

УДК 902:550.3

И.В. Журбин¹, А.А. Бобачев², В.П. Зверев¹¹*Физико-технический институт УрО РАН
ул. Кирова, 132, Ижевск, 426000, Россия
E-mail:zhurbin@udm.ru*²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Ленинские горы, ГСП-2, Москва, 119992, Россия
E-mail:bobachev@rambler.ru*

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КУЛЬТУРНОГО СЛОЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ (городище Иднакар, IX–XIII века)*

Основные подходы к комплексным геофизическим исследованиям

При геофизических исследованиях археологических памятников наиболее часто используются электро-разведка, магниторазведка и сейсморазведка. В последние годы возможности археогеофизики существенно расширились за счет применения георадаров. Вместе с тем ни один из указанных методов не является универсальным. Это связано с тем, что они отличаются по регистрируемым физическим полям. Следовательно, результативность их применения во многом зависит от физических свойств объектов поиска и вмещающего грунта, их контрастности и размеров, а также геологического строения участка местности. Кроме того, существенное влияние на результаты измерений оказывают мешающие факторы различного происхождения – неоднородность физических свойств грунтов, высокий уровень природных и техногенных помех [Никитин, Хмелевской, 2004, с. 236]. Значительную роль играют характеристики используемой измерительной аппаратуры (например,

*Исследования выполняются при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Адаптация народов и культур к изменениям природной среды, социальным и техногенным трансформациям” (проект “Моделирование структуры и этапов формирования городища Иднакар по результатам междисциплинарных исследований”).

быстродействие, помехозащищенность, наличие памяти данных, многоэлектродность).

Каждый из указанных методов эффективен при выявлении лишь определенных типов археологических объектов [Станюкович, 1997; Geophysical survey..., 1995]. Например, георадарная съемка уверенно фиксирует крупногабаритные объекты, достаточно контрастирующие по физическим свойствам со средой, – сооружения из камня, кирпичную кладку, колонны, мостовые, подвалы и погреба. При поиске локальных археологических объектов малого размера, а также при выявлении близко расположенных объектов данный метод менее результативен. Кроме того, георадарная съемка имеет существенные ограничения по глубине исследований и эффективна только при работе на сухих песчаных грунтах. Магниторазведка позволяет фиксировать остатки печей, горнов, сгоревших сооружений, а также следы кузнечного производства. Менее уверенно определяются такие археологические объекты, как стены, дороги, траншеи, деревянные конструкции, “пятна” жилищ без каменной кладки. Электроразведка успешно применяется при изучении разновременных печей, очагов и котлованов жилищ, цоколей стен, структуры оборонительных сооружений, архитектурных остатков, а также при выявлении подземных пустот и нарушений почвенного слоя, однако при поиске объектов из дерева и грунтовых погребений без внутримогильных конструкций возникают су-

ществленные трудности. Достоверность интерпретации археогеофизических данных во многом зависит от геологических и природных условий [Смекалова и др., 2000, с. 130–133]. Иными словами, не существует геофизического метода, который позволяет выявлять все возможные археологические объекты и не имеет ограничений по условиям применения.

Именно с указанными обстоятельствами и связаны основные проблемы при интерпретации данных археогеофизики. Во-первых, из-за объективных ограничений выбранного геофизического метода на геофизической “карте” могут быть не зафиксированы археологические объекты определенного типа, вследствие чего реконструкция планировки памятника по данным археогеофизики окажется неполной. Во-вторых, в зависимости от условий залегания в культурном слое (мощность и состав перекрывающего слоя, заполнение объекта и пр.) одинаковые археологические объекты могут по-разному отражаться на геофизической “карте”. При этом проверочные раскопки на участках, соответствующих ключевым, наиболее показательным геофизическим аномалиям (что является обязательным элементом методики археогеофизических исследований), не всегда обеспечивают однозначную археологическую интерпретацию геофизических данных.

Поэтому уже с 1960-х гг. в отечественной научной практике ставился вопрос о разработке специализированной методики измерений на основе комплексирования геофизических методов [Шилик, 1965]. Такой подход направлен на повышение эффективности археогеофизических исследований при изучении памятника, культурный слой которого содержит объекты различных типов. При формировании комплекса методов также должно учитываться влияние факторов, искажающих результаты измерений (электромагнитные поля, ямы и канавы, металлический мусор пр.). Позднее появилась тенденция многолетних комплексных геофизических исследований, позволяющих разработать и апробировать методику измерений и методы интерпретации результатов для определенных категорий археологических памятников. Это подразумевало последовательное применение на одном памятнике группы геофизических методов, сравнение полученных данных и оценку потенциала каждого из использованных методов. Наиболее ярким примером успешных комплексных археогеофизических исследований является изучение поселения Панское I [Щеглов, 1985], грунтовых могильников Северного Кавказа [Шрайбман и др., 1988] и некрополя Херсонеса [Антонова и др., 1979]. В настоящее время данное направление активно развивается в рамках междисциплинарных исследований археологических памятников Сибири и Алтая, например, городища переходного времени

от бронзы к железу Чича I [Чича..., 2004] и могильника Сопка-2 [Молодин и др., 2001].

Безусловно, использование набора геофизических методов позволяет существенно повысить информативность археогеофизических измерений. Однако при существующей ситуации и ограниченных ресурсах экспедиций такое комплексирование весьма сложно реализовать на практике. Поэтому предлагается иной подход к археогеофизическим исследованиям – проведение измерений с использованием нескольких модификаций выбранного метода электроразведки. Данный вариант комплексирования основан на том, что различные конфигурации измерительной установки эффективны при выявлении объектов и геологических структур различных типов [Электроразведка..., 1989, с. 174, табл. VI. 1]. Под конфигурацией измерительной установки понимается взаимное расположение питающих и измерительных электродов на исследуемом участке. Следовательно, методика комплексных электроразведочных исследований культурного слоя может быть основана на адаптивном выборе измерительной установки и алгоритма проведения измерений в зависимости от поставленной задачи, вида археологических объектов и структуры культурного слоя. Такая методика требует существенного (более чем в 10 раз) увеличения объема полевых измерений. Для эффективного ее применения необходима современная многоэлектродная аппаратура. При экспериментальной апробации методики комплексных измерений был использован автоматизированный многоэлектродный электроразведочный комплекс “Иднакар”, который позволяет реализовывать различные методики измерений при неизменном расположении электродов на участке исследований [Журбин, Зверев, 1998].

