

# **СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**Институт нефтегазовой геологии и геофизики**

**Институт археологии и этнографии**

## **ИТОГОВЫЙ ОТЧЕТ**

по междисциплинарному интеграционному проекту

фундаментальных исследований СО РАН № 109

## **АРХЕОГЕОФИЗИКА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И НА АЛТАЕ**

### ***Приоритетное направление фундаментальных исследований СО РАН:***

- Эволюция природных процессов в атмосфере, гидросфере, криосфере и ландшафтной оболочке Земли; основные факторы стабильности геосистем и степень антропогенного воздействия (на примере Сибири). *(Науки о Земле)*

- Этнокультурное взаимодействие в Северной, Восточной и Центральной Азии (по данным археологии, антропологии и этнографии). *(Общественные Науки)*

### ***Исполнители:***

**Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,**

научный координатор -

д.т.н., академик, директор института

**М.И. Эпов**

**Институт археологии и этнографии СО РАН,**

научный координатор –

к.и.н., с.н.с.

**М.А. Чемякина**

**Новосибирск – 2008**

<b><u>Введение</u></b>	<b>1</b>
<b><u>1. Методы исследований и аппаратные комплексы</u></b>	<b>2</b>
<i>1.1. Высокоточная магнитометрия</i>	2
<i>1.2. Малоглубинное индукционное частотное зондирование</i>	5
<i>1.3. Георадиолокация</i>	6
<i>1.4. Электропрофилирование</i>	7
<b><u>2. Основные итоги</u></b>	<b>9</b>
<b><u>3. Итоги методических разработок</u></b>	<b>11</b>
<i>3.1. Исследование глубинности частотных электромагнитных зондирований</i>	11
<i>3.2. Изучение влияния высоты расположения аппаратуры ЧЭЗ над землей</i>	13
<i>3.3. Технология электромагнитного сканирования археологических объектов</i>	14
<i>3.4. Разработка новых методов магнитного картирования. Методика совместных измерений градиента и аномального магнитного поля</i>	15
<b><u>4. Итоги археолого-геофизических исследований различных типов археологических памятников</u></b>	<b>16</b>
<i>4.1. Поселенческие и культовые комплексы</i>	16
<i>4.1.1 Результаты геофизических исследований памятника Преображенка-2 в Барабинской лесостепи</i>	16
<i>4.2. Грунтовые археологические памятники эпохи палеометалла (грунтовые могильники и святилища)</i>	20
<i>4.2.1. Исследования памятника Преображенка-6 в Новосибирской</i>	

<i>области и проверка данных геофизического мониторинга археологическими раскопками</i>	21	
<i>4.2.2. Геофизическая диагностика грунтового могильника Тартас-1 в Новосибирской области и проверка данных геофизического картирования археологическими раскопками</i>	26	
<i>4.2.3. Геофизическое картирование и археологическая проверка структурных построений грунтового могильника Рублево–VIII (Алтайский край)</i>	2	8
<b>4.3. Исследование курганов с мерзлотой</b>	<b>33</b>	
<i>4.3.1. Комплексные геофизические исследования пазырыкских курганных могильников с мерзлотой Монгольского Алтая (Памятники Олон-Курин-Гол-3,-9,-12; Олон-Курин-Гол-Устье-2; Улан-Даба-1,-2) и проверка данных геофизического мониторинга археологическими раскопками.</i>	<b>33</b>	
<i>4.3.2. Комплексная геофизическая и геохимическая диагностика структур курганных могильников пазырыкской культуры (Бертек-1, 10; Верх-Кальджин II, 3; Кальджин-6 и открытый в 2007 г. курганный могильник Верх-Кальджин-13) на плато Укок в Горном Алтае</i>	<b>38</b>	
<b>4.4. Комплексные геофизические исследования курганных могильников</b>	<b>44</b>	
<i>4.4.1. Геофизические исследования кургана Хунну могильника Ноин-Ула (Северная Монголия)</i>	44	
<i>4.4.2. Геофизические исследования на памятнике Бугры в предгорьях Алтая</i>	48	
<b><u>Заключение</u></b>	<b>51</b>	

## **Введение**

Вот уже более полувека геофизические методы исследования применяются для решения различных археологических задач. В последние годы, благодаря фундаментальным и методическим разработкам в геофизике (в области измерения электромагнитных полей и их численного моделирования), появилась возможность активного развития междисциплинарных подходов, направленных на создание нового направления исследований в области археогеофизики. Объектом изучения является подповерхностная часть техногенно и антропогенно измененного подземного пространства, содержащая материальные следы деятельности древнего населения. Разработка и применение инструментальных средств и методологических подходов малоглубинной геофизики позволяют дистанционно получать важную информацию о структуре археологического объекта без механического вскрытия культурных отложений и применения тяжелого физического труда. Становится решаемым комплекс задач, связанный с поиском, предварительной диагностикой и разведкой структур, а также с оценкой особенностей древних памятников различного типа до проведения на них археологических работ.

Совместное сотрудничество археологов и геофизиков СО РАН, направленное на создание комплексной геофизической методики изучения археологических памятников, достигло значительных результатов. Археолого-геофизическому исследованию подверглись десятки уникальных археологических объектов от эпохи палеолита до этнографической современности (поселения, городища, курганные и грунтовые могильники, пещерные комплексы и открытые стоянки).

Проект 2006–2008 г. был направлен на поддержку разработки археолого-геофизической методики исследований различных типов археологических памятников с применением максимально возможного спектра геофизических методов. В основе этих методов лежат новые фундаментальные разработки в области геофизики - геофизические исследования грунта на глубину до

первых десятков метров. Малоглубинные геофизические методы являются инструментом в фундаментальных исследованиях. Возможность применения новых методов и существующих опытных геофизических аппаратурных комплексов в археологии открывает новые перспективы в исследовании археологических памятников. Поиск, идентификация, распознавание структуры археологических памятников с применением оптимальных для каждого объекта геофизических методов позволяет существенно изменить стратегию изучения, значительно усилить разведочную, инвентаризационную и охранную работу. В арсенал применяемых геофизических методов вошли: электрометрия, магнитометрия, электромагнитное зондирование, георадиолокация, каппаметрия и некоторые геохимические методы. На сегодняшний день накоплен ценный опыт модификации и адаптации традиционных геофизических методик применительно к разнообразным археологическим задачам. Большой объем археологических раскопок, производимых вслед за геофизической разведкой, позволил не только быстро проверить полученные данные, но и способствовал мобильному сопоставлению и корректировке геофизических методик.

## **1. Методы исследований и аппаратурные комплексы**

*1.1. Высокоточная магнитометрия.* Физической основой магнитометрического метода картирования погребенных археологических объектов является присутствие магнитных минералов в грунтах, строительных материалах и изделиях. При этом наблюдается достаточно сильная дифференциация различных грунтов, горных пород и искусственных объектов по магнитным свойствам в зависимости от величины магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности. Высокая чувствительность и точность современной магнитометрической аппаратуры (протонные и квантовые магнитометры), позволяют регистрировать весьма малые пространственные изменения магнитного поля, обусловленные в свою

очередь достаточно слабыми изменениями магнитных свойств грунтов и других погребенных объектов.

*Магнитометр-градиентометр ММПГ-1 (Санкт-Петербург).*

Прибор заводского изготовления, создан на новой элементной базе и имеет надежный интерфейс для передачи данных в компьютер. По сравнению с градиентометром МГ-60, здесь увеличена база между нижним и верхним датчиками, она составила 1,85 м. Увеличение базы повышает контрастность выделения подповерхностных аномальных объектов. При экспериментальных исследованиях и выполнении картирования главным достоинством прибора оказались высокая надежность его работы, портативность и малый вес, удобство при использовании аппаратуры одним оператором.

*Квантовый магнитометр-градиентометр G-858* производства фирмы “Geometrics”, США (прибор принадлежит ИАиЭ СО РАН). Принцип действия квантовых магнитометров основан на выделении частоты резонансного поглощения электромагнитной энергии при переходе атомов рабочего вещества (паров щелочного металла) между двумя дискретными энергетическими подуровнями, расстояние между которыми, а, следовательно, и частота перехода зависит от величины внешнего магнитного поля. Чувствительность этого прибора – 0.05 нТл при цикле измерений 0.1 сек. и 0.01 нТл при цикле 1 секунда. Оба датчика выполняют синхронные измерения модуля полного вектора магнитной индукции. В качестве результата единичного измерения рассматривается разность синхронных значений магнитного поля между этими двумя датчиками. Такой подход позволяет исключать разнообразные мешающие факторы – влияние геомагнитных вариаций как внешнего (магнитосфера), так и внутриземного происхождения. Высокая частота работы (10 замеров в секунду) позволяет выполнять съемку в движении без остановки и фиксации датчика над каждым пунктом измерений (как это делалось с протонным магнитометром). Второе положительное качество – значительно более высокая

чувствительность и разрешающая способность, которая достигает 0.005 нТл. При проведении магнитных съемок на ровных участках пашни или полянах можно рассчитывать на повышение точности съемки, а значит, и ее информативности при поиске погребенных археологических объектов. При наличии неровностей поверхности более высокую чувствительность нового прибора не удастся реализовать, поскольку аномалии от этих неоднородностей рельефа могут достигать 0.5–1 нТл. Опыт специально выполненных методических наблюдений показал, что ввиду высокой частоты замеров вдоль профиля, расстояние между профилями может составлять 1 м без потери качества съемки.

Результаты наблюдений показали, что более информативными и простыми для интерпретации являются данные измерений вертикального градиента. Они отражают изменения в магнитных свойствах среды непосредственно под точкой измерения, в то время как горизонтальный градиент дает разностную информацию от двух точек, позволяющую отмечать границы тел.

Тем не менее, при всей производительности и результативности магнитометрический метод не дает информации о распределении по глубине объектов с различной магнитной проницаемостью. Археологи получают планиграфические очертания исследуемого объекта при отсутствии информации о глубинах залегания слоев и их качественной дифференциации по разрезу. 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 так же нахождение в грунте предметов из черного металла. Применение магнитной разведки в городах, вблизи железных дорог и линий электропередач сильно затруднено.

*Каппаметрия.* Для более обоснованной интерпретации зафиксированных магнитных аномалий и с целью выяснения природы повышенного магнетизма, в процессе раскопок были проведены выборочные

определения магнитной восприимчивости сред с помощью портативного полевого каппаметра МП-01. Повышенные значения магнитной восприимчивости наблюдались, как правило, в пределах заполнения котлованов археологических объектов, а наименьшие на уровне зачистки материкового суглинка.

В процессе совместных археолого-геофизических работ широко использовались универсальные *металлоискатели УМИ и Крот-2*, позволяющие распознавать и дифференцировать цветные и черные металлы, залегающие в грунте на глубине до 20 см. Для умеренно засоренных современным черным металлом зон археологических памятников эффективным является поиск и удаление таких предметов из грунта до начала магнитометрических исследований.

**1.2. Малоглубинное индукционное частотное зондирование** осуществлялось бесконтактным способом аппаратурно-программным комплексом ЭМС, запатентованным как разработка Института геофизики СО РАН. Данный комплекс применяется в археологии в полном объеме (построение карт распределения удельного сопротивления, разрезов на основе применения различного количества частот и с учетом рельефа). Современный уровень развития отечественной геофизики позволяет изучать строение грунта в трехмерном представлении, получать данные о его составе и распознавать неоднородности на глубине первого десятка метров. Ограничения для применения индуктивных методов связаны с исследованиями в сухих грунтах, с высокими значениями удельного электрического сопротивления. Аппаратурный комплекс предназначен для выполнения электромагнитных частотных зондирований с индукционным возбуждением и приемом. В аппаратуре ЭМС метод частотного зондирования реализован следующим образом - создается управляемое по фазе переменное магнитное поле последовательно на многих частотах. На каждой частоте выполняется измерение реальной и мнимой компонент вторичного поля. Цикл измерения на каждой частоте включает два этапа. Первый - измерение

прямого поля, по значению которого определяется величина тока в генераторе. Второй - измерение сигнала от токов, наведенных в изучаемой среде. Диапазон частот зондирования 2.5-250 кГц; число значений частот 14, глубина исследуемого грунта - до 10 м. Применение карманного компьютера позволяет в процессе работы реализовать обработку графической информации и оперативно представить результат в виде сочетаний разноглубинных срезов и вертикальных разрезов.

Аппаратура ЭМС совершенствовалась, в том числе и благодаря работам по решению археологических задач. Впервые при применении этого аппаратурно-программного комплекса построение геоэлектрических карт и разрезов отечественными специалистами выполнено с помощью программного комплекса ISystem v2.0, созданного в ИГФ СО РАН. Он представляет собой оконное приложение диалоговой структуры и сочетает в себе средства считывания данных с прибора, их просмотр, редактирование и печать, нормировку, трансформацию и визуализацию. Визуализация данных в виде карт и разрезов производится в одном из распространенных графических редакторов. Комплекс использует программную технологию ActiveX и редактор как сервер, автоматизируя его работу. В программный комплекс включены возможности автоматического построения разрезов с учетом рельефа дневной поверхности и возможность квази-трехмерной визуализации материала. С момента начала считывания данных с аппаратуры до получения карт распределения кажущихся удельных характеристик на всех рабочих частотах или геоэлектрических разрезов по всем возможным направлениям сетки измерений, проходят считанные минуты.

**1.3. Георадиолокация.** Современные радарные комплексы позволяют получать предварительную графическую информацию непосредственно на исследуемом участке в виде радарограмм, представляющих собой вертикальные разрезы по заданным направлениям. Георадиолокация производилась при помощи георадара ГРОТ-12, который позволяет изучать строение археологических объектов с разрешением до 0,1 м. Это достигается

излучением в исследуемую среду сверхкоротких высокоамплитудных импульсов и методическим приемом зондирования в режиме отраженных волн. При этом глубина исследования даже низкоомных разрезов (50 и менее Ом\*м) достигает 2 – 5 м. Дискретность измерений составила 0,1м в непрерывном режиме по параллельным профилям со смещением 0,3 м.

**1.4. Электропрофилирование.** Этот метод электрометрии традиционно применяется в археологическом поиске. Метод имеет ограничения. Так, если контраст по удельному сопротивлению между археологическим объектом и вмещающим его грунтом невелик (это зависит от строения грунтов и степени их увлажненности), обнаружить погребенные структуры на картах распределения сопротивлений не всегда возможно. Серьезные проблемы возникают и с определением реальных глубин. Измерения проводились симметричной четырехэлектродной установкой AMNB с расстояниями между электродами 1 м. Аппаратура М-416 подверглась модернизации для увеличения производительности метода. Разработаны и применены: фиксация электродов AMNB на гибком изоляторе для переноса симметричной установки  $AM=MN=NB=1$  м за один прием. По итогам измерений получены карты распределения удельного сопротивления грунта.

*Разработка специальной аппаратуры для исследования курганов с мерзлотой.* Значительные усилия были направлены на поиск оптимальной системы возбуждения-измерения в методе сопротивлений, которая позволила бы увеличить аномальный сигнал. Были проанализированы результаты трехмерного математического моделирования различных установок электрического профилирования. В результате найден оптимальный набор длин питающей линии и минимизировано число расстановок приемной линии. Для определения скоплений льда в археологических памятниках использовался аппаратный комплекс "Цикл-ВПС". Аппаратура предназначена для формирования в нагрузке (линии АВ) импульсов тока заданной амплитуды и длительности, измерения сигнала переходного процесса в методе ВП и измерения разности потенциалов на приемной линии

в методах сопротивлений. Аппаратура позволяет автоматизировать процесс работы, сбор и хранение информации. Имеется возможность выполнять предварительную обработку полученных данных в реальном масштабе времени. Полностью исключается ручная запись показаний приборов, что значительно увеличивает производительность работ. Высокое напряжение в питающей линии (300 В) и значительные величины тока (до 0,5 А), а также большой динамический диапазон измеряемого сигнала (от 10 мкВ до 2 В) создают благоприятные условия выполнения работ методом сопротивлений. Практика показала возможность применения аппаратуры "Цикл-ВПС" для зондирования замерзших грунтов, характеризующихся высокими сопротивлениями заземления.

*48-электродный коммутатор.* Выполнение экспериментальных работ по выявлению замерзших масс в погребальной камере курганов пазырыкского типа связано с большим числом коммутаций. Необходимо выборочно подключать один из 24 электродов к двум контактам *A* или *B* для образования множества питающих линий. Кроме этого, необходимо коммутировать 24 электрода к приемным контактам *M* и *N*, чтобы образовать необходимое множество измерительных линий. Была обоснована необходимость разработки и изготовления соответствующего устройства для произвольной коммутации указанных электродов. Изучение мировой практики геофизических работ показало достаточность использования коммутаторов 24 на 4. Высокая стоимость зарубежных приборов вынуждает изготавливать аппаратуру своими силами. Было изготовлено два коммутатора, объединение которых представляет собой 48-электродный коммутатор. Разработанный прибор служит для автоматизации переключения электродов либо под управлением ПК, либо от пульта на самом коммутаторе.

В работе использовались газовый хроматограф ЭХО-ФИД, каппаметр КТ-6 и гаммаспектрометр МКС АТ-6101Д. Хроматограф детектирует углеводороды ароматического ряда, и обладает феноменальной чувствительностью более чем  $10^{-12}$  г/см<sup>3</sup>. Модификация прибора уникальна.

Гаммаспектрометром измерялись показания гамма фона, и проводились измерения спектра излучений по трём изотопам  $K^{40}$ ,  $Ra^{226}$  и  $Th^{232}$ .

В 2008 году в электроразведочных работах применялась аппаратура метода сопротивлений IRIS SYSCAL SWITCH 48 Pro (Франция). Аппаратура применялась в варианте 24-х электродной станции. Были изучены 49 профилей, на каждом из которых проведено 120 измерений и построен двумерный геоэлектрический разрез. Шаг между электродами 2-2.5 м. Два объекта изучены с применением трехмерной инверсии. С помощью аппаратуры удалось получить карты, разрезы и трехмерные построения, отражающие распределение удельного электрического сопротивления на глубину до 23 м. Разрешающая способность построений в верхней части разреза оказалась достаточной для археологической интерпретации полученных данных.

## **2. Основные итоги**

*За отчетный период в рамках проекта выполнены следующие исследования:*

1. Теоретически оценена глубинность аппаратуры частотного электромагнитного зондирования (ЧЭЗ).
2. Экспериментально изучено влияние на работу аппаратуры ЧЭЗ ее позиционирования над землей.
3. Разработаны основы технологии зондирования подповерхностного пространства "Электромагнитное сканирование – ЭМС".
4. Разработаны новые методы магнитного картирования. Методика совместных измерений градиента и аномального магнитного поля.
5. Геофизические исследования *поселенческих и культовых комплексов*:  
Магнитометрическая съемка на памятнике Преображенка-2;  
ЧЭЗ на памятнике Преображенка-2.

6. Археолого-геофизические исследования *грунтовых археологических памятников* эпохи палеометалла (*грунтовые могильники и святилища*):

- магнитометрические исследования памятника Преображенка-6 в Новосибирской области и проверка данных геофизического мониторинга археологическими раскопками;

- геофизическая диагностика грунтового могильника Тартас-1 в Новосибирской области и проверка данных геофизического картирования археологическими раскопками

- геофизическое картирование и археологические исследования структурных построений грунтового могильника Рублево–VIII (Алтайский край)

7. Комплексные геофизические исследования *пазырыкских курганных могильников с мерзлотой* Монгольского Алтая (Памятники Олон-Курин-Гол-3,-9,-12; Олон-Курин-Гол-Устье-2; Улан-Даба-1,-2) и проверка данных геофизического мониторинга археологическими раскопками.

8. Комплексная геофизическая и геохимическая диагностика структур курганных могильников пазырыкской культуры (Бертек-1, 10; Верх-Кальджин II, 3; Кальджин-6 и открытый в 2007 г. курганный могильник Верх-Кальджин-13) на плато Укок в Горном Алтае.

Комплексные геофизические исследования *курганных могильников*:

- геофизическое выделение и расшифровка структуры кургана хунну могильника Ноин-Ула (Северная Монголия).

- построены карты намагниченности и электропроводности грунтов курганного могильника Бугры в предгорьях Алтая.

### 3. Итоги методических разработок

#### 3.1. Исследование глубинности частотных электромагнитных зондирований

Глубинность исследования является важной характеристикой любой геофизической системы и ее аппаратурной реализации. Традиционно глубинность частотных зондирований оценивается по толщине скин-слоя для плоской волны, падающей на полупространство (рис. 1). Однако такой подход дает приближенные результаты. Были выполнены оценки максимальной глубины исследования, с учетом не только модели среды, но и технических характеристик существующего аппаратурно-программного комплекса наземного электромагнитного индукционного частотного зондирования ЭМС.

Очевидно, что при оценке максимальной глубины исследования мы должны учитывать модель объекта, по отношению к которому определяется глубинность, модель вмещающей среды и метрологические характеристики исследуемой аппаратуры. Исследования выполнены для двух искомых (тестовых) объектов: первый – проводящий слой над изолятором (рис. 2а); второй – проводящий слой в слабо проводящем полупространстве (контрастность проводимостей слоя и вмещающей среды, выберем равной 0.1, рис. 2б). Для выбора решающего правила введены два критерия разрешимости – относительный и абсолютный. Правило определено как совместное выполнение этих критериев.

