

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.837; 550.838

МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЕ АРХЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.И. Эпов^{1,3}, В.И. Молодин², А.К. Манштейн¹, Е.В. Балков^{1,2}, П.Г. Дядьков^{1,3}, Г.Г. Матасова¹,
А.Ю. Казанский², С.Б. Бортникова¹, О.А. Позднякова², Ю.Г. Карин¹, Д.А. Кулешов¹

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

² Институт археологии и этнографии СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 17, Россия

³ Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

Представлены итоги полевых археолого-геофизических работ. Описываются наиболее информативные результаты исследований за последние три года на территории Барабинской лесостепи. Работы проведены на разнотипных археологических памятниках широкого хронологического диапазона (VI тыс. до н.э. — II тыс. н.э.). Информация о наличии, размерах, конфигурации археологических объектов получена на основе данных магнитометрии и электрометрии. Изучены контрасты магнитных свойств верхнего горизонта современной почвы и подстилающего субстрата на территориях разнотипных и разновременных археологических памятников. Установлено, что малая контрастность приводит к уменьшению амплитуд магнитных аномалий над погребенными древними структурами. Подтверждена эффективность применения методов геоэлектрики там, где магнитометрия недостаточно эффективна.

Археология, метод сопротивлений, электромагнитное профилирование, магнитометрия.

INTEGRATED ARCHEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL STUDIES IN WEST SIBERIA

M.I. Epov, V.I. Molodin, A.K. Manshtein, E.V. Balkov, P.G. Dyad'kov, G.G. Matasova, A.Yu. Kazansky,
S.B. Bortnikova, O.A. Pozdnyakova, Yu.G. Karin, and D.A. Kuleshov

We present the most informative results of archeological and geophysical field studies of the Baraba forest-steppe over the last three years. The studies were carried out for archeological sites of different types belonging to a wide time interval (~6000 BC–2000 AD). Data on the presence, size, and configuration of archeologic objects were obtained by magnetometry and electrometry. We studied contrast between the magnetic properties of the upper horizon of present-day soil and underlying substratum at archeologic sites of different types and ages. Low contrast reduces the amplitudes of magnetic anomalies above buried ancient structures. It is shown that geoelectric methods are efficient in cases when magnetometry is not.

Archeology, resistivity method, electromagnetic profiling, magnetometry

ВВЕДЕНИЕ

Достижения в области изучения древнейшей истории человечества во многом зависят от интеграции разных наук и методически верно выбранных комплексов для решения конкретных научных задач. В археологии междисциплинарные исследования являются фундаментальным направлением, призванным расшифровать закодированную информацию об исторических реалиях древних обществ и культур. Наиболее динамично в последние годы развиваются археолого-геофизические исследования, создающие новый потенциал для изучения древней истории.

© М.И. Эпов✉, В.И. Молодин, А.К. Манштейн, Е.В. Балков, П.Г. Дядьков, Г.Г. Матасова, А.Ю. Казанский, С.Б. Бортникова, О.А. Позднякова, Ю.Г. Карин, Д.А. Кулешов, 2016

✉ e-mail: EpovMI@ipgg.sbras.ru

DOI: 10.15372/GiG20160309

Геофизические методы уже более полувека применяются в археологии. В Европе методы сопротивлений и магнитометрии используются с 50-х годов прошлого столетия [Atkinson, 1952; Aitken, 1974]. Начало применения электромагнитного профилирования и георадарной съемки в археологии относится к 1980—1990-м годам [Dalan, 1991; Dabas et al., 2000]. Серьезные успехи в области изучения разнообразных археологических объектов методом магнитометрии (в том числе и в Сибири) достигнуты нашими немецкими коллегами [Becker, Faßbinder, 1999; Faßbinder, Gorka, 2010; Молодин и др., 2010; Gorka, Faßbinder, 2011; Faßbinder et al., 2013].

Археологические памятники весьма многообразны и обладают различными электрическими, магнитными, гидрогеологическими, литологическими и др. характеристиками. Поэтому весьма актуальным становится комплексный подход, при котором различные геофизические методы совместно используются для исследования памятников [Молодин и др., 2001, 2004а; Эпов и др., 2012; Модин и др., 2014]. В настоящее время комплексное применение инструментальных средств и методологических подходов геофизики позволяет еще до раскопок получать важную информацию о характере и структуре археологических объектов.

В последние годы сотрудниками Института нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ) СО РАН и Института археологии и этнографии (ИАЭТ) СО РАН выполнен значительный объем археолого-геофизических работ на древних и средневековых памятниках юга Западной Сибири, Алтае-Саянского нагорья и в Монголии [Молодин и др., 2001, 2003, 2004а,б, 2012б; Дядьков и др., 2005; Балков и др., 2006; Тишкин и др., 2007; Эпов и др., 2012]. Опыт применения геофизических методов показал не только преимущества, но и проблемы, связанные с адекватным сопоставлением археологических и геофизических данных. Прежде всего, это относится к области интерпретации результатов магнитной съемки. Заполнение искусственных выемок (могил, жилищ, хозяйственных ям и т.п.) в подстилающих грунтах гумусовым почвенным слоем приводит к увеличению объема магнитного материала и, соответственно, к появлению над ними положительных магнитных аномалий. Однако последние в плане не всегда имеют явные, четкие формы и хорошо проявляются относительно фоновых значений магнитного поля. В ряде случаев аномалии над археологическими объектами вообще не выделяются, либо оказываются «ложными». Изучение таких «ложных» источников аномалий и отсутствие возможности идентифицировать в слабоконтрастных аномалиях археологические объекты отрицательно сказываются на эффективности археологических работ. Это особенно важно в условиях, когда большинство памятников являются аварийными, т. е. разрушаются под воздействием природных и антропогенных факторов.

Очевидно, что основной причиной слабой выраженности аномалий является отсутствие достаточного контраста магнитных свойств гумусового слоя и подстилающих отложений (суглинков, супесей, песков). Поскольку магнитометрия в настоящее время во всем мире является одним из наиболее востребованных и высокопроизводительных методов для выявления археологических комплексов, с целью повышения ее эффективности авторами была поставлена задача изучения контраста магнитных свойств верхнего горизонта современной почвы и подстилающего субстрата на территории археологических объектов средствами геофизики и геохимии.

Наличие объектов с контрастным удельным электрическим сопротивлением (УЭС), в случае отсутствия такового по магнитным свойствам или высокой зашумленности данных магнитометрии, обеспечивает благоприятные условия применения методов сопротивлений, а также частотного электромагнитного зондирования или профилирования (в портативном наземном варианте). Опыт совместных археолого-геофизических исследований показал, что задачи определения вертикального строения археологического объекта решаются с помощью геоэлектрики.

Метод сопротивлений в традиционном варианте вертикальных электрических зондирований или электропрофилирования характеризуется невысокой производительностью и недостаточной разрешающей способностью. Автоматизация использования многоэлектродной аппаратуры метода сопротивлений [Булгаков, Манштейн, 2006] в варианте электротомографии существенно повышает эти характеристики. В связи с этим необходимо изучить возможности использования метода электротомографии для выявления археологических комплексов с помощью высокопроизводительной многоканальной аппаратуры «Скала», разработанной в ИНГГ СО РАН [Балков и др., 2012].

