УДК 550.8.056

МИКРОМАГНИТНАЯ СЪЕМКА ПРИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ АРКАИМА)

Пунегов Б.Н. – Государственное учреждение культуры историко-культурный заповедник областного значения «Аркаим» (ГУК ИКЗОЗ·«Аркаим»), Челябинск

Аннотация. В статье описаны результаты микромагнитной съемки, использованные для реконструкции планировки укрепленного поселения Аркаима, археологического памятника эпохи бронзы. Приведены: план изодинам ΔТ и план интерпретации магнитного поля. Показана эффективность применения выбранной методики для исследования подобных археологических объектов без нарушения их естественного залегания.

Магнитная съемка, изодинамы, аномалии, поселение, стена, ров, жилища, очаги, магнитная восприимчивость, почва.

MICROMAGNETIC SURVEY AT ARCHEOLOGICAL RESEARCHES (BY THE EXAMPLE ARKAIM)

Punegov B.N. – Culture official body historical and cultural reserve of regional value «Arkaim», Chelyabinsk

Abstract. In article expounded results of micromagnetic survey, which were using for reconstruction plan fortification Arkaim, archaeologies memorial bronzes age. Plans of magnetic field and its interpretation exposed. Here were pointing efficiency this method for study alike archaeologies objects without infraction their natural position

Magnetic survay, anomalies, settlement, a wall, ditch, dwellings, hearth, a magnetic susceptibility, soil.

Археологический памятник Аркаим расположен на юге Челябинской области, открыт в 1987 г (Быструшкин, 2003). Представляет собою укреплённое поселение эпохи бронзы, датируемое второй четвертью второго тысячелетия до н.э. Поселение фиксируется в виде двух, вписанных друг в друга колец земляных валов с четырьмя проходами, внешнего рва, двух кругов жилищных впадин и центральной площади. Четко выделяется на аэрофотоснимках.

К 1991 г. около половины памятника было раскопано и изучено археологами (*там же*). Раскопанная часть местами рекультивирована для того, чтобы сохранить легко разрушаемые атмосферными осадками древние постройки. Тем не менее, назрела необходимость сократить объемы раскопок, проводить их выборочно, насущной стала проблема сохранения уникального памятника в том виде, каким время (почти 4000 лет!) донесло его до наших дней. В то же время желательно было иметь цельную картину реконструкции древнего города на основании объективных данных.

Приемлемыми для выполнения этой задачи являются геофизические методы, которые уже на протяжении многих лет успешно использовались при археологических исследованиях (Глазунов, 1984; Дудкин, Кошков, 1997; Журбин, Зелинский, 1999).

Хроника геофизических исследований

В 1991 г. на двух участках городища «Восточная» стена и «Южные» ворота площадью соответственно 405 и 375 м^2 В.Я. Тибелиусом (Тибелиус, 1995) были проведены опытные работы методами высокоточной микромагнитной съёмки и, частично, СЭП (симметричное электропрофилирование).

План изодинам ΔТ с сечением 5 нТл представлял собой своеобразную картину магнитного поля – сочетание линейных минимумов и изометричных положительных аномалий амплитудой в 5-20 нТл.

Для идентификации элементов магнитного поля с археологическими объектами в тот же сезон проведены раскопки первого участка. После завершения раскопа была выполнена каппаметрия на обнаженной части раскопа по восстановленной в проекции на нижний горизонт сети магнитометрических наблюдений (0,5х0,5 м). Кроме того, выполнены измерения магнитной восприимчивости пород на сохранившихся выступах стен жилищ, обломков керамики, наносов, перекрывающих культурный слой поселения, всего 1775 замеров.

При сопоставлении всех этих данных установлено объективное отражение определенных археологических объектов на геофизических материалах и показана достаточная разрешающая способность последних при реставрации погребенных разрушенных строений Аркаима.

В 1993 г. магнитометрические наблюдения дополнились измерениями естественного электрического поля на двух наиболее интересных по картине магнитного поля площадках общей площадью 400 м^2. Результаты электроразведки по информативности уступают данным микромагнитной съёмки. Каждый из электроразведочных методов в ряде случаев выделяет только отдельные элементы поселения (СЭП – крепостной вал, ров, стенки жилищ; ЕП – кострoвища, места гончарного производства). Можно рекомендовать их применение в комплексе с магнитометрией на отдельных участках для уточнения важных деталей интересуемых объектов.

Наиболее эффективным методом была признана микромагнитная съёмка, выполненная протонным магнитометром ММП-203 по сети 0,5х0,5 м по специально разработанной методике, позволявшей фиксировать очень слабые, быстро затухающие с высотой аномалии ΔT.

