного обзора с указанием на 24 источника из нашей базы литературы.

Результаты исследования и их обсуждение. Особенности магнитометрии в аспекте археологических исследований. Все магнитометрические исследования зависят от контраста в магнитном свойстве между объектом интереса и его окружающей средой, например, вмещающей почвенной матрицей [1]. Наиболее важными магнитными свойствами для археологических исследований являются намагниченность и магнитная восприимчивость.

Термореманентная намагниченность, вероятно, является наиболее хорошо изученным магнитным эффектом, вызванным прошлым человеческим жильём. Если материалы, богатые оксидами железа, нагреваются выше температуры Кюри, а затем охлаждаются в окружающем магнитном поле Земли, они могут приобрести значительную термостойкость, которая фиксируется в материале до дальнейшего нагрева. Типичными археологическими примерами являются печи, зачастую построенные из глины, которые во время циклов нагрева часто превышают температуры Кюри магнетита (Fe_3O_4) и маггемита ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (578 и 578–675 °C соответственно). Точно так же обожжённые кирпичи и керамика могут проявлять термореманентность, но, когда готовые кирпичи используются в качестве строительного материала, их отдельные векторы намагничивания будут указывать во многих различных направлениях, создавая общую ослаблен-

ную магнитную сигнатуру, то же самое относится и к кучам глиняных черепков [8]. Это знание позволило создать метод археомагнитного датирования, который стал новым инструментом для хронологических исследований в археологии.

Следует отметить, что существуют магнитометрические исследования над глинобитными сооружениями, которые показывают отрицательный магнитный контраст этих объектов с окружающей почвой [9].

Любой материал с магнитной восприимчивостью приобретёт индуцированную намагниченность в магнитном поле Земли. Следовательно, если предыдущее проживание человека на конкретной территории привело к повышению уровня магнитной восприимчивости в почвах, магнитные измерения могут быть использованы для их обнаружения. «Эффект ферментации» относится к восстановлению гематита до магнетита в присутствии анаэробных бактерий, которые росли в разлагающемся органическом материале, оставленном человеческим жильём, либо в виде мусорных ям, либо в деревянном строительном материале. Этот эффект требует дальнейших исследований, но изменения в условиях pH/Eh, а также использование бактериями железа в качестве источника электронов ответственны за увеличение магнитной восприимчивости [10]. Уровень магнитной восприимчивости, который может быть достигнут за счёт антропогенного усиления, также зависит от количества оксидов железа, первоначально доступных в почве для преобразования. Таким образом, уровень усиления может быть количественно определён путём соотнесения текущей магнитной восприимчивости почвы с максимально достижимым значением. Это соотношение называется «фракционным преобразованием» и определяется путём нагрева образца примерно до 700 °C, чтобы максимально повысить его магнитную восприимчивость [11, с. 207]. Однако с помощью этого метода невозможно определить, была ли первоначальная магнитная восприимчивость усилена педогенными или антропогенными воздействиями.

Более поздние исследования показали дополнительные возможности для повышения магнитной восприимчивости. Одним из наиболее интересных является магнитотаксическая бактерия, которая процветает в

органическом материале и выращивает кристаллы магнетита в своих телах [12].

Археологическая разведка. Археологическая разведка относится к неинвазивному исследованию археологических объектов и ландшафтов для обнаружения погребённых археологических объектов [13, с. 302]. Чтобы понять прошлые общества, очень важно проанализировать, как люди жили и взаимодействовали, а расположение археологических памятников даёт жизненно важные подсказки; например, структура фундамента или расположение ограды железного века в более широком ландшафте [14].

Исследования магнитной восприимчивости. Поскольку человеческое жильё может привести к повышенной магнитной восприимчивости, измерения этого свойства почвы используются для идентификации областей деятельности. Такие исследования могут проводиться либо на месте (т. е. с неинтрузивными полевыми измерениями), либо путём сбора образцов почвы для измерений в лаборатории.

