

## ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МАЛОГЛУБИННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРТИРОВАНИЯ

© 2024 Ю.Г. Карин<sup>1</sup>, Е.В. Балков<sup>1</sup>, О.А. Позднякова<sup>2</sup>, И.О. Шапаренко<sup>1</sup>,  
Г.Л. Панин<sup>1</sup>, Д.И. Фадеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им А.А. Трофимука СО РАН,  
Новосибирск, Россия, 630090; e-mail: karinyg@ipgg.sbras.ru

<sup>2</sup>Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск, Россия, 630090;  
e-mail: olka.pozdnyakova@gmail.com

Поступила в редакцию 28.05.2023; после доработки 16.12.2024; принята в печать 25.12.2024

В работе представлено описание аппаратуры для малоглубинного электромагнитного картирования Геовизер, устройство и размеры специальных немагнитных саней, а также особенности их применения в полевых условиях, в совокупности с высокоточной системой позиционирования. По итогам исследования археологических памятников различного типа (городище, курганный могильник), и их сравнения с данными других дистанционных методов сделаны выводы об эффективности использованной технологии: аппаратуры и подходов к ее применению. Показано существенное повышение производительности электромагнитного картирования, при сохранении высокой плотности данных, открывающее перспективы для широкого внедрения предложенной методики в качестве первого этапа изучения геоэлектрических свойств среды. При исследовании археологических памятников электромагнитное картирование существенно дополняет данные аэрофотосъемки, позволяя выявлять не выраженные в рельефе объекты. Успешная апробация описываемой технологии на археологических памятниках Новосибирской области демонстрирует необходимость к её внедрению в таких областях как археология, инженерная и экологическая геофизика, точное земледелие.

*Ключевые слова:* технология электромагнитного картирования, индукционная аппаратура, археолого-геофизические исследования.

### ВВЕДЕНИЕ

Малоглубинная индукционная аппаратура с фиксированным разносом между генераторной и приемными катушками, работающая в частотной области (Балков, Фадеев, 2021), широко применяется для картирования распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) до глубин 5–10 м. Среди сфер активного применения выделяются инженерная и экологическая геофизика, археология и точное земледелие. Существенно повышает скорость съемки безостановочное перемещение электромагнитной аппаратуры с автоматизированной координатной привязкой измерений высокоточными спутниковыми системами (Christiansen et al., 2016; Doolittle, Brevik, 2014; Turner et al., 2018). В данной работе представлено описание результатов применения развиваемой в Институте нефтегазовой

геологии и геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ) технологии электромагнитного картирования (ЭМК) с автоматизированной координатной привязкой измерений по Global Navigation Satellite System (GNSS) на примере исследования археологических памятников.

В практике полевых работ наиболее распространены два способа съемки. Первый — по регулярной сети в локальной системе координат с привязкой точек наблюдения по мерным лентам или шнурам относительно угловых точек исследуемых площадок (угловые точки могут иметь точную географическую привязку, если это необходимо). Второй — по нерегулярной сети в системе спутниковых координат с автоматизированной привязкой точек наблюдения по данным высокоточных приемников GNSS. В первом случае обеспечивается высокая

относительная точность привязки и равномерное покрытие площадки точками наблюдения, но при этом скорость проведения работ ограничена необходимостью перемещения мерных лент и остановками для точного позиционирования аппаратуры на пикете. Во втором случае скорость съемки может существенно возрасти за счет автоматизированной координатной привязки и безостановочного движения аппаратуры. При этом шаг съемки по профилю и расстояние между профилями получаются непостоянными из-за отсутствия размеченных на местности пикетов. Нерегулярное расположение точек наблюдения на исследуемой площадке повышает вероятность пропуска слабоконтрастных объектов.

Для повышения производительности, при проведении полевой съемки целесообразно применять средства малой механизации (буксируемые сани и тележки). Это позволяет обеспечить равномерное перемещение аппаратуры по участку, а также увеличить скорость работ. Еще один подход к увеличению производительности — группирование отдельных датчиков или целых приборов для расширения полосы исследования (Nelson et al., 2003).