Многолетнее применение методов частотного электромагнитного зондирования (ЭМС) и электромагнитного профилирования неоднократно подтвердило их эффективность [Патент, 2000; Балков и др., 2006]. В настоящее время ЭМС находит широкое применение в качестве аппаратуры для электромагнитного профилирования, однако, был выявлен ряд недостатков, снижающих результативность применения ЭМС [Балков, 2011а]. Например, установлено, что типовые геоэлектрические разрезы Барабинской и Предалтайской равнин, а также Горного Алтая характеризуются довольно высокими значениями УЭС. Следствием этого является низкий уровень сигналов ЭМС, существенно искажающий кривые зондирования. Решение этих проблем значительно повысит эффективность применения этих методов для целей археологии.

Работа по подбору геофизических методов и аппаратуры для оптимального изучения археологических памятников является основной задачей археолого-геофизических исследований. Она имеет много особенностей, поскольку каждый археологический комплекс обладает своим набором различных физических характеристик. Физические свойства формируются как в результате естественных процессов, обусловленных ландшафтными и климатическими условиями, так и под воздействием антропогенных факторов. Последнее выражается в трансформации естественной природной среды древним и современным населением в ходе своей жизнедеятельности. Для решения поставленных задач, а также с целью оптимизации методики археолого-геофизического исследования, были выполнены методические работы на разнотипных и разновременных археологических памятниках Барабинской лесостепи.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Магнитометрия. Физической основой магнитометрического метода поиска и изучения археологических комплексов является неоднородность магнитных свойств исследуемых объектов и вмещающей среды. При этом наблюдается достаточно сильная дифференциация величины магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности различных грунтов, горных пород и искусственных объектов [Дядьков и др., 2005; Гершанок, 2011]. Для обнаружения аномалий в магнитном поле на археологических памятниках проводятся измерения значений вектора магнитной индукции поля Земли и его элементов или модуля этого вектора. Высокая чувствительность и точность современной аппаратуры (протонные и квантовые магнитометры), позволяют регистрировать весьма малые пространственные изменения магнитного поля, обусловленные, в свою очередь, достаточно слабыми изменениями магнитных свойств среды.

При исследованиях применялись квантовые и протонные магнитометры-градиентометры: G-858G (Geometrics), GSPM-35G (GEM), ММПГ-1 (Геологоразведка), протонные магнитометры и магнитовариационные станции: ММ-61 (Казгеофизприбор), МВ-08, МВ-07 (Геомер). Чувствительность квантового магнитометра-градиентометра G-858G составляет 0.05 нТл при цикле измерений 0.1 с и 0.01 нТл при цикле 1 с, абсолютная точность — около 0.5 нТл. Чувствительность GSPM-35G — 0.0025 нТл, абсолютная точность ± 0.1 нТл. Оба датчика градиентометров выполняют синхронные измерения модуля вектора магнитной индукции. Результатом единичного измерения является разность синхронных значений магнитного поля, измеренных двумя разнесенными датчиками. Высокая скорость работы (от 10 до 20 измерений в секунду) позволяет выполнять съемку в движении без остановки и фиксации датчика на каждом пункте.

Как правило, измерения производились с использованием метода вертикального градиента. Опыт наблюдений показал, что такие данные являются более информативными и простыми для интерпретации, особенно для поиска небольших по размерам археологических объектов (например, захоронений). Они отражают изменения в магнитных свойствах среды непосредственно под точкой измерения, в то время как горизонтальный градиент позволяет несколько лучше выделять границы тел (например, котлованов жилищ).

Петромагнитные исследования. Петромагнитные исследования включали площадное картирование магнитной восприимчивости почв, измерение магнитной восприимчивости на вертикальных профилях современных почв и подстилающих материнских пород. Площадное картирование проводилось после удаления дерна с шагом 2.5—5.0 м, с использованием каппаметра КТ-5.

Для лабораторных исследований отбирали пробы из заполнения разновременных археологических объектов, а также из вертикальных профилей в шурфах и стенках раскопов на максимально возможную глубину через 0.05—0.10 м. Измерения выполнялись аппаратурой Bartington MS2. С ее помощью в лабораторных условиях измерялась объемная магнитная восприимчивость на низкой (0.47 кГц) XLF и высокой (4.7 кГц) XHF частотах, рассчитывалась относительная частотная разность магнитной восприимчивости $FD = 100 \cdot (XLF - XHF) / XLF$ (%). Как известно, магнитная восприимчивость характеризует способность вещества намагничиваться и зависит в первую очередь от концентрации и состава магнитных минералов. Зависимость магнитной восприимчивости от частоты отражает наличие в магнитной фракции специфических ультратонких магнитных зерен (размером менее 30 мкм). Эти суперпарамагнитные (СПМ) зерна, как правило, имеют биохимическое происхождение и образуются в результате интенсивных почвообразовательных процессов. Их наличие и количество отражает параметр FD , который может служить, в первом приближении, оценкой степени развития почв. СПМ зерна обладают магнитными свойствами, отличающими их от зерен тех же магнитных минералов, но других размеров, поэтому достаточно легко обнаруживаются соответствующими измерениями.

Для **геохимического исследования** отбирали образцы из культурного слоя, а также из заполнения разновременных археологических объектов и вмещающей их среды. Изучение образцов включало многоэлементный анализ валовых проб, извлечение магнитной и электромагнитной фракций, определение фазового состава магнитной фракции, а также подробное изучение состава и структуры зерен под

электронным микроскопом. Дополнительно, с помощью четырехэлектродного метода, во всех пробах замерялось УЭС сухого и увлажненного вещества.

Частотное зондирование (ЧЗ) и электромагнитное профилирование (ЭМП). Аппаратура ЭМС разработана и изготавливается в ИНГГ СО РАН [Патент, 2000; Балков, Манштейн, 2001; Манштейн и др., 2008]. Прибор представляет собой трехкатушечный зонд с фиксированным расстоянием между катушками, из которых одна является генераторной и две приемными. Все катушки располагаются на одной прямой параллельно земной поверхности. Генераторная петля излучает электромагнитное поле на 14 частотах в диапазоне от 2.5 до 250 кГц. Близкая приемная катушка расположена от генераторной на расстоянии 1.5 м, вторая — на 2.5 м. Моменты приемных катушек и их удаление от генераторной подобраны так, что в воздухе достигается компенсация первичного поля. В процессе измерений регистрируются квадратурная и синфазная составляющие разностной ЭДС, индуцированной текущими в среде вихревыми токами. Измеряемые сигналы обрабатываются либо путем трансформации в кажущиеся сопротивления, либо с помощью одномерной инверсии. Максимальная глубина исследования зависит от параметров среды и достигает 7 м. Результаты представляются в виде карт распределения кажущихся величин УЭС [Балков, 2011а].