Смысл абсолютного и относительного критериев состоит в следующем. Сравниваются сигналы в двух моделях: одна из них содержит тестовый объект на определенной глубине, а другая представляет только референтную среду (без объекта). При очень большой глубине залегания объекта сигналы в тестовой и референтной моделях будут различаться не более чем на погрешность их вычисления (существенно меньше, чем погрешность измерения). По мере продвижения объекта в сторону меньших глубин, объект

достигает такого ее значения, при котором разность между сигналами в тестовой и референтной моделях станет равной абсолютной погрешности измерения. Аналогичным образом формулируется относительный критерий – относительная разность сигналов на определенной глубине становится равной относительной погрешности измерения.

Относительный критерий определяет максимально достижимую глубину для заданной геоэлектрической модели, тогда как абсолютный – возможно достижимую глубину при заданных погрешностях измерения и чувствительности аппаратуры. Используя тестовый объект первого типа, мы определяем толщину проводящего слоя, в котором протекает основная часть индуцированных токов. Предполагается, что относительная погрешность измерений составляет не более 5%, абсолютная погрешность не превышает 0.5 мкВ (в соответствии с техническими характеристиками ЭМС).

Результаты оценки глубинности, полученные по пересечению двух критериев приведены на рис. 3. Видно, что с началом уменьшения проводимости среды глубинность растет (согласно относительному критерию), но после определенных значений начинает уменьшаться по причине малости сигналов (из-за выполнения абсолютного критерия).

В результате анализа графиков можно заключить, что глубинность зависит от измерительных характеристик сигнала: наиболее локальной является реальная составляющая, немного глубже модуль и наибольшие значения соответствуют мнимой составляющей. Глубинность исследования значительно ограничивается абсолютным критерием из-за малости сигналов, подлежащих точному измерению. Глубинность по реальной и мнимой составляющим сигнала достигают соответственно 7 и 9 метров для частот ниже 100 кГц, и на более высоких частотах - 9 и 12 метров. Кроме этого можно заключить то, что набор частот аппаратуры позволяет применять ее в достаточно широком диапазоне проводимостей (10-1000 мСм/м) на большинстве типов грунта, достигая глубинности не менее 5 метров. Более подробно результаты изложены в статье [3] (Приложение 1).

### ***3.2. Изучение влияния высоты расположения аппаратуры ЧЭЗ над землей***

Для этой цели были выполнены эксперименты с передвижением аппаратуры ЭМС над грунтом на пластмассовых санях высотой 30 см (см. рис. 4). На профиле длиной 20 м через 1 м выполнены измерения двумя комплектами аппаратуры. На рис. 5 приведены результаты экспериментов с аппаратурой ЭМС-9. Графики на рис. 5а соответствуют изменениям сигнала на частоте 40 кГц вдоль профиля в случае, когда прибор перемещался по грунту и в случае перемещения прибора на санках. На графиках видно смещение среднего уровня записей. Причем, для случая размещения прибора на санках наблюдаются меньшие флуктуации сигнала связанные с геологическими помехами, что весьма полезно для дальнейшей обработки материала, так как это приводит к увеличению точности интерпретаций. Кривые частотного зондирования на пикете № 10 профиля, показанные на рис. 5б типичны для всего профиля. Итогом экспериментов с прибором ЭМС-9 следует считать установленную зависимость сигнала на всех частотах от весьма малой высоты подъема прибора над грунтом. В случае перемещения прибора ЭМС-10 на санках так же наблюдается уменьшение геологических шумов в регистрируемом сигнале (рис. 6). Это обстоятельство позволяет констатировать возможность уменьшения геологических шумов способом поднятия приборов ЭМС над землей на небольшую высоту.

### *3.3. Технология электромагнитного сканирования археологических объектов*

Разработана технология зондирования подповерхностного пространства на глубину до 10 м. Ее физической основой является связь пространственного распределения удельного электрического сопротивления среды с его составом, влажностью, плотностью, наличием флюидов, пустот, подземных сооружений, коммуникаций, археологических объектов и других неоднородностей. Таким образом, аномальные, то есть отличные от вмещающей среды, значения удельного электрического сопротивления (УЭС) пространственно приурочены к тем или иным подземным неоднородностям. Поэтому задача геометрического и качественного описания таких неоднородностей может быть сведена к изучению пространственного распределения УЭС в подповерхностном пространстве.

В основе электромагнитного сканирования лежит известный в электроразведке принцип электромагнитного частотного индукционного зондирования (ЧЭЗ).

Уникальная технология ЭМС включает в себя портативную аппаратуру, программное обеспечение и методику обработки и привязки данных. Благодаря применению оригинального принципа измерения и выбора оптимального зонда удалось достичь очень высокой помехоустойчивости в сочетании с высокой чувствительностью. Применение новых технологических решений, таких как беспроводная связь Bluetooth и привязка по данным GPS, позволило создать аппаратуру с визуализацией в режиме реального времени на экране карманного компьютера геоэлектрических карт и разрезов.

Технология ЭМС создавалась в течение последних двух лет. Для решения задач поиска и разведки подповерхностных неоднородностей применены собственные материалы, полученные на территории памятников «Чича-1», «Умревинский острог», «Преображенка» в Новосибирской

области, ряда памятников пазырыкской культуры на Алтае и в Монголии, памятника гуннской цивилизации в Монголии.

#### ***3.4. Разработка новых методов магнитного картирования. Методика совместных измерений градиента и аномального магнитного поля***

Методика проведения одновременных измерений градиента магнитного поля и аномального магнитного поля заключается в следующем. Оба метода измерений хорошо известны, но применяются, как правило, независимо друг от друга. При этом используются разные измерительные приборы: для градиентных съемок – градиентометры, а для прецизионных измерений аномального поля – обычные магнитометры с одновременным проведением наблюдений в пунктах картируемой площади и в базовом пункте для регистрации и последующего исключения внешних вариаций магнитного поля.

В районе работ устанавливается базовая вариационная станция, которая, измеряя вариации магнитного поля, позволяет их исключать из абсолютных значений поля, измеренных градиентометром. В результате, например, в случае измерений вертикального градиента, мы получаем значения аномального магнитного поля для двух уровней высоты (на которых расположены датчики градиентометра). Несомненно, такая дополнительная информация позволяет существенно повысить достоверность интерпретации данных.

## **4. Итоги археолого-геофизических исследований различных типов археологических памятников**

### **4.1. Поселенческие и культовые комплексы**

#### ***4.1.1. Результаты геофизических исследований памятника Преображенка-2 в Барабинской лесостепи***

Памятник Преображенка-2 расположен в Чановском районе Новосибирской области. Имеет конструкцию овальной формы, размеры которой достигают 90 м х 75 м. Общая площадь земельного участка, занимаемого памятником – 3,7 га. Комплекс представляет собой мощную систему рвов шириной от 7 до 14 м, глубиной 0,97–1,61 м, разделенную четырьмя перемычками – "въездами", ориентированными по сторонам света. Ширина перемычек 5 – 8 м, с восточной стороны перемычка не доходит до вала на 2,3 м. Вал шириной 9 – 19 м, в юго-западной и северо-восточной части имеет оплывы в сторону внутренней площадки. Высота вала 1,8 м от внешнего края рва. Внутренняя площадка комплекса размерами 53,5 м х 34,5 м имеет 6 западин подпрямоугольной формы, расположенных по кругу. Визуальный осмотр этого нестандартного с точки зрения архитектуры объекта не позволяет однозначно интерпретировать его как поселенческий или культовый комплекс. Далеко не все ясно с проблемой его хронологии. Во всяком случае, ничего подобного среди памятников Обь-Иртышской лесостепи до настоящего времени не было известно. Отдаленно круговая архитектура комплекса напоминает круглые и овальные городища синташтинской культуры первой половины II тыс. до н.э. Южного Зауралья, известной под названием «страна городов». Территория, примыкающая к памятнику, за исключением юго-восточного сектора, распахивается. Здесь неоднократно собирался подъемный материал: фрагменты керамики, кости животных, обломки глиняных шаров. Керамика типична для ирменской культуры Барабы эпохи поздней бронзы (IX – VIII вв. до н.э.). Характер

подъемного материала свидетельствовал о существовании на распаханной территории поселения ирменской культуры.

Еще на начальном этапе исследования памятник привлек внимание археологов своей необычной для региона кольцевой планировкой мощных фортификационных сооружений. Особый интерес вызывала датировка этого комплекса. В ходе разведочных работ экспедицией Т.Н. Троицкой был заложен шурф на валу круговой конструкции. Как в насыпи вала, так и в погребенном под ней слое отмечены фрагменты керамики ирменской культуры, с той лишь разницей, что в насыпи обломки были мельче. Предварительно круговое сооружение было атрибутировано как более позднее по отношению к распаханному поселению [Копытова, 1972, с. 67 – 68]. Вместе с тем в шурфе, вскрытом В.И. Молодиным в 1975 г., были обнаружены фрагменты посуды кротовской культуры, что делает весьма проблематичной датировку всего памятника.

*Геофизическое исследование памятника Преображенка-2 в 2006 г.* было нацелено на выявление структуры ирменского поселения на пашне и соотнесение ее с рельефно видимым комплексом круговой архитектуры. Исходя из опыта геофизической разведки подобных памятников в Барабинской лесостепи, наиболее подходящим представлялся метод высокоточной *магнитометрии*, стабильно дающий на контрастных по магнитным параметрам грунтах, темном почвенном слое и материковом суглинке, отличные результаты.

*Магнитометрическая съемка на памятнике Преображенка-2.* Градиентометрическая магнитная съемка, выполненная на площади 28800 кв.м., включала месторасположение рельефно видимого комплекса и прилегающие к нему участки, часть из которых располагалась на пашне. По итогам измерений была построена карта распределения градиента намагниченности грунта (рис. 7А), на которой отчетливо выделяется круговая структура оборонительного рва и вала городища. Видны и отдельные ямы. Однако на интересующей нас периферии памятника

ожидаемых следов котлованов древних жилищ четко выявить не удалось. Наблюдается пестрая картина локальных, хаотически расположенных мелких неоднородностей, интерпретация которых может быть весьма вариабельной.

Необходимо было выяснить, почему ситуация для проведения магнитной съемки оказалась менее благоприятной, чем на ранее исследованных памятниках Барабинской лесостепи. Во-первых, в районе рельефно представленного комплекса в результирующие данные добавляется погрешность, связанная с неровностями земной поверхности (резкие изменения рельефа). Во-вторых, анализ разрезов в имеющихся ямах и обрыве берега р. Оми и измерения магнитной восприимчивости грунтов показали, что темный верхний почвенный слой в этом районе значительно мощнее, чем обычно и может достигать 1 м. При этом, хотя и наблюдается некоторое увеличение магнитной восприимчивости в самой верхней части разреза до  $400-500 \cdot 10^{-6}$  ед. СИ, но контрастность ее значений со значениями подлежащих слоев значительно ниже, чем на расположенном неподалеку памятнике Преображенке 6, и, как правило, не превышает  $100-150 \cdot 10^{-6}$  ед. СИ. По-видимому, это связано с тем, что памятник расположен на террасе более низкого уровня, чем терраса памятника Преображенка-6, и почвенный слой постоянно увеличивался и обогащался органическим материалом во время половодий. Дневная поверхность четвертичных отложений здесь сформирована поймой р. Омь и классифицируется как современное звено четвертичных аллювиальных осадков первой надпойменной террасы. Следовательно, котлованы ирменских жилищ могли не перерезать слабо магнитный материковый грунт, а быть впущены в мощный почвенно-аллювиальный слой, мало чем отличающийся по магнитным параметрам от заполнения самих жилищ. Следует также отметить, что не все рельефно видимые понижения, сохранившиеся на нераспаханной части памятника, можно квалифицировать как остатки котлованов древних жилищ. Возможно, часть из них появилась в результате размыва грунта в момент затопления паводками территории памятника. Не следует также исключать, что каких

либо земляных конструкций, связанных с комплексом круговой архитектуры, здесь вообще не было, а весь объект следует воспринимать как культовый комплекс. Понятно, что однозначный ответ можно дать только проведя широкомасштабные раскопки.

В связи с этими обстоятельствами, мы можем ожидать, что аномалии, обусловленные археологическими объектами на этом участке, будут иметь существенно меньшую интенсивность. Тем не менее, на полученных в результате проведения съемки магнитных картах выявлено достаточное количество аномалий, которые заслуживают внимательного изучения, интерпретации и археологической проверки. Далее была измерена магнитная восприимчивость находок керамики на дневной поверхности исследуемого участка. Их магнитная восприимчивость достигала весьма высоких значений до  $1 \cdot 10^{-2}$  ед. СИ. При близком расположении датчика магнитометра от керамических изделий или их крупных фрагментов будет фиксироваться точечная аномалия в магнитном поле. Поскольку находок керамики достаточно много, можно ожидать, что некоторые точечные магнитные аномалии могут быть связаны с этим фактором.

*Частотное электромагнитное зондирование на памятнике Преображенка-2.* Для поиска под слоем пашни ирменских поселенческих конструкций, не выявленных магнитометрически, дополнительно была применена технология частотного электромагнитного зондирования аппаратурой ЭМС на площади 7200 кв. м. Использовалась единая с магнитометрией разметка исследуемой территории. Измерения проводились по сетке 2 м × 2 м. Для построения карт было выполнено 1800 физических точек наблюдений. В результате были построены карты распределения измеряемых параметров на различных частотах. Наиболее четкая структурная картина проявилась на частоте 40 кГц (рис. 7Б). Под слоем пашни выявлены аномальные объекты, по размерам сопоставимые с котлованами ирменских жилищ. На карте хорошо видна представленная в рельефе северная граница укреплений городища. На геоэлектрической карте

достаточно четко видно, что границу укреплений перерезают, две аномалии, предварительно соотносимые нами с котлованами ирменских конструкций.

*Выводы.* Таким образом, комплексное применение геофизических методов на памятнике Преображенка-2 является оптимальным в сложившейся обстановке, когда практически вся территория была покрыта магнитной съемкой. Для детальной проработки зоны пашни применен метод частотного электромагнитного зондирования. В результате удалось выявить структуру остатков ирменского комплекса и соотнести ее с оборонительной системой. Для подтверждения геофизических прогнозов и уточнения датировки памятника необходима археологическая проверка, которая позволит ответить на вопрос о хронологии отдельных участков комплекса, и в частности круговой оборонительной системы, а также её функциональном назначении.

#### ***4.2. Грунтовые археологические памятники эпохи палеометалла (грунтовые могильники и святилища)***

Проблема поиска, идентификации и выявления структуры археологических объектов, не имеющих рельефных признаков, на сегодняшний день остро стоит в отечественной археологии. В условиях, когда границы поселенческих комплексов можно установить лишь весьма условно по шлейфу подъемного материала из разрушенного слоя, а распаханые курганы и грунтовые могильники практически недоступны для визуальной фиксации, значение геофизических исследований для изучения археологических памятников вообще трудно переоценить. К погребальным памятникам, не имеющим рельефа, можно отнести как непосредственно грунтовые могильники, так и курганные некрополи, насыпи которых были полностью разрушены.

Задача поиска, идентификации и выявления внутренней структуры грунтовых археологических памятников, рельеф которых не прослеживается

на дневной поверхности, при помощи комплексной археолого-геофизической методики на сегодняшний день остро стоит в отечественной и мировой археологии.

По итогам совместной десятилетней работы коллективом исследователей ИАЭТ СО РАН и ИНГГ СО РАН накоплен большой опыт по поиску и выявлению структуры не выраженных в рельефе грунтовых захоронений. Работы производились на территории примыкающей к городищу Чича-1, грунтовых могильниках: Сопка-2, Гришкина Заимка, Тартас-1, Преображенка-6 (Новосибирская область), Рублево VIII. (Алтайский край). За это время для поиска грунтовых памятников были применены различные геофизические методы: высокоточная магнитометрия (магнитометр-градиентометр МГ-60, магнитометр-градиентометр ММПГ-1, квантовый магнитометр-градиентометр G-858); индукционное частотное зондирование (различные модификации аппаратурно-программных комплексов ЭМС); электропрофилирование (симметричной четырехэлектродной установкой АМNB, модернизированная аппаратура М-416); капаметрия (портативный полевой каппаметр МП-01). Широко использовались универсальные металлоискатели УМИ и Крот-2, позволяющие распознавать и дифференцировать цветные и черные металлы, залегающие в грунте на глубине до 20 см.

#### ***4.2.1. Исследования памятника Преображенка-6 в Новосибирской области и проверка данных геофизического мониторинга археологическими раскопками***

Границы распаханного памятника *Преображенка-6* были определены по распространению подъемного материала эпохи неолита–ранней бронзы, Большая часть собранных костей принадлежала человеку. Характер сборов позволял предположить наличие на данной территории не только стоянки, но и древнего некрополя. Первые магнитометрические исследования на

памятнике Преображенка-6 проводились на небольшой площади, примыкающей к краю террасы, в 2004 г. магнитометром ММПГ-1. *Градиентометрическая магнитная съемка.* В 2006 -2007 г. продолжено магнитное картирование памятника. Также как и в 2005 г., измерения выполнялись с помощью градиентометра G-858 в модификации вертикального градиента. Последовательно выполнялось картирование участков размером 40 м x 40 м. Вначале была выполнена съемка на участке, примыкающем с севера к площади, закартированной в предыдущие 2 года, а затем произведено картирование еще на 7 участках, расположенных с востока от уже имеющейся площади съемки. Общая площадь магнитной съемки составила 3200 кв.м. Замеры совершались во время равномерной ходьбы оператора с юга на север по профилям, расположенным через 1 метр друг от друга. Частота замеров – 10 измерений в секунду. На полученной магнитограмме выявлены аномалии, сопоставимые с археологическими объектами. Число выявленных магнитных аномалий, характерных для интересующих нас археологических объектов, значительно уменьшилось по сравнению с участками, картирование на которых было выполнено в 2004-2005 гг. Выявлена граница распространения распаханного археологического памятника с севера и востока.

В отличие от всех ранее исследуемых памятников, где фоновые значения на пашне были более контрастными, можно предположить, что спокойный фон на Преображенке-6 связан с качественным боронованием поля на момент исследований (отсутствуют глубокие борозды и гребни). Засоренность современными железными предметами минимальная. На полученной магнитограмме выявлены аномалии, сопоставимые с археологическими объектами (рис. 8, 1). Последние предположительно проявились на магнитограммах в виде положительных магнитных аномалий до 8 нТл. Основная масса таких аномалий сконцентрирована в центре исследуемой территории. Они представлены скоплениями и отдельно расположенными объектами. Еще до начала раскопок ряды овальных аномалий в центральной

части памятника были диагностированы как ряды древних захоронений (рис. 8, 1, 3). Хорошо выделялись в северной части магнитограммы остатки распаханного кургана с ровиком и погребениями в центре. Интерес представляют объекты, читающиеся как скопление различных по величине аномалий, в центральной и северо-восточной части исследуемой территории (рис. 8, 1). Часть этих аномалий по форме и размерам сопоставимы с могилами, однако, находящиеся в непосредственной близости крупные объекты изогнутой формы длиной от 8 до 12 м не позволяли однозначно интерпретировать скопления как погребальные объекты. Одиночные округлые и овальные аномалии небольших размеров отмечены практически на всей территории магнитометрических исследований, часть из них, возможно, также связана с погребальными объектами. Повышенные фоновые значения вдоль западной оконечности исследуемой площади вызваны краем террасы, где по причине эрозии пашни шло накопление гумусных отложений, обладающих повышенной намагниченностью.

Таким образом, еще до начала раскопок удалось предположительно диагностировать основную часть памятника как грунтовый могильник и наметить перспективное направление геофизических исследований на предмет выявления восточной и северной границ памятника. Благодаря геофизическим работам удалось рационально построить стратегию археологического изучения выявленных объектов, а также надежно определить границы их распространения, не фиксируемые на дневной поверхности.

С целью проверки магнитных аномалий и дальнейшей идентификации памятника были предприняты широкомасштабные археологические раскопки 2006-2008 гг. В результате удалось выявить разновременные грунтовые погребальные комплексы (устьтартасской культуры, доандроновской бронзы, саргатской культуры, тюркского времени), а также ямы эпохи ранней бронзы и андроновского времени на краю террасы, которые предварительно можно связать с ритуальными, либо поселенческими комплексами. Необходимо

отметить, что на всех раскопах расположение пятен, зачищенных под слоем пашни и вскрытых на их месте объектов, совпадает с данными магниторазведки (рис. 8, 2, 4). Чистый фон пашни, минимально засоренный современными предметами из черного металла, небольшая глубина залегания контрастного материкового грунта делают данные магнитogramмы этого памятника наиболее благоприятными для археологических исследований.

Раскопом № 10 изучен полностью распаханный курган, не имеющий рельефных признаков на дневной поверхности, но который четко проявился на магнитogramме. В процессе исследований, было установлено, что курган саргатской культуры был сооружен на месте комплекса ям эпохи ранней бронзы. Неглубокий ров, окружавший курган, имел проходы с северной и южной сторон. Четыре одиночных захоронения сгруппированы вокруг центрального погребения. Умершие захоронены в ямах овальной, либо четырехугольной формы на спине, вытянуто, головой на СВ, ЗСЗ и ССЗ. Центральное парное погребение было разграблено, при этом кости и инвентарь одного из умерших были выброшены из могильной ямы, а захоронение второго индивида осталось практически нетронутым. Сопроводительный инвентарь саргатских захоронений представлен предметами из кости, рога, бронзы, железа, а также керамическими сосудами. Данный комплекс относится к заключительному этапу саргатской культуры, который в Барабинской лесостепи был изучен крайне слабо.