Эффективность такого подхода была показана при геофизических исследованиях средневекового городища Иднакар, расположенного в Удмуртии [Иванова, 1998; Иванова, Журбин, 2006]. Электроразведочные измерения проводились на базе археологической экспедиции Удмуртского института истории, языка и литературы УрО РАН (начальник экспедиции д-р ист. наук, профессор М.Г. Иванова). Иднакар относится к числу городищ, которые возникли в среднем течении р. Чепцы в конце I тыс. и существовали с конца IX до XII–XIII вв. [Иванова, 2000, с. 179–180]. Они связаны с именами богатырей удмуртского эпоса.

Реконструкция планировки городища Иднакар

На первом этапе геофизических исследований основной задачей являлась реконструкция планировки той части городища, на которой не предполагались рас-

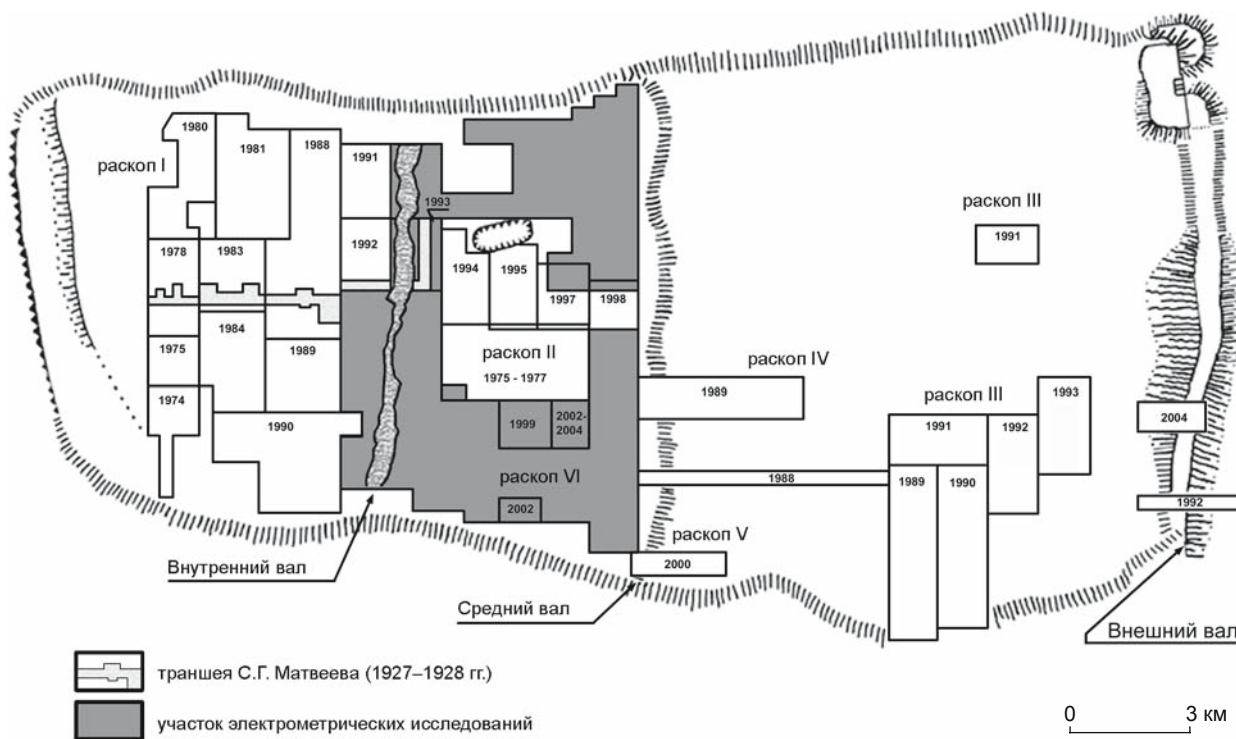


Рис. 1. План городища Иднакар.

ковки (рис. 1). По электрометрическим данным была построена карта расположения археологических объектов, определяющих структуру и планировку городища, – оборонительные сооружения, глинобитные площадки построек и ямы [Иванова, Журбин, 2006]. Достаточно уверенная интерпретация выявленных аномалий основана на сравнении результатов археологических раскопок и геофизических исследований [Алексеев и др., 1995; Журбин, Зелинский, 1999; Иванова и др., 1998]. Анализировалась форма аномалий, а также их взаимное расположение, наличие видимой упорядоченности (рис. 2). Предполагалось, что конфигурация аномалии совпадает с реальной формой археологического объекта в плане.

При измерениях, ориентированных на реконструкцию планировки, использовалась методика площадного электропрофилирования, которая позволяет проводить послойные измерения [Zhurbin, Maluyugin, 1998]. Она основана на геометрическом приеме выбора глубины исследований: чем больше расстояние между питающими электродами, тем больший объем грунта влияет на результаты измерений. Следовательно, каждое измеренное значение можно условно соотнести не только с координатами на поверхности X и Y , но и с некоторой эффективной глубиной Z (рис. 3).

Если провести серию измерений при неизменном расстоянии между питающими электродами, то полученный массив данных будет отражать геофизи-

ческую “планиграфию” культурного слоя. В текущем массиве данных эффективная глубина z_i – постоянная величина; координата точки измерений x_i последовательно изменяется в диапазоне $[X_{\min}, X_{\max}]$, y_i – в диапазоне $[Y_{\min}, Y_{\max}]$. Изменяя расстояние между питающими электродами и повторяя описанный алгоритм перебора координат x_i и y_i , получаем “планиграфию” культурного слоя на другой глубине Z . Таким образом, последовательное изменение эффективной глубины z_i обеспечивает формирование набора пространственно упорядоченных массивов данных. Совокупность этих массивов позволяет предварительно оценить изменение “планиграфии” памятника по глубине – относительное распределение археологических объектов в пространстве культурного слоя. Очевидно, что нет однозначного соответствия между археологическими планиграфическими срезами культурного слоя и геофизическими картами, моделирующими распределение удельного сопротивления в горизонтальной плоскости на заданной глубине. Термины “геофизическая планиграфия” и “геофизическая стратиграфия” введены в данной статье лишь для удобства описания методики геофизических исследований.