Благоприятными предпосылками для применения магнитометрических наблюдений явилось то, что Аркаим в геологическом отношении расположен в пределах блока немагнитных карбонатных пород, когда даже слабо магнитные объекты жизнедеятельности древнего человека, связанные с применением огня (медеплавильные печи, керамика, кострoвища, хозяйственные ямы, колодцы) при определенных условиях проявляются в магнитном поле.

С другой стороны, современная высокоточная аппаратура (магнитометр ММП-203 и каппаметр КТ-5) с использованием компьютерной обработки материалов наблюдения позволяют осуществить съемку быстро и с наименьшими затратами. Уже по результатам работ 1991 г. В.Я. Тибелиусом было рекомендовано продолжить изучение Аркаима геофизическими методами. В 1992 г. им же осуществлена магнитная съёмка в восточной части поселения на площади 2400 м^2 и двух выборочных маленьких участках «Западные ворота» и «Врезка» (520 и 147 м^2). На следующий год работы продолжились в южной части поселения – 3000 м^2.

В 1994-95 г.г. работы выполнялись под руководством автора. Микромагнитная съёмка выполнена на оставшихся неизученными окраинах городища площадью 6000 м^2 и трёх участках за пределами поселения.

Проведено рекогносцировочное радиометрическое обследование с радиометром СРП-68-01 как на раскопках с охватом всех типичных элементов городища: пола, стен, кострoвищ, колодцев, почвы, гумуса, суглинков, так и в окрестности Аркаима. Радиоактивность везде равнялась 11 мкр/час с отклонениями до ±2 мкр/час. И лишь на скальных выходах кислых эффузивов горы Шаманки отмечена радиоактивность 15-17, местами до 25 мкр/час.

В 1994 г. на самом аномальном участке съёмки 1993 г. на четырех профилях длиной 20 м осуществлены замеры напряженности магнитного поля на 4-х уровнях: на поверхности, на высотах 5, 15 и 25 см. По этим же точкам замерена магнитная восприимчивость почвы каппаметром КТ-5. В 2008 г автором составлен сводный план магнитного поля по материалам съемок 1991-1995 г и вариант реконструкции планировки поселения Аркаим.

Методика и техника микромагнитной съёмки

Микромагнитная съёмка на всех участках выполнялась по единой методике и по взаимоувязанной сети наблюдений.

На каждом участке с помощью буссоли БГ-1 и 50-метровой мерной ленты создавался жесткий каркас из закрепленных угловых точек. Затем разбивались параллельные на расстоянии 20 м друг от друга магистрали путём выставления на них через 0,5 м деревянных колышков высотой 10-15 см. Положение точек наблюдения на профилях обеспечивалась непосредственно в процессе измерений магнитного поля с помощью переносных капроновых шнуров с немагнитными метками через 0,5 м. Шнуры растягивались между соответствующими пикетами (номерами профилей) на магистралях.

Измерения полного вектора магнитного поля (Т) производились протонным магнитометром ММП-203 с расположением магниточувствительного блока (датчика) на земле по сети 0,5х0,5 м. На каждом участке создавались 2-3 опорных пункта, увязываемых между собой и исходной точкой всей съёмки на поселении. После замеров на 40 рядовых точках (вдоль одного шнура), занимавших по времени 4-6 минут, рейс замыкался на ближайший опорный пункт. Это позволило уверенно учесть вариации магнитного поля.

Наблюдения проводились обычно в утренние (9-13) и вечерние (14-19) часы для исключения наиболее интенсивных вариаций. Для оценки качества съёмки выполнялись контрольные измерения в объёме 3,2-5,6% от общего количества точек наблюдений. Среднеквадратическая погрешность составляла ± 1,3-2,1 нТл, что позволяет отстраивать планы изодинам с сечением 5-10 нТл.

Первичная обработка результатов измерений съёмки заключалась в вычислении $\Delta T = Ti - To$, приведению их (Ti) к уровню магнитного поля точки, принятой за исходную (To), на каждой точке и во внесении поправки за суточные вариации. Планы изодинам ΔТ вычерчивались с сечением 5 нТл в масштабе 1:50, а в 1995 г. – 1:100. Для лучшей читаемости картины магнитного поля допускалось слабое сглаживание изолиний в пределах 1-2 нТл в соответствии с выводами, сделанными по результатам опытных повысотных съёмок. Площадь микромагнитной съемки в целом составляет 11600 м^2. Количество рядовых точек измерения ΔТ – 46800, а с учетом опорных пунктов и контрольных измерений – 50000 точек.