Одной из важных задач было продолжение исследований комплекса относящегося к периоду доандроновской бронзы (раскопы №№ 4, 11). На основе анализа 37 захоронений можно сделать вывод об устойчивости зафиксированной здесь погребальной традиции. Могилы и сопутствующие им ритуальные ямы расположены в одних рядах. Большинство захоронений одиночные, совершены в ямах овальной либо четырехугольной формы (рис. 8). Умершие уложены на дно могильной ямы в положении вытянуто на спине головой на ВСВ. Большинство сопроводительных ям характеризуются незначительной глубиной. В отличие от могил, они заполнены однородным

черным гумусом, что свидетельствует о долгом сохранении их в открытом виде и заполнении естественным путем. Раскопом № 11, заложенным над компактным скоплением магнитных аномалий, вскрыт ряд из четырех погребений и одной ямы, вытянутый по линии ССЗ-ЮЮВ и ограниченный с западной стороны дугообразным рвом. Вероятно, ров выполнял ритуальную функцию, ограничивая погребальную площадку с запада.

В результате археологической проверки магнитного картирования удалось сопоставить особенности заполнения захоронений, ритуальных ям и рва. Черный однородный гумус из ритуальных ям и рва обладает повышенной намагниченностью и проявляется на магнитограммах в виде более насыщенных аномалий, чем захоронения, заполненные смешанным грунтом. На магнитограмме удалось распознать даже неглубокие (до 10 см) археологические структуры.

Наибольший интерес представляет погребение №24, где в положении *in situ* сохранились только кости ног, а в нарушенной проникновением части погребения был найден бронзовый втульчатый наконечник копья, выполненный в традициях турбо-сейминского литья с отверстием для крепления и ушком (рис. 9). Здесь же были найдены три костяных и один каменный наконечники стрел. Положение наконечника копья на дне могильной ямы, в отличие от всех остальных находок, залегающих в этой части погребения выше уровня дна, позволяет предположить, что эта находка оказалась не потревоженной. Деформация втулки, отсутствие внутри нее древесного тлена могут свидетельствовать об отсутствии древка при помещении изделия в могилу. Эта находка позволяет связать коллекцию бронзовых изделий, выявленных ранее в слое пашни, с исследуемым погребальным комплексом.

Раскопом 3 в районе концентрации магнитных аномалий вскрыто древнее святилище, представленное под слоем пашни 17 ритуальными ямами, сконцентрированными на площади 122 кв.м. Выявлены следы огня (в ямах и за их пределами) и жертвенных действий, связанных с культами

плодородия и охотничье-промысловой обрядовой практикой. Предварительно комплекс можно датировать эпохой бронзы. Образцы обугленных зерен злаков и кости эмбрионов ягнят переданы на радиоуглеродное датирование.

#### ***4.2.2. Геофизическая диагностика грунтового могильника Тартас-1 в Новосибирской области и проверка данных геофизического картирования археологическими раскопками***

Грунтовый могильник *Тартас-1* не выражен в рельефе и обнаружен случайно при прокладке кабеля связи. Геофизическая разведка производилась после охранных раскопок зоны памятника. Ее цель заключалась в идентификации погребенных объектов и определении границы памятника. Условия проведения геофизической разведки были осложнены множеством неоднородностей техногенного характера: дорога, засыпанная щебнем, на которой практически полностью отсутствует почвенный слой; карьер с отвалами гумуса; пашня. Данные магнитометрии по сравнению с электропрофилированием и частотным электромагнитным зондированием оказались наиболее детальными.

При полевом изучении памятника уже несколько лет используется метод предварительного магнитометрического картирования, который позволяет получать представление о пространственных масштабах памятника, местоположении и примерных параметрах конкретных археологических комплексов еще до раскопок. Общая площадь магнитной съемки составила 11050 м<sup>2</sup>. Были построены магнитограммы, по которым выявлено две зоны памятника. Первая зона приурочена к пашне и характеризуется достаточно спокойным фоном. Аномалии магнитного поля, по размерам и конфигурации сопоставимые с древними погребениями, представлены значениями от 2,5 до 8 нТл. В восточной части участка 2 зафиксированы две крупные положительные аномалии (площадь 12 и 25 м<sup>2</sup>) с магнитными значениями 5 нТл, которые можно диагностировать как поселенческие объекты. Наиболее

благоприятными условиями для отображения нарушений материкового суглинка является распашка верхнего слоя до уровня материка. Именно в распаханной части памятника наблюдается наибольшее соответствие предварительных геофизических данных и археологических реалий. Вторая зона расположена вдоль края террасы и карьера. Она сильно засорена современными железными предметами. В этом случае современное нарушение верхних слоев памятника ведет к улучшению качества наблюдений.

Археологическая проверка в 2006-2008 г. строилась с учетом ранее произведенного магнитного картирования. Исходя из сложной характеристики памятника, раскопки производилась сплошной площадью. Результаты подтвердили предположение о прямой связи магнитных аномалий с древними захоронениями в первой зоне. Вскрытые на этих участках погребения отнесены к переходной кротовско-андроновской (федоровской) группе. Выявлены взаимосвязи между интенсивностью магнитных параметров, глубинами и характером заполнения могильных ям. Кроме того, отмечено, что искажение картины возникает при сложных стратиграфических ситуациях, когда происходит наложение объектов один на другой. В таком случае наиболее явственно проявляется более поздний объект, а более ранний, хотя и более глубокий, может не читаться. Наиболее ярким примером этому служит ситуация с конструкцией 4. Следы четырехугольного котлована полуземляночной конструкции доандроновской бронзы не прослеживались на магнитограмме, в то время как перерезающие сооружение могильные ямы читались вполне явственно. Комплексы усть-тартасской культуры (погребение 51) сравнительно слабо выражены, чем аналогичные по глубине сооружения андроновского некрополя. Можно связывать плохое проявление некоторых хозяйственных или ритуальных ям с характером и динамикой их заполнения. Если могильная яма после помещения на дно останков умершего, как правило, одномоментно засыпалась, то углубления иного назначения могли заполняться естественно или постепенно. В перспективе

можно выделить закономерности, которые можно использовать и в реконструкции назначения того или иного сооружения, или процесса его археологизации. Тем более что на данный момент только начато исследование площади, где техногенный «шум» наиболее низок. Благодаря выполненным геофизическим работам, можно наметить перспективы дальнейшего изучения территории памятника в северном направлении и скорректировать стратегию археологических исследований в различных зонах памятника.

#### ***4.2.3. Геофизическое картирование и археологическая проверка структурных построений грунтового могильника Рублево–VIII (Алтайский край)***

Геофизические исследования грунтового погребального комплекса Рублево-VIII предприняты в 2007 г. Памятник исследуется археологически с 1999 г., в настоящее время можно считать эталоном для изучения культур эпохи бронзы Кулундинской степи, поскольку, помимо могильника Нижняя Суетка, это единственный комплекс, раскопанный на большой площади. Основной задачей являлось определение границ могильника. Эоловые процессы в этом районе вызывают постоянные перемещения песчаных грунтов, что затрудняет оценку реальной площади памятника, расположенного на песчаной гриве. Учитывая эту особенность, а также большую разреженность в расположении захоронений, на могильнике Рублево-VIII было решено провести геофизические исследования с целью определения стратегии дальнейших археологических раскопок. На предварительном этапе работ были произведены каппаметрические измерения образцов грунта из могильника с применением портативного полевого каппаметра МП-01. Средние значения магнитной восприимчивости для материкового вмещающего слоя составили 0,00090 единиц СИ, а для проб из заполнения могильных ям 0.00093 единиц СИ. Таким образом, был

выявлен весьма незначительный контраст между заполнением погребенных археологических объектов и вмещающей средой. Данный факт, вероятно, обусловлен низким содержанием магнитных гумусных включений, вымываемых из песчаных грунтов.

С помощью градиентометра G-858, было выполнено магнитное картирование двух участков западного (№ 1) и восточного (№ 2) секторов могильника, общей площадью 2576 кв. м (рис. 10). Данный прибор впервые применялся для работы на малоконтрастных по магнитным свойствам грунтах. Учитывая результаты капаметрии, измерения выполнялись практически на границе применимости метода. Магнитометрические замеры производились параллельными профилями по линиям юг-север через 1 м. Сигналы по профилю при непрерывном движении оператора регистрировались через 0,1 м. При выполнении съемки использовался метод вертикального градиента. На полученных магнитограммах зафиксирован достаточно спокойный фон, с незначительными множественными аномалиями в виде параллельных линий, вытянутых преимущественно в направлении ЮЗ–СВ. Вероятнее всего, они связаны с задернованными следами старой пашни. Близость к стенкам раскопанной траншеи дала положительную аномалию в северо-западной части участка № 2. Слабые точечные аномалии на участках №№ 1, 2, превышающие фоновые показатели на 3–4 нТл, сопоставимы по размерам с древними захоронениями и могут быть предположительно связаны с археологическими объектами. Наибольшая их концентрация приурочена к северо-восточной части участка № 1 и восточной части участка № 2, однако плотность их расположения, особенно в последнем случае, вызывает определенные сомнения.

В ходе археологической проверки 2007 г. была вскрыта часть участка № 2, примыкающая с юга к траншее, а также северо-восточная часть участка № 1. В первом случае, выявленные захоронения на магнитограмме не проявились, так как их перекрыли аномалии, вызванные фоном от рельефа старых раскопов. На участке № 1 две аномалии коррелируют с выявленными

здесь погребениями №№ 10, 11, которые отличаются более темным гумусным заполнением (рис. 10). Часть аномалий вызвана насыщенными органикой муравейниками, размерами около 0,6 м × 0,5 м., которые прорезали раскоп ниже уровня 1,2 м.

*Выводы.* Накопленный опыт показал, что решение о применении тех или иных геофизических методов при поиске древних погребений, не имеющих рельефных признаков, должно приниматься в соответствии с физическими свойствами археологических объектов и вмещающей их среды. С этой целью до начала геофизической съемки необходимо произвести исследование грунтов на предмет контрастности по магнитным либо геоэлектрическим свойствам; выяснить примерную глубину залегания слоев; определиться с уровнем помех, в том числе за счет неровностей дневной поверхности и крупных металлических предметов (в почве либо на поверхности).

Для памятников с контрастными по магнитным параметрам грунтами наиболее информативным методом является высокоточная магнитометрия. Наиболее предпочтительным является применение вертикального градиента. При этом можно констатировать, что использование квантового градиентометра при проведении магнитного картирования значительно повысило производительность работ. Существует также возможность увеличения разрешающей способности магнитных съемок при проведении их на участках с ровной поверхностью или применения алгоритмов выделения полезных сигналов на фоне помех.

В отличие от применяемых нами ранее протонных градиентометров МГ-60 и ММПГ-1, принцип действия квантового градиентометра G-858 (фирма "Geometrics", США) основан на выделении частоты резонансного поглощения электромагнитной энергии при переходе атомов рабочего вещества (пары щелочного металла) между двумя дискретными энергетическими подуровнями, расстояние между которыми, а, следовательно, и частота перехода зависит от величины внешнего магнитного поля. Этот принцип позволяет, в отличие от протонных магнитометров,

проводить измерения магнитного поля с гораздо большей частотой. Частоту замеров можно устанавливать до 10 раз в секунду, в то время как у протонных магнитометров частота замеров составляет, как правило, 1 измерение в 2-3 секунды. Второе положительное качество – значительно более высокая чувствительность (разрешающая способность) до 0.005 нТл. Рассмотрим, как сказываются отмеченные выше преимущества при проведении магнитного картирования при археологических работах.

Во-первых, значительно повышается производительность труда, т.к. высокая частота замеров (10 замеров в секунду) позволяет выполнять съемку в движении без остановки и фиксации датчика над каждым пунктом измерений (как это делалось с протонным магнитометром). Пространственная привязка проводимых замеров выполняется оператором путем нажатия кнопки на приборе при прохождении каждого пикета профиля, которые в данном случае удобно было располагать через 2 метра при длине профиля 40 метров. Опыт проведения съемок с помощью прибора G – 858 показал, что ее скорость при обследовании отдельных участков повышается в 2-3 раза по сравнению с использованием протонного градиентометра.

Во-вторых, при проведении магнитных съемок на ровных участках можно рассчитывать на повышение точности съемки, а значит и ее информативности при поиске погребенных археологических объектов. При наличии неровностей поверхности земли – свежие перекопы, колеи и другое, более высокую чувствительность нового прибора не удастся реализовать, поскольку аномалии от этих неоднородностей рельефа достигали 0.5-1 нТл.

Опыт специально выполненных методических наблюдений на одном из участков грунтового могильника Тартас-1 показал, что ввиду высокой частоты замеров вдоль профиля, расстояние между профилями может составлять 1 метр, а уменьшение этого расстояния до 0.5 метра не дает какого-либо значимого повышения качества съемки.

Для корректного сравнения данных магнитометрической аппаратуры (ММПГ–1 и градиентометра G-858) были проведены методические работы на памятнике Преображенка-6. Выяснилось, что данные этих двух приборов достаточно корректно соотносятся друг с другом и могут быть использованы для построения объединенных магнитограмм.

Таким образом, в ходе геофизических исследований и следующих за ними масштабных раскопок удалось выработать методику распознавания грунтовых могильников для западносибирского региона. На контрастных грунтах под слоем почвы удается диагностировать аномалии, связанные с археологическими объектами, углубленными в материковый слой от 0,1 м с минимальным диаметром от 0,5 м. Погребения, расположенные на контакте с материковым слоем, либо совершенные в погребенной почве, обладают теми же физическими параметрами, что и вмещающая их среда, следовательно, не могут проявляться на геофизических картах. Археологические объекты, расположенные в тех же условиях, но со следами огня могут быть диагностированы магнитометрически за счет повышенного остаточного магнетизма прокаленного грунта. Методы электропрофилирования и частотного индукционного зондирования при работе на малоконтрастных в геоэлектрическом плане памятниках не дают таких детальных результатов, как магнитометрия, но могут выступать как инструмент получения дополнительной информации о погребенных археологических объектах.

### 4.3. Исследование курганов с мерзлотой

*4.3.1. Комплексные геофизические исследования пазырыкских курганных могильников с мерзлотой Монгольского Алтая (Памятники Олон-Курин-Гол-3,-9,-12; Олон-Курин-Гол-Устье-2; Улан-Даба-1,-2) и проверка данных геофизического мониторинга археологическими раскопками.*

Многолетние археологические исследования курганных могильников пазырыкской культуры на плато Укок в Горном Алтае позволили выявить уникальные комплексы с прекрасно сохранившейся органикой: мумиями людей, изделиями из тканей, дерева, кожи и т. д. Такая естественная консервация органических материалов оказалась возможной в силу природных условий, когда под каменной кладкой кургана, в срубке погребальной камеры, образуется лед, который впоследствии не оттаивает. Значение выявления мерзлоты внутри древних курганов Алтая до начала раскопок при помощи геофизических методов трудно переоценить (рис. 11).

Первые результаты по диагностике льда в погребальных камерах курганов пазырыкской культуры геофизическими методами были получены на плато Укок в 2003 г. Основные усилия были направлены на поиск оптимальной разновидности метода сопротивлений для получения аномального сигнала, обусловленного изолирующим шестигранным объектом на глубине около 2 м под дневной поверхностью. На тех же объектах были выполнены частотные электромагнитные зондирования аппаратным комплексом ЭМС. Применение оригинальной модификации метода сопротивлений и сравнение полученных графических представлений с результатами математического моделирования позволило диагностировать наличие во вмещающем грунте изолятора, предположительно связываемого с наличием льда в захоронении кургана №4 могильника Верх-Кальджин II.

Дальнейший геофизический мониторинг, основанный на опыте Укока, происходил на северо-западе Монголии в 2005 г. Были изучены шесть курганных могильников в долинах рек Улан-Даба, Олон-Курин-Гол и Цаган-Салаа. В 2006 г. были обработаны полевые данные геофизических измерений. Результаты, позволяющие предположить наличие изолирующих ледовых линз, были получены при исследовании объектов: Улан-Даба-1, Олон-Курин-Гол-1 и Олон-Курин-Гол-6. Наиболее достоверной с модельной точки зрения являлась абсолютная аномалия под курганом Улан-Даба-1.

Исследование одного кургана включает измерение модифицированным методом сопротивлений на двух площадках с шагом через 1 м по Y и 0.5 м по X. Одна площадка включает курган, другая, равная по площади первой, площадка сравнения, структура которой близка к однородной. Схема приведена на рис. 12.

Дополнительная информация о геоэлектрических параметрах вмещающей среды получалась с помощью вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) с разносами  $AB/2$  до 6 м.

Данные, полученные над курганом, мы называем полным полем. Данные, полученные над референтной средой, названы нормальным полем. Для обнаружения аномалий поля, измеренного на кургане, по сравнению с полем на референтной среде, были применены разности: модуль разности полного поля и нормального назван абсолютной аномалией поля, а просто разность названа аномальным полем.

Электромагнитные частотные зондирования аппаратурой ЭМС выполнялись с шагом наблюдений 1 м. При этом сеть наблюдений по возможности включала в себя видимую часть кургана целиком. Профили наблюдений захватывали окружающую часть пространства и пересекали видимую часть насыпи. Построения выполнены в единицах кажущейся удельной электропроводности, полученной в низкочастотном приближении. Проводящая часть разреза по данным ЭМС совпадает с мощностью оттаявшего пласта грунта.

Работы по описанной выше методике были дополнены вертикальными электрическими зондированиями (ВЭЗ) и электропрофилированием (ЭП). Частотные электромагнитные зондирования проводились как по профилям через центральную линию курганов, так и по площадной схеме.

*Результаты электроразведочных работ. Олон-Курин-Гол-9, курган № 3.* По данным ВЭЗ для северного и южного участков вмещающей среды вблизи кургана толщина рыхлой части разреза равна 0,9 м. На большей глубине залегает монолитный слой-изолятор. Учитывая, что курган находится на надпойменной террасе видимой мощностью более 4 м, можно полагать, что на глубине около 1 м залегает аллювий в замерзшем состоянии. Над курганом № 3 этой системы выполнены площадные исследования выше описанной разновидностью метода сопротивлений. На карте величин разностей потенциалов нормированных на ток абсолютной аномалии поля и карте аномального поля имеется небольшой объект повышенного сопротивления.

*Олон-Курин-Гол-9, курган № 4.* Результаты работ представлены на рис. 13. Каменная насыпь кургана в значительной мере была разобрана местным населением, что дало возможность выполнить электропрофилирование установкой Венера с разносом 0,7 м. Разрез по данным ЧЭЗ и график электрического профилирования по центральной оси кургана представлены в нижней части рис. 14. Полученные данные хорошо согласуются и позволяют сделать вывод о наличии высокоомной аномалии (пикеты 7-9 графика ЭП) с низкоомным обрамлением (пикеты 6 и 10 ЭП) внутри данного кургана.

*Олон-Курин-Гол-3, курган № 1.* В результате работ получены карты площадных наблюдений методом сопротивлений и ВЭЗ. Мощность рыхлых отложений по данным ВЭЗ около 1 м. Под курганом наблюдается большее сопротивление грунта по сравнению с окружающей средой. Возможно, это связано с массивным обледенением грунта на глубинах более 1 м.

*Олон-Курин-Гол-12, курган № 4.* Методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) определено, что с северной стороны кургана рыхлая верхняя толща имеет мощность около 0,4 м и залегает на непроводящем основании. С южной стороны кургана рыхлая часть грунта имеет мощность до 2,4 м, состоит из двух слоев и залегает на непроводящем основании.

На картах аномалий площадного исследования методом сопротивлений наблюдаются проводящие зоны, приуроченные к центру кургана.

*Олон-Курин-Гол 12, курган № 1.* По результатам электропрофилирования можно утверждать, что в кургане имеется объем с высоким сопротивлением (около 1 КОм·м), который находится под насыпью. В центре есть небольшое проводящее включение, но оно не является глубоким (менее 1 м).

*Олон-Курин-Гол устье 2, курган №1.* Площадное исследование методом сопротивлений показывает наличие двух небольших изолирующих тел в центре кургана. Однако аномалии небольшие и соотносить им мерзлотные линзы не стоит. Это тем более интересно, что данный объект был выбран с методическими целями, т.к. по внешним конструктивным признакам отличался от курганов пазырыкской культуры.

*Улан-Даба 1, курган №1.* Этот курган подвергся повторному геофизическому изучению с целью получения дополнительной информации после снятия насыпи. Дополнительные исследования частотными зондированиями выявили вертикальные границы, которые, однако, соответствовали уже выкопанной яме.

*Археологическая проверка геофизических построений.* Раскопки 2006 г. подтвердили присутствие мерзлотных образований во всех трех объектах, выделенных по результатам геофизической диагностики: Улан-Даба-1, курган 2 могильника Олон-Курин-Гол-6, курган 1 могильника Олон-Курин-Гол-10. Однако природа и масштабы этих образований были различны. Так, на кургане №1 Улан-Даба-1 специально для выявления причин аномалии был прокопан шурф размером 4 м х 3,5 м. Линза мерзлоты действительно обнаружена на глубине 2-2,5 м в ненарушенных слоях, подстилающих

курган, но причины образования ее имели природную основу. На каменном цоколе, при подвижках моренных или селевых потоков образовался своеобразный каменный «карман» из валунов и обломочного камня, в котором и аккумуляровалась вода, впоследствии превратившаяся в лед (рис. 15).