Электротомография. Аппаратура «Скала», разработанная в ИНГГ СО РАН, реализует модифицированный метод сопротивлений на постоянном токе, который основан на применении многоэлектродных кос, подключаемых к аппаратуре, автоматически коммутирующей токовые и измерительные электроды [Балков и др., 2012]. Такая технология увеличивает на порядок производительность и повышает разрешающую способность зондирований, особенно если аппаратура имеет несколько измерительных каналов, позволяющих измерять разность потенциалов одновременно с нескольких приемных линий. В «Скале 64» есть 16 одновременно измеряемых каналов. Аппаратура работает в режимах электротомографии, вызванной поляризации, электропрофилирования и вертикального электрического зондирования. Результаты измерений представляются в виде разрезов и карт распределения УЭС.

РЕЗУЛЬТАТЫ АРХЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одной из основных задач исследования была оптимизация археолого-геофизических работ, основанных на применении метода магнитометрии. Несмотря на высокую степень информативности прецизионной магнитной съемки, сопоставление археологических и геофизических данных позволило сформулировать три проблемных ситуации: 1) на картах магнитного поля выделяются «ложные» аномалии; 2) археологические комплексы плохо идентифицируются из-за малого контраста аномалий со средой; 3) магнитные аномалии над археологическими объектами не фиксируются.

В качестве основного полигона для оценки эффективности магнитометрии был выбран памятник Тартас-1 (Венгеровский р-н, Новосибирской обл.), археологические раскопки которого ведутся параллельно с магнитным картированием с 2004 г. [Молодин и др., 2004б; Дядьков и др., 2005]. В настоящее время общая площадь магнитной съемки составляет более 30 тыс. кв.м. (рис. 1, А). Около половины этой площади уже вскрыто археологическими раскопками, изучено более 600 погребений и почти тысяча ям. Исследованы комплексы усть-тартасской, одиновской, кротовской, позднекротовской, андроновской (федоровской), ирменской, пахомовской культур эпохи бронзы, большереченской культуры раннего железного века, а также завершающей стадии гунно-сарматского, древнетюркского времени и кыштовской культуры позднего средневековья. Хронологически, диапазон существования данного археологического комплекса охватывает период с IV—III тыс. до н.э. по II тыс. н.э. Раскопки памятника Тартас-1 имеют огромное значение для археологической науки, поскольку дают уникальные материалы для разработки культурно-хронологических периодизаций и в целом реконструкции исторического прошлого Западной Сибири [Молодин и др., 2011б].

Сопоставление результатов археологических раскопок и данных магнитного картирования позволило установить, что на памятнике Тартас-1 фиксируются все варианты проблемной ситуации, связанной с неэффективностью применения магнитной съемки [Матасова и др., 2013]. Наиболее простой для решения оказалась проблема «ложных» аномалий. Их причиной являются либо природные факторы, либо последствия современного антропогенного воздействия на почвенный слой. Это может выражаться в наличии в грунте металлических предметов, следов глубокой распашки или локальных увеличений толщины слоя почвы. Как аномалии могут проявляться муравейники, норы, следы кострищ и т.п. Новые наблюдения хорошо согласуются с аналогичными случаями, зафиксированными ранее, например, при раскопках некрополя на городище Чича-1 [Молодин и др., 2004а].

Второй и третий варианты проблемной ситуации тесно связаны между собой и обусловлены недостаточным контрастом магнитных свойств вмещающей среды и заполнения археологических объектов. Причины малого контраста можно подразделить на естественные и искусственные. Естественные обусловлены ландшафтными и климатическими условиями, при которых формируются различные типы

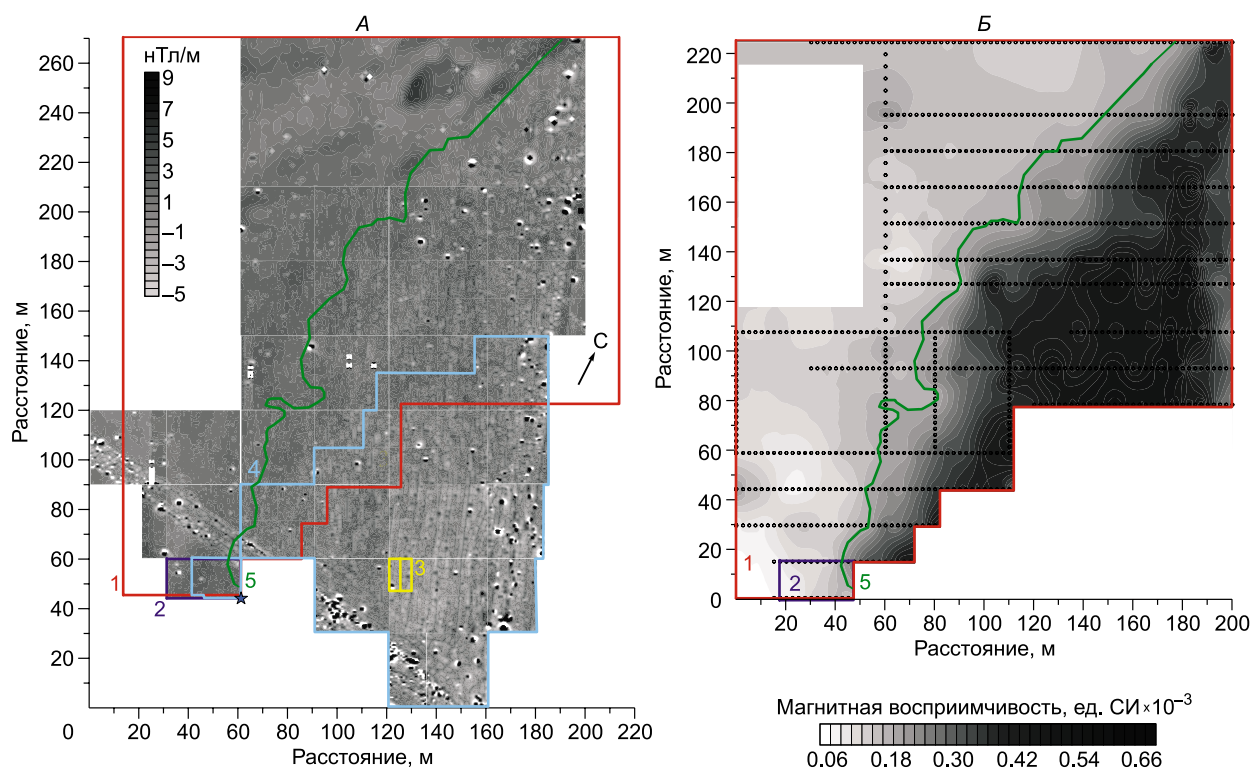


Рис. 1. Карта распределения вертикальной производной модуля вектора магнитной индукции (А) и карта распределения магнитной восприимчивости (Б) на участке археологического памятника Тартас-1.

1 — область каппаметрических наблюдений, 2 — область наблюдений методом ЧЗ (звездочка — начало локальной системы координат), 3 — участок для детализации магнитометрической карты, 4 — граница вскрытой раскопками площади на 2014 г., 5 — линия разграничения областей различной контрастности магнитных свойств.