Обоснование интерпретации магнитного поля

Использование магнитометрии для изучения Аркаима стало возможным благодаря трём моментам: достаточной контрастности магнитных свойств отдельных археологических объектов, почвы и вмещающей среды; своеобразной геометрии картины магнитного поля над поселением, отражающей в общих чертах его планировку; систематическим увязкам интерпретации материалов микромагнитных съёмок с результатами раскопок и данными дешифрирования аэрофотоснимков.

Наименьшей магнитной восприимчивостью $\chi_{ср} = 15 \cdot 10^{-5}$ СИ обладают материковые породы пола и стенок жилищ, по составу близкие к светлым глинам и суглинкам. Меньшие значения $\chi_{ср} = 9 \cdot 10^{-5}$ СИ отмечаются только в углублениях от столбов в полу древних жилищ. Обугленная черная земля (предполагаемые следы очагов, костров) характеризуется повышенным значением $\chi = 29 \cdot 10^{-5}$ СИ и большим диапазоном разброса её значений – от 18 до $66 \cdot 10^{-5}$ СИ. Обожженная (рыжая) глина – $61 \cdot 10^{-5}$ СИ при разбросе от 30 до $160 \cdot 10^{-5}$ СИ.

При этом замечена интересная особенность, которую надо иметь в виду при истолковании магнитных аномалий: в стенках бровок над такими участками прокала наблюдались ореолы повышенной магнитной восприимчивости до $35\text{-}50 \cdot 10^{-5}$ СИ, т.е. магнитный объект как бы приближается к поверхности и, следовательно, чётче проявляется при съёмке. В целом же наносы, изученные на стенках нераскопанных бровок, характеризуются в среднем магнитной восприимчивостью $13 \cdot 10^{-5}$ СИ внутри жи-

лищ и – $33 \cdot 10^{-5}$ СИ по улице. Из этого можно предположить, что наносы в большей части сформировались на месте, как продукт разрушения стен и крыш жилищ.

Обломки керамики по средним значениям магнитных свойств делятся на две группы: $89\text{-}14 \cdot 10^{-5}$ СИ (преимущественно темных тонов) и $500\text{-}790 \cdot 10^{-5}$ СИ. Замечено, черепки одного сосуда характеризуются стабильностью значений магнитной восприимчивости, при этом установлено, что внешние стенки сосудов на 14% более магнитны, чем внутренние.

При проведении повысотных съёмок 1994 г. по 164 точкам измерялась магнитная восприимчивость почвы, которая оказалась весьма неоднородна с колебаниями от 18 до $140 \cdot 10^{-5}$ СИ при средних значениях $40\text{-}60 \cdot 10^{-5}$ СИ. Четкой зависимости между графиками χ и ΔT не обнаружено. Но 9 из 14 максимумов на плане изолиний магнитной восприимчивости проявились в точечных аномалиях ΔT=5-15 нТл, которые быстро затухали при подъёме датчика прибора и полностью исчезали на высоте 15-25 см, а три аномалии – даже 5 см. Поэтому, чтобы хоть как-то уменьшить влияние приповерхностных неоднородностей почвы, изолинии магнитного поля при отрисовке планов сглаживались в пределах точности наблюдений (1-2 нТл).

Исходя из приведенных сведений, за основу принят следующий подход к интерпретации картины магнитного поля.

Почва и слой гумусированного грунта (χ=$40\text{-}60 \cdot 10^{-5}$ СИ) по причине их максимального приближения к поверхности измерений вносят наибольший вклад в напряженность магнитного поля. Но, с другой стороны, из-за повсеместного распространения и относительно постоянной в пределах поселения их мощности, это влияние выражается в виде положительного фона, на котором проявляются значимые аномалии обоих знаков от интересуемых объектов. Магнитное поле этих двух слоев представляется как бы прозрачным плащом, сквозь который просвечивает с различной четкостью планировка городища. Сложная картина магнитного поля над поселением разительно отличается от спокойного, с колебаниями, редко превышающими ±5 нТл, поля за его пределами.

В магнитном поле ΔT Аркаима довольно отчётливо можно выделить 4 типа аномалий.

Первая группа – это две концентрических, относительно сложных по внутреннему рисунку, аномальных зоны шириной 3-4 и 5-6 м., соответствующих оборонительным стенам. На небольшом удалении от внешней границы стен (валов), параллельно им прослеживаются цепочки из фрагментов узких положительных аномалий в 10-20 нТл. Вероятно, они соответствуют осевой части оборонительных рвов.

Вторую по выразительности группу аномалий представляют линейные минимумы – полосы шириной 0,5-1 м отрицательного поля амплитудой 5-15 нТл. В плане они образуют комплекс расположенных радиально по отношению к валам трапеций с длинными сторонами от 16 до 24 м и торцевыми – 6 и 11 м. Положение в плане и размеры не оставляют сомнения о связи их с остатками стен жилищ.