В кургане № 2 могильника Олон-Курин-Гол-6 мерзлый грунт также фиксировался в могильной яме и в заполнении сруба, но, кроме того, внутри сруба вдоль северной его стенки находилась узкая линза чистого льда. Ее положение соотносится с отмеченными геофизическими методами смещением непроводящей аномалии в северную часть ямы (рис. 16).

Наконец, в кургане № 1 могильника Олон-Курин-Гол-10, где обнаружено не потревоженное захоронение воина, мерзлота присутствовала в наибольшем масштабе и в различных видах. Промерзшим было заполнение могильной ямы вокруг сруба. Внутри сруба лед присутствовал в северной части. Кроме того, на грунтовой подсыпке под погребальным ложем образовался ледяной бугор почти по всей площади сруба, выдавивший доски вверх. Именно благодаря присутствию мерзлоты данное погребение со всем его содержимым отличала уникальная степень сохранности (рис. 17).

Применявшиеся для обнаружения льда в погребальных комплексах геофизические методики полностью себя оправдали, показав, по сути, стопроцентный результат по проверке геофизического прогноза.

Вместе с тем, перед нами встала новая задача – отличать при помощи геофизических методов лед в естественном состоянии от деревянной погребальной камеры, заполненной льдом, под каменной курганной насыпью.

#### ***4.3.2. Комплексная геофизическая и геохимическая диагностика структур курганных могильников пазырыкской культуры (Бертек-1, 10; Верх-Кальджин II, 3; Кальджин-6 и открытый в 2007 г. курганный могильник Верх-Кальджин-13) на плато Укок в Горном Алтае***

Геофизические исследования на плато Укок продолжены в 2007 г. на курганных могильниках: Бертек-1, 10; Верх-Кальджин II, 3; Кальджин-6 и Верх-Кальджин-13. Исследования проводились в двух направлениях. Во-первых, совершенствовался метод электроразведки (ВЭЗ, многоэлектродная аппаратура метода сопротивлений и аппаратурно-программный комплекс частотного электромагнитного зондирования ЭМС). Аппаратура метода сопротивлений, в отличие от прошлых лет, имела повышенную автоматизацию работы. В комплекс исследований дополнительно был включен георадар ГРОТ-12.

*Методика полевых работ методом сопротивлений на плато Укок в сезон 2007 г.* В работах можно выделить следующие методические моменты (пример схемы работ представлен на рис. 18):

1. Вокруг исследуемого кургана размечаются границы первого квадратного участка. Вблизи от первого участка, размечается площадка сравнения. Наибольший размер стороны участков не должен превышать 12 м.

2. Количество токовых электродов с одной стороны исследуемого участка равно 12 шт. Расстояние между электродами 1 м.

3. Количество измерительных электродов 24 шт. Расстояние между электродами 0,5 м.

4. По линиям установленных электродов выполняются вертикальные электрические зондирования. Точки записи ВЭЗ относятся к середине отрезков. Кривые зондирования обозначаются номерами и отмечаются на рабочей схеме.

5. На площадке с курганом выполняют измерения  $\Delta U_i$  для каждой питающей линии (A=1, B=24), (A=2, B=23), (A=3, B=22),..., (A=12, B=13) с измерением соответствующего тока  $I_i$ . Где  $i$  - количество измерительных позиций.

6. На референтной площадке выполняют измерения  $\Delta U_i$  для каждой питающей линии (A=1, B=24), (A=2, B=23), (A=3, B=22),..., (A=12, B=13) с измерением соответствующего тока  $I_i$ . Где  $i$  - количество измерительных позиций.

7. Создаются карты распределения отношений  $(\Delta U_i / I_i)$  для каждого участка.

8. Строятся карты распределения разностного сигнала  $(\Delta U_i / I_i)_{\text{курган}} - (\Delta U_i / I_i)_{\text{референт}}$ .

9. Строятся карты распределения относительного разностного сигнала

$$[(\Delta U_i / I_i)_{\text{курган}} - (\Delta U_i / I_i)_{\text{референт}}] / (\Delta U_i / I_i)_{\text{референт}}$$

Предварительные результаты показали, что из всех исследованных курганов, наличие льда в погребальных камерах возможно в кургане №4 могильника Верх-Кальджин II, в западной части кургана №3 и в центральной части кургана №4 могильника Верх-Кальджин 3 (рис. 19).

Во-вторых, впервые в мировой практике были произведены исследования, направленные на *создание методики поиска деревянных срубов под каменными насытями курганов*.

Основанием для расширения комплекса явились результаты археологических раскопок 2006 года, которые подтвердили геофизические прогнозы по наличию ледовых линз. Однако выяснилось, что некоторые из этих объектов представляют собой естественные линзы льда и не представляют никакого интереса с точки зрения археологии. Поэтому было решено дополнить комплекс радиоактивными, магнитометрическими и газово-хроматографическими измерениями.

Известно, что скопление в одном месте значительного количества органического материала приводит с течением времени к его рассеянию и изменению окислительно-восстановительных условий во вмещающих породах. Это в свою очередь способствует образованию геохимических барьеров, в первую очередь для ряда радиоактивных изотопов, а также образованию высоковалентных окислов железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), обладающих повышенными значениями магнитной восприимчивости. В силу указанных обстоятельств в комплекс был включен анализ гамма-спектров для оценки

сравнительных изменений изотопов  $K^{40}$ ,  $Ra^{226}$ ,  $Th^{232}$  в пределах кургана и по его глубине, а также определение магнитной восприимчивости образцов почвы на территории кургана и за его пределами. Иллюстрация полевых работ и результаты газовой хроматографии приведены на рис. 20.

Важной особенностью района исследований является полное отсутствие древесной растительности. Таким образом, любые методы, определяющие наличие древесины, в первую очередь лиственницы, являются очень важными для идентификации археологических памятников, содержащих деревянные срубы. В качестве такого метода в комплекс была включена высокочувствительная газовая хроматография.

Расширенный комплекс был обеспечен аппаратурой, имеющейся в ИНГГ: полевой газовой хроматограф ЭХО-ФИД с уникальной чувствительностью к ароматическим углеводородам ( $10^{-12}$  г/см<sup>3</sup>); каппаметр КТ-6 и гаммаспектрометр МКС АТ-6101Д, для измерения общего гамма-фона и содержания трех основных радиоактивных изотопов  $K^{40}$ ,  $Ra^{226}$  и  $Th^{232}$ .

При проектировании полевых работ были проведены предварительные анализы запаха от образцов дерева, взятых из лиственничных срубов пазырыкских курганов, необработанных химическими реактивами. Установлено, что надежным маркером лиственничной древесины является *кумол*.

В полевых условиях пробы грунта для анализов брались либо из под тонкого слоя дёрна, либо из под крупных камней насыпи, где дёрн отсутствовал. В этих же местах проводилось измерение общего гамма-фона и спектра по трем изотопам. Результаты предварительной обработки показали следующее. Хроматограммы в центре кургана фиксировали, как правило, повышенные концентрации *м-ксилона*. Главный индикатор лиственницы – *кумол*, присутствует в значительно меньшем количестве или отсутствует вовсе. Последнее очень важно, поскольку свидетельствует об отсутствии в кургане лиственницы и, следовательно, сколько-нибудь сохранившихся срубов. Вместе с тем в силу погодных условий (сильный ветер, высокая

температура воздуха) для более точного определения *кумуля* необходимо использовать накопители-концентраторы, что предполагается сделать в 2009 г. На ряде курганов выявлены повышенный гамма-фон, значения которого возрастают с глубиной. Для истолкования этого явления и его возможного использования рекомендуется в будущем при раскопках проводить послойное измерение гамма-фона и концентрации ароматических углеводородов. Составление таких геофизико-геохимических "портретов" каждого археологического объекта позволит в дальнейшем резко повысить достоверность геофизического прогноза.

Наличие в одном месте большого скопления органического материала приводит к образованию ореола рассеяния органического вещества, что вызывает изменение окислительно-восстановительной обстановки в окружающих грунтах. Этот фактор формирует определенного рода геохимический барьер для некоторых веществ, в том числе и радиоактивных изотопов. Соответственно, логично было предположить наличие аномалий над курганами, содержащими под насыпью большой объем органики. Таким образом, в методическую программу исследований наряду с хроматографией были включены измерения радиационного фона и магнитной восприимчивости.

Практически во всех измерениях значения магнитной восприимчивости в пробах отобранных в центральной части кургана были выше, нежели с периферии. Вероятным объяснением такой аномалии может служить наличие интенсивного вымывания тяжелых минералов железа в полости кургана. Радиоактивные показатели возрастали в обратной последовательности. При этом содержания изотопов  $K^{40}$  и  $Th^{232}$  в среднем росло, а  $Ra^{226}$  убывало. Значения гамма фона в центре кургана (участки 2,5-3 м в диаметре) иногда более чем в два раза превосходили законтурные значения. Максимальные значения достигали 19 микрорентген/час (Верх-Кальджин-II, курган №4), при фоновых значениях в 7–9. Замеры радиоактивности камней, из которых сложены курганы, и коренных выходов пород не превышали 12

микрорентген/час. Выявленные радиационные аномалии над курганами могут быть связаны с заполнением погребений, либо, как и в случае с магнитной восприимчивостью, полости кургана могли служить фильтром, аккумулируя тяжелые радиоактивные минералы. Однозначно ответить на этот вопрос можно будет лишь при мониторинге в процессе раскопок.

Хроматограммы проб на периферии практически не менялись по мере приближения к кургану. Лишь пробы на границе кургана и в центре обнаружили наличие нескольких новых веществ. Два из них были проинтерпретированы как м-ксилол и кумол, которые ранее детектировались в качестве контрольных для древесины лиственницы. М-ксилол фиксировался в очень небольших количествах вплоть до следов, а вот кумол присутствовал исключительно в виде следов или вообще отсутствовал. Стоит отметить, что в измерениях проб отобранных за контуром кургана, отсутствовали даже такие следы. Таким образом, значения опорных для нас элементов можно объяснить, тем, что при наличии льда низкие температуры препятствуют формированию ореола рассеяния углеводородов.

Подводя итоги, можно сказать, что данные геофизических и геохимических исследований древних курганов позволяют прогнозировать наличие льда и деревянных срубов из лиственницы под каменными курганными насыпями в погребальных камерах. Необходимо также отметить, что подобные геофизические исследования на Укоке и в Монголии проводились впервые в мировой практике. Последующие археологические изыскания помогут определить правильность выбранной методики и внести необходимые корректировки.

Перспективы дальнейшего развития геофизических методов применительно к проблемам поиска археологических объектов в замерзшем состоянии связаны с разработкой новых технологий геоэлектрики, ориентированных на изучение физических свойств, присущих мерзлым породам. В начальный период исследований была изучена возможность обнаружения таких объектов на основе различия диэлектрических свойств

воды в жидком и твердом состояниях по частотному диапазону дисперсии и поглощению электромагнитного поля. Известны способы и методы исследования льда и замерзших горных пород. Знакомство с работами лаборатории геофизики криогенеза Читинского института природных ресурсов СО РАН показало специфику работ по изучению свойств льда в полевых условиях. Основной их особенностью является применение электромагнитных полей высокочастотного диапазона (сотни МГц – единицы ГГц). Выполнение подобных исследований в Институте нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, на наш взгляд, является нецелесообразным и экономически невозможным. В этот период исследований, по тем же причинам, было признано нецелесообразным изучать эффекты, обусловленные быстропротекающей вызванной поляризацией в мерзлых породах. Очевидно, что фундаментальные физические явления, которые можно было применить в данных задачах, являлись бы индикаторами наличия чистого льда в осадочной толще. Но высокая стоимость оборудования и значительное время освоения методики не позволили нам выбрать это направление. Поэтому основные усилия были направлены на поиск оптимальной разновидности метода сопротивлений для получения аномального сигнала, обусловленного изолирующим шестигранным объектом на глубине около 2 м под дневной поверхностью. Исследования и анализ велись на основе результатов трехмерного математического моделирования сигналов различных установок электрического профилирования. Был найден оптимальный размер разносов питающей линии и минимизировано число расстановок приемной линии. На тех же объектах были выполнены частотные электромагнитные зондирования аппаратным комплексом ЭМС при горизонтальной и вертикальной ориентации рабочих рамок. Положительные результаты экспериментальных работ подтвердили правильность выбранных методов исследований.

#### ***4.4. Комплексные геофизические исследования курганных могильников***

#### *4.4.1. Геофизические исследования кургана хунну могильника Ноин-Ула (Северная Монголия).*

Необходимость геофизического исследования в Ноин-уле была связана с тем, что территория памятника является заповедником и раскопки большими и сплошными площадями поросшего лесом межкурганного пространства были неосуществимы. В то же время, рядом с раскопанным в 2006 году Ноин-улинским курганом могли быть сопроводительные захоронения, не заметные на поверхности, так как это было рядом с курганом 7 могильника Царам в Забайкалье (Миняев, Сахаровская, 2002, с.80-118). Другой задачей было исследование с помощью геофизических методов одного из не раскопанных больших курганов хунну в Ноин-улинском могильнике, с целью проверки возможностей этих методов для предварительного изучения памятника.

##### *Методика магниторазведочных работ*

*Аппаратура.* В качестве измерительного прибора использовался квантовый магнитометр-градиентометр G-858 фирмы Geometrics. Результатом единичного измерения является разность значений магнитного поля двух датчиков, расположенных на одной вертикальной оси на расстоянии 76 см друг от друга. Оба датчика выполняют синхронные измерения модуля полного вектора магнитной индукции.

Наблюдения выполнялись по профилям, расстояние между которыми составляло: на первом участке – 0.5 метра, а на втором участке – 1 метр. Интервал между замерами был равен 0.1 секунды, что соответствовало расстоянию 10 см вдоль профиля, при движении оператора со средней скоростью 1 м/сек.

##### *Результаты магнитного картирования и анализ полученных данных*

*Участок 1.* Результаты съемки представлены двумя картами с разной степенью разрешения. На первой карте изолинии в интервале малых значений магнитного поля проведены через 1 нТл, на второй карте – через 5

нТл. Выделяются 2 наиболее интенсивные магнитные аномалии с размерами до 2–3 метров, источниками которых являются сильно намагниченные объекты. Из аномалий с относительно слабой интенсивностью (до нескольких нТл) выделяются две, иногда три, своей формой и размерами напоминающие аномалии, которые ранее мы наблюдали над древними захоронениями в Западной Сибири [Дядьков, Молодин, Чемякина и др., 2005, с. 304-309], но для хуннских захоронений нехарактерные. Расположение длинной оси магнитных аномалий по направлению запад–восток не позволило причислить их к захоронениям. Поскольку интерпретация этих аномалий указывала на близкое расположение их источников к поверхности, в этих местах были организованы раскопки, которые подтвердили предварительно сделанные выводы. Источниками этих аномалий оказались большие камни.

*Участок 2.* На рис. 21 представлена магнитная карта, полученная в результате проведенной съемки. Курганное сооружение выделяется весьма отчетливо в связи с тем, что в каменной кладке присутствуют камни с высокой намагниченностью. Частично погребенные почвенным слоем стены основного сооружения и дромоса хорошо проявляются в магнитном поле в виде как положительных, так и отрицательных аномалий. Грабительской яме соответствует отрицательная аномалия с размерами 4×5 м<sup>2</sup>.

Наличие, наряду с положительными, высокоинтенсивных отрицательных аномалий может иметь два объяснения. Во-первых, это может указывать на присутствие в горной породе большого процента остаточной намагниченности, при этом суммарный вектор для отдельных камней может быть развернут относительно направления современного магнитного поля вплоть до противоположного направления. Вторым объяснением могут служить неровности рельефа вдоль профилей съемки и низкое расположение нижнего датчика градиентометра относительно камней в кладке на некоторых участках профиля.

Факт наличия достаточно большого количество сильно намагниченных камней в кладке кургана на этом участке может вызывать вопрос о возможности специального подбора древними строителями магнитных и крепких камней для сооружения кургана. Однако для ответа на этот вопрос требуются более детальные исследования.

Параллельно было проведено исследование этого же кургана с применением аппаратуры частотного электромагнитного зондирования ЭМС. Ранее с помощью этого прибора успешно изучался ряд археологических памятников Новосибирской области (городище Чича-1; Барсучий лог; Умревинский острог и др.), Самарской области (Ташолка), Алтайского края (Денисова, Усть-Канская пещеры, палеолитические стоянки), Горного Алтая и Монголии (Пазырыкские курганы) (Балков, Манштейн, Чемякина, с. 43-50).

#### *Методика электромагнитного картирования*

*Аппаратура.* Аппаратурно-программный комплекс электромагнитного индукционного частотного зондирования (ЭМС) разработан в лаборатории электромагнитных полей Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск. Наземный переносной аппаратурно-программный комплекс ЭМС предназначен для дистанционного исследования объемного распределения удельной электропроводности верхнего слоя почвы на глубины до 10 метров. Аппаратура ЭМС реализует метод электромагнитного индукционного частотного зондирования и представляет собой трехкатушечный зонд. Генераторный контур излучает электромагнитное поле на 14 частотах в диапазоне от 2.5 кГц до 250 кГц. Аппаратурой измеряются квадратурная и синфазная составляющие разностной э.д.с., индуцированной вихревыми токами, текущими в среде. В работах 2007 года отрабатывалась технология ЭМС с построением карт или геоэлектрических разрезов в реальном времени работы прибора. Испытывалась автоматическая система геодезической привязки пункта зондирования с использованием GPS приемника с каналом связи BlueTooth.

*Результаты электромагнитного частотного зондирования и анализ полученных данных*

Карта (рис. 22) построена по данным на частоте 15.6 кГц. На остальных частотах картина не такая выраженная, или совсем отсутствует. Построения выполнены в единицах сигнала, нормированного на ток в генераторе и на квадрат рабочей частоты. В низкочастотном диапазоне такие нормированные сигналы пропорциональны удельной электрической электропроводности. На карте хорошо видны контрастные по электропроводности области, соответствующие структуре могилы. Красным цветом обозначены более проводящие части среды, а синим – области с низкой удельной электропроводностью. Для большинства археологических памятников характерен контраст физических параметров (таких как электропроводность и намагниченность) различных фракций грунта, который возникает в результате человеческой деятельности. В частности, на данной карте области с пониженной электропроводностью соответствуют каменным стенам кургана и стенам дромоса (коридора). Также на карте, сделанной по данным ЭМС, в отличие от магнитной карты, видна перегородка в дромосе, что соответствует археологическим представлениям о данных курганах.

Оба метода геофизического исследования кургана хунну оказались продуктивными и дополняющими друг друга. С их помощью стало возможным проследить во всех деталях скрытую под землей каменную конструкцию погребального сооружения, что является очень важной информацией перед началом археологического изучения памятника.

#### *4.4. 2. Геофизические исследования на памятнике Бугры в предгорьях Алтая*

Памятник скифо-сакского времени Бугры расположен в окрестностях с. Бугры Рубцовского района Алтайского края, на границе между Алейской степью и северо-западными предгорьями Алтая. В 2006 г. курганы № 1, № 4 были выбраны в качестве объектов для совместных исследований сотрудниками Алтайского госуниверситета и Государственного Эрмитажа. Размеры кургана № 1 – 111,7×89,4 м<sup>2</sup>, кургана № 4 – 43,1×49,1 м<sup>2</sup>. Высота 3,85 м и 2,7 м соответственно. С целью получения дополнительных сведений о внутреннем устройстве насыпей и особенностях прилегающей к ним территории, в мае 2007 г. на памятнике были произведены геофизические работы. Такая работа в предгорьях Алтая на памятнике скифо-сакского времени осуществлялась впервые. Помимо прикладных задач, исследования были нацелены на продолжение работ по поиску оптимальных сочетаний геофизических методик и аппаратурно-программных комплексов для эффективного распознавания структуры различных видов археологических объектов в условиях разнообразных природно-климатических зон.

В комплекс методов вошли высокоточная магнитометрия (квантовый магнитометр-градиентометр G-858 производства фирмы “Geometrics”, США) и малоглубинное частотное электромагнитное зондирование (аппаратурно-программный комплекс ЭМС, разработка Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН). В ходе полевых геофизических исследований с целью устранения помех, вызванных присутствием в грунте современных предметов из черного металла, использовался металлоискатель Крот-2.

По итогам магнитометрических измерений кургана №1 построена магнитограмма, на которой прослежена практически полная конфигурация рва (рис. 23). Наличие рва подтверждается и археологическими данными (раскопки К.В. Чугунова). Можно предположить наличие проходов с северной и южной сторон. С западной стороны ров частично распахан. С восточной стороны прорезан траншеей водопровода. Последнее

обстоятельство создавало негативные условия для магнитной съемки, «забивая» своим фоном значительную часть восточной половины кургана. Две округлых контрастных аномалии диаметром около 10 м в южной части кургана вызваны современными крупными железными предметами. По внутреннему периметру рва, с южной и юго-западной сторон прослеживается отрицательная аномалия со значениями до  $-5$  нТл. Результаты раскопок показали, что ее происхождение связано с материковым выкидом из рва.

В центре кургана выделяется округлая область с положительными значениями до 10 нТл. Грабительские ямы в этой зоне показаны однородным черным цветом. Между центральной аномалией и рвом наблюдается кольцевая структура со значениями до 10 нТл, которая отстоит от внешнего рва на расстояние около 8 м. С границами этой области совпадает насыпь, фиксируемая визуально. Вероятно, появление этой структуры связано со смывами с насыпи гумуссированного грунта.