Основное различие между полевыми и лабораторными измерениями заключается в обработке образцов. Общепринятой практикой является высушивание и просеивание образцов почвы перед измерением их магнитной восприимчивости в лаборатории. Сушка устраняет зависимость удельной магнитной восприимчивости массы от содержания влаги, что влияет на насыпную плотность. Просеивание удаляет грубые включения (например, гальку), которые магнитно незначительны. Таким образом, лабораторные измерения отражают магнитную восприимчивость почвенного компонента образца, следовательно, могут быть сопоставлены со стандартными таблицами. Однако при полевых измерениях на результаты могут влиять включения, не относящиеся к почве; на преобразование объёмных измерений в массовые значения влияют изменения факторов окружающей среды (например, содержание влаги в почве).

Абсолютное значение магнитной восприимчивости способно сильно варьироваться между различными участками, «усиление» может быть идентифицировано только как контраст между областями с более высокой восприимчивостью по сравнению с фоновыми измерениями [1; 15]. Для этого контраста не существует заранее определённого порога, поэтому оправдано

использование более качественных измерений магнитной объёмной восприимчивости на основе поля для археологических исследований.

Исследования магнитной восприимчивости, выполняемые либо в качестве полевых измерений на месте, либо в качестве лабораторных измерений образцов почвы, могут использоваться тремя различными способами: 1) в качестве основного метода разведки для получения информации об отдельных погребённых объектах; 2) в дополнение к магнитометрическим исследованиям и для помощи в их интерпретации путём предоставления данных о лежащих в основе изменениях магнитной восприимчивости; 3) для быстрого и грубого «рекогносцировочного» обследования с использованием больших интервалов отбора проб для указания областей усиления вместо описания отдельных объектов [16]. Обычно невозможно интерполировать грубо отобранные данные, и места поселений могут быть идентифицированы только в том случае, если несколько соседних измерений имеют стабильно высокие уровни по сравнению с окружающей областью.

Магнитометрические исследования. В отличие от исследований, которые непосредственно измеряют магнитную восприимчивость, магнитометрические исследования регистрируют магнитные поля, создаваемые контрастом намагниченности, независимо от того, индуцируется ли он в результате контраста магнитной восприимчивости или является остаточным, например, от термореманентной намагниченности. Обратный процесс реконструкции археологического объекта по его измеренной аномалии, как правило, невозможен из-за сложной формы и неоднородного состава таких объектов. Некоторые успешные инверсии были достигнуты, когда были сделаны археологически обоснованные предположения об ожидаемых формах объектов и магнитных свойствах почвы [17]. Если съёмки проводятся с достаточно высоким пространственным разрешением, картографические данные часто уже дают очень чёткие очертания погребённых объектов, позволяя их археологическую интерпретацию даже без инверсии данных. Однако при непосредственной интерпретации измеренных данных необходимо учитывать типичные характеристики магнитных аномалий.

В последнее время стало возможным собирать случайно отобранные данные с высокой точностью, которые могут быть либо привязаны к сетке с заранее определённым разрешением, либо визуализированы непосредственно с помощью триангуляции Делоне.

Из-за часто небольшой силы аномалий, вызванных археологическими особенностями, для съёмок требуются очень чувствительные магнитометры. «Дальность обнаружения» археологических геофизических исследований зависит от намагниченности и глубины объектов, а также чувствительности используемых магнитометров и поэтому не может быть легко определена. Основываясь на практическом опыте работы с обычными приборами, подсчитано, что типичные особенности почвы, такие как ямы или каналы, могут быть обнаружены на глубине до 1–2 м, в то время как железистые и терморективные особенности могут быть идентифицированы ещё глубже [18].

До их окончательной интерпретации данные магнитометров часто приходится обрабатывать с помощью компьютерного программного обеспечения для устранения недостатков съёмки и обработки полученных карт данных. Улучшение данных может уменьшить некоторые ошибки, возникающие в ходе опроса, такие как полосы и сдвиги между соседними линиями опроса. Чтобы сократить время исследования, соседние линии магнитометрической съёмки часто записываются, проходя вверх и вниз по полю («зигзагообразная» запись). Однако, поскольку большинство магнитометров имеют, по крайней мере, небольшую ошибку курса, изменение выравнивания датчика в результате этого метода сбора данных может привести к незначительным смещениям соседних линий, которые затем видны в виде полос в результирующих данных [1].