грунтов и их магнитные свойства. Памятник Тартас-1 расположен на надпойменной террасе правого берега р. Тартас. С восточной стороны его территория ограничена краем террасы, с южной и западной сторон — протокой. Наблюдается понижение рельефа в направлении от края террасы к протоке, а также в северном направлении (с этой стороны памятник подтапливается в периоды обводнений). На памятнике Тартас-1, на участке в 1 кв. км обнаружено три типа почв — черноземная (автоморфная), луговая (полугидроморфная) и пойменная (гидроморфная) и три типа подстилающих пород — суглинки, супеси, пески. По результатам площадной каппаметрической съемки, проведенной по поверхности пашни на всей нераскопанной территории памятника, была построена карта распределения магнитной восприимчивости почв (см. рис. 1, Б). Оказалось, что наиболее магнитной является автоморфная почва, залегающая в зоне водораздела. Она сменяется луговыми, а затем пойменными почвами, которые характеризуются слабыми магнитными свойствами. В общей сложности, по мере приближения к протоке магнитная восприимчивость гумусового горизонта снижается примерно в 5 раз.

Магнитная фракция (МФ) автоморфной почвы состоит преимущественно из магнетита с большим количеством ультратонких суперпарамагнитных (СПМ) частиц (био)химического происхождения, что обеспечивает повышенные значения ее магнитных характеристик. МФ пойменных почв содержит в основном слабомагнитные минералы гетит и гематит. МФ суглинков состоит из магнетита и гематита с преобладанием последнего. Здесь отсутствуют наночастицы аутигенного происхождения. Количество магнетита в МФ супесей и песков еще меньше, чем в суглинках. Таким образом, магнитная съемка позволяет выделить зоны распространения тех или иных видов почв, при этом прослеживается взаимосвязь этих зон с рельефом местности.

В зоне автоморфных почв, при условии заполнения археологических объектов гумусированным грунтом, планиграфическое расположение геофизических аномалий и археологических ям совпадает полностью (рис. 2, Б—Д). Участки луговых и пойменных почв средне- и малоперспективны для магнитной съемки, даже при условии заполнения археологических объектов большим количеством почвенного материала. Аномалии над археологическими объектами в этих зонах не выделяются, либо не имеют

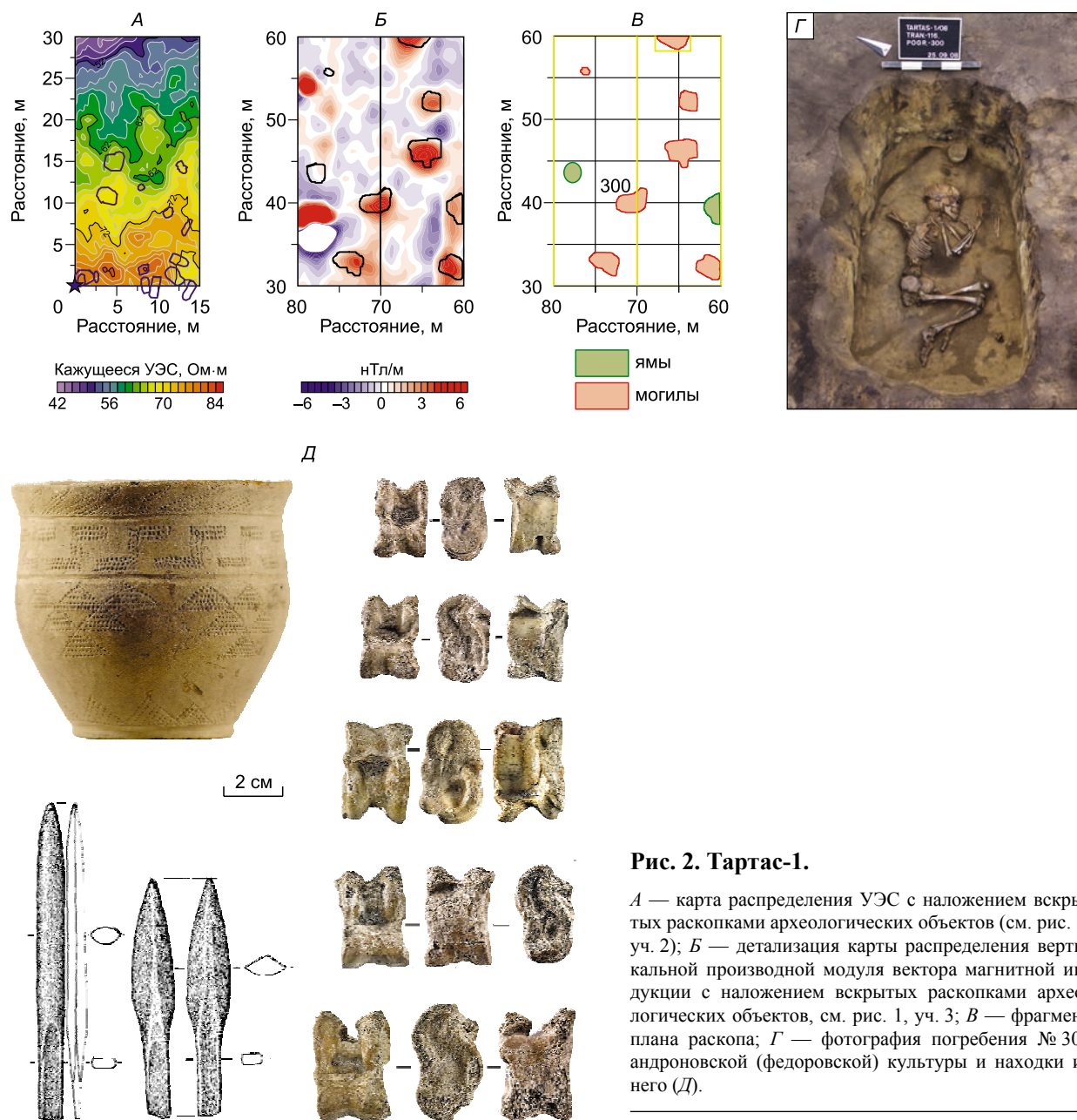


Рис. 2. Тартас-1.

А — карта распределения УЭС с наложением вскрытых раскопками археологических объектов (см. рис. 1, уч. 2); *Б* — детализация карты распределения вертикальной производной модуля вектора магнитной индукции с наложением вскрытых раскопками археологических объектов, см. рис. 1, уч. 3; *В* — фрагмент плана раскопа; *Г* — фотография погребения № 300 андроновской (федоровской) культуры и находки из него (*Д*).

четких форм и слабо контрастируют с фоновыми значениями магнитного поля. Таким образом, существует жесткая взаимосвязь между типом почвы, ее магнитными характеристиками и эффективностью магнитного картирования. Только в случае заполнения ям гумусовой автоморфной почвой контраст магнитных свойств заполнения и вмещающих пород достаточен для выделения четкой магнитной аномалии над археологическим объектом.

Искусственные причины малого контраста между заполнением ям и вмещающей средой обусловлены деятельностью древних людей. Величина аномалии над археологическим объектом зависит от того, какое количество почвенного магнитного материала попало в его заполнение. Существенным фактором является также размер и глубина ямы. Особенно четко эта зависимость проявляется в среднеперспективных для магнитной съемки зонах, где небольшие по размерам объекты не образуют заметных аномалий магнитного поля.