Геофизические данные, полученные с использованием описанной методики, отражают обобщенную, интегральную картину распределения сопротивления в культурном слое. Проблема состоит в том, что при увеличении эффективной глубины Z сохраняется вли-

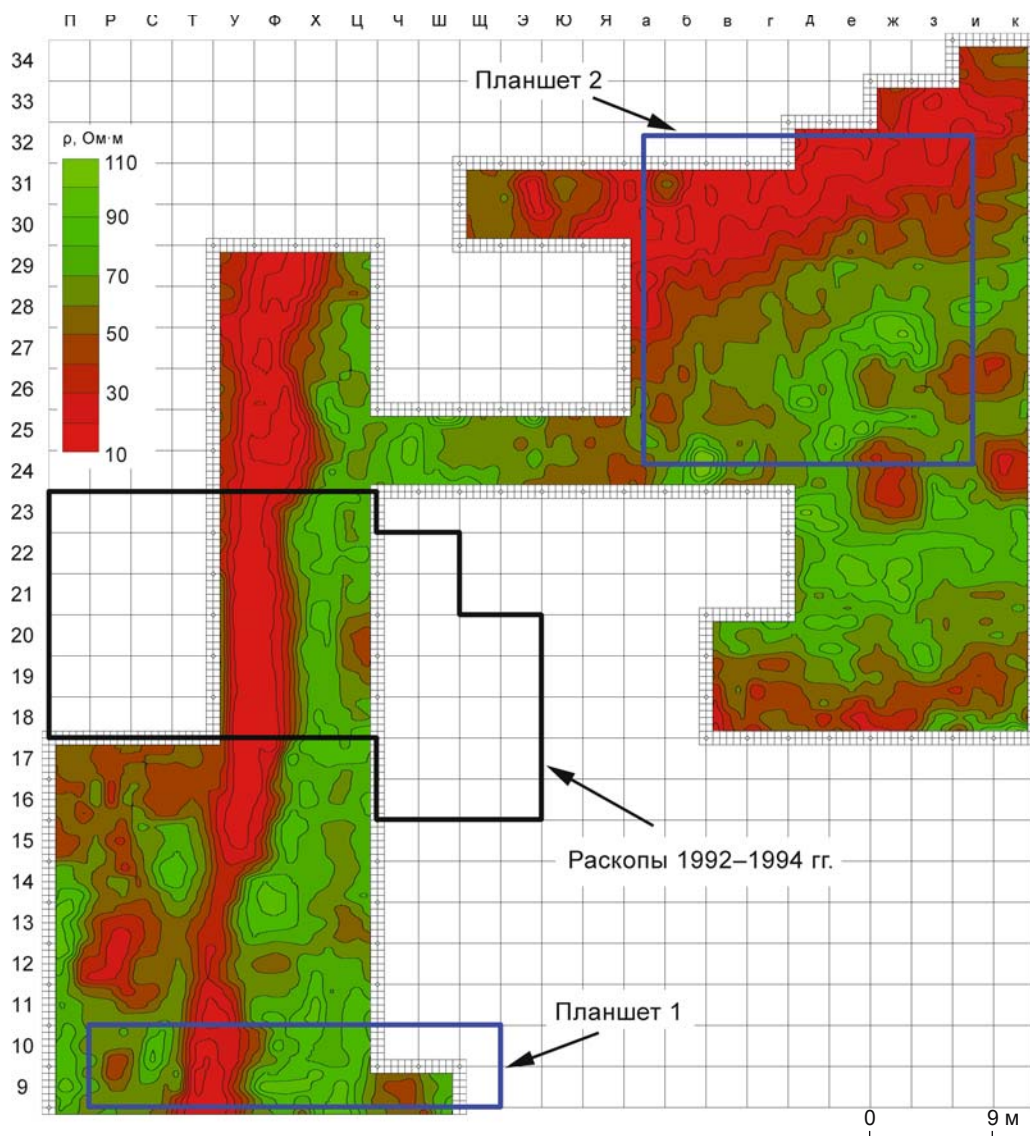


Рис. 2. Карта распределения кажущегося сопротивления на территории центральной части городища Иднакар (фрагмент).

яние верхних слоев грунта на результаты текущих измерений. Иными словами, при заданной эффективной глубине z_i выявляются объекты, расположенные в диапазоне глубин $[0; z_i]$, при эффективной глубине $z_{i+1} - [0; z_{i+1}]$ и т.д.

Как показали результаты исследований, методика реконструкции геофизической «планиграфии» – высокоскоростной и эффективный способ картирования территории археологических памятников. Ее достоинством является то, что полученная информация обеспечивает достоверную качественную интерпретацию – выявление

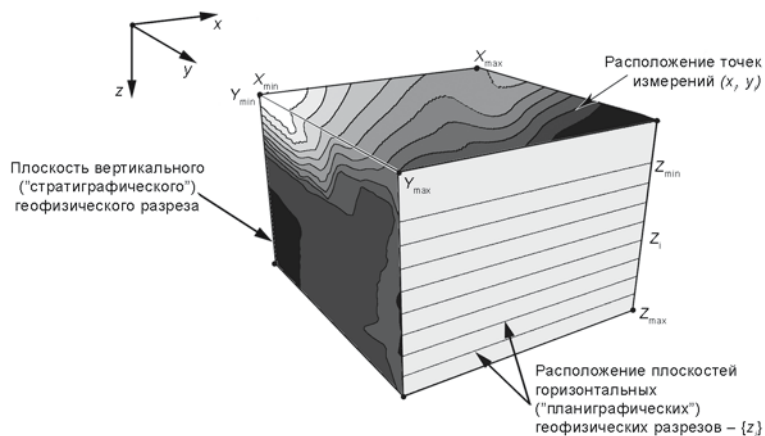


Рис. 3. Пространственное расположение набора геофизических разрезов.

местоположения археологических объектов различных типов и грубую оценку глубины их залегания. Вместе с тем ввиду обобщенной картины распределения сопротивления конфигурация геофизических аномалий “усредняет” форму реального археологического объекта. Кроме того, эта методика не позволяет проводить количественную интерпретацию полученных данных, т.е. моделировать расположение археологических объектов в культурном слое на основе изучения глубинного строения выделенных аномалий. Следовательно, для детальной реконструкции пространственного распределения удельного сопротивления данные геофизической “планиграфии” необходимо дополнять информацией о стратиграфии памятника.

Реконструкция геометрических параметров археологических объектов

На участке, расположенном в центральной части городища, были проведены экспериментальные исследова-

ния, ориентированные на отработку методики археогеофизических измерений, при использовании которой возможна количественная интерпретация геофизических данных [Журбин и др., 2006]. Задача состояла в определении размеров и расположения ключевых археологических объектов на вертикальном разрезе культурного слоя. Результаты предварительных “планиграфических” измерений позволили предположить наличие на экспериментальном участке таких определяющих структуру городища Иднакар объектов, как вал, ров, ямы (см. рис. 2, планшет 1). Они существенно различаются по составу грунтов и пространственному расположению в культурном слое. Следовательно, по результатам анализа данных “стратиграфических” геофизических исследований возможна оценка достоверности реконструкции геометрических параметров археологических объектов различных типов. В качестве проверочных использовались материалы раскопок, которые проводились вблизи экспериментального планшета в 1992–1994 гг. (см. рис. 2). Экстраполя-