Ещё одной распространённой проблемой, возникающей с некоторыми приборами, является «дрейф» их значения смещения, в основном из-за температурных эффектов. Если регулярные измерения проводятся по выделенным опорным точкам, эффекты дрейфа могут быть уменьшены численно. Все эти методы улучшения данных требуют подробной информации о съёмке, например, о длине каждой линии съёмки, направлении линий, размере блоков данных между эталонными измерениями и т. д. Поэтому

крайне важно, чтобы метаданные были всесторонне записаны [19, с. 321, 332]. После того как все данные были скорректированы для общих проблем и все блоки обследования сбалансированы друг с другом, они могут быть собраны в более крупную единицу (часто называемую «составной») и обработаны далее.

Многие археологические магнитометрические исследования проводятся для решения чётко определённого вопроса, например, для поиска археологических останков в поле до его разработки для жилья. Дальнейшие археологические исследования (шурфовки и раскопки), а также бурение помогут уточнить полученные геофизические данные [20, с. 107].

Археоманитное датирование. Как и в случае палеоманитного датирования, для их датировки можно использовать магнитную остаточную силу, сохранённую в археологических сооружениях. Хотя были проведены некоторые исследования по отложениям («детритным»), остаткам в отложениях [8], археоманитное датирование в основном применяется к термореманентной намагниченности. При обжиге археологических структур, богатых оксидами железа, выше их температуры Кюри (около 650–700 °C) они легко намагничиваются в направлении окружающего поля, которое обычно является магнитным полем Земли. При последующем охлаждении ниже температуры блокировки эта приобретённая намагниченность образует магнитную остаточную намагниченность. При раскопках археологических объектов, подвергшихся такому нагреву и охлаждению, ориентированные образцы могут быть извлечены, измеряется их термореманентная намагниченность. Сравнивая эти данные с археоманитной калибровочной кривой, которая отображает изменение магнитных параметров со временем, можно определить дату последнего запуска археологического объекта.

Большинство методов археоманитного датирования используют две или три составляющие вектора остаточной намагниченности (наклон, склонение и иногда интенсивность). Поэтому обязательным условием является сбор образцов из конструкций, которые не изменили своей ориентации с момента последнего выстрела. Типичные особенности включают печи, очаги, обожжённые полы и печи. К сожалению,

не всегда можно оценить на месте, найден ли археологический объект нетронутым.

После последнего обжига археологической структуры магнитно-мягкие материалы, возможно, приобрели вязкую остаточную намагниченность, которая постепенно следовала за изменением направления магнитного поля Земли. Его вклад в общую намагниченность образца может привести к неправильным оценкам возраста, поэтому его необходимо оценить с помощью эксперимента Телье, а затем удалить. Последующее измерение вектора намагниченности образца, например, во вращающемся магнитометре, является хорошим приближением его термореманентности. Статистика Фишера используется для оценки распределения всех измеренных векторов намагниченности археологического объекта путём вычисления среднего значения направления вместе с его угловым разбросом α_{95} . Последнее описывает распределение всех

измеренных направлений вокруг среднего и представляет собой половину угла раскрытия конуса (следовательно, появляется как «радиус» на стереографическом графике), который содержит среднее векторное направление с вероятностью 95 %. Разброс отдельных векторных направлений может быть вызван ошибками в маркировке образца, ошибками измерений и распределением различных направлений в пределах одного объекта.

Магнитометрические исследования в Уруке. Урук, расположенный в плодородных землях долины р. Евфрат, примерно в 250 километрах от современного Багдада, является одним из древнейших городских центров мира и местом действия древнейшего эпоса человечества, знаменитого «Эпоса о Гильгамеше» [21]. Площадь городской территории достигала 5,5 квадратных километра, внутри его стен проживало от 30 до 60 тысяч человек (рис. 1).

Рис. 1. Урук (Варка) Зиккурат Инанны. Современный вид. Фото автора, 2019 г.