Таким образом, применение петромагнитного метода для исследования памятника Тартас-1 и сопоставление его результатов с археологическими и геофизическими данными показало, что основной причиной недостаточной эффективности магнитной съемки является гипергенная (поверхностная) трансформация минералов магнитной фракции почвы и как следствие этого недостаточный контраст магнитных свойств почвы и подстилающих грунтов. Обозначенные факторы природного и искусствен-

ного характера ограничивают возможности магнитометрии для поиска и идентификации археологических объектов.

В связи с вышесказанным становится важной задача выделения археологических объектов по другим характеристикам, в первую очередь по УЭС. В методических целях на юго-западной периферии памятника Тартас-1 в неперспективной для магнитной съемки зоне было выполнено картирование участка площадью 3180 кв. м., методом частотного зондирования. Сопоставление с результатами раскопок показало, что обнаруженные здесь археологические объекты могут быть приурочены в целом к аномалиям повышенного УЭС, при этом на магнитной карте они не проявились (см. рис. 2, А). Масштабные комплексные археолого-геофизические работы были проведены в 2011—2014 гг. на памятнике Венгерово-2 (Венгеровский р-н, Новосибирской обл). Этот комплекс был впервые исследован в 1970-х годах В.И. Молодиным [Молодин, 1977; Молодин, Полосьмак, 1978]. Здесь четко идентифицируется поселение эпохи бронзы в виде рядов жилищных западин кротовской культуры (конец III—начало II тыс. до н.э.). Во время раскопок под слоем кротовского времени были обнаружены захоронения эпохи неолита, окруженные рвом (VI тыс. до н.э.) [Молодин и др., 2011а]. Неолитические погребальные комплексы чрезвычайно редки, каждый из них уникален. Раскопки таких объектов на территории Барабинской лесостепи открывают возможности для изучения особенностей первоначального заселения этого региона, а также для оценки процессов дальнейшего культурогенеза. С учетом этого, основной задачей археолого-геофизических работ на памятнике Венгерово-2 стал поиск неолитических конструкций.

За время исследований выполнен большой объем магнитной (2563 кв. м) и электромагнитной съемки (2133.5 кв.м), построены сводные карты распределения градиента магнитного поля (рис. 3, Б) и кажущегося УЭС в районе памятника (см. рис. 3, А). Почти все построения осложнены помехой от кабеля, пролегающего в непосредственной близости от археологических объектов. При этом и магнитометрия, и электромагнитное профилирование отчетливо выделяют границы жилищ кротовской культуры. На магнитограммах хорошо фиксируется расположение очагов, отдельные микроаномалии соответствуют объектам, связанным с пространственной организацией кротовского поселка [Молодин и др.,

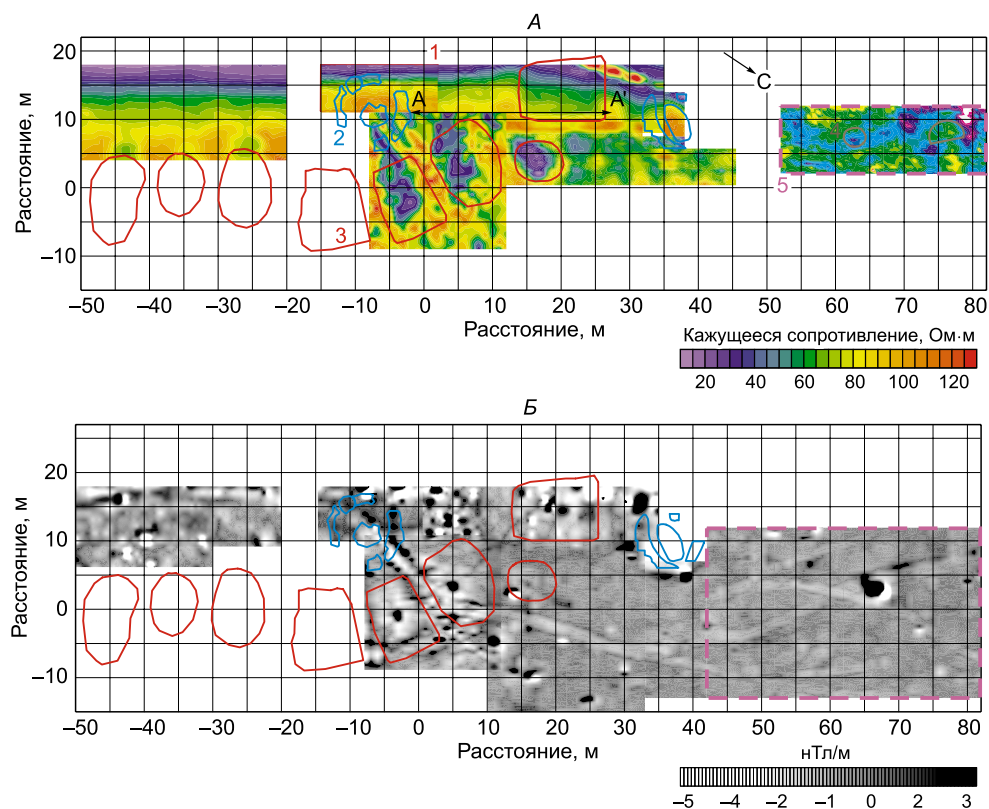


Рис. 3. Венгерово-2. Карта кажущегося удельного электрического сопротивления по данным электромагнитного профилирования (А). Карта распределения вертикальной производной модуля вектора магнитной индукции (Б).

1 — область детализации карты распределения кажущегося электрического удельного сопротивления, 2 — контуры погребальных комплексов эпохи неолита, 3 — контуры жилищ эпохи бронзы, 4 — перспективные аномалии, 5 — площади, исследованные в 2014 г.

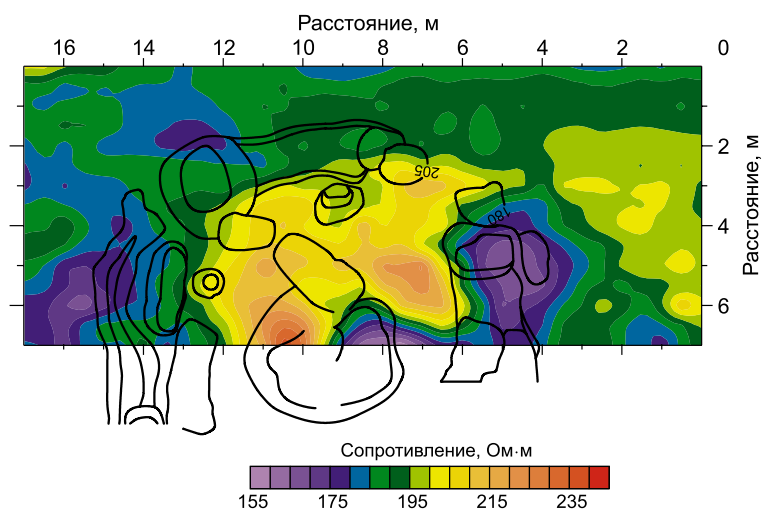


Рис. 4. Венгерово-2.