В разрабатываемой ИНГГ СО РАН технологии малоглубинного ЭМК, достигается компромисс между скоростью съемки и плотностью данных. Три индукционных прибора зафиксированы с равным расстоянием на специальных стеклопластиковых санях, что в совокупности с высокоточной спутниковой привязкой измерений способствует равномерному распределению точек наблюдения при сохранении достаточно высокой производительности. При группировании трех приборов в одну измерительную

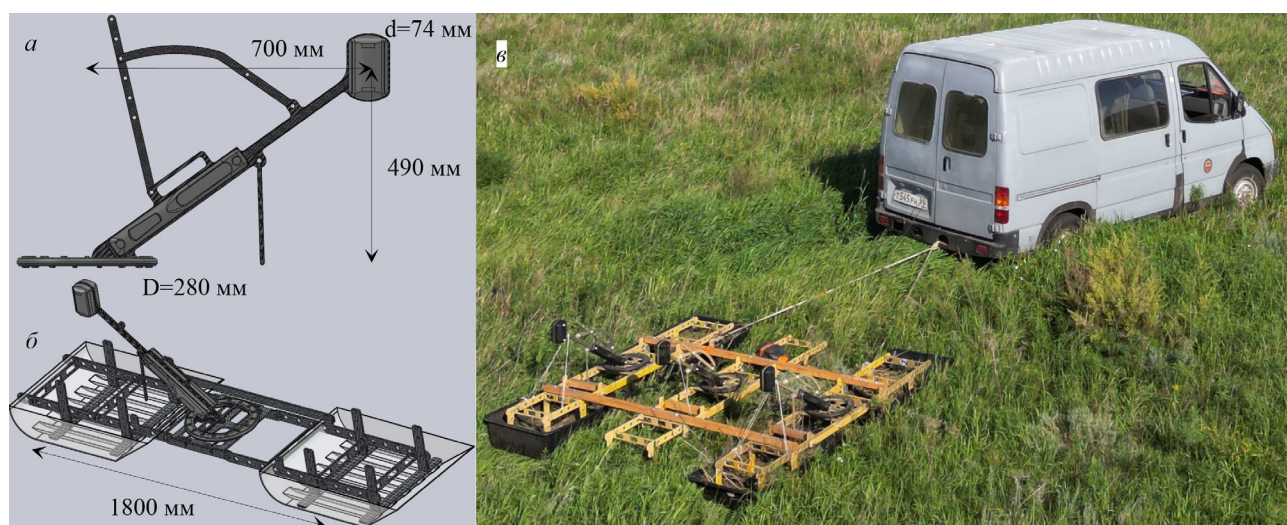
установку, применяется последовательная схема включения: пока измерения ведутся одним прибором, два находятся в режиме ожидания.

В качестве единичного прибора используется аппаратура для малоглубинного ЭМК Геовизер, созданная на базе ИНГГ СО РАН (Балков и др., 2017; Карин и др., 2018).

Вместо разметки пикетов на местности предлагается альтернативное решение: на дисплее планшетного компьютера в программе Gv3 (разработка ИНГГ СО РАН) отображается текущее местоположение оператора по данным GNSS приемника и пройденный маршрут. При этом ширина маршрутной линии изменяема и соответствует желаемому расстоянию между ближайшими линиями маршрута. Оператор прокладывает маршрут перемещения аппаратуры так, чтобы исследуемая площадь на дисплее планшетного компьютера была по возможности полностью покрыта маршрутной линией. Таким образом, достигается необходимая плотность точек наблюдения.

#### АППАРАТУРА, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ РАБОТ

Аппаратура Геовизер представляет собой двухкатушечный прибор (рис. 1а) с геометрическим способом компенсации прямого поля. Генераторная катушка излучает электромагнитное поле на одной или последовательности из трех частот (12 кГц, 40 кГц, 100 кГц). Сигнал от среды регистрируется приемной катушкой, после усиления и синхронного детектирования оцифровывается 24-битным АЦП. Измеренные



**Рис. 1.** Трехмерные модели аппаратуры Геовизер (а) и саней для ее буксировки (б), внешний вид сборки из трёх приборов и процесс полевой съемки (в).

