

¹ Институт геологии и минералогии СО РАН
пр. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия
E-mail: carpos@uiggm.nsc.ru

² Институт археологии и этнографии СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия
E-mail: chemyakina@archaeology.nsc.ru

ОТ МАГНИТОМЕТРИИ К ВИРТУАЛЬНЫМ АРХЕОЛОГИЧЕСКИМ РЕКОНСТРУКЦИЯМ: ГИС-ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГОРОДИЩА ЧИЧА-1 *

Приведены результаты виртуального трехмерного моделирования археологического памятника Чича-1 средствами ГИС. В основу модели положены данные о рельефе, полученные инструментальной геодезической съемкой, и план магнитных аномалий – результат магнитной съемки городища. Средствами ГИС величины современного рельефа городища были модифицированы значениями магнитограммы, благодаря чему на результирующей модели стали более явно видны ямы жилищ и насыпи грунта вокруг них, валы и рвы фортификационных сооружений. Измененная таким образом модель рельефа городища использовалась для построения перспективных изображений городища. Эти изображения позволили более детально рассмотреть структуру сооружений, меняя положение точки обзора по азимуту, высоте, углу наклона и удаленности, тем самым выбирая наиболее информативные ракурсы. В результате нашего исследования удалось получить принципиально новую информацию о древнем рельефе городища по времени, близкому к моменту, когда поселок был оставлен жителями и жилища частично разрушились. Особенно важно отметить, что на распаханном участке памятника оказалось возможным не только проследить углубления от жилищных котлованов и рвов, но и зафиксировать остатки положительных элементов рельефа. Такая виртуальная реконструкция может служить основой для дальнейшего моделирования архитектурной планировки городища.

Ключевые слова: 3D-реконструкция археологических памятников, ГИС-технологии, магнитометрия, топография, цифровые модели рельефа.

Создание объемных моделей археологических памятников, являющееся задачей заключительного этапа археолого-геофизических исследований, в последнее время вызывает все больший интерес. В частности, современные методы математической обработки трехмерных данных позволяют реконструировать археологические объекты путем формирования поверхностных контуров геофизических аномалий [Журбин, 2004. С. 108–110]. Комплексное изучение геофизических материалов, данных топографии, аэрофотосъемки, архитектурных составляющих, которые также могут быть представлены трехмерными изображениями, и использование ГИС-технологий дает широкие возможности для виртуальных реконструкций археологических памятников.

Первые попытки моделирования археологических объектов на базе геофизических построений средствами ГИС были выполнены в 80-х гг. прошлого столетия [Archaeology, 2006. P. 32]. Наиболее информативны пространственные реконструкции, основанные на данных магнитометрии. Это связано с тем, что применение высокопроизводительных магнитометров для геофизической разведки археологических памятников позволило достаточно быстро производить съемку больших площадей, а пакеты обрабатывающих компьютерных программ – мобильно представлять полученную цифровую информацию в виде магнитограмм. Двумерные изображения, построенные на основе ГИС-технологий, объединяют поверхностные магнитограммы археологических памятников с топографическими планами,

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 06-06-80295а), интеграционных проектов СО РАН (№ 2, 109).

аэрофотоснимками и материалами фотограмметрии. На получаемых планах более четко отображаются археологические объекты и наблюдаемые географические, экологические и другие данные [Doneus, Neubauer, 1998]. Такие построения чрезвычайно важны для дальнейшей интерпретации археологических памятников, культурно-хозяйственных реконструкций, архивации и дешифровки аэрофотоснимков, а также планирования полевых археологических исследований. Однако при несомненной значимости такие планы не несут в себе принципиально новой информации, а лишь помогают полнее и нагляднее представить имеющиеся материалы и, как следствие, упростить задачу мониторинга археологических объектов.

Следующим шагом в развитии реконструкций археологических памятников средствами ГИС на основе магнитометрии являются виртуальные трехмерные представления. Главными принципами построения 3D изображений на основе магнитометрической съемки стали выявленные зависимости между магнитными значениями проявившихся магнитных аномалий, связанных с археологическими объектами, и глубинными параметрами заполнения последних [Neubauer, 2001]. Комбинирование магнитометрических и топографических данных, а также результатов аэрофотосъемки позволяет получать синтетические графические образы археологических объектов [Becker, 2001; Neubauer, 2001. S. 157], которые с использованием результатов археологического исследования могут служить основой для реконструкций первоначальной архитектуры древних жилых комплексов и некрополей.