Детализация карты распределения кажущегося удельного электрического сопротивления с учетом влияния кабеля (см. рис. 4, уч. 1). Показан контур погребального комплекса № 1 эпохи неолита.

2011а, 2012а, 2013, 2014]. Область с пониженными значениями кажущихся УЭС в основном совпадает с расположением выявленного в раскопе неолитического погребального комплекса № 1 (рис. 4). Отдельным, наиболее глубоким участкам этой конструкции соответствуют и точечные аномалии на магнитной карте.

После завершения раскопок погребального комплекса № 1 и его рекультивации были проведены измерения вдоль профиля АА' (см. рис. 3, А), пересекающего могильную яму и ров. Геоэлектрический разрез, полученный в результате двухмерной инверсии, содержит аномалии повышенного УЭС в местах пересечения профиля наблюдений с погребенными конструкциями (рис. 5). Эти работы наглядно продемонстрировали возможности метода электропрофилирования по восстановлению горизонтального и вертикального строения археологических объектов.

Петромагнитные исследования выявили высокую степень контраста (в 3—4 раза) между магнитными свойствами почв и подстилающих грунтов за счет большого количества аутигенных частиц магнетита в почвенных горизонтах. Это позволило положительно оценить перспективы применения магнитной съемки, но только при заполнении ям гумусовым веществом. Данный вывод подтверждают результаты археолого-геофизического исследования кротовских жилищ, котлованы которых после прекращения функционирования поселка естественным образом заполнялись смывами с поверхности почвы. Неолитическая конструкция, напротив, была специально засыпана, есть данные о наличии над ней земляного сооружения. Анализ магнитной восприимчивости заполнения рвов позволил предположить, что эти объекты заполнялись «материковым» либо смешанным грунтом, поэтому вероятность их обнаружения магнитной съемкой существенно снижается.

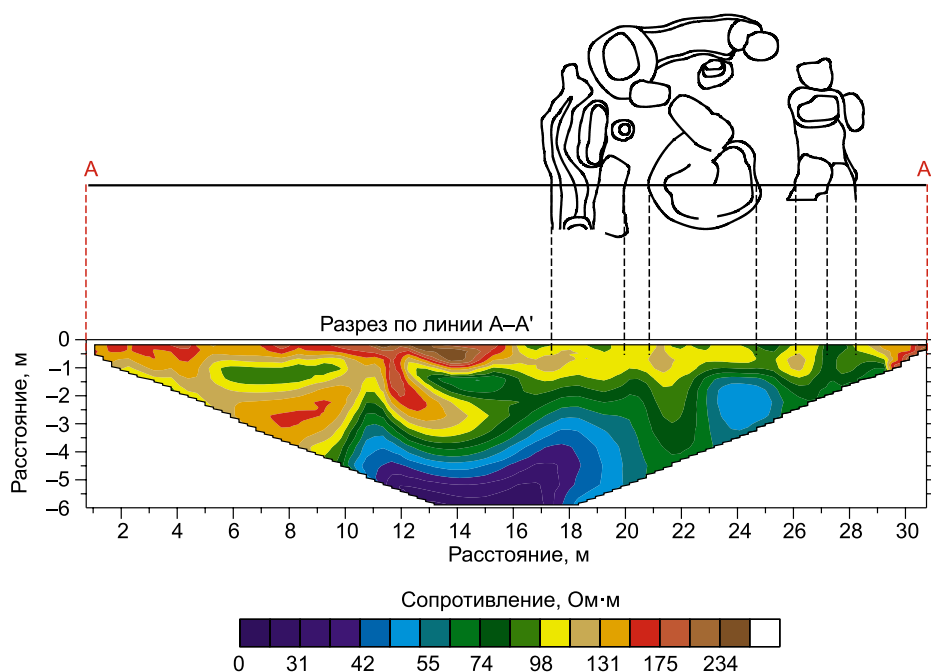


Рис. 5. Венгерово-2. Разрез по данным электротомографии (профиль А—А', см. рис. 3).

Показан контур погребального комплекса № 1 эпохи неолита.

УЭС образцов грунта, Ом-м

Образец	Неолит					Бронза	
	Вен-1	Вен-3	Вен-7	Вен-7/1	Вен-2	Вен-4	Вен-8
Сухой	680	3000	21000	910	220	220	416
Влажный	100	110	44	49	130	100	29

Результаты геохимического анализа показали, что разница в магнитных свойствах образцов грунта из заполнения неолита и бронзы определяется степенью разрушения и окисления магнитных минералов. В пробах эпохи бронзы, отобранных на памятнике Венгерово-2, обнаружилась сравнительно хорошая сохранность магнетита, не более 10 % зерен затронуто процессами окисления. Эти данные хорошо коррелируют с результатами изучения проб из ям эпохи бронзы памятника Тартас-1. В то же время вещество проб неолитической эпохи даже визуально более окисленно, имеет ярко-рыжую, желто-рыжую окраску. Изучение образцов под микроскопом позволило сделать вывод о разрушении магнитных минералов (магнетита, гематита) в веществе неолитической эпохи и замещении их немагнитными вторичными фазами (гидроксиды железа). Это означает, что разубоживание, в магнитном отношении, вещества из заполнения неолитических объектов в совокупности с особенностями заполнения может отрицательно сказаться на перспективах их обнаружения магнитной съемкой. Общий объем магнитного материала в веществе из ям неолитической эпохи может оказаться недостаточным для генерации над ними отчетливых аномалий магнитного поля.

Благодаря лабораторным исследованиям УЭС проб эпохи бронзы и неолита, были обозначены перспективы получения результата с помощью геоэлектрических методов. По результатам лабораторного измерения УЭС было установлено, что грунт из заполнения объектов эпохи неолита значительно отличается по значениям УЭС от грунта, отобранного из слоя кротовской культуры (таблица). Однако это различие сохраняется только для сухого скелета. При увлажнении вещества разница нивелируется. Это позволяет сделать вывод, что результаты электроразведки могут напрямую зависеть от влажности грунта на момент измерений. В соответствии с данными лабораторного эксперимента, было принято решение о перспективности исследования площади памятника в условиях повышенной влагонасыщенности в период межсезонья [Молодин и др., 2012в].

Площадь электроразведочных работ 2014 г., не вскрытая раскопками, содержит два перспективных участка (см. рис. 3.) Первая область характеризуется повышенными значениями УЭС на фоне вмещающей среды. В рельефе она практически не выделяется и покрыта мхом. Второй участок по значениям УЭС близок к характеристикам вмещающей среды, но окружен локальной радиальной аномалией с повышенными значениями УЭС. В рельефе он выражен небольшим возвышением и покрыт мхом. На этом участке выделились аномалии с повышенными магнитными значениями, которые слабо коррелируют с аномалиями по УЭС (см. рис. 3). С учетом результатов петромагнитных и геохимических исследований их вряд ли можно сопоставить с объектами эпохи неолита. Тем не менее они, как и аномалии УЭС, перспективны для археологической проверки.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате изучения причин возникновения и отсутствия магнитных аномалий над различными археологическими объектами была обоснована необходимость измерения магнитной восприимчивости почвы в районе археолого-геофизических работ. Петромагнитный метод может быть эффективным инструментом для специалистов, использующих магнитную съемку в качестве этапа предварительного планирования раскопок. С его помощью можно в короткие сроки исследовать большие по площади участки археологических памятников и строить прогнозные карты распределения магнитных свойств. Этот метод не только позволяет производить объективную оценку информативности геофизических построений, но и обеспечивать экономичность полевых работ за счет сокращения затрат на неперспективных территориях.