По результатам частотного электромагнитного зондирования построено 14 геоэлектрических карт. В центре участка на средних и высоких частотах хорошо прослеживаются очертания насыпи кургана. На всех частотах проявился линейный проводящий объект, пролегающий с севера на юг и соответствующий металлическому трубопроводу, который был зафиксирован и магнитометрией. На низких частотах, соответствующих наибольшей глубине исследования, это единственный ярко выраженный объект. Благодаря использованию аппаратуры ЭМС, менее зависимой от влияния черного металла, появилась возможность предположить наличие дромоса в восточной части кургана. Объект повышенной электропроводности в юго-западном углу участка приходится на пашню и, возможно, вызван минеральными удобрениями, поскольку следы черного металла в этой области на магнитной карте не проявились.

Одной из основных задач геофизического обследования кургана № 4 было проверить наличие либо отсутствие рва, который не просматривался на распаханном поле. По результатам магнитометрии, в 6-8 м за пределами

курганной насыпи была выявлена кольцевая структура с положительными магнитными значениями от 2 до 5 нТл. Границы этой аномалии нечеткие, прерывистые. В ходе археологических раскопок юго-восточного сектора кургана, осуществленных летом 2007 г. [Тишкин, 2007], было установлено, что происхождение этой аномалии связано с последствиями опахивания курганной насыпи.

Наиболее сложной является структура надмогильного сооружения кургана № 4 (рис. 24). Кольцо отрицательных значений до  $-10$  нТл совпадает с визуально фиксируемой границей насыпи. Необходимо отметить, что эти значения существенно ниже отрицательных значений на пашне. Результаты раскопок позволяют предположить, что такие низкие магнитные показатели связаны с присутствием в насыпи глеевого грунта. Внутри кольца отрицательных значений преобладают хаотично расположенные контрастные аномалии аморфной формы (до 20 нТл), связанные с присутствием на поверхности насыпи гумуссированного грунта из разграбленных погребений.

На геоэлектрических картах, построенных по измерениям на 14 частотах, хорошо читаются границы кургана. На карте распределения электропроводности, на частоте 27.8 кГц хорошо видна грабительская яма, которой соответствует темное пятно в центре кургана. Неоднородный характер насыпи, выявленный магнитометрией, подтверждается данными геоэлектрики.

Полученные результаты позволили прояснить картину внутреннего устройства курганных насыпей и оценить особенности окружающего пространства, что чрезвычайно важно для определения стратегии археологических раскопок. Результаты первых археологических исследований показали, что геофизические данные отражают, прежде всего, структуру насыпей. Особенности слагающих их грунтов и нарушения, вызванные грабительскими раскопками, не позволили выявить четкую картину организации подкурганного пространства. В 2008 г. для детальной интерпретации магнитных и геоэлектрических карт в процессе

археологических раскопок производился отбор проб грунта для каппаметрических исследований с точной привязкой по разрезам. Сравнение в дальнейшем результатов археологических работ на памятнике Бугры с геофизическими картами, позволит существенно дополнить уже имеющуюся методику археолого-геофизических исследований, направленную на поиски эффективных аппаратурно-методических комплексов оценки археологических объектов до начала раскопок.

### **Заключение**

Геофизические исследования различных типов археологических памятников с комплексным применением магнитометрии, малоглубинного индукционного частотного зондирования, электропрофилирования и георадиолокации позволили:

- сравнить производительность и результативность, примененных на археологических объектах различных геофизических методов, реально оценить потенциал их комплексного применения;

- выявить наиболее эффективные комплексы геофизических методов для исследования археологических объектов различных типов с учетом почв и грунтов;

- получить до начала раскопок новую детальную информацию в виде карт и разрезов о расположении и структуре археологических объектов и вмещающего грунта;

- на основе детальных геофизических карт и разрезов существенно изменить стратегию исследования археологических памятников и осуществлять вскрытие с учетом знания контуров и структуры объектов, их точной привязки в пределах площади раскопа;

- успешно провести поиск поселенческих и культовых археологических объектов, а также древних погребений под слоем пашни;

- сделать важные методические наблюдения на базе тестовых испытаний различных аппаратурно-програмных комплексов;

-определить систематические погрешности в интерпретации данных малоглубинной аппаратуры индукционного частотного зондирования;

- в настоящее время применение геофизических методов в археологии на территории Западной Сибири и Алтая вышло на мировой уровень, а в области диагностики "замерзших" курганов значительно его превосходит;

- впервые в мировой практике были произведены исследования, направленные на создание методики поиска деревянных срубов под каменными насыпями курганов.

В соответствии с поставленными задачами и полученными результатами можно заключить следующее. Для картирования больших по площади археологических памятников естественно использовать геофизические методики с высокой производительностью. Этим преимуществом обладает магнитная съемка. Однако в случае выраженного рельефа местности или малой контрастности искомых объектов по магнитным свойствам применение магнитометрии не эффективно. Метод малоглубинного частотного электромагнитного зондирования обладает меньшей производительностью, но более устойчив к разнообразным помехам. Таким образом, указанные два метода дополняют друг друга, и их совместное применение значительно увеличивает информативность. Перспективным направлением является совершенствование аппаратной части и разработка высокопроизводительной методики применения ЧЭЗ (возможно в режиме профилирования на одной частоте).

При изучении высокогорных курганов с каменной насыпью на предмет наличия мерзлотных линз хорошо зарекомендовали себя метод сопротивлений и малоглубинное ЧЭЗ. Однако для некоторых курганов применение ЧЭЗ осложняется неблагоприятной геоэлектрической ситуацией. Метод сопротивлений для повышения производительности и достоверности определения наличия линз требует привлечения более совершенной аппаратуры. Кроме того, необходимо изучить целесообразность применения в дополнение к существующим и опробованным методам, другие виды

электроразведки – вызванную поляризацию, естественные поля, а также применение газоанализаторов.

Значительную сложность для геофизического изучения и археологической интерпретации представляют курганные могильники. Они характеризуются разнообразием структурных форм и широкими диапазонами вариаций электро- и магнитометрических параметров, обусловленных сложным составом грунтов. Дистанционное исследование таких объектов требует совершенствования используемого комплекса геофизических методов, а также развития новых подходов и полевых технологий.

Полученные геофизические результаты, проверенные широкомасштабными археологическими раскопками, позволяют сделать вывод о целесообразности проведения комплексных предварительных поисковых геофизических исследований археологических объектов. Применение новых методов и существующих опытных геофизических аппаратных комплексов в археологии открывает новые перспективы в исследовании археологических памятников.

По итогам работ опубликовано 27 работ. Из них 1 коллективная монография, 15 статей в рецензируемых изданиях, 7 статей в тематических научных сборниках, 4 статьи в трудах конференций (Приложение 1).

Принято в печать в 2008 г. 4 статьи в рецензируемые издания. (Приложение 1).

Подготовлены к печати три главы совместной коллективной монографии.

Участники проекта приняли участие в 11 международных и российских конференциях.

Проведены ежегодные методические семинары для обсуждения результатов проекта.

**ПУБЛИКАЦИИ ПО ИТОГАМ ГОДА**

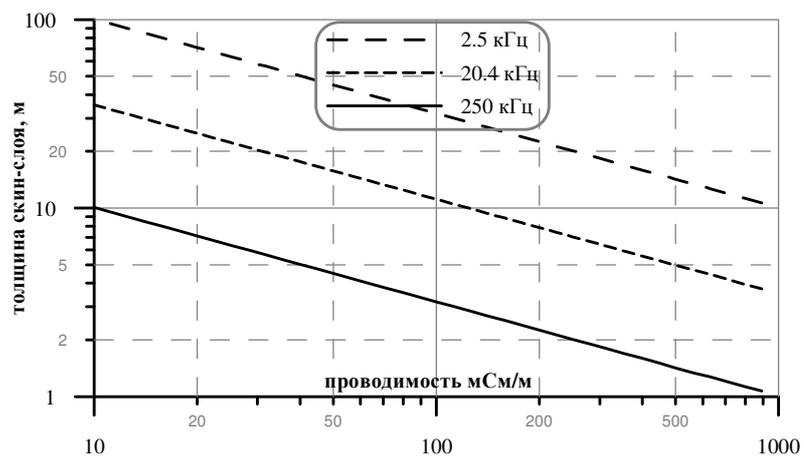
1. Балков Е.В., Манштейн А.К. Сравнение характеристик двухкатушечной и трехкатушечной реализации индукционных зондов для малоглубинного частотного зондирования // Геофизический вестник. – 2006. - №1. - С. 12-17.
2. Балков Е.В., Манштейн А.К., Чемякина М.А., Манштейн Ю.А., Эпов М.И. Опыт применения электромагнитного частотного зондирования для решения археолого-геофизических задач // Геофизика. – 2006. - №1.-С. 43-50.
3. Балков Е.В., Эпов М.И., Манштейн А.К. Оценка глубинности наземного электромагнитного индукционного частотного зондирования // Геофизика. – 2006. - №3. - С. 41-44.
4. Манштейн Ю.А., Балков Е.В., Манштейн А.К. Исследование подповерхностного пространства методом электромагнитного индукционного частотного зондирования : методика и оборудование // Труды международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2006». - Новосибирск. - 2006, С. 194-197.
5. Адайкин А., Балков Е.В., Манштейн А.К., Лаврентьев М.М., Система управления аппаратурно-программного комплекса малоглубинного частотного электромагнитного зондирования. Международная конференция GraphiCon-2006. - Новосибирск. - 4 с.
6. E.V. Balkov, M.I. Epov, A.K. Manstein, EM induction frequency sounding: estimation of penetration depth. “Near Surface 2006” Extended Abstracts Book. 4-6 September 2006, Helsinki, Finland. - B-016. - 4 pages.
7. Булгаков А.Ю., Манштейн А.К. Геофизический прибор для автоматизации многоэлектродной электроразведки // Приборы и техника эксперимента. – 2006. - №4. – С.123-125.
8. Молодин В.И., Парцингер Г. Исследование памятника Чича в Барабинской лесостепи (итоги, перспективы, проблемы)//Современные проблемы археологии России: Сб-к науч. тр.- Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2006.- Т. 1.- С. 49 – 55.
9. Молодин В.И., Тишков В.А. Введение // Этнокультурное взаимодействие в Евразии. Книга 1.- М.: Наука, 2006. – С. 5 – 20.
10. Молодин В.И., Косарев М.Ф., Седов В.В. О направлении «Археология, этногенез и этнокультурная история народов Евразии в древности и средневековье // Этнокультурное взаимодействие в Евразии. Книга 1.- М.: Наука, 2006. – С. 123 – 131.
11. Молодин В.И., Парцингер Г., Мыльникова Л.Н., Гришин А.Е., Васильев С.К., Чемякина М.А., Василевский А.Н., Воевода М.И., Губина М.А., Дамба Л.Д., Дребушак В.А., Дребушак Т.Н., Зубова А.В.,

- Казанский А.Ю., Кобзев В.Ф., Кривоногов С.К., Куликов И.В., Нефедова М.В., Овчаренко А.П., Поздняков Д.В., Пронин А.О., Ромашенко А.Г., Чикишева Т.А., Шульгина Е.О. Этнокультурные процессы в переходное от бронзы к железу время в лесостепной зоне Евразии// Этнокультурное взаимодействие в Евразии. Книга 1.- М.: Наука, 2006. – С. 132-145. вклейка, рис. 1-20.
- 12.Эпов М.И., Молодин В.И., Чемякина М.А. Итоги и перспективы геофизических исследований археологических памятников Алтая и Западной Сибири // Современные проблемы археологии России: Сб. науч. тр. – Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2006. – Т. 1. С. 76 – 91.
- 13.Молодин В.И., Парцингер Г., Цэвээндорж Д., Мыльников В.П., Наглер А., Баярсайхан М., Байтилеу Д., Гаркуша Ю.Н., Гришин А.Е., Дураков И.А., Марченко Ж.В., Мороз М.В., Овчаренко А.П., Пиезонка Х., Пилипенко А.С., Слагода Е.А., Слюсаренко И.Ю., Субботина А.Л., Чистякова А.Н., Шатов А.Г. Мультидисциплинарные исследования Российско-Германско-Монгольской экспедиции в Монгольском Алтае // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2006. – Т. XII. (0,3 п.л.) (в печати).
- 14.Молодин В.И., Чемякина М.А., Дядьков П.Г., Манштейн А.К., Балков Е.В., Миненко М.И. Результаты геофизических исследований памятника Преображенка-2 в Барабинской лесостепи // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2006. – Т. XII. (0,3 п.л.) (в печати).
- 15.Эпов М.И., Манштейн А.К., Манштейн Ю.А., Чемякина М.А., Балков Е.В., Молодин В.И., Слюсаренко И.Ю. Электроразведочное картирование «замерзших» пазырыкских курганов Алтая // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2006. – Т. XII. (0,3 п.л.) (в печати).
- 16.Дядьков П.Г., Полосьмак Н.В., Адайкин А.А., Богданов Е.С. Геофизические исследования кургана хунну могильника Ноин-Ула (Северная Монголия) // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2007. – Т. XIII, часть I. С. 234-239.
- 17.Кирюшин Ю.Ф., Папин Д.В., Федорук А.С., Шамшин А.Б., Дядьков П.Г., Чемякина М.А., Позднякова О.А. Комплексные археолого-геофизические исследования могильника Рублево – VIII // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2007. – Т. XIII, часть I. С. 268-272.
- 18.Молодин В.И., Чемякина М.А., Гришин А.Е. Работы на грунтовых могильниках в Барабинской лесостепи // Археологические открытия 2005 г. - М.; Наука, 2007 – с. 493-494.

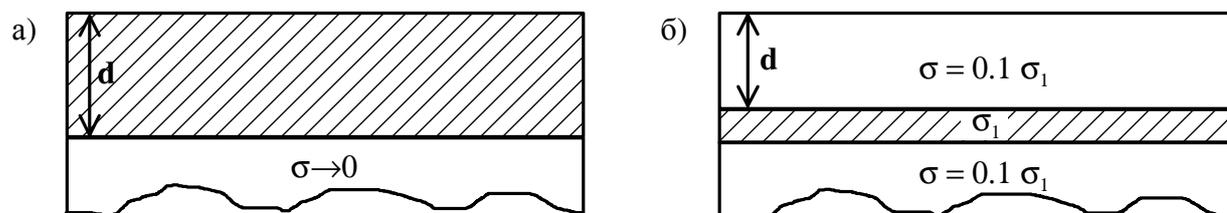
19. Молодин В.И., Чемякина М.А., Позднякова О.А. Археолого-геофизические исследования памятника Преображенка-6 в Барабинской лесостепи // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2007. – Т. XIII, часть I. С. (в печати).
20. Тишкин 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. – 258 с. С. 215 – 220.
21. Чемякина М.А., Дядьков П.Г., Манштейн А.К., Позднякова О.А. Предварительные итоги геофизических исследований курганного могильника Бугры // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2007. – Т. XIII, часть I. С. 392-397.
22. Эпов М.И., Молодин В. И., Каюров К.Н., Чемякина М.А., Манштейн А.К., Сухорукова К.В., Напреев Д. В., Адайкин А.А. Геофизическая диагностика структуры замерзших курганов Укока, новые горизонты // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2007. – Т. XIII, часть I. С. 407-412.
23. E.V. Balkov, Y.A. Manstein. An Approach to Calibrate EMI Multifrequency Sensor. 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul, Turkey, 3–5 September 2007. Extended Abstracts Book. 4 pages.
24. А.К. Манштейн, Г.Л. Панин, С.Ю. Тикуннов Аппаратура частотного электромагнитного зондирования «ЭМС» // Геология и геофизика, 2008, т. 49, №6, С. 571-579.
25. Е.В. Балков, А.А. Адайкин Управление аппаратурой частотного электромагнитного зондирования с помощью карманного компьютера // Геоинформатика, 2008, №4, в печати
26. Чемякина М.А. Археолого-геофизические исследования грунтовых могильников Западной Сибири // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: История, филология. 2008. Т. 7, вып. 3. Археология и этнография. С. 44 – 56.
27. Эпов М.И., Молодин В.И., Чемякина М.А. Диагностика структуры «замерзших» курганов пазырыкской культуры Алтая геофизическими и геохимическими методами // Труды II (XVIII) Всероссийского съезда в Суздале. Т. III. – М: ИА РАН, 2008. С. 416 – 419.
28. Зольников И.Д., Кузьмин Я.В., Чемякина М.А., Новикова О.И. Геоархеологические наблюдения в центральной части Барабинской равнины летом 2008 г. // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Материалы Годовой сессии института

археологии и этнографии СО РАН 2008 г. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2008. – Т. IX.(0,4 п.л.)

- 29.Кривоногов С.К., Чемякина М.А. От магнитометрии к виртуальным археологическим реконструкциям на основе ГИС интерпретаций (по материалам городища Чича-1) // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: История, филология. 2009. вып. 3. Археология и этнография. (1,5 п.л.)
- 30.Молодин В.И., Чемякина М.А., Кобелева Л.С. К вопросу о технологии изготовления керамики позднесаргатских памятников (по материалам памятника Преображенка б) // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Материалы Годовой сессии института археологии и этнографии СО РАН 2008 г. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2008. – Т. IX.(0,4 п.л.)
- 31.Молодин В.И., Чемякина М.А., Позднякова О.А., Степаненко Д.В. Новый могильник устьтартасской культуры в Барабе (результаты археолого-геофизических исследований) // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Материалы Годовой сессии института археологии и этнографии СО РАН 2008 г. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2008. – Т. IX.(0,4 п.л.)



**Рис. 1.** Толщина скин-слоя в зависимости от удельной электрической проводимости полупространства на различных частотах



**Рис. 2.** Модели тестовых объектов а) первый тип: проводящий слой над изолятором  
б) второй тип: проводящий слой в слабопроводящем полупространстве