Городище Чича-1 – один из крупнейших археологических памятников переходного от бронзы к железу времени в Западной Сибири – представляет огромный интерес как объект археолого-геофизического моделирования, поскольку именно благодаря широкомасштабным магнитометрическим исследованиям состоялось «второе открытие» этого уникального городища. Только часть данного памятника (так называемая

«цитадель») в настоящее время выражена в рельефе. Большая часть городища находится под сельскохозяйственными угодьями и его первичный рельеф уничтожен многократной вспашкой. Авторы сделали попытку реконструировать древнюю топографию памятника средствами ГИС, используя имеющуюся информацию о местности и данные магнитометрии. С этой целью на территории памятника было проведено два вида площадной съемки: топографическая и магнитная.

Топографический план был составлен В. И. Кручининым и М. А. Чемякиной в результате инструментальной геодезической съемки, которая охватила рельефно выраженное городище, а также зоны распространения подъемного материала на пашне и прилегающей к памятнику территории. На площади в 63 000 кв. м произведена разметка сетки квадратами со стороной 40 м для геофизических работ, с четкой привязкой к реперам и топографическому плану [Молодин и др., 1999].

Геофизическую микромагнитную съемку выполнили специалисты из Департамента археологической разведки и аэроархеологии Мюнхена Х. Бекер и Й. Фассбиндер [Там же; Becker, Fassbinder, 1999]. Магнитометрия производилась при помощи двух цезиевых магнитометров SMARTMAG SM4G-S с чувствительностью 1 пТс в режиме регистрации градиентного сигнала каждые 0,1 с с шагом 10 см. Такая высокая чувствительность позволяет находить в грунте остатки деревянных конструкций и других органических объектов, не подвергавшихся воздействию огня. На месте древних жилищных построек, ремесленных площадок, продуктовых хранилищ, захоронений и т. п. в результате биологических процессов скапливаются кристаллы магнетита – продукты метаболизма специфических «магнитных» микроорганизмов и бактерий, способные создавать микроаномалии в магнитном поле. Магнитные биоагрегаты в виде скоплений останков бактерий успешно обнаруживаются геофизической микромагнитной съемкой [Fassbinder et al., 1990; Fassbinder, Stanjek, 1993]. На распаханной территории городища Чича-1

геофизическими исследованиями были выявлены новые системы укреплений, жилых и производственных площадок, составляющие единый комплекс с видимой в рельефе частью городища и увеличившие площадь городища более чем в 5 раз. Дополнительно было обнаружено около ста жилых и хозяйственных помещений. На магнитограмме прекрасно видна архитектурная планировка: четкие ряды жилищ, образующие улицы и переулки, направленные к проходам в оборонительных конструкциях [Молодин и др., 1999].

Высокое качество магнитограммы обусловлено контрастными по магнитным параметрам свойствами заполняющих котлованы археологических объектов и вмещающих грунтов. Для более обоснованной интерпретации зафиксированных магнитных аномалий были проведены выборочные определения магнитной восприимчивости грунтов с помощью портативного полевого каппаметра МП-01 в процессе вскрытия культурных слоев. На раскопе № 2 на глубине 15–20 см, магнитная восприимчивость грунтов меняется в пределах от $0,4 \cdot 10^{-3}$ до $0,9 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ. Повышенные значения магнитной восприимчивости зафиксированы в пределах заполнения котлованов жилищ, а наименьшие – на уровне зачистки материкового суглинка [Эпов и др., 2000]. Контраст магнитных характеристик совпадает с визуальными различиями слоев. Материковый грунт представлен массивным желтым суглинком, а заполнения котлованов жилищ и фортификационных сооружений сложены, в основном, гумусированной черной и темно-серой линзовидно переслаивающейся супесью.

Материалы аэрофотосъемки, произведенной в октябре 1973 г., также показывают структуру археологических объектов на пашне: светлыми контурами проявляется система внешних укреплений и внутренний ров, на жилой площадке видны светлые линии и пятна (рис. 1). Светлый фон грунта в этих местах, очевидно, обусловлен материалом разрушенного слоя вала и выкидов из котлованов жилищ, состоящих большей частью из материкового суглинка [Чича..., 2001. С. 16–18]. Комплексный анализ материалов магнитограммы, аэрофотосъемки и наблюдений в процессе раскопок позволил нам включить в виртуальную реконструкцию городища Чича-1 весь объем магнитометрических данных, а не только связанных с положительными аномалиями от котлованов и рвов. Такой подход к реконструкции на базе магнитограммы применен впервые. Обычно для высотных характеристик берутся лишь положительные цифровые магнитометрические показатели, связанные с археологическими объектами, углубленными в грунт [Neubauer, Eder-Hinterleitner, Melichar, 1999a; 1999b; Neubauer et al., 1999; Eder-Hinterleitner et al., 1999; Doneus et al., 1999].