Наиболее информативными и простыми для интерпретации являются данные измерений вертикального градиента магнитного поля. Они отражают изменения в магнитных свойствах среды непосредственно под точкой измерения.

Высокий контраст значений магнитной восприимчивости почв и подстилающих пород обеспечивает перспективность магнитометрической съемки и высокую долю вероятности обнаружения искомых объектов. В такой ситуации магнитометрия как самый производительный (измерения с частотой не ниже 10 Гц) на настоящий момент метод может дать исчерпывающую планиграфическую информацию, оставаясь основным полевым методом. Дополнительные, менее производительные геофизические методы могут быть применены в случае необходимости. При низком контрасте значений магнитной воспри-

имчивости материала заполнения археологических объектов и вмещающей среды, магнитометрия теряет свою эффективность. Кроме того, ограничением в применении микромагнитной съемки является наличие больших градиентов аномалий магнитного поля в породах кристаллического фундамента там, где они выходят на поверхность или залегают на глубинах менее 10 м, а также нахождение в грунте металлических предметов.

Методы ЧЗ, ЭМП и ЭТ, определяющие УЭС, могут вполне эффективно обнаруживать аномалии, связанные с археологическими объектами там, где не работает магнитометрия. Недостатком метода ЭТ является необходимость гальванического заземления электродов и сравнительно невысокая производительность. Но преимущество ЭТ состоит в возможности проводить количественную интерпретацию данных и получать информацию о реальном двух- или трехмерном распределении УЭС среды.

Метод бесконтактного малоглубинного ЧЗ, реализованный в аппаратуре ЭМС, обладающий большей производительностью, чем ЭТ (частота измерений до 1 Гц), позволяет проводить количественную одномерную интерпретацию только для проводящих сред [Балков, 2011а], которые в археолого-геофизической практике весьма редки. Поэтому аппаратура ЧЗ ЭМС в основном применяется для картирования кажущегося УЭС среды. Перечисленные факторы определяют высокую перспективность новой разработки радиально-частотного зондирования и ЭМП [Балков, Манштейн, 2014], ведущейся в ИНГГ СО РАН, производительность и разрешающая способность которой обещают быть высокими по сравнению с ЭМС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате комплексных археолого-геофизических исследований разновременных памятников, проведенных с 2012 по 2014 г. на территории Западной Сибири, были получены следующие результаты.

Несмотря на высокую в целом степень информативности прецизионной магнитной съемки, на ряде участков наблюдалось снижение ее эффективности. Выяснилось, что основной причиной этого является недостаточный контраст между магнитными свойствами почвы и подстилающих грунтов. Изучены и охарактеризованы естественные и искусственные причины малой контрастности между заполнением ям и вмещающей средой, а также причины ложных аномалий.

Наиболее полные результаты по поиску и изучению конфигурации археологических объектов могут быть получены комплексом геофизических методов: магнитометрии, капаметрии, электромагнитного профилирования и электротомографии, так как каждый из этих методов направлен на изучение различных физических параметров.

Археологические, геоэлектрические и петромагнитные исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00036).

ЛИТЕРАТУРА

Балков Е.В. Технология малоглубинного частотного зондирования // Геофизика, 2011а, № 6, с. 42—47.

Балков Е.В. Множественные образы в сигнале от локальных объектов при электромагнитном профилировании компактным зондом с разнесенными катушками // 5-я Всероссийская школа-семинар им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по электромагнитным зондированиям Земли. СПб., 2011б, с. 4.

Балков Е.В., Манштейн А.К. Трехкатушечный индукционный зонд в частотном зондировании // Геофизический вестник, М., ЕАГО, 2001, № 12, с. 17—20.

Балков Е.В., Манштейн А.К. Макетирование аппаратуры малоглубинного электромагнитного профилирования и радиально-частотного зондирования // Сборник материалов 10-го Международного научного конгресса и выставки Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014 (Новосибирск, апрель 2014), Новосибирск, 2014, 5 с.

Балков Е.В., Манштейн А.К., Чемякина М.А., Манштейн Ю.А., Эпов М.И. Опыт применения электромагнитного частотного зондирования для решения археолого-геофизических задач // Геофизика, 2006, № 1, с. 43—50.

Балков Е.В., Панин Г.Л., Манштейн Ю.А., Манштейн А.К., Белобородов В.А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения // Геофизика, 2012, № 6, с. 54—63.

Булгаков А.Ю., Манштейн А.К. Геофизический прибор для автоматизации многоэлектродной электроразведки // Приборы и техника эксперимента, 2006, № 4, с. 123—125.

Гершанок Л.А. Магниторазведка. Пермь, Перм. ун-т, 2011, 421 с.

Дядьков П.Г., Молодин В.И., Чемякина М.А., Михеев О.А. Магнитометрические исследования археологических памятников Тартас-1 и Преображенка-6 в Барабинской лесостепи // Проблемы архео-

логии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий (Материалы Годовой сессии Института археологии и этнографии СО РАН 2005 г.). Новосибирск, Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2005, т. XI, ч. I, с. 304—309.

Манштейн А.К., Панин Г.Л., Тикунов С.Ю. Аппаратура частотного электромагнитного зондирования «ЭМС» // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (6), с. 571—579.

Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Позднякова О.А., Молодин В.И., Мыльникова Л.Н., Нестерова М.С., Кобелева Л.С. Итоги и перспективы применения петромагнитного метода для исследования археологических памятников Барабинской лесостепи // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий: Материалы итоговой сессии Института археологии и этнографии СО РАН, 2013 г. / Под ред. А.П. Деревянко, В.И. Молодина. Новосибирск, Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2013, т. XIX, с. 251—254.

Модин И.Н., Ерохин С.А., Павлова А.М., Пелевин А.А., Шишкина Т.В. Изучение древнерусских курганов с помощью трехмерной электрической томографии и георадиолокации // Сборник материалов 10-й Международной конференции «Инженерная геофизика, 2014». Геленджик, 2014. DOI: 10.3997/2214-4609.20140478.

Молодин В.И. Эпоха неолита и бронзы лесостепного Обь-Иртышья. Новосибирск, Наука, 1977, 174 с.

Молодин В.И., Полосьмак Н.В. Венгерово-2 — поселение кротовской культуры // Этнокультурные явления в Западной Сибири. Томск, Изд-во Том. ун-та, 1978, с. 17—29.

Молодин В.И., Парцингер Г., Гаркуша Ю.Н., Шнеевайс Й., Беккер Х., Фассбиндер Й., Чемякина М.А., Гришин А.Е., Новикова О.И., Ефремова Н.С., Манштейн А.К., Дядьков П.Г., Васильев С.К., Мыльникова Л.Н., Балков Е.В. Археолого-геофизические исследования городища переходного от бронзы к железу времени Чича-1 в Барабинской лесостепи. Первые результаты Российской-Германской экспедиции // Археология, этнография и антропология Евразии, 2001, № 3(7), с. 104—127.