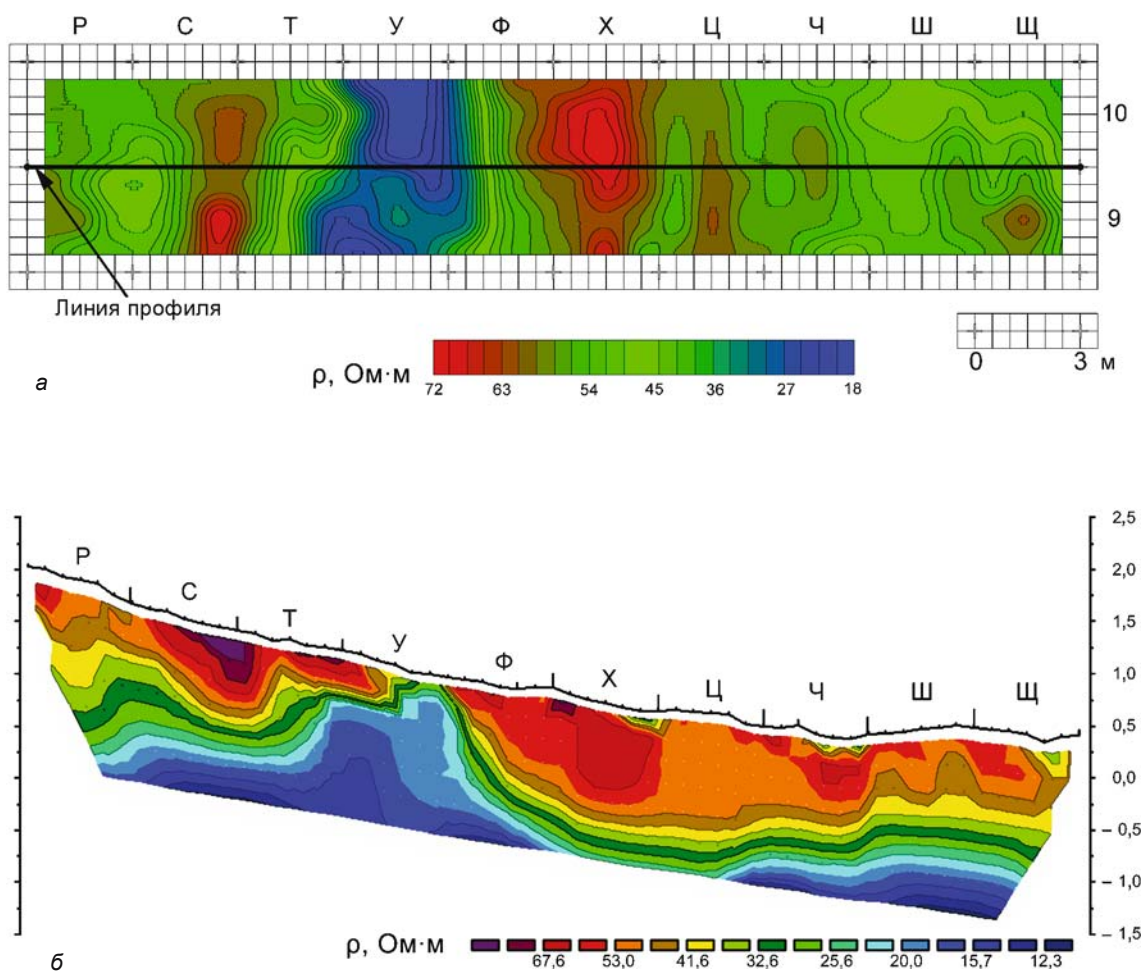


Рис. 4. Реконструкция структуры культурного слоя на планшете 1.
а – геофизическая “планиграфия”, диапазон глубин 0,0–0,35 м; б – геофизическая “стратиграфия”.

ция археологических данных о составе, геометрических характеристиках и структуре культурного слоя была необходима для оценки достоверности интерпретации геофизических данных.

Методика измерений предполагала использование на одном и том же участке двух модификаций электроразведки – электротомографии и площадного электропрофилеирования. При этом интерпретация основывалась на совместном анализе результатов “планиграфических” и “стратиграфических” геофизических измерений, которые осуществлялись по единой координатной сетке. Электротомография позволяет изучать стратиграфию культурного слоя. Эта методика нацелена на количественную двумерную интерпретацию данных, полученных методом сопротивлений [Бобачев и др., 1996; Dahlin, 2001; Griffiths, Barker, 1993]. В первом приближении ее можно представить как осуществление серии измерений на одном профиле с различными эффективными глубинами. Результатом обработки и интерпретации полученных данных является геоэлектрический разрез – карта возможного распределения удельного сопротивления в вертикальной плоскости YZ , расположенной вдоль выбранного профиля (см. рис. 3). С точки зрения представления информации, наблюдается прямая аналогия с набором стратиграфических разрезов вдоль бровок археологического раскопа. Необходимо отметить, что из-за неоднозначности геофизической интерпретации полученные геоэлектрические разрезы следует оценивать только как вероятный вариант.

По результатам “планиграфических” измерений (рис. 4, а) однозначно определяются местоположение и контуры внутреннего оборонительного вала (область низкого сопротивления в западной части участка – кв. У9–10). По археологическим данным, не позднее XI в. внутренний вал утратил свое значение, верхняя часть его была скрыта, в заполнении рва разместились производственные сооружения [Иванова, 1999, с. 107–108]. В настоящее время внутренний вал визуально не прослеживается; его контур восстановлен по результатам геофизических исследований, подтвержденных раскопками [Иванова и др., 1998]. При всех глубинах зондирования фиксируются “разрыв” в аномалии (кв. У9) и небольшое смещение южной части фрагмента вала в западном направлении. Геофизические разрезы (рис. 4, б) позволили выявить причины искажений формы “планиграфической” аномалии. На всех “стратиграфических” профилях отмечено разрушение монолитного массива вала поздними врезками. При этом его часть, расположенная в центре экспериментального участка, разрушена в большей степени. Очевидно, что такое существенное изменение геометрических характеристик основания вала и определяет “разрыв” в аномалии на “планиграфической” геофизической карте. Кроме того, на

“стратиграфических” разрезах отражается близкая к вертикальной граница внутренней стороны вала.

Вероятно, перечисленные нарушения связаны с археологическими раскопками городища Иднакар, которые в 1927–1928 гг. проводил С.Г. Матвеев. Для выяснения характера внутреннего вала вдоль его внутреннего и наружного склонов исследователем были заложены траншеи, а в трех местах сделаны поперечные разрезы [Иванова, 1998, с. 9, 18–19]. Траншеи и один из поперечных разрезов зафиксированы М.Г. Ивановой при раскопках городища в 1992–1994 гг. В ходе этих археологических исследований выяснились некоторые особенности раскопок 1920-х гг. В частности, траншея, расположенная с внутренней стороны вала, практически на всех участках была доведена до уровня материкового слоя*, а траншея, заложённая вдоль внешнего склона, относительно неглубокая (в среднем ок. 1,0 м) и захватывает, как правило, только верхнюю часть культурных напластований на границе вал–ров**. Вероятно, именно этими обстоятельствами определяется специфическая геометрия вала, зафиксированная при “стратиграфических” геофизических исследованиях, – близкая к вертикальной граница внутренней стороны вала и ступенчатообразная – к внешней (рис. 4, б).