Fig. 1. Uruk (Varka) Ziggurat of Inanna. Modern view. Photo by the author, 2019

Археологические раскопки в г. Урук ведутся немецкими учёными с 1912 г. Несмотря на то, что полевые работы несколько раз прерывались из-за начала Первой и Второй мировых войн или других региональных конфликтов, в настоящее время проведено 46 полевых экспедиций. С 1954 г. ответственность за раскопки была передана SBAH Немецкому археологическому институту, который в 1955 г. смог открыть исследовательский

институт в Багдаде. Начало Ирано-иракской войны 1980 г. затруднило постоянное присутствие в Ираке, и полевые исследования могли проводиться только в некоторые годы: между 1982 и 1984 гг. проводилось обследование всего города внутри городской стены [22, с. 8], в 1985 и 1989 гг. были проведены раскопки домов в жилых кварталах Урука [23, с. 63]; в 2001 и 2002 гг. было дано разрешение на короткие полевые экспедиции для ге-

офизических исследований некоторых областей в город Урук [23, с. 135].

Предметом интереса статьи являются результаты магнитометрических исследований в Уруке как пример многолетних исследований, демонстрирующий потенциал и возможности применения метода в археологии. Магнитные разведки в Уруке начались в 2001 г. под руководством ван Эсс. Моргарата и Йорга Фассбиндера и были продолжены в 2002 г. [24], затем возобновлены в 2016 г., наконец, проведены на большей площади

в 2018 г. (рис. 2, источник: van Ess M., Fassbinder). В ходе работ использовались три различных типа магнитометров: caesium Scintrex Smartmag SM4G-special, магнитометр caesium Geometrics G-858G, оба применяемые в качестве магнитометров полного поля в двухдатчиковой конфигурации и Foerster Ferex 4.032, градиентометр fluxgate в четырёхдатчиковой конфигурации [12]. Датчики были установлены на раме и передвигались по зигзагообразному маршруту примерно на 30–40 см над землёй.

Рис. 2. Топографическая карта съёмки местности методом магнитных измерений, 2001–2018 гг.

Fig. 2. Topographic map of the area survey by magnetic measurement method, 2001–2018

Поверхность на территории Урука представляет собой мягкий пылеватый грунт, что исключает возможность использования любой колёсной системы.

Магнитометрические исследования были начаты на участке, расположенном внутри городской стены, в непосредственной близости от неё. В дальнейшем охват территории, подлежащей исследованию, был расширен за счёт всех остальных райо-

нов городища, на которых проведение работ возможно по техническим условиям, за исключением центрального района Урука, где поселенческие слои имеют мощность всего от 10 до 20 см и залегают один под другим на многих уровнях. Геофизические исследования были начаты в юго-западной части города и были сосредоточены на территории к северу от дворца Синкашид и к юго-западу от него, на большом канале, проходящем

через эту местность на востоке и его ответвлениях, в гавани и районе поселений на востоке. Второй участок исследований расположен у южной городской стены, где была изучена структура городской стены, сады и поля рядом с ней, технические сооружения для большого западного канала и огромный комплекс зданий к югу.

В 2016 г. исследовали район в центре города, чтобы проверить возможность исследования этой части с помощью магнитометра (зона 5). Здесь, между районом святилища Эанна и храмом Эшгал (Иригал), большая, почти квадратная территория,

никогда ранее не исследовавшаяся археологически.

Район 1 дал представление о поселениях, садах и полях вблизи городской стены, а также о сети каналов, которые, очевидно, служили главными артериями Урука (рис. 3, источник: van Ess M., Fassbinder). Магистральный канал был прослежен в восточной части магнитограммы на протяжении 400 м. Его ширина составила 10 м, в некоторых местах были прослежены ответвления канала меньшего размера, отходившие от основного ирригационного сооружения в западном направлении.

Рис. 3. Карта района съёмки окрестностей Урука

Fig. 3. Map of the Uruk neighborhood survey area

Слева и справа от канала находятся поселения, разделённые меньшими каналами, ведущими к полям и садам к западу от поселений. Поля характеризуют каналы разной ширины, самые маленькие из которых относятся к системам полива.

В зоне 2 можно увидеть городскую стену и канал, пересекающий городскую стену (рис. 4, источник: J. Fassbinder и M. Scheiblecker, 2018). Здесь отчётливо виден ход городской стены и через определённые промежутки времени – её бастионы, известные из предыдущих раскопок и документации

в других частях города. Кроме того, магнитограмма показывает, что части стены с внутренней и внешней сторон сделаны из обожжённого кирпича, что ранее не было известно. Также очевидно, что стена состояла из большего количества отдельных линий, чем было известно ранее, и что канал, опоясывающий город, проходил сразу за ним. Весь комплекс стен был почти 40 метров в ширину. Сама стена с её внутренней и внешней оболочками из обожжённого кирпича имеет толщину около 9 метров, что соответствует результатам раскопок.