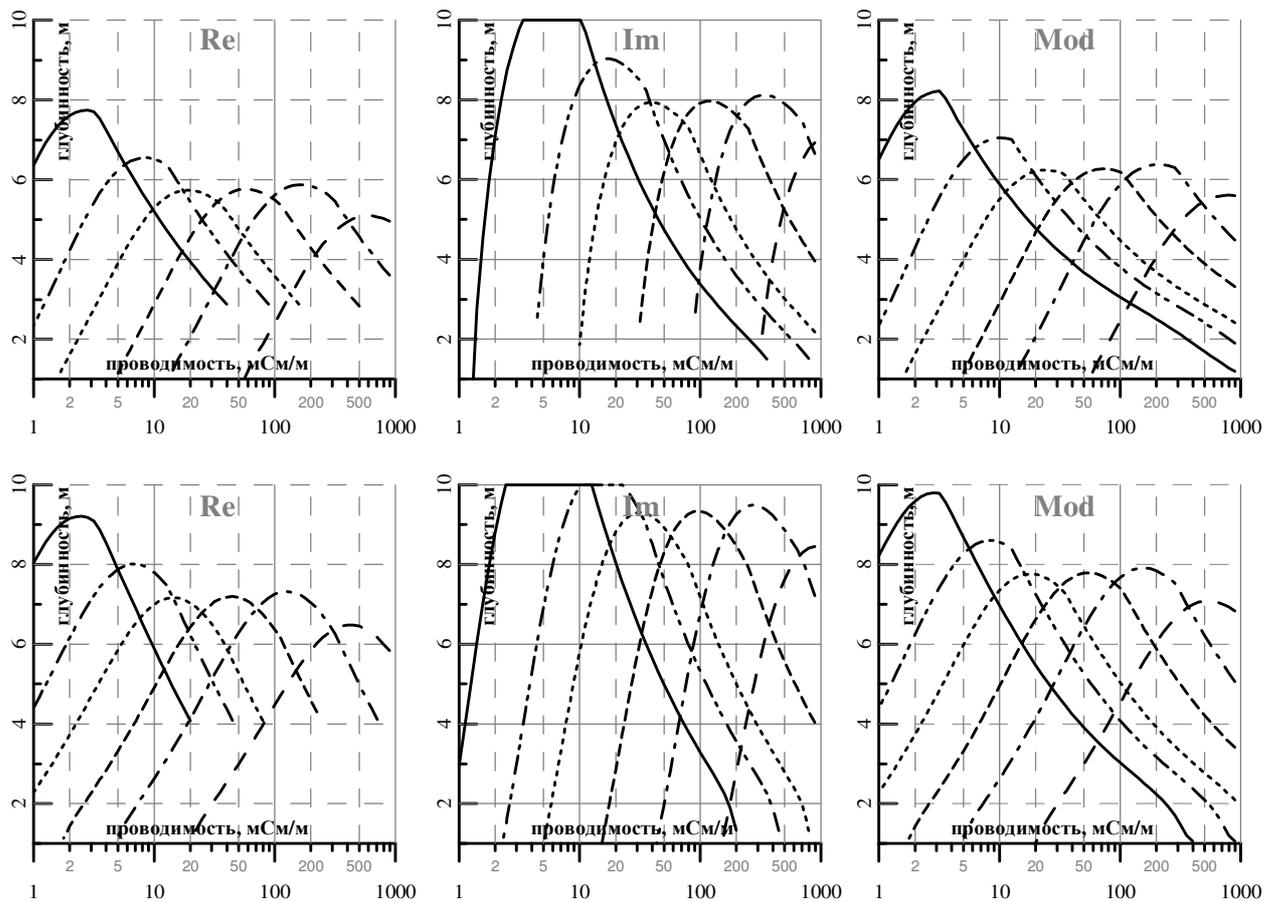
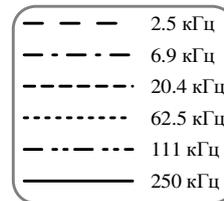
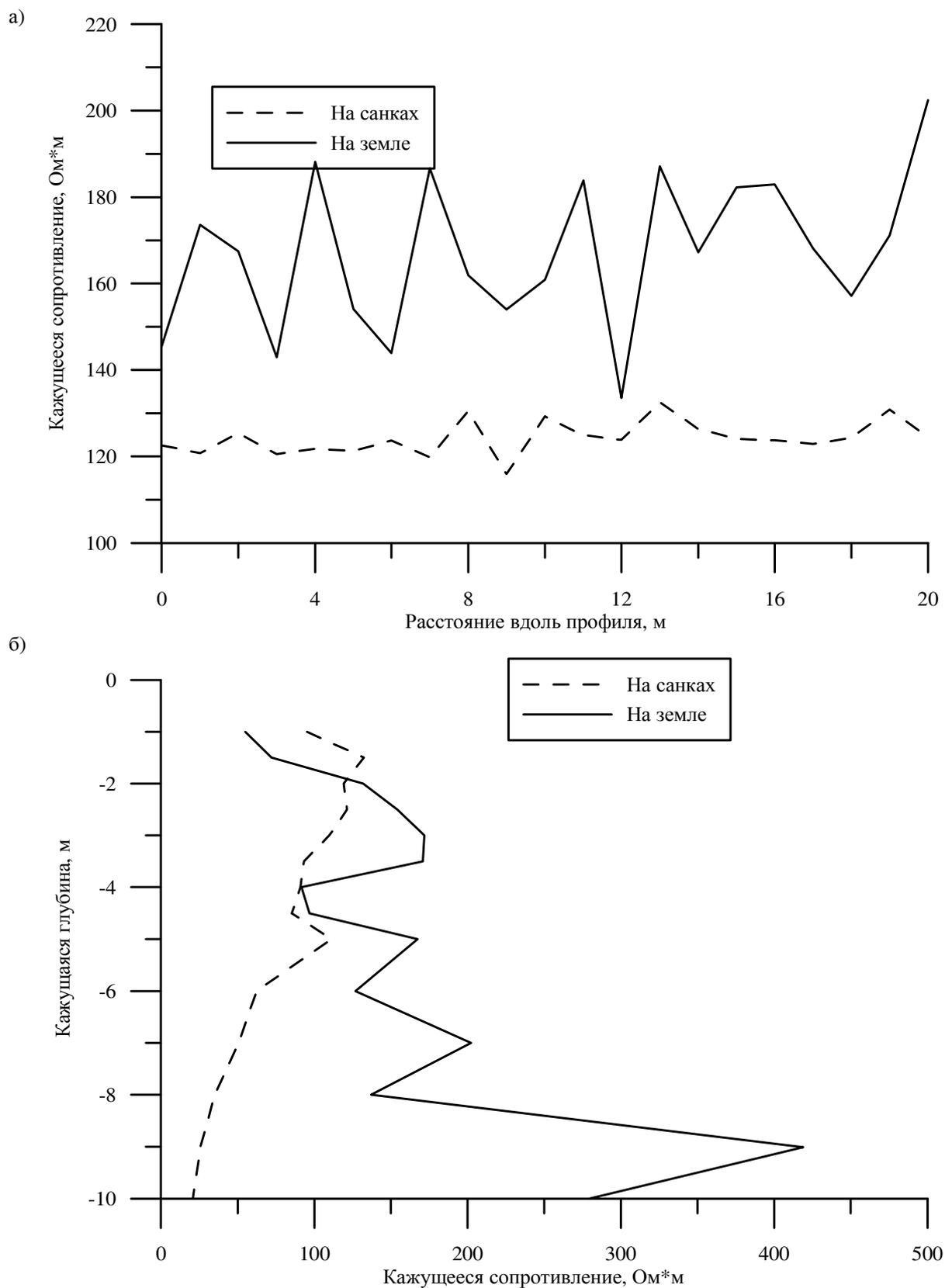


Рис. 3. Глубинность по двум критериям. Для первого типа - сверху, для второго - снизу.

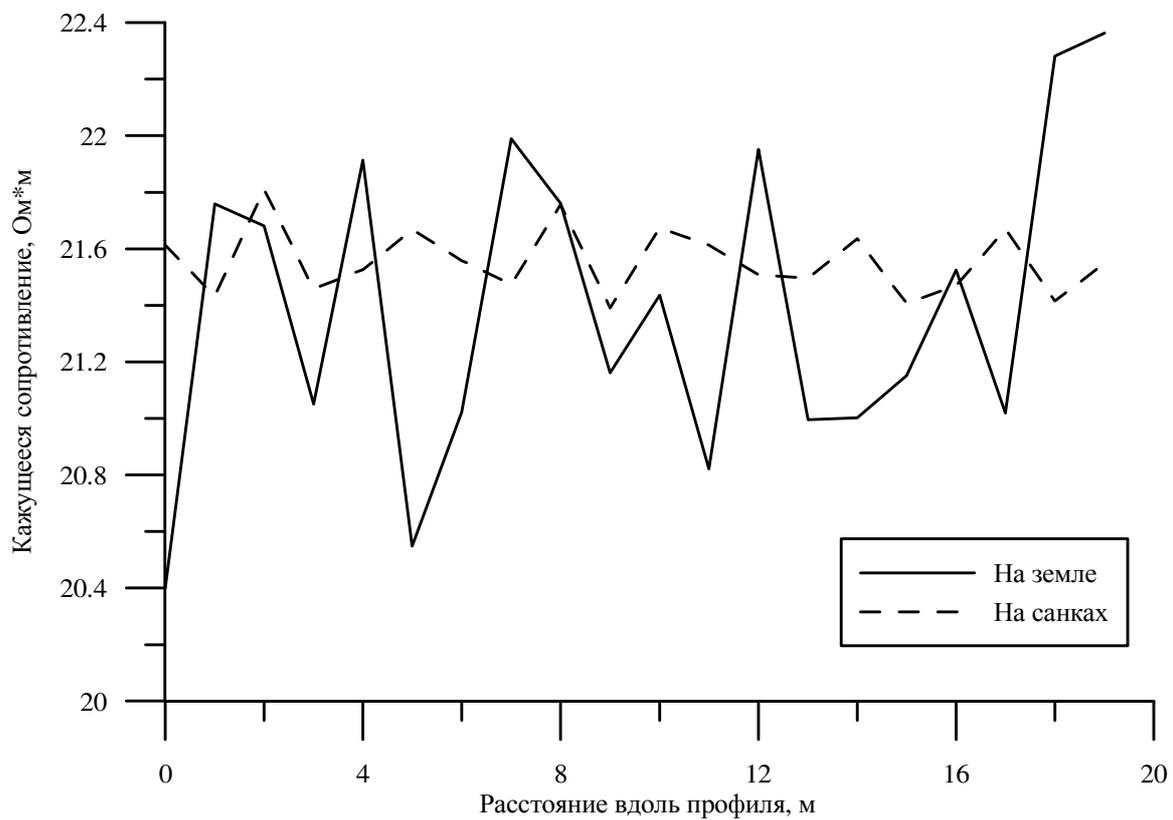




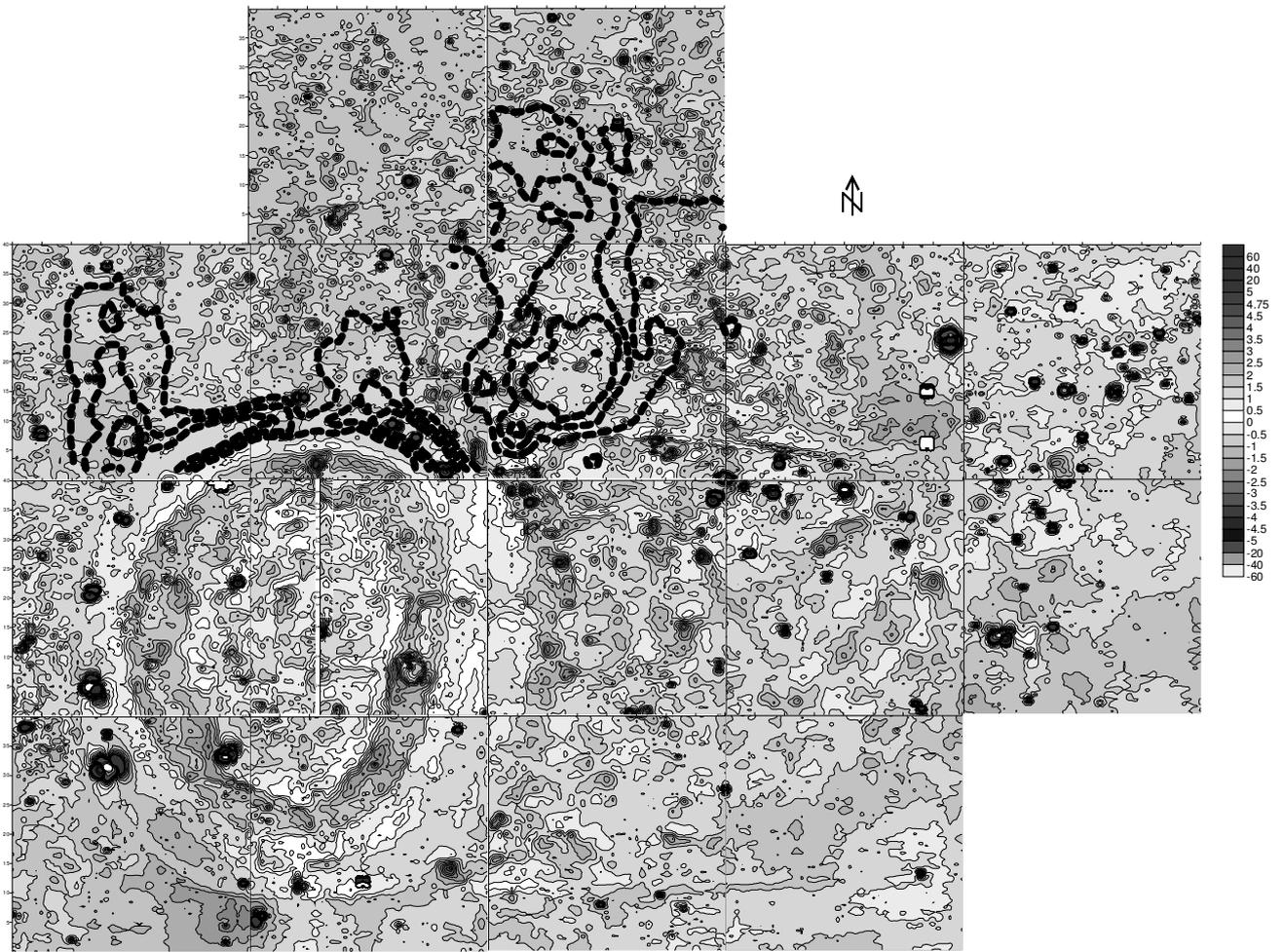
**Рис. 4.** Аппаратура ЭМС, закрепленная на санках.



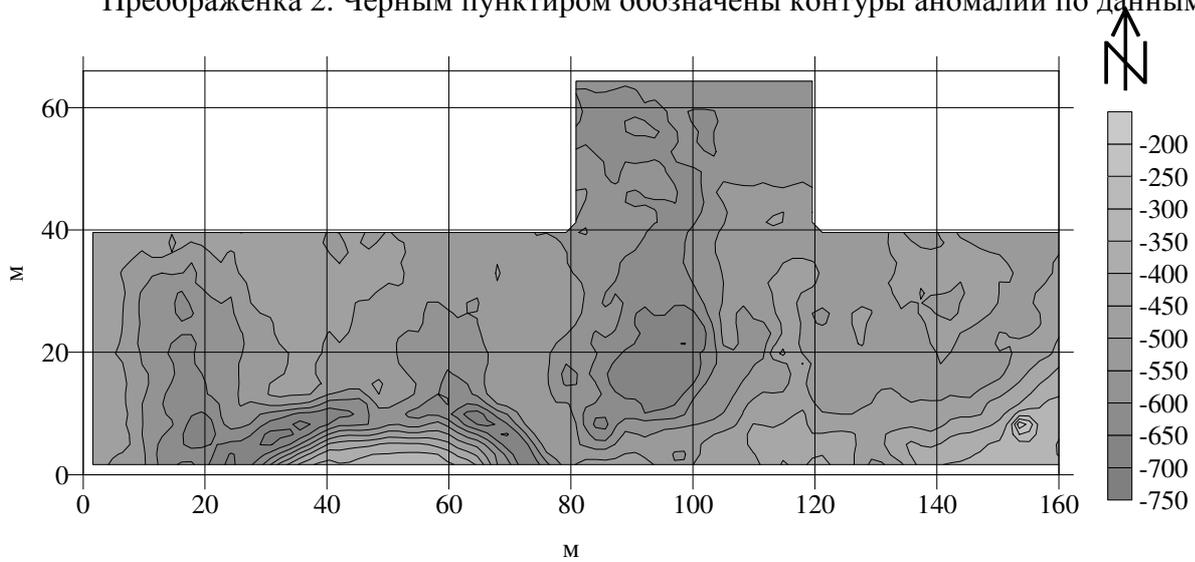
**Рис. 5.** Кажущееся сопротивление при различных положениях аппаратуры ЭМС (комплект №9). а) Профильные кривые на частоте 40 кГц б) Кривые зондирования на 10-ом пикете. Сплошными линиями выполнены графики сигнала полученного аппаратурой, лежащей на земле. Пунктирными линиями - на санках.



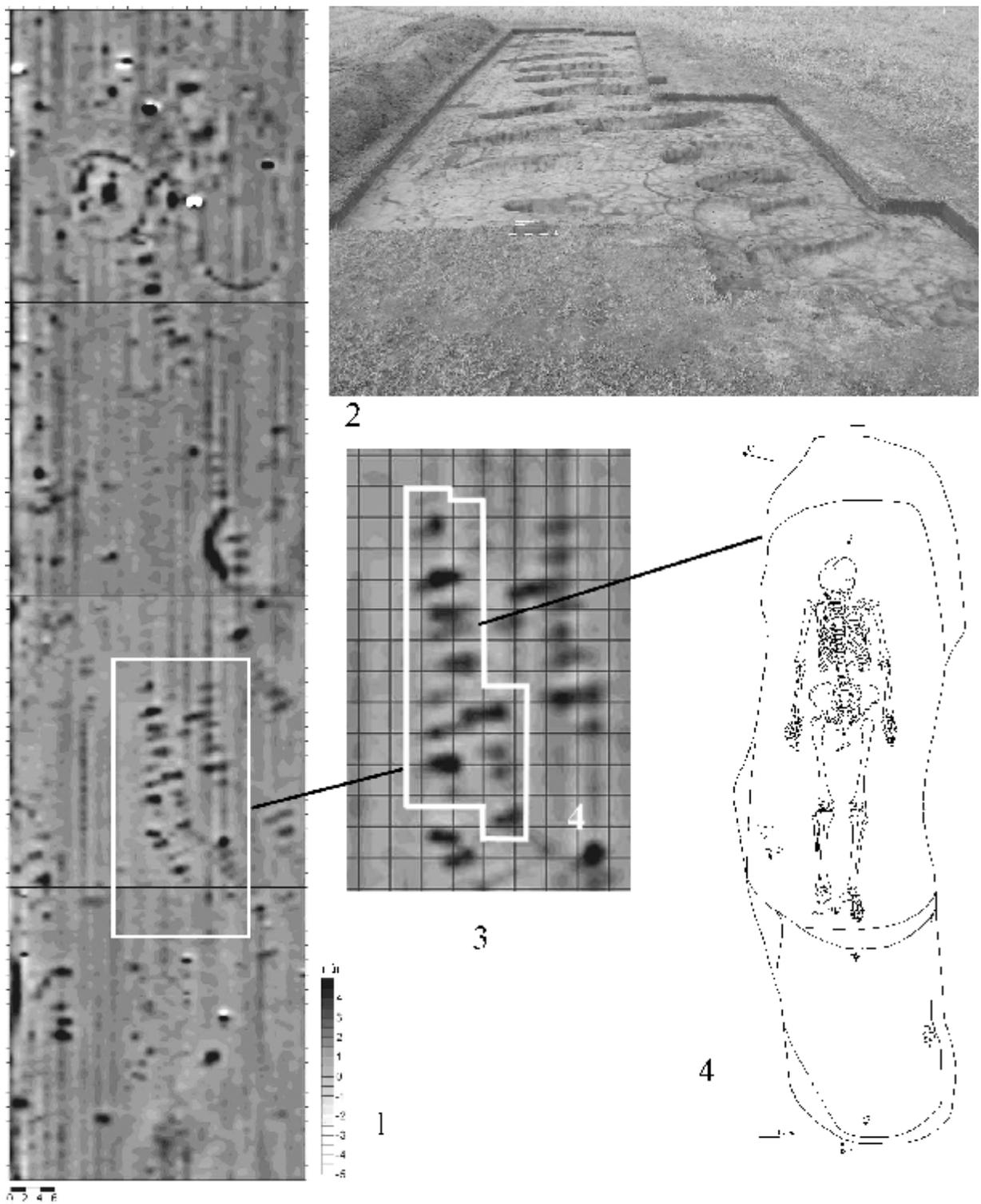
**Рис. 6.** Кажущееся сопротивление при различных положениях аппаратуры ЭМС (комплект №10). Приведены профильные кривые на частоте 60 кГц. Сплошными линиями выполнены графики сигнала полученного аппаратурой, лежащей на земле, пунктирными линиями - на санках.



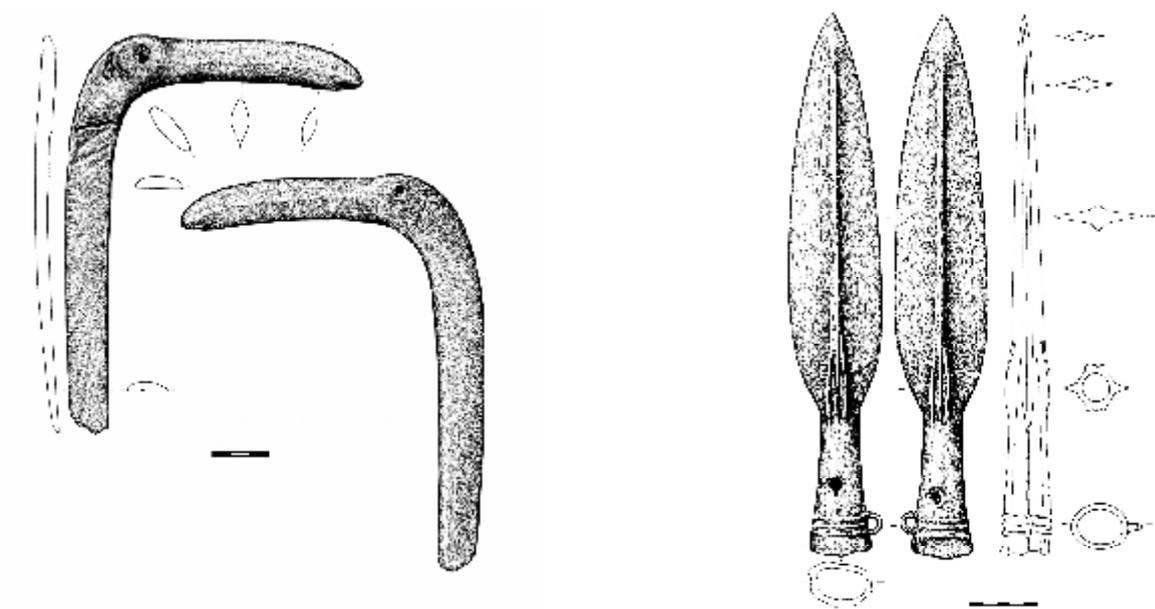
**Рис. 7А.** Карта распределения градиента индукции магнитного поля, памятник Преображенка 2. Черным пунктиром обозначены контуры аномалий по данным ЧЭЗ.