По результатам “планиграфических” геофизических исследований ров внутренней линии оборонительных укреплений практически не фиксируется, но его геометрические характеристики хорошо реконструируются на “стратиграфических” разрезах (рис. 4, б). При этом можно оценить не только ширину, но и глубину рва. Геометрические параметры основания вала и рва, определяемые по “планиграфическим” и “стратиграфическим” геофизическим данным, хорошо согласуются с результатами раскопок***. По археологическим данным, ширина сохранившейся части массива вала составляет 4,0–4,5 м, а высота сохранившейся насыпи – 1,0–1,3 м; ширина рва 7–8 м, он углублен в материк на 1,5–1,6 м [Там же, с. 22].

Таким образом, геофизическими методами были определены геометрические параметры оборонительных сооружений внутренней линии укреплений городища, а также выявлена конфигурация поздних врезок, разрушивших монолитный массив вала. Экс-

*Иванова М.Г. Отчет о раскопках Солдырьского городища Иднакар в Глазоском районе Удмуртской республики в 1992 г. Ижевск, 1993. – Научно-отраслевой архив УИИЯЛ УрО РАН. Рукописный фонд. Оп. 2-Н. Д. 1113. Рис. 12–18.

**Иванова М.Г. Отчет о раскопках Солдырьского городища Иднакар в Глазоском районе Удмуртской республики в 1993 г. Ижевск, 1994. – Научно-отраслевой архив УИИЯЛ УрО РАН. Рукописный фонд. Оп. 2-Н. Д. 1117. Рис. 10–16.

***Иванова М.Г. Отчет о раскопках... в 1992 г.; Она же. Отчет о раскопках... в 1993 г.

периментальные исследования показали, что “планиграфические” карты кажущегося сопротивления и вертикальные геоэлектрические разрезы взаимно дополняют друг друга. Сравнительный анализ разноплановой геофизической информации позволяет уточнить геометрические параметры объектов и повысить достоверность реконструкции планировки археологических памятников по геофизическим данным. Тем не менее использование описанной методики не дает возможности полностью решить задачу пространственной реконструкции культурного слоя в целом. Остается нерешенной проблема “усреднения” формы реального археологического объекта при “планиграфических” измерениях.

Пространственная реконструкция культурного слоя

Для решения этой задачи необходима разработка дополнительных методов, которые позволят при “планиграфических” исследованиях исключить влияние слоев грунта, перекрывающих искомым археологический объект, т.е. перейти от качественного анализа результатов измерений (“планиграфическая” карта) к количественной интерпретации (пространственная модель культурного слоя).

Для экспериментальных исследований был выбран участок в северной части площадки городища, примыкающий к склону холма (см. рис. 2, планшет 2). Результаты предварительных измерений выявили протяженную аномалию низкого сопротивления вдоль склона между внутренним и средним оборонительными валами (линия между кв. а30–и33). Форма, размеры и уровень сопротивления на этом участке соответствуют параметрам внутреннего оборонительного вала. Кроме того, зафиксированы четыре компактно расположенные локальные аномалии пониженного сопротивления и подпрямоугольной формы (е26–ж26; и26–27, к26–27; к24; е24–23, ж24–23). Аналогичные по форме и сопротивлению аномалии соответствуют глинобитным площадкам – основаниям жилых и производственных сооружений Иднакара. Несмотря на наличие прямых аналогий, однозначная археологическая интерпретация “планиграфических” геофизических данных невозможна. Во-первых, маловероятно создание дополнительных оборонительных сооружений городища вдоль крутого высокого склона мыса коренной береговой террасы. Во-вторых, компактное расположение аномалий, предположительно соответствующих площадкам сооружений, не в полной мере согласуется с выявленными в результате многолетних археологических раскопок закономерностями ориентации сооружений и планировки

городища [Иванова, 1998, с. 81–85]. Экспериментальные исследования по апробации методики пространственной реконструкции культурного слоя были необходимы для достоверной археологической интерпретации геофизических данных.

Комплексные исследования включали площадное электропрофилеирование, электротомографию (методика рассмотрены выше) и трехмерную съемку (рис. 5). В целом методика измерений при трехмерной съемке сходна с площадным электропрофилеированием: координаты точек измерений x_i , y_i и z_i последовательно изменяются в диапазоне соответственно $[X_{\min}, X_{\max}]$, $[Y_{\min}, Y_{\max}]$ и $[Z_{\min}, Z_{\max}]$ (см. рис. 3). Отличие состоит в том, что существенно увеличивается число измерений, которые проводятся для нескольких типов электроразведочных установок. При этом в результате количественной интерпретации выявляются аномалии, относящиеся только к заданному диапазону изменения эффективной глубины: $[0; Z_{\min}]$, $[Z_{\min}, z_i]$... $[z_i, z_{i+1}]$, ... Таким образом, геофизические данные трехмерной съемки отражают не обобщенную, интегральную картину распределения сопротивления в культурном слое, а послойную.

На территории экспериментального участка по данным электропрофилеирования выявлено три аномалии, предположительно соответствующие глинобитным площадкам сооружений – кв. е26–ж26, и26–27, е24–ж24 (см. рис. 5). В северо-западной части фиксируется фрагмент протяженной аномалии. Профили, по которым проводились измерения методом электротомографии, были расположены таким образом, чтобы каждая из интересующих аномалий пересекалась двумя линиями во взаимно перпендикулярных направлениях. На подпланшете для трехмерной съемки фиксируются фрагменты двух аномалий (кв. е26–ж26; е24–ж24) и значительный участок межжилищного (?) пространства.