Рис. 4. Магнитограмма участков обзора 1, 3 и 4

Fig. 4. Magnetogram of survey areas 1, 3 and 4

Новые данные о структуре застройки Урука были получены и на основании магнитограммы юго-западных ворот Зоны 2, которые имеют ширину почти 15 метров. Данное сооружение исследователи предлагают интерпретировать также как шлюз, через который выводятся через стену большие западный и центральный каналы внутреннего города. Снаружи ворота были окружены башнями и укреплены обожжённым кирпичом (рис. 5, источник: Becker и J. Fassbinder,

2002). Перед шлюзом на расстоянии 240 метров небольшой боковой канал разветвляется на юго-восток, расширяясь примерно на полпути перед большим зданием из обожжённых кирпичей, превращаясь в небольшую структуру, похожую на гавань.

Зона 4 характеризуется двумя основными особенностями (рис. 5). На юге большая структура, идущая с востока на запад, кажется, сопровождает каналы к северу и югу от неё, ведущие к востоку, то есть к центру

города. Другое, более короткое и похожее сооружение, в нескольких метрах западнее, очевидно, блокирует часть основного канала. Ни одной из этих структур не видно на поле, которое в этой части города очень ровное. Без раскопок определить характер

этих построек не удастся. Однако кажется, что они контролируют или направляют поток воды и каналы. Район к югу от него и другие районы к северу от него характеризуются затопленным материалом, который был перенесён сюда с северо-востока.

Рис. 5. Магнитограмма зоны обзора 2

Fig. 5. Magnetogram of the viewing area 2

Заклучение. Существует множество способов использования магнитных методов в археологических исследованиях, что объясняет их популярность в научной среде. Магнитометрические исследования стали эффективным инструментом археологических исследований, не менее важным, чем проведение археологических вскрытий, но более требовательным к технологическому обеспечению и методам интерпретации. Вместе с тем этот магнитометрический анализ продолжает и расширяет логику стратиграфического изучения археологических памятников, когда выделение различных горизонтов происходит на основании различий в условиях их формирования, проявляющихся в окрасе, структуре и составе включений в материал слоя. Сходным образом различия в условиях формирования тех или иных напластований фиксируются и при магнитометрическом исследовании, когда ключевую роль для выделения объектов играет выявление магнитного контраста на различных участках исследования.

Несмотря на то, что объяснение магнитных свойств археологизированных объектов может быть сложным и требует проведения отдельного исследования, само применение магнитометрии для выявления объектов существенно расширяет сферу доступных для анализа данных. Археомангнитное датирование является важной частью комплексной стратегии археологического датирования.

Подробный анализ магнитограмм, топографическая информация и доступные археологические данные позволяют лучше понять динамику развития и планировку древних городских центров, а также функции отдельных объектов, включённых в их структуру, без проведения раскопок. Объединение данных магнитометрии и результатов статистических исследований, например байесовской статистики, позволяет снизить количество ошибок каждого метода и приводит к повышению точности результатов. Богатство информации, хранящейся в магнитных данных, безусловно, внесло важный вклад в современную археологию Урука. Можно предполагать, что продолжение магнитометрических исследований даст исчерпывающую картину структуры Урука в будущем.

Ограничения исследования. Обзор литературы, проведённый в данной работе, имеет некоторые ограничения. Во-первых, мы сосредоточились на научных журнальных статьях и материалах конференций, написанных на русском и английском языках. Мы отдаём себе отчёт в том, что исключение работ на других языках, а также других типов публикаций могло бы ограничить наши выводы. Во-вторых, из-за метода поиска (по ключевым словам), применяемого к публикациям, вполне возможно, что некоторые статьи, связанные с направлением исследования, но содержащие другие ключевые слова, были исключены.