Природа этих аномалий объясняется уменьшением мощности перекрывающего чехла из более магнитного материала над сохранившимися выступами стен по сравнению с окружающей средой. При более тщательном анализе магнитного поля просматривается большое количество фрагментов подобных аномалий, как внутри жилищ (поперечные перегородки, обрамления вокруг медеплавильных печей и колодцев), так и за их пределами (ограждения двориков, дувалы). Условно, поскольку имеют отношение к строительству, сюда можно отнести и закономерно расположенные точечные отрицательные аномалии в 10-20 нТл. В большинстве случаев они располагаются по прямым линиям, расположенным параллельно стенкам жилищ на расстоянии 3-4 м. Предполагается, что они отражают лунки диаметром 0,3-0,4 м – следы от опорных строительных столбов.

Третью группу составляют аномалии, прямо или косвенно связанные с воздействием огня. Это – изометричные, нередко круговые, диаметром 1-1,5 м, положительные аномалии, которые охватывают широкий круг археологических объектов: кострoвища, обжиговые печи, завалившиеся со временем колодцы и хозяйственные ямы. Конкретизация их затруднительна. Разве что, по двум рядом расположенным аномалиям, как правило, соединённым узкой перемычкой положительных значений ΔТ (дымоходом) можно предположить наличие печи для выплавки руды и рядом расположенного колодца. Слабые аномалии, окруженные кольцом отрицательного поля, вероятнее всего, отражают колодцы, выложенные изнутри глиняной корочкой. Реже встречаются подковообразные аномалии таких же размеров. Не исключено, что они представляют развалы закрытых глиняных печей, в которых производился обжиг керамических изделий. Обращают на себя внимание шлейфы с повышенными значениями магнитного поля, идущие от используемых длительное время кострoвищ в сторону выхода из жилищ, и локальные слабоположительные аномалии в углах жилищ. При раскопках же, видимых источников аномалий не установлено. По-видимому, прибором фиксируются дорожки с разнесенными людьми тонкодисперсными магнитными минералами и места обогрева людей. Вдоль границ валов и стенок жилищ часто наблюдаются площадные, самые интенсивные положительные аномалии до 110-120 нТл с характерными одной или двумя под прямым углом прямолинейными границами. Предполагается, что они отмечают места крупных пожаров.

Четвертую многочисленную группу составляют точечные аномалии – помехи. Точечные аномалии четко фиксируются в процессе измерений по резкому скачку значения поля на 20 и более нТл, тогда как обычное изменение поля от точки к точке при шаге 0,5 м составляет 2-10 нТл. Иногда градиент поля достигает величины, превышающей допустимую для нормальной работы прибора. В наличии помехи можно убедиться дополнительно, не сходя с места. Достаточно сместить датчик на несколько сантиметров в любую сторону или приподнять на 15-25 см, как аномалия исчезнет или отсчет резко изменится, даже может смениться знак ΔТ.

Источниками положительных аномалий чаще всего являются предметы современной цивилизации: гвозди, куски проволоки, остатки консервных банок, детали сельхозорудий, хотя не исключены и, занесенные каким-то образом в почвенный слой, куски шлака, обломки керамики.

Отрицательные аномалии создают мелкие углубления в почве: норы, закопушки, разметки окопкой, следы колеи от телег. Наиболее выдающейся является концентрическая аномалия ΔТ=-300 нТл от обсадной трубы в северо-восточной части внешнего вала, заметная даже на плане магнитного поля, представленном в масштабе 1:800 (рис. 1, цветная вкладка).

Здесь уместно упомянуть и о помехах другого рода. Проведенные исследования на вскрытых и рекультивированных участках городища показали, что магнитное поле над ними искажается до неузнаваемости и отображает только контуры раскопов. Площадь раскопа характеризуется интенсивным минимумом магнитного поля, а бровки и перегородки между раскопами – положительными до 30-40 нТл аномалиями. Засыпанные раскопы – чрезвычайно сложным и хаотичным характером магнитного поля, обусловленного влиянием перемешанного грунта. На таких территориях магнитную съёмку проводить не имеет смысла.

Результаты работ

План магнитного поля ΔТ Аркаима (рис. 1, цветная вкладка) отличается сложной картиной с контрастно выраженными деталями, кажущаяся рентгеновским снимком древнего города.

На основании вышеописанной методики выделяются крепостные валы, следы окружающих их рвов с водой, контуры жилищ, радиально сходящиеся к центру стены, дополнительные элементы, связанные с жизнедеятельностью жителей этого горо-

да. Естественно, у интерпретатора могут возникнуть свои ассоциации о связи этих аномалий с конкретными объектами. На рис. 2 (цветная вкладка) представлен один из вариантов реконструкции планировки археологического памятника Аркаима, выполненный автором работы.