**Рис. 7Б.** Данные профилирования аппаратурой ЭМС, частота 40 кГц. Инфазная компонента сигнала с нормировкой.



**Рис. 8.** Преображенка-6, раскоп №4. Карты магнитометрии и археологическая проверка.



**Рис. 9.** Примеры археологических находок на памятнике Преображенка-6.

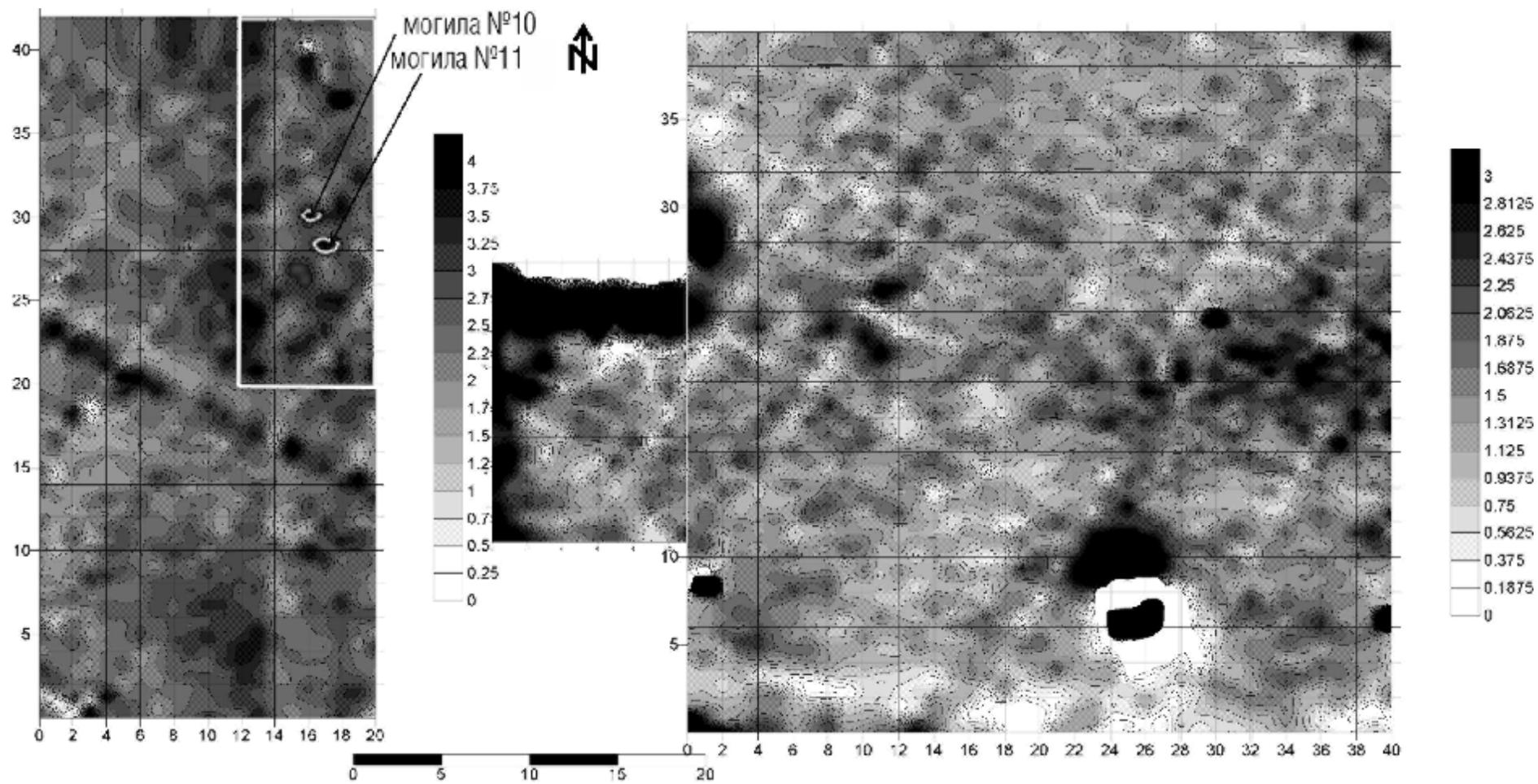


Рис. 10. Результаты магнитного картирования могильника Рублево-VIII.



**Рис. 11.** Лед в пазырыкских курганах Укока

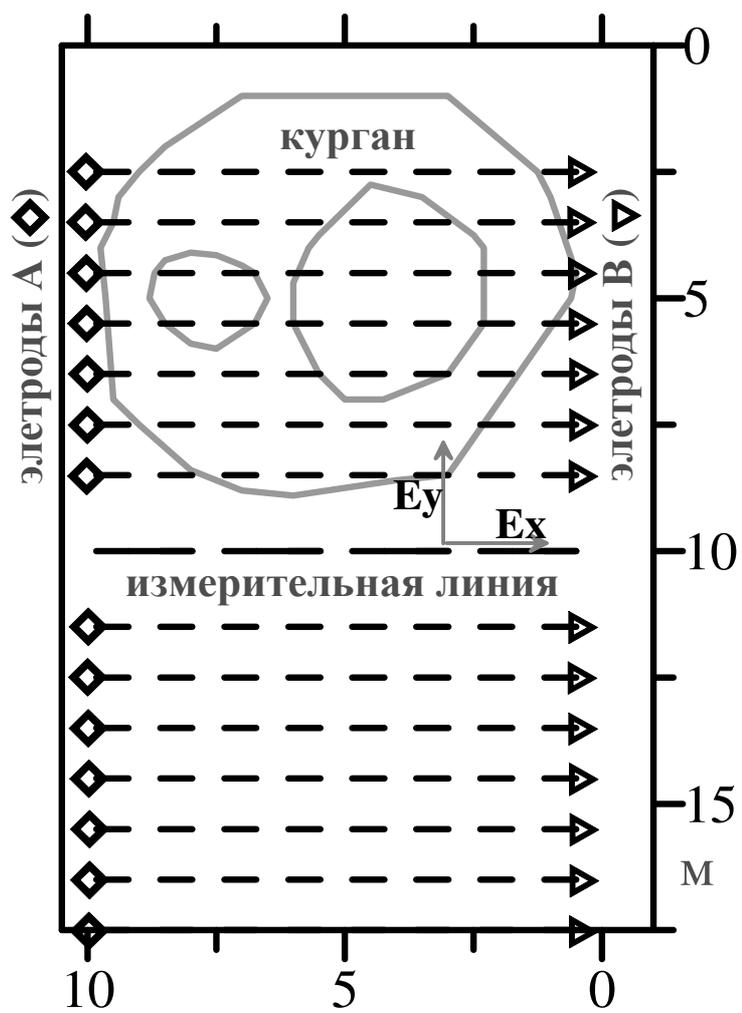
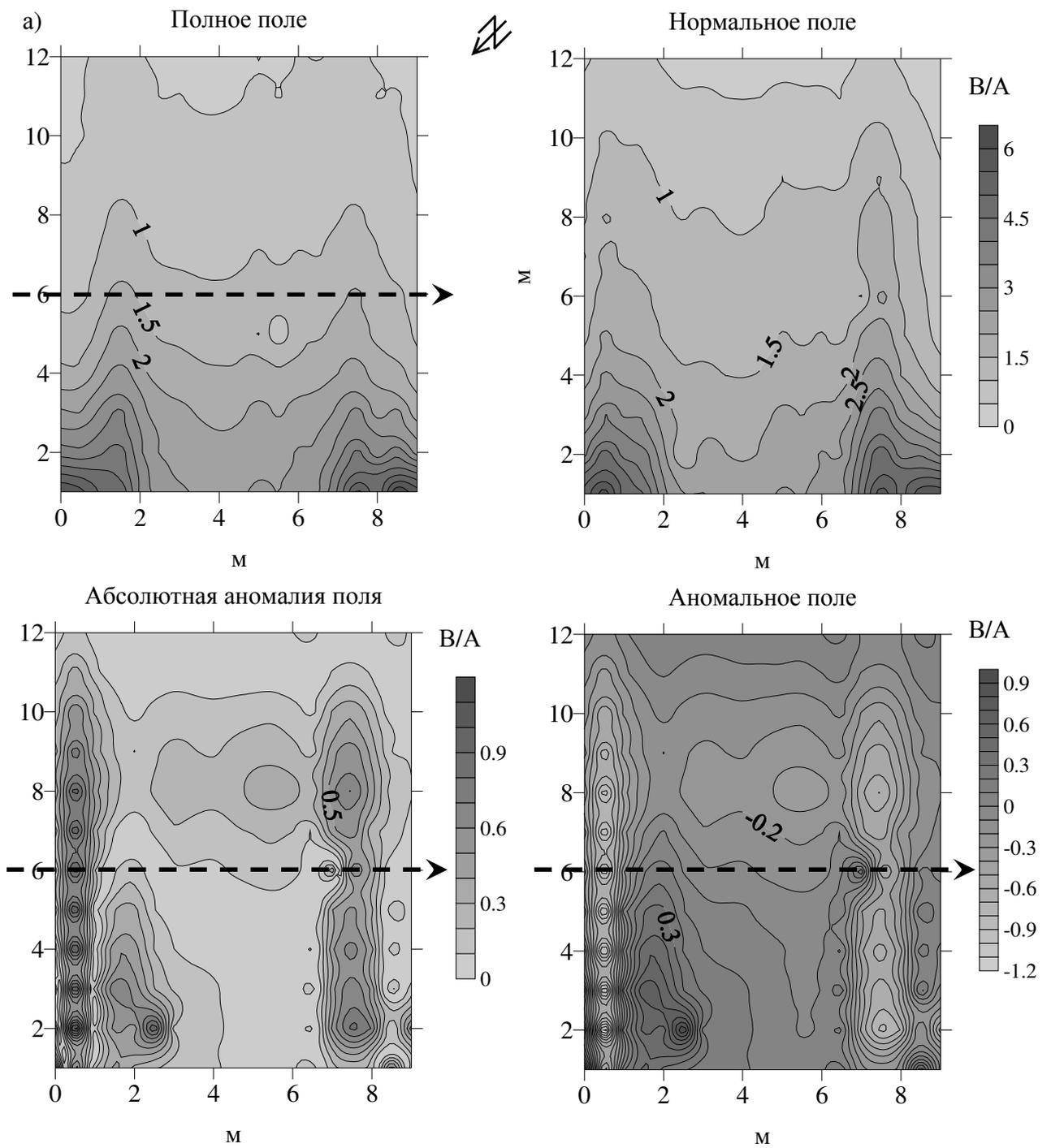
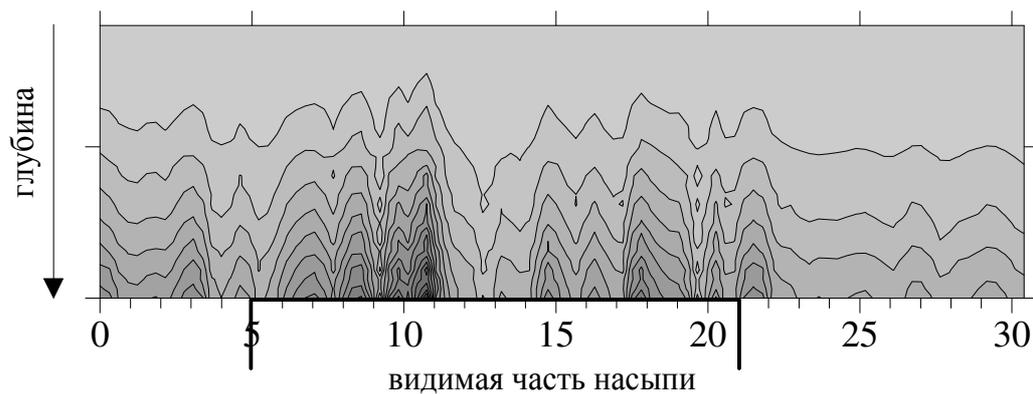


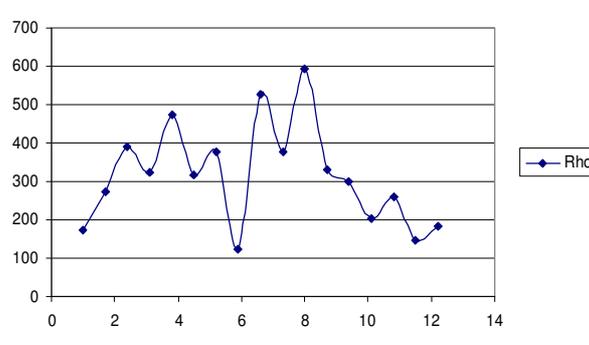
Рис. 12. Схема расположения электродов по периметру кургана.



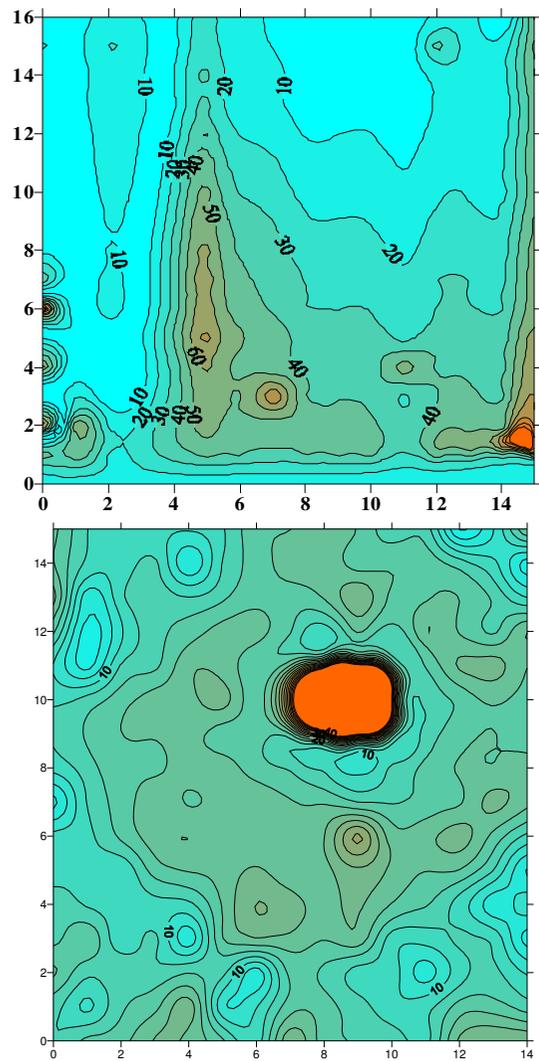
**Рис.13** Олон-Курин-Гол-9. Курган № 4; 28/06/2006. Площадное исследование методом сопротивления. Пунктиром показано направление профиля ЧЗ.



Кажущаяся удельная электропроводность мСим/м



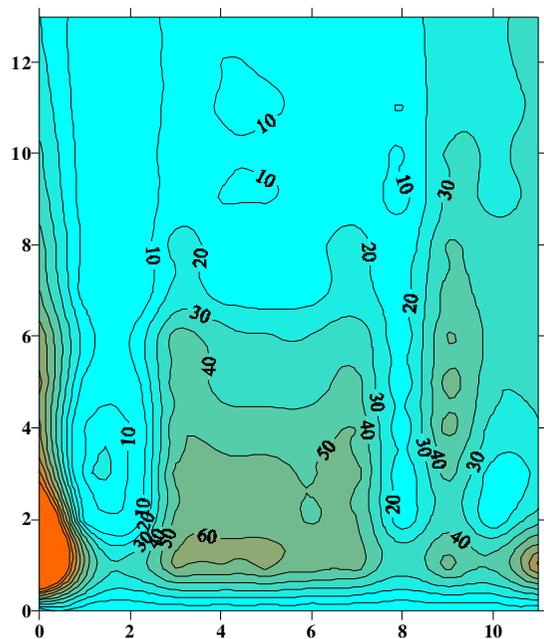
**Рис.14** Олон-Курин-Гол-9. Курган № 4; 28/06/2006. Геоэлектрический разрез по данным частотного зондирования по профилю 7 (см. рис.1) В нижней части рисунка – результат электропрофилирования (ЭП) по той же линии.



12.3 кГц

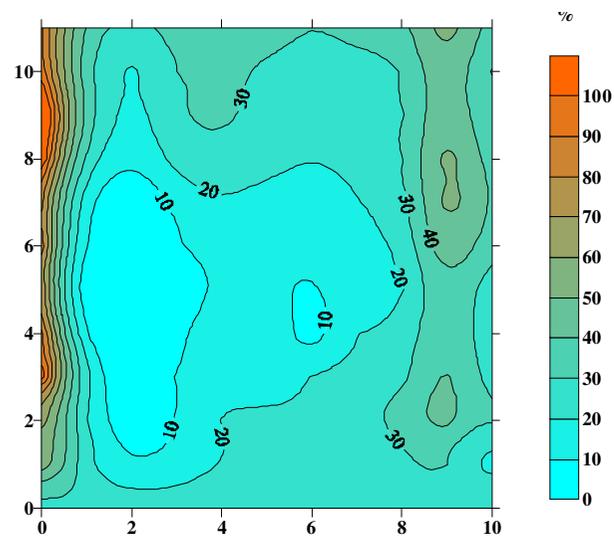
**Естественная линза льда  
в конусе выноса**

**Рис. 15.** Улан-Даба-1. Аномалии горизонтальной компоненты электрического поля, данные ЭМС и археологическая проверка.



**Сруб с мерзлотой на глубине 2.0 м  
Ограбленное захоронение**

**Рис. 16.** Олон-Курин-Гол-6, Курган-2. Аномалии горизонтальной компоненты электрического поля и археологическая проверка



**Сруб с мерзлотой на глубине 1.8 м  
под каменной насыпью**

**Рис. 17.** Олон-Курин-Гол-10, Курган-1. Аномалии горизонтальной компоненты электрического поля и археологическая проверка

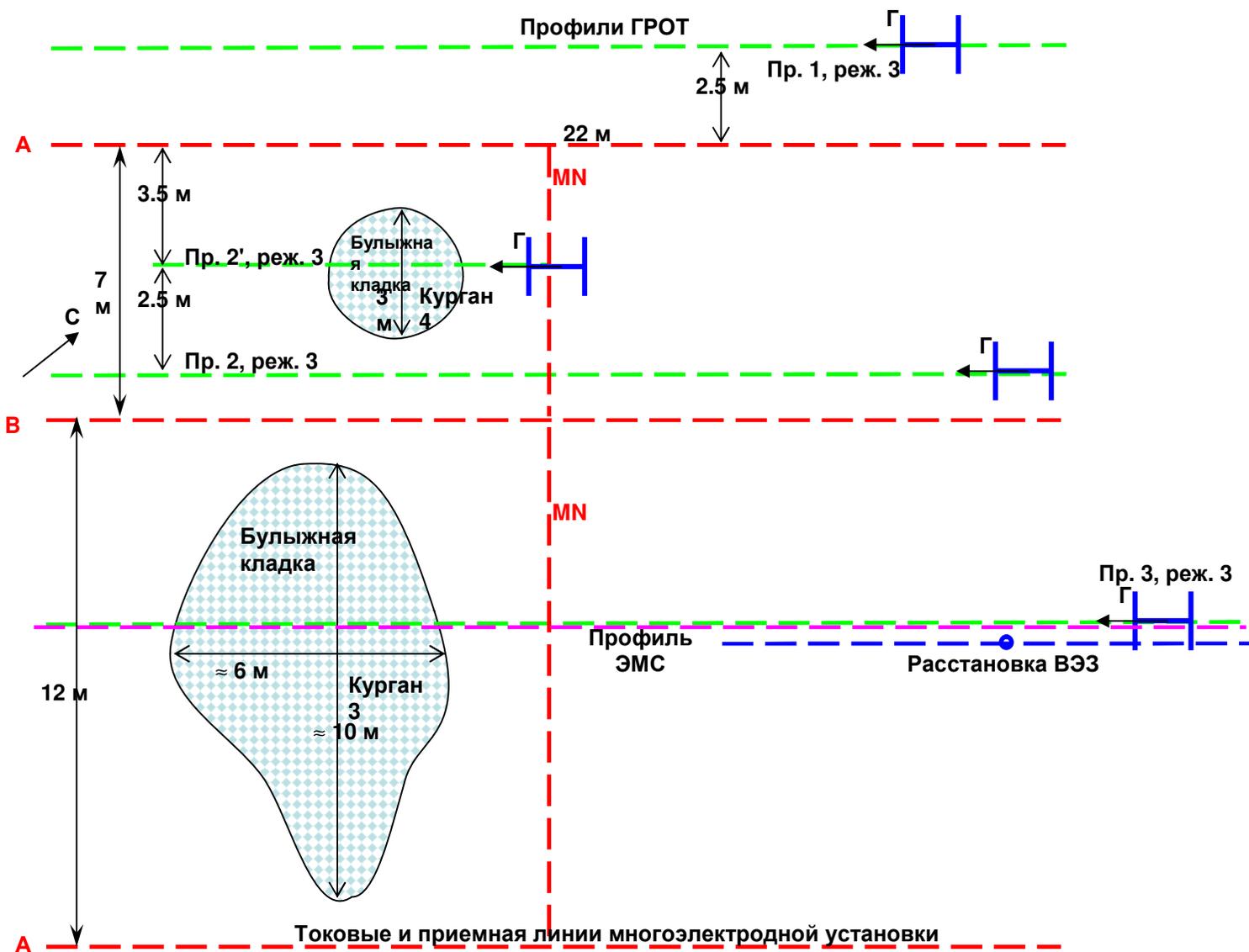
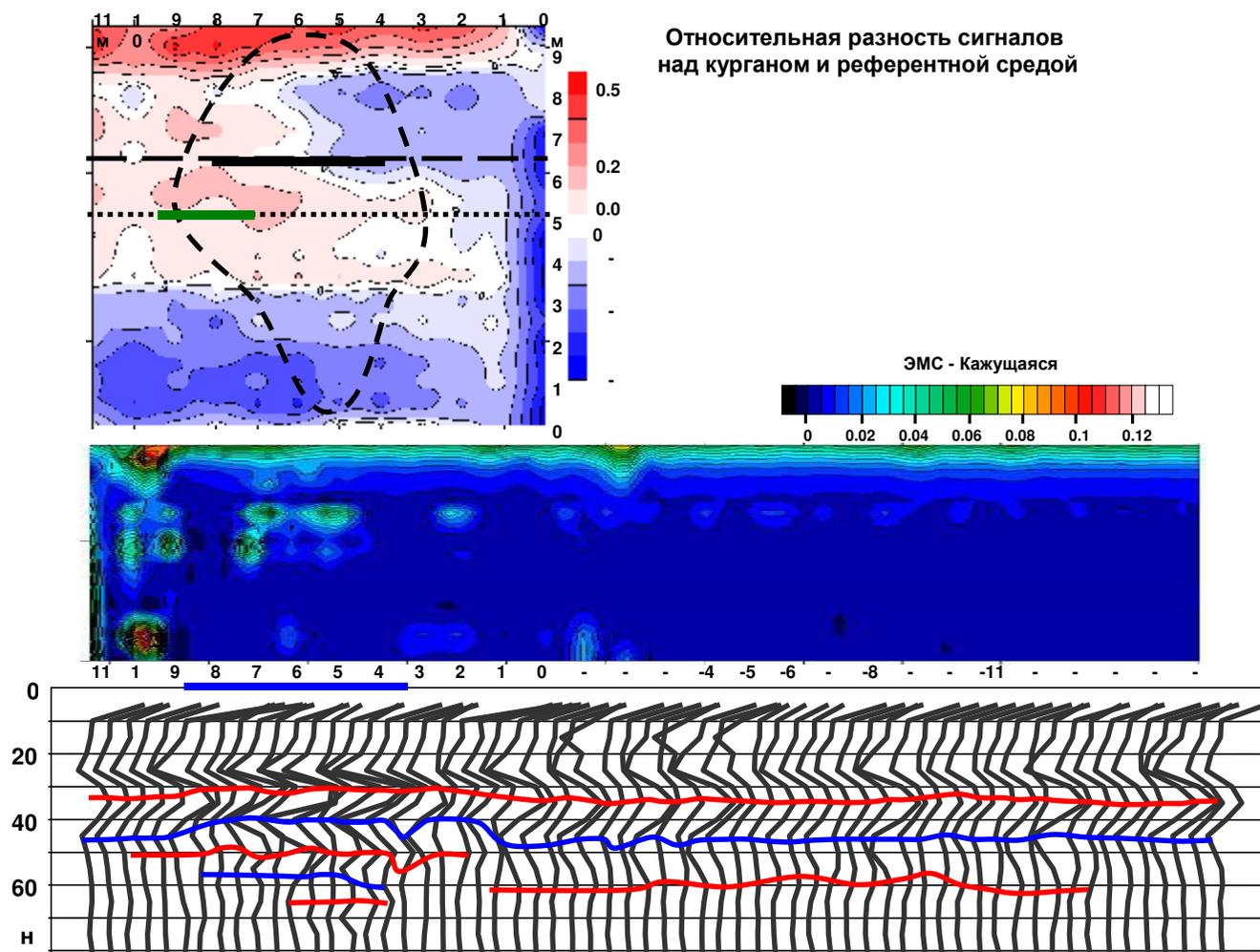
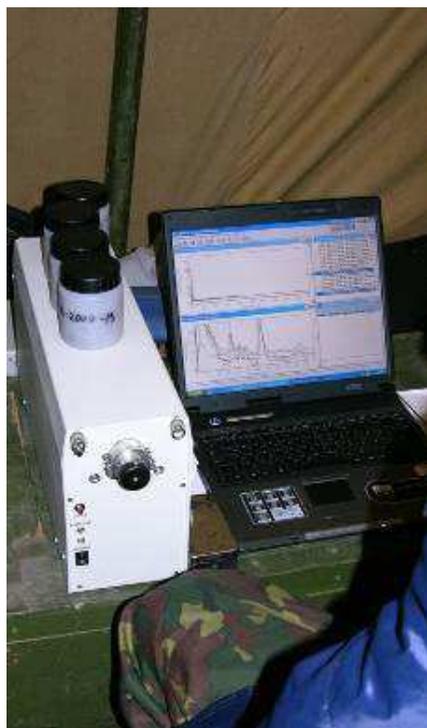