Рис. 1. Аэрофотосъемка городища Чича-1

Данные геодезической съемки для построения ЦМР средствами ГИС были представлены в виде таблицы с указанием x , y и z координат в условной метрической системе. Осью x является направление юг-север, осью y – направление восток-запад. За начало координат принята точка в юго-восточной части области съемки, а изображение памятника на плане повернуто на 90° по часовой стрелке (для дальнейшего совмещения с магнитограммой). Значения высот были определены относительно условной базовой поверхности 10 м (единый репер для всех измерений и разметок на памятнике). Табличные данные были преобразованы в векторный формат ArcInfo и в таком виде использовались для создания ЦМР с помощью модуля ArcInfo TOPOGRIDTOOL. Пространственное разрешение (размер пикселя) модели определяется параметрами исходных данных: равномерностью распределения точек и расстоянием между ними. Поскольку топографические измерения покрывают всю территорию (1 568 точек), можно было бы предположить, что качество создаваемой модели на предмет артефактов (искусственных, не существующих на самом деле элементов рельефа) будет очень высоко. Анализ данных показал, что

среднее расстояние между точками составляет около 6 м, а в области цитадели около 2 м, т. е. согласно геостатистическим законам создаваемая ЦМР должна быть довольно грубой. Однако для целей нашего исследования необходимо иметь регулярную ЦМР более высокого разрешения. Поэтому нами был применен способ построения модели TIN, которая затем преобразовывалась в регулярную матрицу с разрешением 0,5 м.

На ЦМР (рис. 2, А) хорошо виден рельеф «цитадели» – неширокие депрессии на месте землянок и валы между ними, ров, ограждающий «цитадель», а также возвышения на месте археологических раскопов. В периферийной части, находящейся под пашней, прослеживаются лишь незначительные понижения на месте землянок и внешнего рва городища. Нами построены две модели местности. Первая – современный рельеф. Для построения второй модели в исходных данных были исключены экстремальные значения в области старых раскопов, и таким образом удалены элементы рельефа, созданные археологами. Эта модель использовалась в дальнейшем.

Магнитограмма имеет размер пикселя около 0,4 м. Мы выполнили

геометрическую коррекцию по нанесенной на магнитограмму 40-метровой прямоугольной сетке и привязали магнитограмму к системе координат ЦМР, одновременно изменив размер пикселя до 0,5 м, тем самым обеспечив возможность накладывать эти два вида данных друг на друга.

Области повышенного магнитного поля на магнитограмме (значения от 1 до 5) в основном соответствуют понижениям первоначального рельефа городища – рвам и котлованам жилищ, кроме того, кострищам; точечные аномалии – керамике и современному металлу. Выброс лессовых пород со дна котлованов жилищ и рвов, формирующий валы, дает области низкого магнитного поля (значения от -7 до -3). Области с неизменным почвенным профилем попадают в диапазон значений от 1 до -3 . Наличие прямой связи магнитной картины городища с жилыми и фортификационными сооружениями, связанными с земляными работами (рытье котлованов и рвов), натолкнуло нас

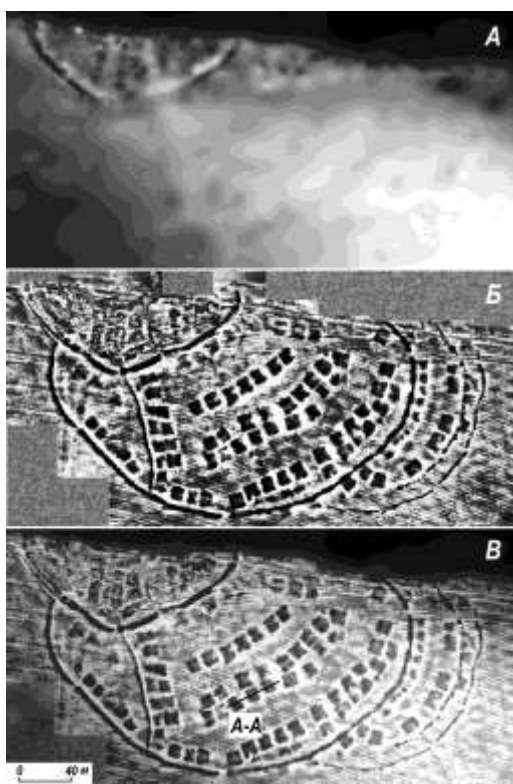


Рис. 2. Цифровая модель рельефа городища Чича-1: А – с отредактированными высотами в области старых раскопов; В – отредактированная магнитограмма; В – ЦМР, модифицированная магнитограммой (А–А – линия профиля)

на мысль попытаться модифицировать значения современного рельефа значениями магнитограммы таким образом, чтобы области, соответствующие землянкам и рвам, стали ниже, а стены и валы – выше. Поскольку очевидно, что со временем котлованы и рвы заплывали, а валы оплывали, то эта процедура позволила бы получить ретроспективную картину городища в отдаленном прошлом.