Список литературы

1. Позднякова О. А. Оценка перспектив применения магниторазведки для изучения археологических памятников // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия «История, филология». 2020. № 5. С. 44–57.
2. Фассбиндер Й. В. Е. Магнитометрия в археологии – от теории к практике // Российская археология. 2019. № 3. С. 75–91.
3. Муравьев Л. А., Носкевич В. В., Федорова Н. В. Результаты магнитометрических исследований археологических памятников эпохи бронзы на Южном Урале // Уральский геофизический вестник. 2009. № 1. С. 44–49.
4. Носкевич В. В., Федорова Н. В., Муравьев Л. А. Картирование археологических памятников с помощью магнитометрии // Уральский геофизический вестник. 2010. № 2. С. 47–52.
5. Бондар К. М., Дараган М. М., Прилуков В., Полин С. В., Цюпа И. В., Диденко С. В. Магнитометрия скифского курганного могильника Екатериновка в Нижнем Поднепровье // Геофизический журнал. 2019. № 3. С. 134–152.
6. Едемский Д. Е., Попов А. В., Прокопович И. В., Садыков Т. Р., Блохин Е. К., Каспари Д. Применение геофизических методов при обследовании периферии кургана Туннуг-1 // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 11. С. 40–48.
7. Asăndulesei A. Geophysical prospecting techniques used in archaeology. Magnetometry // Studia antiquae et archaeologica. 2011. No. 1. Pp. 5–17.
8. Clark A. J., Tarling D. H., Noel M. Developments in archaeomagnetic dating in Britain // Journal of Archaeological Science. 1988. No. 15. Pp. 645–667.
9. Fassbinder J. W. E., Becker H., von Ess M. Prospections magnétiques à Uruk (Warka). La cité, du roi Gilgamesh (Iraq) // Dossiers Archéologie. 2005. Vol. 308. Pp. 20–25.

10. Linford N. T. Magnetic Ghosts: Mineral Magnetic Measurements on Roman and AngloSaxon Graves // *Archaeological Prospection*. 2004. Vol. 11. Pp. 167–180.
11. Crowther J., Barker P. Magnetic susceptibility: distinguishing anthropogenic effects from the natural // *Archaeological Prospection*. 1995. Vol. 2. Pp. 207–216.
12. Becker H., von Ess M., Fassbinder J. W. E. Uruk: Urbane Strukturen im Magnet- und Satellitenbild, in Uruk: 5000 Jahre Megacity // Petersberg: Imhof Verlag. 2013. Pp. 355–361.
13. Krivánek R. Different Use of Magnetometric Field Methods in Czech Archaeology // *Proceedings of the 39th International Symposium for Archaeometry*. Leuven. 2012. Pp. 302–305.
14. Fassbinder J. W. E., Hahn S., Scheiblecker M., von Ess M. Uruk (Iraq) Magnetometry in the first Megacity of Mesopotamia. Текст: электронный // Fassbinder J. W. E. et al. (Eds.) 2018 NSGG Archaeological Geophysics Uruk. Recent Work in Archaeological Geophysics. 2018. URL: https://imu-munich.academia.edu/Departments/Near_Eastern_Archaeology/Documents?page=2. (дата обращения: 20. 05. 2021).
15. Hodgetts L., Dawson P., Eastaugh E. Archaeological magnetometry in an Arctic setting: a case study from Maguse Lake, Nunavut // *Journal of Archaeological Science*. 2011. Pp. 1754–1762.
16. Fassbinder J. W. E., Gorka T. H. Beneath the desert soil – archaeological prospecting with a caesium magnetometer // M. Reindel and G. A. Wagner (Ed.) *New technologies for archaeology. Multidisciplinary investigations in Palpa and Nasca, Peru*. Berlin: Springer. 2009. Pp. 49–69.
17. Neubauer W., Eder-Hinterleitner A. 3D-Interpretation of Postprocessed Archaeological Magnetic Prospection Data // *Archaeological Prospection*. 1997. No. 4. Pp. 191–205.
18. Kattenberg A. E., Aalbersberg G. Archaeological prospection of the Dutch perimarine landscape by means of magnetic methods // *Archaeological Prospection*. 2004. No. 11. Pp. 227–235.
19. Kvamme K. L. Magnetometry: Nature's gift to archaeology // J. K. Johnson (Eds.) *Remote Sensing in Archaeology: An Explicitly North American Perspective*. Tuscaloosa: The University of Alabama Press, 2006.
20. Бездудный В. Г. Магнитометрические исследования на Хумаринском городище // *Хумаринское городище. Итоги междисциплинарных исследований*. М., 2020. С. 90–111.
21. Абед А. Н. А. «Расширение Урука» и влияние новых раскопок на оценку ранней урбанизации Месопотамии // *Клио*. 2015. № 4. С. 146–148.
22. Finkbeiner U. Uruk. Kampagne 35–37, 1982–1984 // *Die archäologische Ober- flächenuntersuchung (Survey), Ausgrabungen in Uruk-Warka*. Endberichte. Mainz, 1991. 333 p.
23. Boehmer R. M. Ausgrabungen in Uruk-WarkaUruk. Kampagne 38, 1985. Endberichte. 1987. Butterlin P. *Architecture et société au Proche-Orient Ancien. Les bâtisseurs de mémoire en Mésopotamie*. Paris, 2018. Pp. 242.
24. Van Ess M., Fassbinder J. W. E. Magnetic prospection of Uruk (Warka) Iraq. *La Prospection Géophysique // Dossiers Archeologie*. 2005. Vol. 308. Pp. 20–25.