Архитектура Аркаима (Быструшкин, 2003) основана на системе концентрических колец с центром, расположенным в 15 м севернее выхода из жилища 20. Так, центральная площадь поселения вмещается в круг диаметром 30 м. На попавшей в контур съемки части площади по данным магнитометрических наблюдений ничего существенного не выявлено. Отмечено порядка 40 лунок, 6 фрагментов узких стенок субширотной ориентировки, один объект прямоугольной формы 1,5х1,8 м^2 и три пожарища.

Внутренний вал идеально вписывается в дугу окружности радиусом 41,5 м. Ширина вала 2,5-3 м. Наиболее узкая его часть с зазубренными краями наблюдается на юге. Вал характеризуется наличием удлиненных отрицательных аномалий, сопряженных с границами вала. В юго-восточном секторе (по азимуту 135° от центра) не исключен проход в крепостной стене. Во-первых, здесь в контуре вала наблюдается участок повышенного фона магнитного поля. Во-вторых, трапеция напротив этого места явно не вписывается в категорию жилищ – очень узкая (2,7-3 м), в ней отсутствуют постройки. И только в средней части прохода отмечен след от пожара сгоревшей разделительной стены длиной 6 м

С внутренней стороны вала магнитной съемкой выявлено 14 жилищ (12-25) трапециевидной формы, ориентированных от вала к центру поселения. Средняя длина их 16 м. Ширина при вале, являющемся одновременно задней стенкой жилища, меняется от 7 до 10 м, в среднем 8,6 м. Торцы со стороны площади часто разрушены и проявляются неуверенно; в среднем ширина их составляет 6,4 м. В пяти южных жилищах на расстоянии 6 м от вала наблюдаются характерные сближенные пары интенсивных (до 50 нТл) положительных круговых аномалий, которые часто создают единую площадку с повышенным магнитным фоном. Иногда просматривается линия максимумов, соединяющая обе аномалии. Было сделано предположение: эти круги отражают размещение медеплавильных печей и вырытых рядом колодцев для создания поддува – тяги в процессе плавки, что и подтвердилось контрольными раскопами. Аномалии в паре различаются по размерам: диаметр колодцев 1,2-1,4 м, печей – 0,7-0,8 м.

При анализе сводного плана изодинам ΔT было обращено внимание и на окружение подобных аномальных участков не менее интенсивными отрицательными полосовыми аномалиями различной ширины. Предполагается, что это – стенки из глинобитного материала; так, возможно, древние люди отгораживали производственные площадки от жилого помещения. Особенно насыщено печами жилище 20, которое можно условно охарактеризовать как «производственный» цех. Места двадцати девяти пожарищ сосредоточены в торцевых краях жилищ.

Улица между валом и постройками второго ряда жилищ проявляется в виде кольца шириной 5,5 м. Выделена она, как область отсутствия поперечных строений. Главной деталью улицы является ров.

Дальше прослеживается кольцо шириной 9 м, условно названное зоной двориков при жилищах второго, внешнего ряда. Дворики выглядят как продолжения жилищ, только с более прерывистыми (частично разрушенными?) стенками. Лучше сохранились стенки – дувалы, отделяющие дворы от улицы. Зона двориков насыщена различными объектами. В частности, выделено 5-6 водосливных ям (отстойников), 2-3 ровика (ручейка), Заметные пожары произошли за торцом жилища 44, а также напротив жилищ 46 и 48. Обнаружено два интересных объекта. Южнее прохода во внутреннем вале привлекает внимание расположение 8-10 столбов (вернее, лунок от них) строго по окружности диаметром 9 м., образуя своеобразную

ротонду. В центре этой окружности находится прямоугольный магнитный предмет 0,6х1,4 м^2 с четкими контурами. В двух метрах от него – округлое кострoвище. При желании можно усмотреть еще и четыре радиально расходящихся стенки или линии столбов, создающих видимость секторов с углами 45°. Второй объект, напоминающий по рисунку магнитного поля описанный выше «металлургический комплекс», расположен практически на улице напротив выхода из жилища 31. Не исключено, что оба эти объекта имели ритуальное предназначение.