Для решения этой задачи прежде всего магнитограмма была вручную отредактирована: выделены точечные аномалии и заменены значениями фона. Затем полученное изображение было преобразовано в матрицу модифицирующих коэффициентов (рис. 2, Б). Диапазон коэффициентов был выбран произвольно, чтобы обеспечить изменения рельефа на ЦМР в пределах ± 1 м относительно 10-метровой базисной поверхности. Мы руководствовались теми соображениями, что заглупление землянок или рвов на 1 м является условной величиной, так как котлованы в древности были врезаны в почвенный, а затем

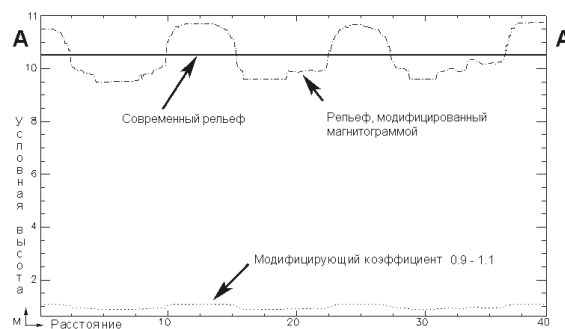


Рис. 3. Совмещенный график по линии А–А (см. рис. 2, В): сплошная линия – современный рельеф; точечная линия – модифицирующие коэффициенты величины магнитного поля (0,9–1,1); линия «пунктир-точка» – модифицированный рельеф

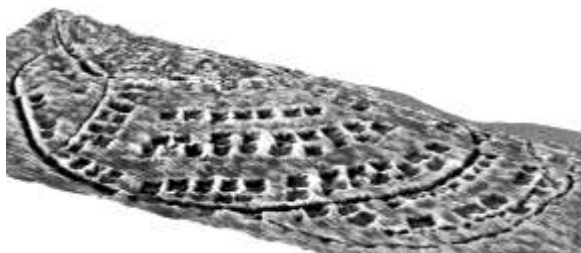


Рис. 4. Перспективное изображение городища Чича-1 (коэффициент увеличения вертикального масштаба 4) в материковый слой. К моменту раскопок почвенный слой оказался практически полностью разрушенным распашкой, и археологи имеют дело лишь с той частью котлованов, которая опущена в материковый суглинок. Преобразование в матрицу коэффициентов осуществлялось путем линейного растяжения диапазона значений магнитограммы (от -7 до 5) в диапазон $0,9-1,1$.

В конце было выполнено математическое преобразование изображений: значения высот ЦМР были умножены на значения коэффициентов и получена новая, исправленная, цифровая модель рельефа.

На исправленной ЦМР (рис. 2, В) очень четко видны котловины землянок и стены между ними, а также рвы и валы укреплений. Можно сделать вывод, что «проявление» структуры городища произошло в основном из-за переноса характеристик с магнитограммы. Суть описанных выше преобразований и различия между исходной ЦМР и исправленной очевидны (рис. 3).

Полученные материалы были использованы для 3D-визуализации памятника (рис. 4): представлено перспективное изображение городища (вид с северо-северо-восточного края), построенное по исправленной ЦМР и драпированное магнитограммой. В результате реконструкции хорошо видны жилищные западины и оплывшие остатки стен,

а также фортификационные сооружения, представленные рвами и валами.

Полученная виртуальная модель городища Чича-1 позволяет создавать трехмерные перспективные изображения городища или его участков в любом ракурсе и тем самым лучше понимать структуру городища и взаимоотношение

архитектурных объектов. Благодаря трехмерному моделированию на базе магнитометрических и топографических показателей удалось получить принципиально новую информацию о древнем рельефе городища по времени, близкому к моменту, когда поселок был оставлен жителями и жилища частично разрушились. Особенно важно отметить, что на распаханном участке памятника оказалось возможным не только проследить углубления от жилищных котлованов и рвов, но и зафиксировать остатки положительных элементов рельефа. Такая виртуальная реконструкция может служить основой для дальнейшего моделирования архитектурной планировки городища.

Список литературы

Журбин И. В. Геофизика в археологии: методы, технология и результаты применения. Ижевск, 2004. 152 с.