Молодин В.И., Софеев О.В., Дейч Б.А., Гришин А.Е., Чемякина М.А., Манштейн А.К., Балков Е.В., Шатов А.Г. Новый памятник эпохи бронзы в Барабинской лесостепи (могильник Тартас-1) // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Т. IX. Новосибирск, Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2003, с. 441—446.

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

Молодин В.И., Чемякина М.А., Дядьков П.Г., Гришин А.Е., Позднякова О.А., Михеев О.А. Археолого-геофизические исследования могильника Тартас-1 в 2004 г. // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий (Материалы Годовой сессии Института археологии и этнографии СО РАН 2004 г.). Новосибирск, Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2004б, т. X, ч. I, с. 372—377.

Молодин В.И., Фассбиндер Й., Горка Т., Позднякова О.А., Чемякина М.А., Дураков И.А., Хансен С., Наглер А. Новый могильник древнетюркского времени Аул-Кошкуль-1 в Барабинской лесостепи. Геофизические исследования // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: История, филология, 2010, т. 10, вып. 3: Археология и этнография, с. 74—84.

Молодин В.И., Мыльникова Л.Н., Нестерова М.С., Борzych К.А., Марочкин А.Г. Исследование поселения кротовской культуры Венгерово-2 и открытие неолитического могильника Венгерово-2А // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий: Материалы итоговой сессии Института археологии и этнографии СО РАН, 2011 г. / Под ред. А.П. Деревянко, В.И. Молодина. Новосибирск, Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2011а, т. XVII, с. 199—205.

Молодин В.И., Мыльникова Л.Н., Новикова О.И., Дураков И.А., Кобелева Л.С., Евремова Н.С., Соловьев А.И. К периодизации культур эпохи бронзы Обь-Иртышской лесостепи: стратиграфическая позиция погребальных комплексов ранней—развитой бронзы на памятнике Тартас-1 // Археология, этнография и антропология Евразии. Новосибирск, 2011б, № 3(47), с. 40—56.

Молодин В.И., Нестерова М.С., Мыльникова Л.Н., Ефремова Н.С., Борzych К.А. Организация жилого пространства носителями кротовской культуры (на примере поселения Венгерово-2) // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий: Материалы итоговой сессии Института археологии и этнографии СО РАН, 2012 г. / Под ред. А.П. Деревянко, В.И. Молодина. Новосибирск, Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2012а, т. XVIII, с. 237—241.

Молодин В.И., Парцингер Г., Цэвэндорж Д. Замерзшие погребальные комплексы пазырыкской культуры на южных склонах Сайлюгема (Монгольский Алтай). М., ИД «Триумф принт», 2012б, 565 с.

Молодин В.И., Бортникова С.Б., Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Балков Е.В., Дядьков П.Г., Позднякова О.А., Абросимова Н.А., Карин Ю.Г., Кулешов Д.А. Результаты геофизических, геохимических и петромагнитных исследований памятника Венгерово-2 // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий: Материалы итоговой сессии Института археологии и этнографии СО РАН, 2012 г. / Под ред. А.П. Деревянко, В.И. Молодина. Новосибирск, Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2012в, т. XVIII, с. 221—225.

Молодин В.И., Мыльникова Л.Н., Нестерова М.С., Борzych К.А., Иванова Д.П., Головков П.С., Селин Д.В., Орлова Л.А., Васильев С.К. Конструктивные и планиграфические особенности жилища № 5 поселения кротовской культуры Венгерово-2 // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий: Материалы итоговой сессии Института археологии и этнографии СО РАН, 2013 г. / Под ред. А.П. Деревянко, В.И. Молодина. Новосибирск, Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2013, т. XIX, с. 276—281.

Молодин В.И., Мыльникова Л.Н., Нестерова М.С., Ненахов Д.А., Селин Д.В., Борzych К.А. Новые данные о домостроительстве и организации жилого пространства у носителей кротовской культуры // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий / Под ред. А.П. Деревянко, В.И. Молодина. Новосибирск, Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2014, т. XX, с. 223—226.

Патент РФ № 2152058 С1, G 01 V 3/10, от 24.06.1998. Способ индукционного частотного зондирования / А.К. Манштейн, М.И. Эпов, В.В. Воевода, К.В. Сухорукова. 2000, Бюл. № 18, 1 с.

Тишкин А.А., Чугунов К.В., Чемякина М.А., Дядьков П.Г., Манштейн А.К., Позднякова О.А., Миненко М.И., Адайкин А.А. Геофизические исследования на памятнике Бугры в предгорьях Алтая // Алтае-Саянская горная страна и история освоения ее кочевниками: сборник научных трудов. Барнаул, Изд-во Алт. ун-та, 2007, с. 215—220.

Эпов М.И., Балков Е.В., Чемякина М.А., Манштейн А.К., Манштейн Ю.А., Напреев Д.В., Ковбасов К.В. Исследование замерзших курганов Горного Алтая комплексом геофизических и геохимических методов // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (6), с. 761—774.

Aitken M.J. Physics and archaeology, 2nd ed. Clarendon Press, Oxford, 1974, 291 p.

Atkinson R.J.C. Methodes electriques de prospection archeologie / Ed. A. Laming. La Decouvert de Passe, Picard, 1952, p. 59—70.

Becker H., Fassbinder J.W.E. Magnetometry of a Scythian settlement near Čiča in the Baraba Steppe // Arhæological Prospection. Arbeitshefte des Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege, 108. München, 1999, p. 168—172.

Dabas Michel, Camerlynck Christian, Freixas Pere. Simultaneous use of electrostatic quadrupole and GPR in urban context: Investigation of the basement of the Cathedral of Girona (Catalunya, Spain) // Geophysics, 2000, v. 65, № 2, p. 526—532.

Dalan R.A. Defining archaeological features with electromagnetic surveys at the Cahokia Mounds State Historic Site // Geophysics, 1991, v. 56(8), p. 1280—1287.

Fassbinder J.W.E., Gorka T. Skythen — Kurgane — Magnetometer im Land der Sieben Flüsse // Denkmalpflege Informationen, 2010, № 145, p. 70—72.

Fassbinder J.W.E., Gorka T., Chemyakina M., Molodin V., Parzinger H., Nagler A. Prospecting of kurgans by magnetometry: case studies from Kazakhstan, Siberia and the Northern Caucasus // Виртуальная археология (неразрушающие методы исследований, моделирование, реконструкции): материалы Первой Международной конференции. СПб., Изд-во Гос. Эрмитажа, 2013, с. 50—57.

Gorka T., Fassbinder J.W.E. Classification and documentation of kurgans by magnetometry: Case studies from Siberia, Kazakhstan, Northern Caucasus and Kalmykia // Arhæological Prospection. Turkey, Izmir, 2011, p. 183—186.

*Рекомендована к печати 28 августа 2015 г.
Н.Л. Добрецовым*

*Поступила в редакцию
19 марта 2015 г.*