Внешний вал практически тоже вписывается в дугу окружности с радиусом 79 м, но только юго-западный сектор вала западнее жилища 46 постепенно начинает сдвигаться к центру поселения, достигая 6 м на углу западных ворот. Однако, если сместить центр круга на 5,5 м к востоку, то и внешний вал прекрасно впишется в новую окружность. Поскольку внешний вал сооружался позже, возможно, что из-за определенных соображений строители за исходную точку приняли другой центр (Быструшкин, 2003). Средняя ширина вала 5,3 м. Намечаются 11-12 контрфорсов – выступов с внешней стороны вала на 0,7 м. В отличие от внутреннего вала этот вал характеризуется сложным магнитным полем. Вдоль вала простираются две цепочки удлиненных положительных аномалий, тяготеющих в основном к границам вала. Непосредственно по краям вала часто прослеживаются узкие отрицательные аномалии, увязываемые с влиянием немагнитной глиняной облицовкой вала (крепидой). Положительные аномалии ΔТ в пределах оборонительной стены иногда образуют фигуры с прямолинейными границами. Возможно, они отражают элементы внутреннего строения вала (ниши, кладовки, проходы). Поэтому часть из них вынесена тонкими контурами на площадь вала. В юго-восточном секторе по азимуту 158° откартирован проход шириной 4-4,5 м. В трех секторах с внутренней стороны крепостной стены отмечены следы крупных пожаров.

Во втором ряду выявлено 25 жилищ (с 26 по 50). Длина их в среднем составляет 20,8 м., хотя встречаются и усеченные жилища: 28 – 9 м, 49 – 15 м. Ширина жилища при вале – 8 м (колеблются от 7,2 до 9 м), ширина жилищ на выход – 7 (5-9) м. В средней части жилищ встречаются поперечные перегородки, делящие жилища на два, реже на три отсека. В простирании основных (радиальных) стенок случаются перерывы. Но некоторые из них представляют проходы между соседними жилищами, а другие – просто бреши, разрушенные со временем интервалы стен, определить трудно. В этом ряду, описанные ранее огороженные комплексы медеплавильных печей и колодцев распространены значительно чаще. Не обнаружены они только в семи жилищах (с 18 по 20, с 38 по 40 и 37). И то, «жилище» 39 едва ли является жилым помещением из-за своей узости – 2,8 м и отсутствия в нем каких-либо объектов. Часть жилищ отличаются некоторыми особенностями внутренней планировки. Так, в жилище 28, помимо его малых размеров (6-9х6-7 м), можно усмотреть странное, близкое к квадрату (4,5х4,2 м) сооружение, обрамленное прямолинейными границами положительного магнитного поля интенсивностью от 10 до 50 нТл. Кроме того, у жилища нет своего дворика, выход – через двор соседнего жилища 29. Жилище 30 при необычно малой ширине 5 м, тем не менее, содержало внутри себя две дополнительных продольных стенки, располагающихся на расстоянии 1,2-1,8 м от основных. Аномалии типа кострoвищ, печей отсутствуют. К сожалению, два интенсивных минимума магнитного поля по углам жилища при вале имеют искусственное происхождение – ямы и искажают общую картину поля. Подобные продольные стенки частично наблюдаются также в жилищах 15, 17, 20 внутреннего и 33, 36, 38, 44 внешнего рядов.

Не менее оригинально и следующее жилище 31, одно из самых широких – 12 м. Для него характерно обилие лунок (33 шт.) и относительная «замусоренность» (до 20 положительных аномалий) магнитным

материалом, в том числе два крупных пожарища. Часть лунок прослеживается вдоль оси жилища, плавно переходя в отрезок продольной стенки длиной 4 м. Примерно такая же картина наблюдается и в жилищах 19 (29 лунок), 33 (38 лунок плюс продольная стенка длиной 11 м). Внутри жилища 32 помимо огороженного комплекса из медеплавильной печи с колодцем наблюдаются еще пять сооружений различных по форме и размерам. Например, столб квадратного сечения 1х1 м^2. Много дополнительных сооружений наблюдается и в жилищах 18 и 35. Грандиозные по размерам в плане и интенсивности магнитного поля сооружения проявились внутри жилища 42. Они заполняют большую часть площади жилища. Одно из них, с сечением 3,5х4 м^2 прилепилось к восточной стене в средней части жилища и имеет широкий выход сразу на два жилища. Судя по форме и близости к южным воротам, это сооружение могло служить наблюдательной башней. Самые контрастные на территории съемок магнитные аномалии, кроме этого жилища, отмечены в жилищах 17-20 внутреннего ряда и в 45.

Это явление можно объяснить интенсивным производством (медеплавильные и гончарные печи с сопутствующими им воздуходувными колодцами, накоплением отходов в виде шлака, остатков руды, бракованных изделий) или более тонким чехлом покровных отложений.

О результатах опытных исследований по пакету программ ADGM-3D (Кочнев, Гоз, Зданович, 2005; Кочнев и др., 2006)

В 2004 г. материалами магнитной съемки на Аркаиме заинтересовались сотрудники института вычислительного моделирования СО РАН (г. Красноярск).