Молодин В. И., Парцингер Г., Бекер Х., Фассбиндер Й., Чемякина М. А., Наглер А., Нишф Р., Новикова О. И., Маништейн А. К., Гаркуша Ю. Н., Гришин А. Е., Ефремова Н. С. Археолого-геофизические исследования российско-германской экспедиции в Барабинской лесостепи // Проблемы археологии и этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск, 1999. Т. 5. С. 454–461.

Чича – городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи (первые результаты исследований). Новосибирск, 2001. 240 с.

Энов М. И., Чемякина М. А., Маништейн А. К., Дядьков П. Г., Парцингер Г., Молодин В. И., Балков Е. В. Геофизические исследования городища Чича-1 в 2000 году // Проблемы археологии и этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск, 2000. Т. 6. С. 447–456.

Archaeology in Practice: A Student Guide to Archaeological Analyses. Boston, 2006. 32 p.

Becker H. From Magnetic Prospecting to Virtual Archaeology // Magnetic Prospecting in Archaeological Sites. Monuments and Sites VI. Munich, 2001. P. 6–13.

Becker H., Fassbinder J. W. E. Magnetometry of a Scythian Settlement in Siberia near Cichah in the Baraba steppe // Archaeological Prospection. Munich, 1999. Vol. 108. P. 168–172.

Doneus M., Neubauer W. 2D Combination of Prospection Data // Archaeological Prospection, 1998. Vol. 5, № 1. P. 33–55.

Doneus M., Neubauer W., Eder-Hinterleitner A. 3D Reconstruction of Archaeological Sites Based on Prospection Data // *Archaeological Prospection*. Munich, 1999. Vol. 108. P. 28–30.

Eder-Hinterleitner A., Neubauer W., Melichar P. Magnetic Modelling for the 3D Reconstruction of the Neolithic Circular Ditch System of Steinabrunn / Austria // *Archaeological Prospection*. Munich, 1999. Vol. 108. P. 32–33.

Fassbinder J. W. E., Stanjek H. Occurrence of Bacterial Magnetite in Soils from Archaeological Sites // *Archaeologia Polona*. 1993. Vol. 31. P. 117–128.

Fassbinder J. W. E., Stanjek H., Vali H. Occurrence of Magnetic Bacteria in Soil // *Nature*. 1990. Vol. 343. P. 161–163.

Neubauer W. Magnetische Prospektion in der Archäologie. Wien, 2001. S. 134–159.

Neubauer W., Eder-Hinterleitner A., Doneus M., Melichar P. Archaeological Prospektion of the Middle Neolithic site Puch/Kleedorf, Lower Austria // *Archaeological Prospection*. Munich, 1999. Vol. 108. P. 60–61.

Neubauer W., Eder-Hinterleitner A., Melichar P. Geomagnetic Survey of the Middle Neolithic Circular Ditch System Glaubendorf II, Lower Austria // *Archaeological Prospection*. Munich, 1999a. Vol. 108. P. 64–65.

Neubauer W., Eder-Hinterleitner A., Melichar P. Large Scale Geomagnetic Survey of an Early Neolithic Settlement in Lower Austria (5,250–4,950 B. C.) // *Archaeological Prospection*. Munich, 1999b. Vol. 108. P. 58–59.

Материал поступил в редколлегию 10.06.2008

S. K. Krivonogov, M. A. Chemyakina

FROM MAGNETOMETRY TO VIRTUAL ARCHAEOLOGICAL RECONSTRUCTION: GIS-INTERPRETATION OF THE CHICHA-1 SETTLEMENT

The paper presents results of 3D virtual modeling of the Chiha-1 settlement, which by using GIS technologies. The model is based on the topographic data obtained by instrumental geodetic survey and on the map of magnetic anomalies measured within the settlement area. The values of the modern elevations were processed by GIS methods to be juxtaposed on the magnetic map and to produce a virtual model of the settlement. The model helped us to recognize more clearly house holes surrounded by ground dumps, and fortification walls and trenches. Such a modified topographic model was used to compile settlement perspective images. Those images allowed us to observe the settlement structure in details by changing the viewport azimuth, elevation, angle and distance, therefore choosing more informative perspectives. We have succeeded to obtain principally new information about the ancient topography of the settlement for a time period when it was left by the inhabitants and destroyed. Of special importance is that the model made possible to identify not only negative topographic elements such as house holes and fortification trenches, but positive topographic elements, ground dumps, as well. Such a virtual reconstruction can serve a basis for further architectural modeling of the Chiha-1 settlement.

Keywords: 3D reconstructions of archaeological objects, GIS-technologies, magnetometry, topography, digital terrain models.