Статья поступила в редакцию 28.05.2021; принята к публикации 30.06.2021

Сведения об авторе

Саффах Алхуссейни Амир Хамид, аспирант, Казанский (Приволжский) федеральный университет; 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18; e-mail: safah436@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8252-542X>.

Библиографическое описание статьи

Саффах Алхуссейни Амир Хамид. Магнитометрические методы в археологии (на примере раскопок в г. Урук, Ирак): систематический обзор литературы // *Гуманитарный вектор*. 2021. Т. 16, № 6. С. 49–61. DOI: 10.21209/1996-7853-2021-16-6-49-61.

References

1. Pozdnyakova, O. A. Assessment of the prospects for the application of magnetic survey for the study of archaeological monuments. *Bulletin of Novosibirsk State University*, no. 5, pp. 44–57, 2020. (In Rus.)
2. Fassbinder, J. W. E. Magnetometry in Archeology – from theory to practice. *Russian Archeology*, no. 3, pp. 75–91, 2019. (In Rus.)
3. Muravyov, L. A., Noskevich, V. V., Fedorova, N. V. Results of magnetometric studies of archaeological sites of the Bronze Age in the Southern Urals, no. 1, pp. 44–49, 2009. (In Rus.)
4. Noskevich, V. V., Fedorova, N. V., Muravyov, L. A. Mapping of archaeological sites using magnetometry, no. 2, pp. 47–52, 2010. (In Rus.)