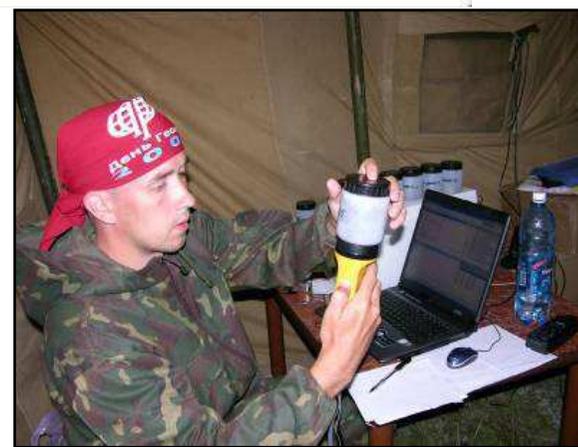
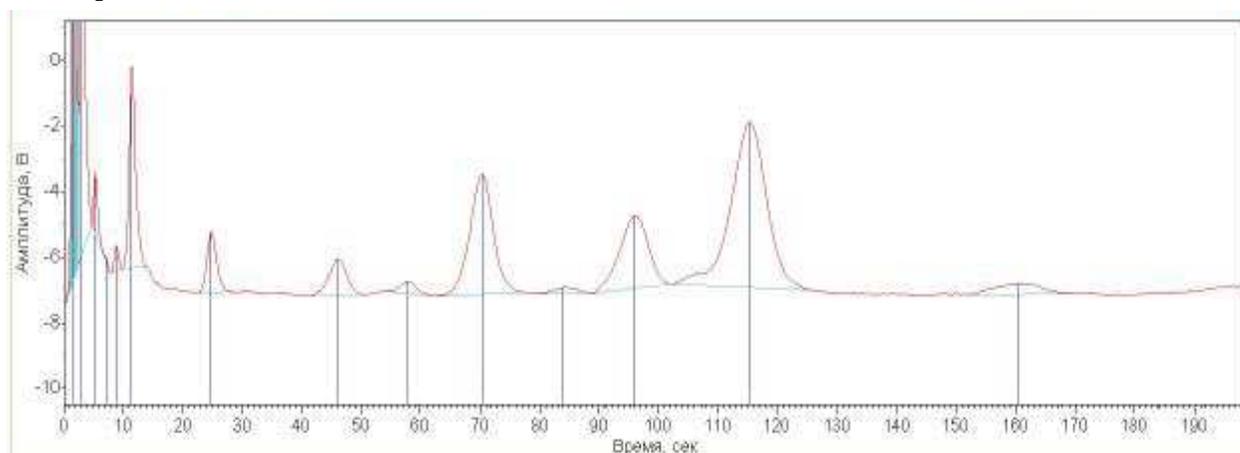
Рис. 18. Верх-Кальджин-3 Курганы 3, 4. Схема геофизических наблюдений.



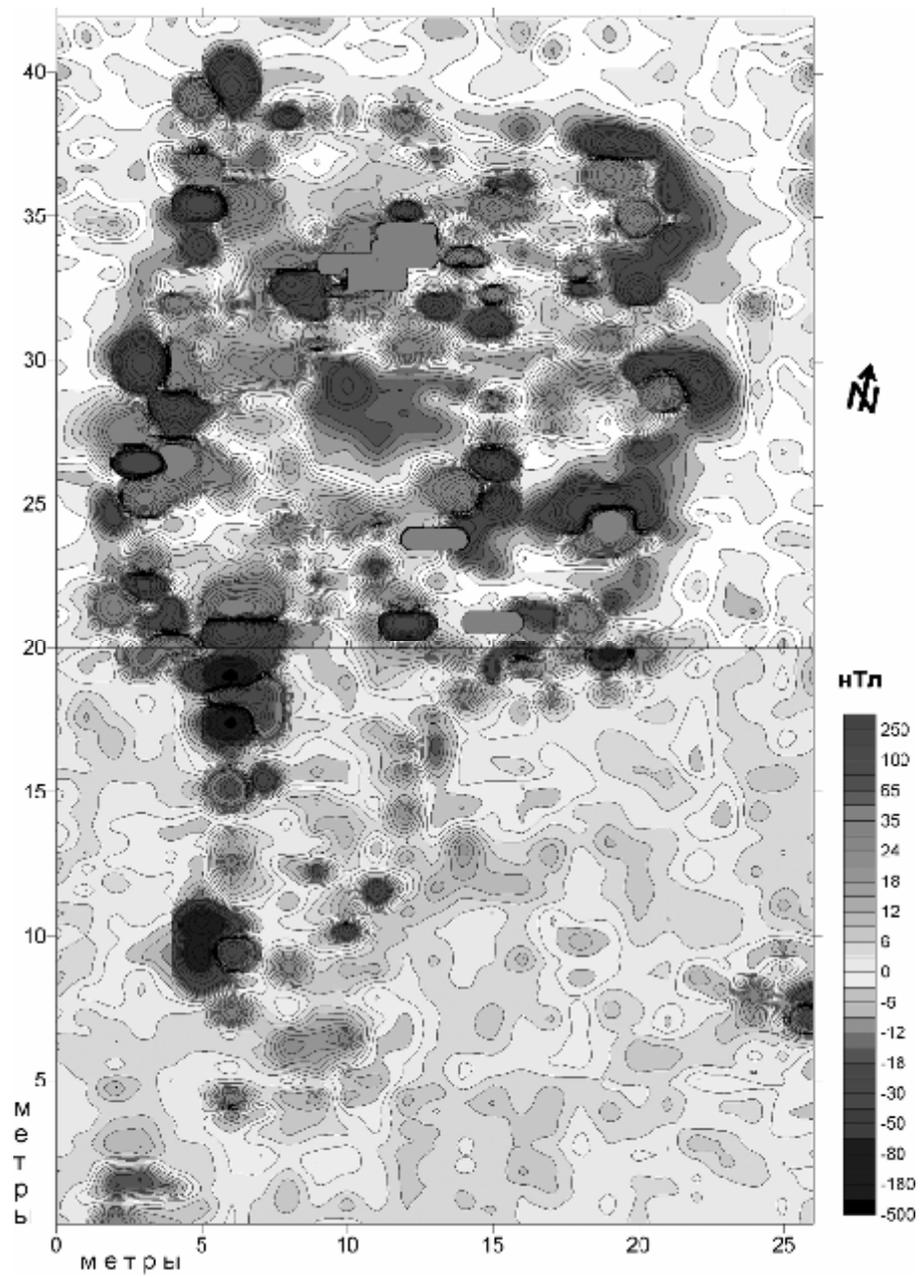
**Рис. 19.** Верх-Кальджин-3, курган 3. Комплекс геофизических методов: карта относительной разности сигнала многоэлектродной установки (вверху), профиль (точками) и разрез (середина) ЭМС, профиль ГРОТ-12 (длинный пунктир) и радарограмма (внизу), контур каменной кладки (короткий пунктир).



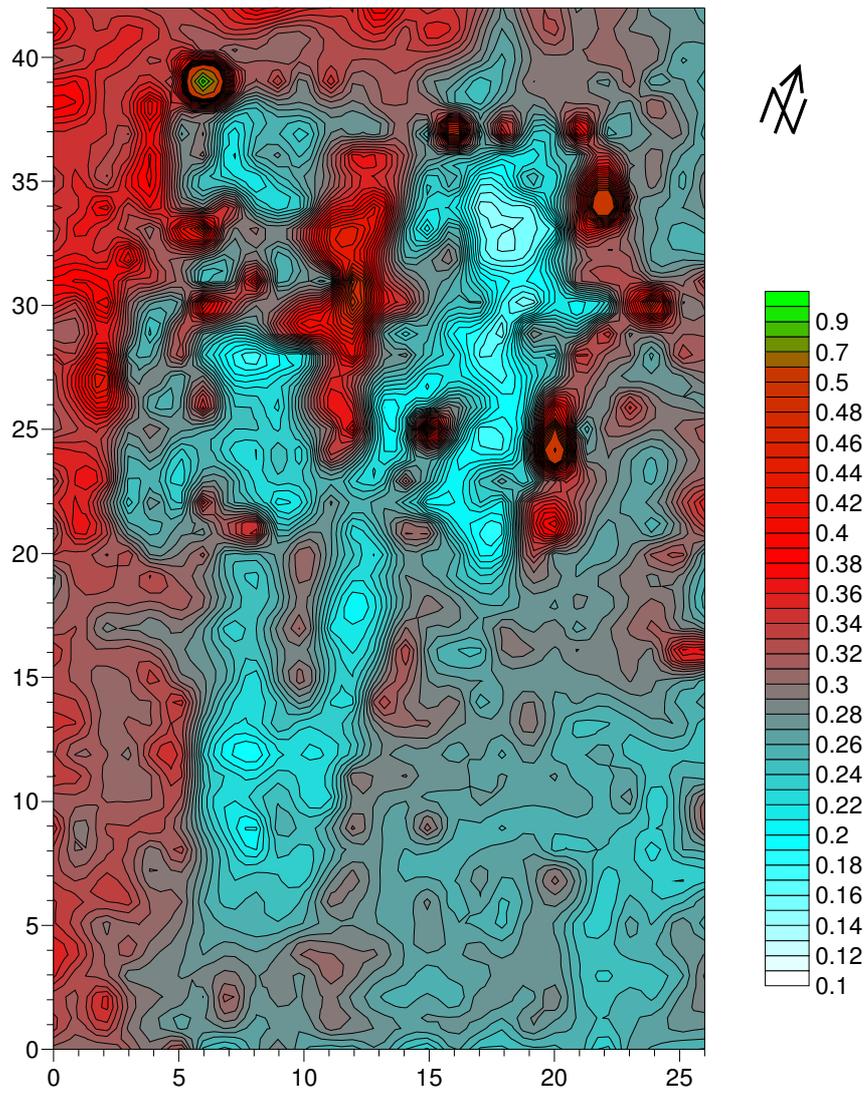
**Древесина лиственницы из погребенного сруба имеет свой аромат, который был выявлен предварительно. Пробы на границе кургана и в центре обнаружили м-ксилол и кумол, которые ранее детектировались в качестве контрольных. В измерениях проб отобранных за контуром кургана, следы этих веществ отсутствовали.**



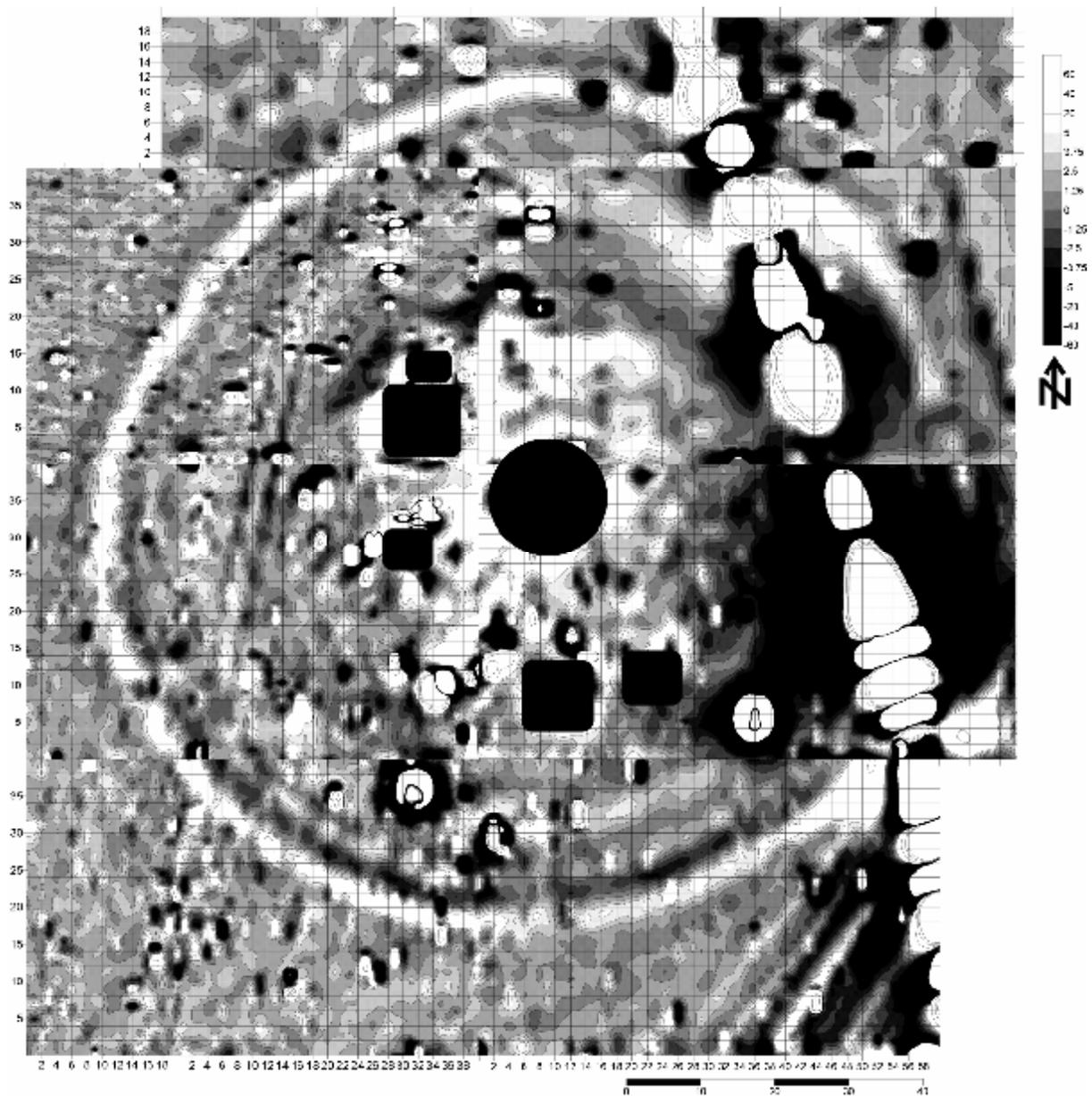
**Рис. 20.** Газовый хроматограф ЭХО-ФИД, каппаметр КТ-6. Выявление запаха древесины.



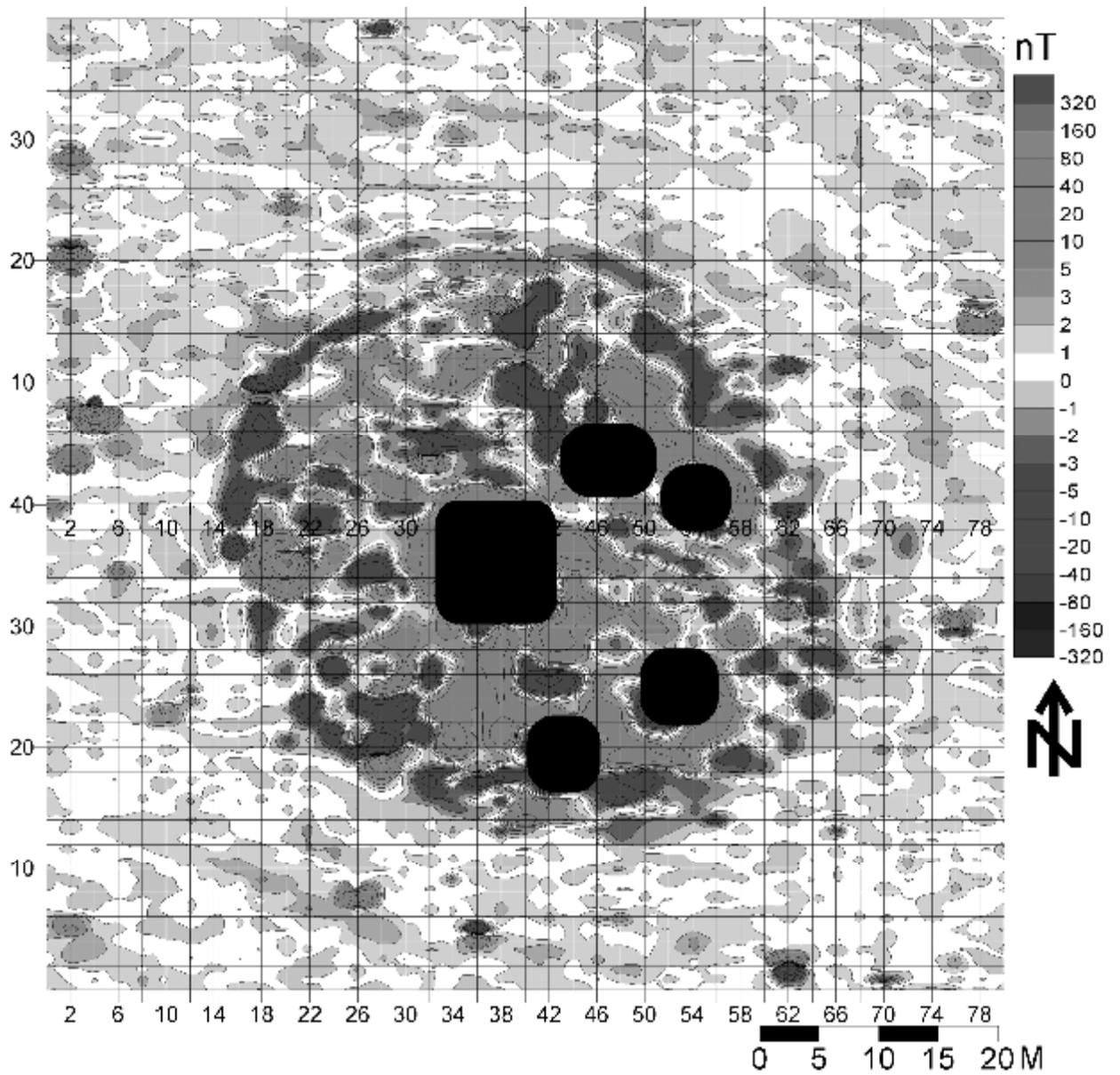
**Рис. 21.** Результат магниторазведочных работ на кургане хунну могильника Ноин-Ула



**Рис. 22.** Результат электроразведочных работ на кургане хунну могильника Ноин-Ула. Карта распределения сигнала электромагнитного профилирования.



**Рис. 23.** Результаты магнитного картирования кургана №1 могильника Бугры.



**Рис. 24.** Результаты магнитного картирования кургана №4 могильника Бугры.