Наиболее информативными оказались “стратиграфические” разрезы культурного слоя по профилям 2 и 5 (рис. 6). В частности, аномалия в кв. е26–ж26 выявляется на профиле 2 как однородная по структуре область грунта, расположенная в диапазоне 4,0–7,5 м от точки 1 (см. рис. 5; 6, а), а на профиле 5 – в диапазоне 15,0–19,0 м от точки 3 (см. рис. 5; 6, б). При этом геометрические характеристики объекта по результатам “планиграфических” и “стратиграфических” геофизических исследований хорошо согласуются между собой. Достаточно уверенная археологическая интерпретация аномалии базируется на данных многолетних раскопок [Там же, с. 30–31; Иванова, Журбин, 2006, с. 71–72]. Основания сооружений городища Иднакар представляют собой плотно утрамбованные площадки из ярко-оранжевой глины. Обычно первые их очертания фиксируются непосредственно под слоем дерна и массив глины прослеживается вплоть до

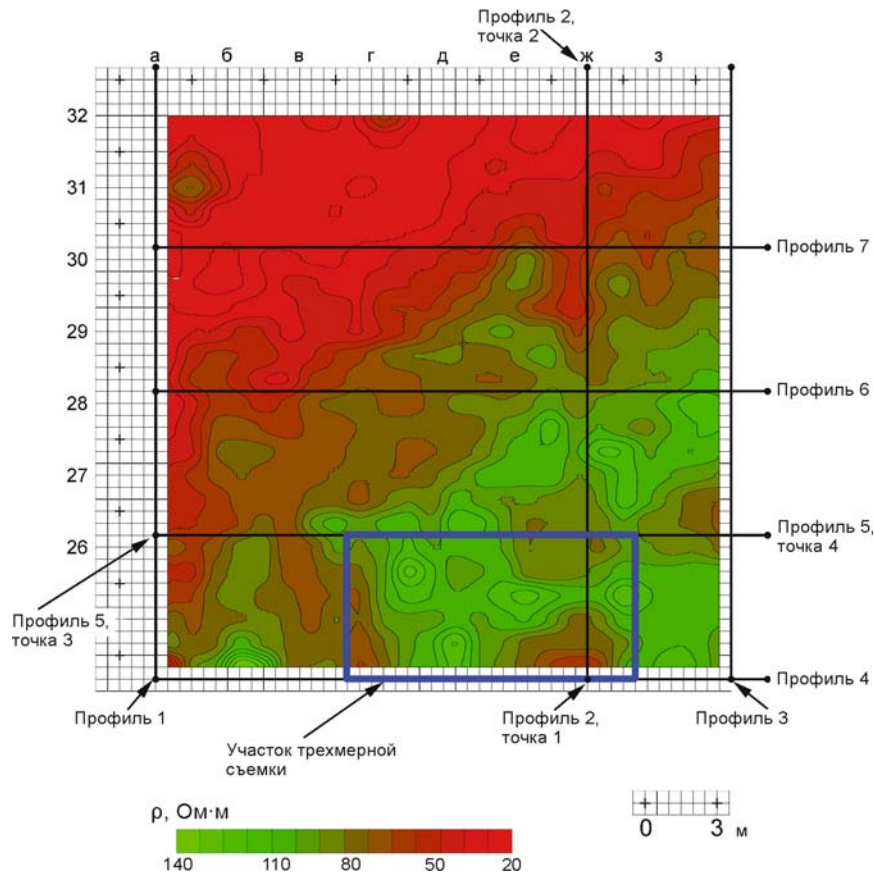


Рис. 5. Карта распределения кажущегося сопротивления на территории экспериментального планшета 2 (диапазон глубин 0,0–0,35 м), расположение профилей и участка трехмерной съемки.

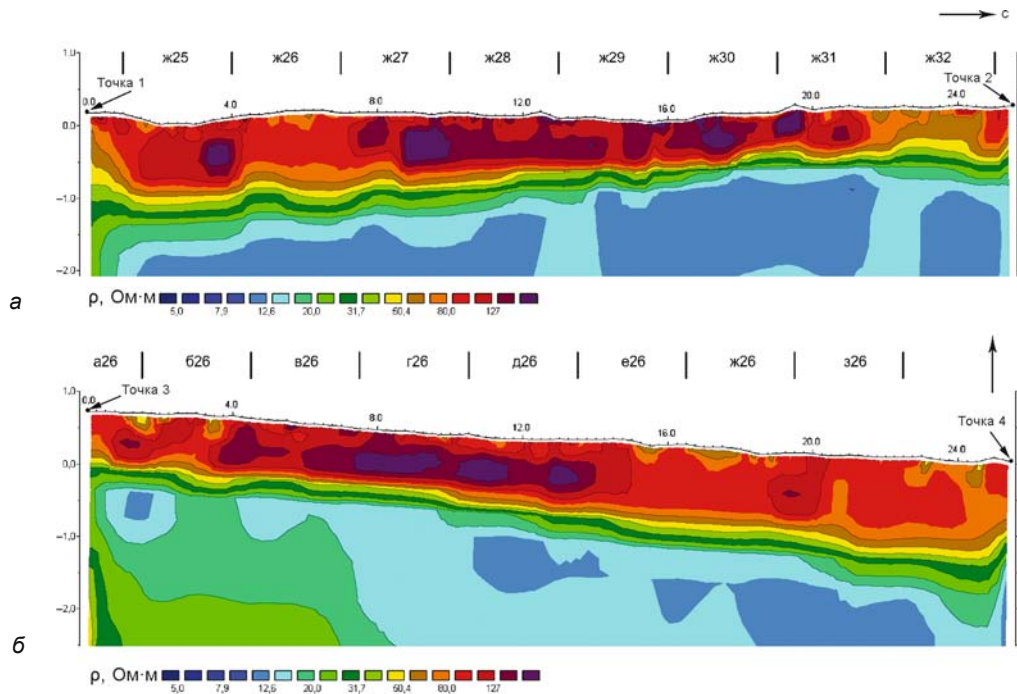


Рис. 6. Геоэлектрические разрезы на территории экспериментального планшета 2.
а – профиль 2; б – профиль 5.