Решено было опробовать разработанную ими новую технологию компьютерной интерпретации магнитного поля (по пакету программ ADGM-3D) под археологические задачи. Для этих целей были представлены данные 4941 магнитометрических измерений на участке в районе южных ворот Аркаима площадью 30х40 м^2 и сведения о магнитных свойствах почвы, культурного слоя, материковых пород, образцов из зон прокала, обожженной глины, золы, шлака, керамики.

Главным достоинством предлагаемой методики является объемное представление объектов интерпретации. Для экспериментов удачно выбрана слоисто-блочная модель среды изучения из трех слоев с границами, повторяющими по форме поверхность рельефа, приближенная к реальному срезу археологического памятника: 30 см (почва), 60 см (гумус и культурный слой) и 120 см (основание поселения).

В работах показано, что наибольшее количество магнитных элементов – блоков (источников аномалий) сосредоточено в верхнем слое, о чем раньше лишь предполагалось. Во втором слое, представляющем для археологов наибольший интерес, число магнитных блоков резко уменьшается. В нижнем слое проявляются лишь самые существенные сооружения.

Но в реконструкции древних сооружений материалы компьютерного макета существенно уступают приведенной здесь методике интерпретации. Это объясняется двумя причинами.

Первая заключается в том, что в выше названных работах для анализа магнитного поля использовали планы изодинам с большим сечением (23,85 нТл), полученным от деления всего диапазона колебаний поля на 10 интервалов. А основная масса археологических объектов характеризуется амплитудами ±10-30 нТл. Проявились лишь единичные, самые магнитные объекты.

Во-вторых, эффективность истолкования элементов магнитного поля напрямую зависит от тщательности сопоставления их с формой, размерами, внутренним строением, ориентировкой, положением в плане археологических объектов, а также с материалами дешифрирования аэрофотоснимков. Первичный план древнего поселения существенно уточняется после согласования его со специалистами-археологами.

В **заключении** можно отметить перспективность применения микромагнитной

съемки при изучении археологических памятников, аналогичных Аркаиму. Только на юге Челябинской области известно еще 19 подобных древних поселений – так называемая «страна городов».

Литература

Быструшкин К.К. Феномен Аркаима. М.: Изд-во «Белые альвы», 2003. 272 с.

Глазунов В.В. Геофизические методы исследования археологических памятников. // Автореферат кандидатской диссертации. Ленинград, 1984. 30 с.

Дудкин В.П., Кошков И.Н. Магнитные свойства археологических объектов. // АРО КС. 1. 1976. С. 19–27.

Журбин И.В., Зелинский А.В. Электрометрические исследования городища Индакар: методика, моделирование и реконструкция археологических объектов // Новые исследования по средневековой археологии Поволжья и Приуралья: матер. Межд. аолевого симпозиума / Ижевск, 1999. С. 215–229.

Кочнев В.А., Гоз И.В., Зданович Г.Б. Опыт применения 3D-технологий интерпретации магнитных полей на археологическом объекте «Аркаим» // Тез. докл. межд. научн.-практ. конф. «Инженерная геофизика-2005» / Геленджик, 2005. С. 82-83.

Кочнев В.А., Гоз И.В., Зданович Г.Б., Пунегов Б.Н. Решение обратной 3D задачи магнитометрии на участке археологического объекта «Аркаим» // Тез. докл. Всероссийской научн. конф. «Математика. Механика. Информатика» / Челябинск, 2006. С. 75.

Тибелиус В.Я. Результаты геофизических исследований на Аркаиме // Россия и Восток: проблемы взаимодействия: матер. конф. Ч. 5. Кн. 2 / Челябинск, 1995. С. 76-79.

К статье Пунегова Б.Н. «Микромагнитная съемка при археологических исследованиях...»