5. Bondar, K. M., Daragan, M. M., Prilukov, V., Polin S. V., Tsyupa, I. V., Didenko, S. V. Magnetometry of the Scythian burial mound Ekaterinovka in the Lower Dnieper region. *Geophysics journal*. no. 3, pp. 134–152, 2019. (In Rus.)
6. Edemsky, D. E., Popov, A. V., Prokopovich, I. V., Sadykov, T. R., Blokhin, E. K., Kaspari, D. Application of geophysical methods in the survey of the periphery of the Tunnug-1 mound. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, no. 11, pp. 40–48, 2019. (In Rus.)
7. Asăndulesei, A. Geophysical prospecting techniques used in archaeology. *Magnetometry. Studia antiquae et archaeologica*, no. 1, pp. 5–17, 2011. (In Engl.)
8. Clark, A. J., Tarling, D. H., Noel, M. Developments in archaeomagnetic dating in Britain. *Journal of Archaeological Science*, no. 15, pp. 645–667, 1988. (In Engl.)
9. Fassbinder, J. W. E., Becker, H., von Ess, M. Prospections magnétiques à Uruk (Warka). *La cité, du roi Gilgamesh (Irak). Dossiers Archéologie*, vol. 308, pp. 20–25, 2005. (In French)
10. Linford, N. T. Magnetic Ghosts: Mineral Magnetic Measurements on Roman and Anglo-Saxon Graves. *Archaeological Prospection*, vol. 11, pp. 167–180, 2004. (In Engl.)
11. Crowther, J., Barker, P. Magnetic susceptibility: distinguishing anthropogenic effects from the natural. *Archaeological Prospection*, vol. 2, pp. 207–216, 1995. (In Engl.)
12. Becker, H., von Ess, M., Fassbinder, J. W. E. Uruk: Urbane Strukturen im Magnet- und Satellitenbild, in Uruk: 5000 Jahre Megacity. Petersberg: Imhof Verlag, 2013: 355–361. (In German)
13. Krivánek, R. Different Use of Magnetometric Field Methods in Czech Archaeology, *Proceedings of the 39th International Symposium for Archaeometry*. Leuven. 2012: 302–305. (In Engl.)
14. Fassbinder, J. W. E., Hahn, S., Scheiblecker, M., von Ess, M. Uruk (Iraq) Magnetometry in the first Megacity of Mesopotamia. In Fassbinder J. W. E et al. editors 2018 NSGG Archaeological Geophysics Uruk. Recent Work in Archaeological Geophysics. 2018. Web. 20. 05. 2021. https://imu-munich.academia.edu/Departments/Near_Eastern_Archaeology/Documents?page=2. (In Engl.)
15. Hodgetts, L., Dawson, P., Eastaugh, E. Archaeological magnetometry in an Arctic setting: a case study from Maguse Lake, Nunavut. *Journal of Archaeological Science*, pp. 1754–1762, 2011. (In Engl.)
16. Fassbinder, J. W. E., Gorka, T. H. Beneath the desert soil – archaeological prospecting with a caesium magnetometer. In M. Reindel, G. A. Wagner, (eds) *New technologies for archaeology. Multidisciplinary investigations in Palpa and Nasca, Peru*. Berlin: Springer, 2009: 49–69. (In Engl.)
17. Neubauer, W., Eder-Hinterleitner, A. 3D-Interpretation of Postprocessed Archaeological Magnetic Prospection Data. *Archaeological Prospection*, no. 4, pp. 191–205, 1997. (In Engl.)
18. Kattenberg, A. E., Aalbersberg, G. Archaeological prospection of the Dutch perimarine landscape by means of magnetic methods. *Archaeological Prospection*, no. 11, pp. 227–235, 2004. (In Engl.)
19. Kvamme, K. L. Magnetometry: Nature's gift to archaeology. In J. K. Johnson, editor *Remote Sensing in Archaeology: An Explicitly North American Perspective*. 2006: 321–332. (In Engl.)
20. Bezdudny, V. G. Magnetometric studies on the Khumarinsky settlement. *Results of interdisciplinary research*. Moscow, 2020: 90–111. (In Rus.)
21. Abed, A. N. A. "The expansion of Uruk" and the impact of new excavations on the assessment of the early urbanization of Mesopotamia. *Klio*, no. 4, pp. 146–148, 2015. (In Engl.)
22. Finkbeiner, U. Uruk. Kampagne 35–37, 1982–1984. *Die archäologische Ober- flächenuntersuchung (Survey), Ausgra- bungen in Uruk-Warka. Endberichte*. Mainz, 1991:333. (In German)
23. Boehmer, R. M. Ausgrabungen in Uruk-Warka. *Kampagne 38, 1985. Endberichte*. 1987. Butterlin P. *Architecture et société au Proche-Orient Ancien. Les bâtisseurs de mémoire en Mésopotamie*. Paris, 2018: 242. (In French)
24. Van Ess, M., Fassbinder, J. W. E. Magnetic prospection of Uruk (Warka) Iraq. *La Prospection Géophysique. Dossiers Archeologie*, vol. 308, pp. 20–25, 2005. (In French)

Received: May 28, 2021; accepted for publication June 30, 2021

Information about author

Saffah Alhusseini Ameer Hameed, Postgraduate Student, Kazan (Volga) Federal University; 18 Kremlyovskaya st., Kazan, 420008, Russia; e-mail: safah436@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8252-542X>.

Reference to the article

Saffah Alhusseini Ameer Hameed. Magnetometric Methods in Archaeology (on the Example of Excavations in Uruk, Iraq): Systematic Literature Review // *Humanitarian Vector*. 2021. Vol. 16, No. 6. PP. 49–61. DOI: 10.21209/1996-7853-2021-16-6-49-61.