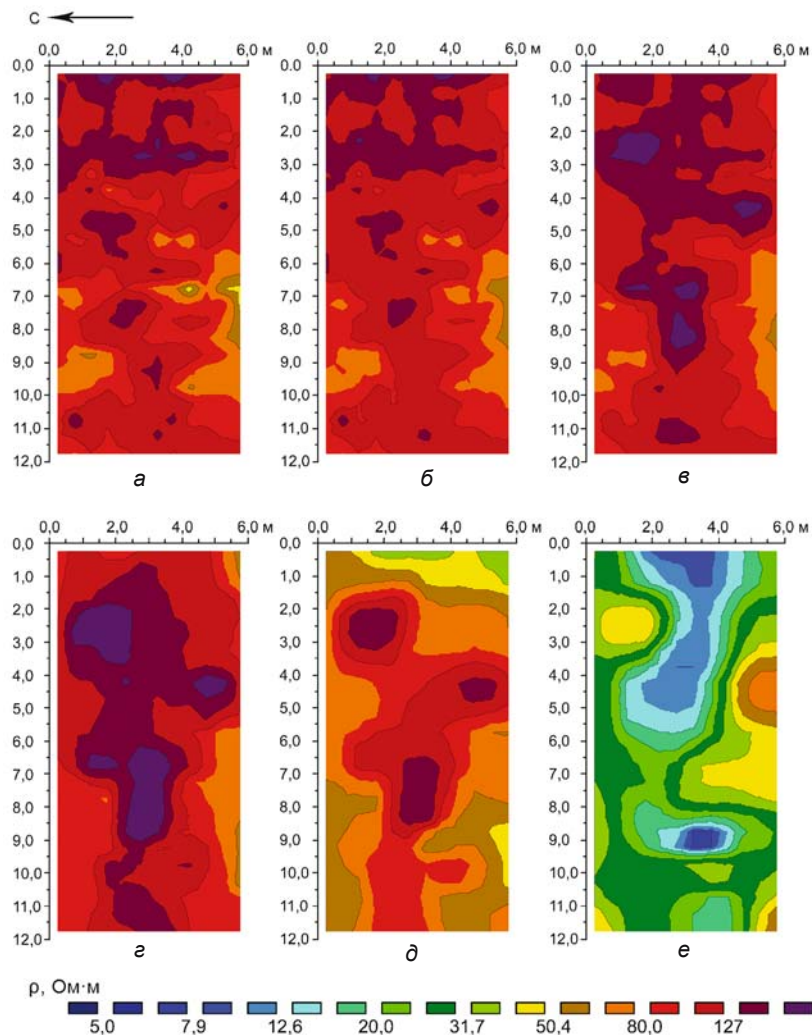


Рис. 7. Карта распределения удельного сопротивления по результатам трехмерной геофизической съемки. Глубина: а – 0,0–0,14 м; б – 0,14–0,30; в – 0,30–0,49; г – 0,49–0,71; д – 0,71–0,95; е – 0,95–1,24 м.

материкового слоя. Несмотря на то, что периодически глинобитные площадки подновлялись, в абсолютном большинстве случаев их местоположение практически не менялось. Обновлялась и насыпалась глинобитная основа, но новая постройка возводилась в прежних границах. Следовательно, площадки сооружений практически однородны с точки зрения состава и структуры. Таким образом, объект, выявленный по комплексным геофизическим данным, полностью соответствует пространственным и структурным характеристикам площадки сооружения. Поэтому анализ “планиграфических” и “стратиграфических” геофизических данных позволяет интерпретировать указанную локальную аномалию именно как глинобитную площадку. Аналогичным образом выделяются и интерпретируются локальные аномалии в кв. и26–27, е24–ж24 (см. рис. 5, 6).

По результатам геофизических исследований четко прослеживается еще одна особенность сооружений на городище – выравнивание поверхности перед созданием глинобитной площадки. Использование этого строительного приема древним населением Иднакара подтверждается археологическими данными [Иванова, 1998, с. 30–70]. Обычно перед формированием глинобитной площадки снимался дерновый слой; основание сооружения располагалось непосредственно на материковом слое. В некоторых случаях зафиксировано наличие вымоستков из плотно утрамбованной глины с песком.

Необходимо отметить, что по структуре культурный слой городища крайне неоднороден: в гумусированном слое встречаются участки и прослой углы, золы, супеси, древесного тлена и пр. Именно эту сложную и контрастную структуру

отражают геофизические данные по межжилищному пространству.

Не менее интересные результаты получены при комплексном анализе протяженной аномалии в северо-западной части планшета 2 (см. рис. 5). На основании геофизических данных можно утверждать, что эта аномалия в целом вызвана повышением уровня материкового слоя. На профиле 2 такие изменения фиксируются в диапазоне 18,0–25,5 м от точки 1 (см. рис. 6, а). Указанные особенности наблюдаются и в северной части геоэлектрических разрезов по профилям 1 и 3, а также в западной части профиля 7 (см. рис. 5). Геоэлектрический разрез не позволяет интерпретировать этот участок культурного слоя как основание оборонительного вала. В данном случае наиболее интересным результатом является зафиксированная невысокая глиняная насыпь (диапазон 22,0–24,0 м от точки 1, см. рис. 6, а). Культурный слой на этом участке существенно однороднее, по сравнению с межжилищным пространством. Поскольку насыпь расположена непосредственно вдоль склона холма и выявляется на всех поперечных профилях, можно предположить, что она была создана жителями городища. Определить назначение этого сооружения только по геофизическим данным не представляется возможным.

Результаты трехмерной геофизической съемки (рис. 7) хорошо согласуются с данными “стратиграфических” измерений. В частности, в верхних слоях (рис. 7 а, б) фиксируется крайне неоднородная, неупорядоченная структура, выявляется множество небольших локальных включений высокого сопротивления. Распределение удельного сопротивления на этом уровне не несет полезной информации, т.к. отражает структуру дернового слоя (см. рис. 6). При увеличении глубины зондирования (рис. 7 в, г) более явно проявляются области локализации культурного слоя в межжилищном пространстве (диапазон 3,0–4,0 м от точки 1 на профиле 2, см. рис. 6, а). Диапазон изменения сопротивления практически такой же, как в верхних слоях; решающий вклад принадлежит неоднородному культурному слою. На глубине 0,95–1,24 м культурный слой не фиксируется (рис. 7, е). Контрастно выделяются фрагменты площадок сооружений, заглубленные в материковый слой, форма которых хорошо согласуется с данными планиграфических измерений (см. рис. 5).

Заключение

Основными требованиями к археогеофизическим измерениям являются оперативность исследований и корректность интерпретации полученных данных. Очевидно, что достоверность результатов во многом

определяется методикой измерений и использованием аппаратуры, соответствующих археологической задаче. Разработанный аппаратурно-методический комплекс, обеспечивающий последовательное применение площадного электропрофилирования, электротомографии и трехмерной съемки, полностью соответствует предъявляемым требованиям.

Метод реконструкции геофизической “планиграфии” является высокоскоростным и эффективным способом картирования территории археологических памятников. Полученные результаты обеспечивают качественную интерпретацию – выявление местоположения археологических объектов различных типов и оценку их относительного распределения в пространстве культурного слоя. Методы электротомографии и трехмерной съемки позволяют проводить количественную интерпретацию наблюдаемых данных, на основании которой возможны реконструкция глубинного строения выделенных аномалий и достаточно точная оценка геометрических параметров археологических объектов.

Существенная проблема состоит в том, что измерения по методам электротомографии и трехмерной съемки весьма трудоемкие, требуют применения современной высокоэффективной многоэлектродной аппаратуры. Именно поэтому такие исследования обычно проводятся не на всей изучаемой площади, а только на ключевых участках, выявленных при реконструкции планировки памятников на основе “планиграфических” измерений.