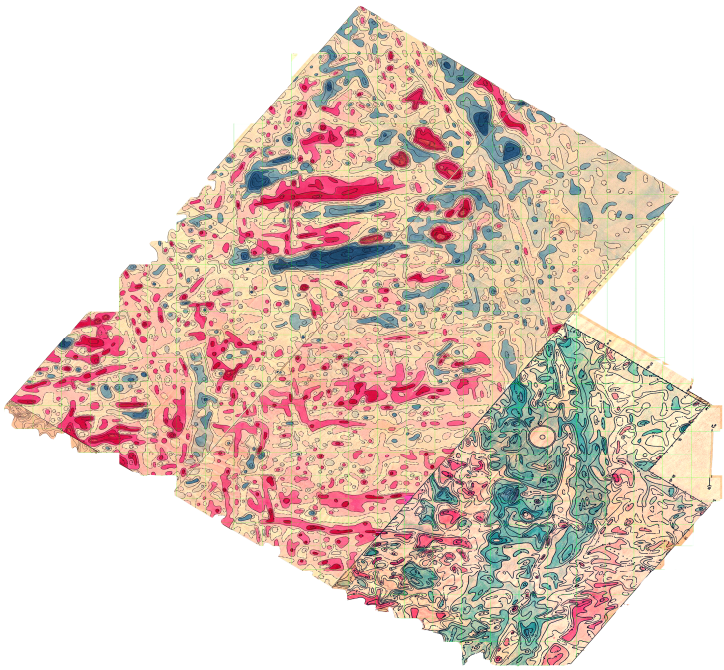

Рис. 1. План изодинам ΔT (фрагмент) по результатам магнитной съемки поселения Аркаим в масштабе 1:500: обозначения:изодинамы синего цвета положительные; красного – отрицательные; черного – нулевые; сечение изодинам 10 нТл

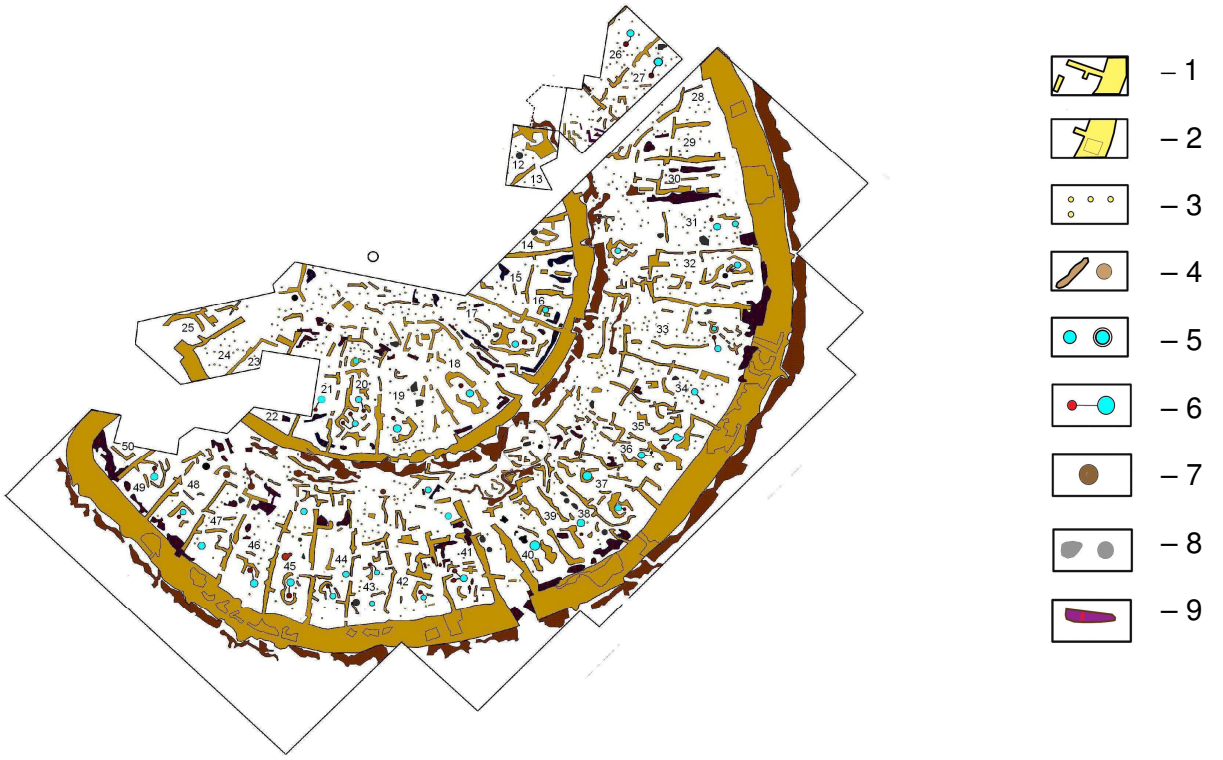

Рис. 2. Вариант реконструкции планировки поселения Аркаим:
обозначения: 1 – погребенные разрушенные постройки из глинобитного материала: оборонительные валы, стены жилищ, дувалы, вспомогательные строения; 2 – предполагаемые особенности строения оборонительного вала (ниши, проходы и т.п.); 3 – ямки от строительных столбов; 4 – места скопления магнитных отложений во рвах, водосливные ямы; 5 – колодцы, колодцы с укрепленными стенками; 6 – медеплавильные, обжиговые печи в комплексе с колодцами, часто просматривается соединяющий их дымоход; 7 – хозяйственные ямы; 8 – участки скопления магнитного материала в виде шлака, обломков руды, золы, обожженной глины, костовища; 9 – развалы стен после пожаров; цифрами обозначены номера жилищ внутреннего и внешнего рядов