Как показала апробация комплексной методики на средневековом городище Иднакар, проведение измерений с использованием нескольких модификаций электротомографии позволяет получить качественно новое представление об изучаемых археологических объектах и детально реконструировать пространственную структуру культурного слоя. Необходимо отметить, что перечисленные этапы геофизических исследований являются скорее логической схемой, нежели однозначным алгоритмом геофизических измерений. Данная схема определяет последовательность уточнения информации о культурном слое археологического памятника, реализуемую с помощью различных методик измерений и методов интерпретации геофизических данных. При этом этап, завершающий комплексные геофизические исследования, выбирается исходя из задачи археологических изысканий и их общей стратегии.

Список литературы

Алексеев В.А., Журбин И.В., Зверев В.П., Иванова М.Г., Куликов К.И. Некоторые итоги использования автоматизированного электроразведочного комплекса в

исследованиях городища Иднакар // Материалы исследований городища Иднакар IX–XIII вв. – Ижевск: УИИЯЛ УрО РАН, 1995. – С. 131–141.

Антонова И.А., Глазунов В.В., Гоц И.А., Шевнин В.А., Модин И.Н., Беликов В.В., Уразаев Н.И., Тарнопольская Н.Б., Рыжов С.Г. Геолого-геофизические исследования на некрополе Херсонеса // Новое в применении физико-математических методов в археологии. – М.: Наука, 1979. – С. 10–19.

Бобачев А.А., Модин И.Н., Перваго Е.В., Шевнин В.А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред // Разведочная геофизика: Обзор. – М.: АОЗТ “Геоинформмарк”, 1996. – Вып. 2. – 50 с.

Журбин И.В., Бобачев А.А., Зверев В.П. Пространственная реконструкция структуры культурного слоя археологических памятников на основе геофизических измерений (городище Иднакар, IX–XIII вв.) // Круглый стол “Археология и геоинформатика”: Сб. докл. [Электронный ресурс]. – М.: Ин-т археологии РАН, 2006. – Вып. 3. – (CD-ROM.)

Журбин И.В., Зверев В.П. Многоэлектродный автоматизированный электроразведочный комплекс // Научное приборостроение. – 1998. – Т. 8, № 1/2. – С. 46–50.

Журбин И.В., Зелинский А.В. Электрометрические исследования городища Иднакар: методика, моделирование и реконструкция археологических объектов // Новые исследования по средневековой археологии Поволжья и Приуралья: Мат-лы Междунар. полевого симп. – Ижевск: УИИЯЛ УрО РАН, 1999. – С. 215–229.

Иванова М.Г. Иднакар: Древнеудмуртское городище IX–XIII вв. – Ижевск: УИИЯЛ УрО РАН, 1998. – 294 с.

Иванова М.Г. Древнеудмуртское городище Иднакар: некоторые итоги и перспективы исследований // Новые исследования по средневековой археологии Поволжья и Приуралья: Мат-лы Междунар. полевого симп. – Ижевск: УИИЯЛ УрО РАН, 1999. – С. 103–110.

Иванова М.Г. Научное наследие А.П. Смирнова и современные проблемы исследования средневековых памятников Удмуртии // Научное наследие А.П. Смирнова и современные проблемы археологии Волго-Камья: Мат-лы науч. конф. – М.: ГИМ, 2000. – С. 177–183. – (Тр. ГИМ; вып. 122).

Иванова М.Г., Журбин И.В. Опыт междисциплинарных исследований древнеудмуртского городища Иднакар IX–XIII вв. // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2006. – № 2. – С. 68–79.

Иванова М.Г., Журбин И.В., Зелинский А.В. Исследование планировки городища Иднакар методом электростратиграфии (1991–1997 гг.) // Естественно-научные методы в полевой археологии. – М.: Ин-т археологии РАН, 1998. – Вып. 2. – С. 36–49.

Молодин В.И., Чемякина М.А., Гаркуша Ю.Н., Манштейн А.К., Дядьков П.Г., Балков Е.В. Геофизические и археологические исследования могильника Сопка-2 в 2000–2001 годах // Проблемы археологии, этнографии, ан-

тропологии Сибири и сопредельных территорий: (Мат-лы Годовой сессии Института археологии и этнографии СО РАН). – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2001. – Т. 7. – С. 399–407.

Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексирование геофизических методов. – Тверь: ООО “Издательство ГЕРС”, 2004. – 294 с.

Смекалова Т.Н., Мельников А.В., Мыц В.Л., Беван Б.В. Магнитометрическое изучение гончарных печей средневековой Таврики. – СПб.: Изд-во СПб. гос. ун-та, 2000. – 163 с.

Станюкович А.К. Основные методы полевой археологической геофизики // Естественно-научные методы в полевой археологии. – М.: Ин-т археологии РАН, 1997. – Вып. 1. – С. 19–42.

Чича – городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи / В.И. Молодин, Г. Парцигер, Ю.Н. Гаркуша, Й. Шнеевайс, А.Е. Гришин, О.И. Новикова, М.А. Чемякина, Н.С. Ефремова, Ж.В. Марченко, А.П. Овчаренко, Е.В. Рыбина, Л.Н. Мыльникова, С.К. Васильев, Н. Бенеке, А.К. Манштейн, П.Г. Дядьков, Н.А. Кулик. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2004. – Т. 2. – 336 с. – (Мат-лы по археологии Сибири; вып. 4).

Шилик К.К. Опыт применения магниторазведки на древнерусском городище // Археология и естественные науки. – М.: Наука, 1965. – С. 252–256.

Шрайбман В.И., Серкерев С.А., Сидельникова Т.А., Флеров В.С. Новое в применении магниторазведки и электроразведки при исследовании грунтовых погребений на Северном Кавказе // СА. – 1988. – № 1. – С. 101–113.

Щеглов А.Н. 25 лет работы Тарханкутской экспедиции: итоги и перспективы // КСИА. – М.: Наука, 1985. – Вып. 182. – С. 3–7.

Электроразведка: Справочник геофизика: В 2 кн. / Под ред. В.К. Хмелевского, В.М. Бондаренко. – М.: Недра, 1989. – Кн. 1. – 438 с.

Dahlin T. The development of DC resistivity imaging techniques // Computers & Geosciences. – 2001. – Vol. 27. – P. 1019–1029.

Geophysical survey in archaeological field evaluation: Research and Professional Services Guideline № 1. – Ancient Monuments Laboratory. English Heritage, 1995 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.english-heritage.org.uk/upload/pdf/Geophysical_Survey_in_Archaeological_Field_Evaluation_1995.pdf

Griffiths D.H., Barker R.D. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology // J. of Apply Geophysics. – 1993. – Vol. 29. – P. 211–226.

Zhurbin I.V., Malyugin D.V. On the method of visualization of electrometric data // Archaeological prospecting. – 1998. – Vol. 5, N 2. – P. 73–79.

Материал поступил в редколлегию 16.11.06 г.