**Fig. 1.** Three-dimensional models of the Geovisier equipment (a) and the sledges for towing it (b), the appearance of the assembly of three devices and the field survey process (c).

данные передаются по протоколу Bluetooth в режиме реального времени на мобильное устройство (планшет или смартфон), и оператор имеет возможность оперативно контролировать процесс съемки и анализировать получаемые данные.

Для буксирования аппаратуры на открытых площадках разработаны стеклопластиковые сани, на которые монтируются три прибора, расположенные на расстоянии 1 м друг от друга в крест линии съемки (рис. 1).

Измерения проводились на частоте 100 кГц. Использование саней для перемещения аппаратуры позволило снизить влияние мелкого рельефа за счет нескольких точек опоры на землю. Скорость перемещения изменялась в диапазоне от 10 до 20 км/ч. Аппаратура Геовизер позволяет производить 3–4 измерения в секунду в зависимости от скорости передачи данных. Применяемые GNSS приемники от компании Emlid Reach (<https://emlid.com>) выдают координату текущего местоположения с частотой один раз в секунду. Заявленная производителем горизонтальная точность позиционирования с учетом поправок в процессе измерения координат (RTK) составляет 8 мм, однако практически удалось добиться только сантиметровой точности привязки. Координаты измерений ЭМК, произведенных между точками точной привязки, вычисляются с помощью линейной интерполяции в режиме реального времени (Alymov et al 2019). Перемещаемый GNSS приемник устанавливается на переднюю часть саней со смещением вперед на 1 м относительно центра генераторной петли Геовизера. При определении местоположения прибора, это смещение учитывается. Базовая станция, используемая для определения поправок, располагается в центральной части исследуемых площадок так, чтобы расстояние до перемещаемого GNSS приемника не превышало 200 м. Это позволяет снизить влияние рельефа на работу радиоканала связи GNSS приемников.

Поскольку каждый из приборов содержит индивидуально настраиваемый резонансный контур и приемную катушку с уникальными индуктивно-емкостными характеристиками, то, несмотря на идентичный геометрический размер, регистрируемый сигнал каждого прибора имеет различные фазовые и амплитудные сдвиги. Кроме того, установлено, что возможен дрейф измеряемых величин за счет неравномерного прогрева электронных компонентов в каждом из приборов. Фазовые и амплитудные сдвиги каждого из трех сгруппированных приборов удается в достаточной степени нивелировать нормировкой на ток и фазу генератора, а также корректным учетом нулей прибора.

Метод электротомографии (ЭТ) представляет собой современный вариант метода сопротивлений, когда применяется многоэлектродная система с автоматическим переключением питающих и измерительных электродов по заранее заданному протоколу (Балков и др., 2023). В исследовании используется компактная 32-электродная, 4-канальная аппаратура Скала-32к4 (КБ Электрометрии, г. Новосибирск, [www.электроразведка.рф](http://www.электроразведка.рф)). Применяются установки (Балков, 2010) Шлюмберже и дипольно-осевая, шаг между электродами по профилю составляет 1 м, между профилями — 2 м. Трехмерная инверсия данных выполняется с помощью ПО Res3DInv (Малайзия, <https://www.geotomosoft.com>), в ПО Surfer (США, [www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com)) строятся горизонтальные срезы.

Для площадных работ в археологии наиболее эффективны многоканальные радарные системы, имеющие широкий захват вдоль линии съёмки (Балков и др., 2021). В исследовании применяется итальянский георадар фирмы IDS линейки Stream X, имеющий центральную частоту 200 МГц и ширину покрытия 0.8 м. Соответственно съемка производится вдоль профилей с расстоянием 0.8 м между ними.

## ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Апробация разрабатываемой технологии проведена на двух археологических памятниках: городище Чича-1 и курганном могильнике Конево-10.

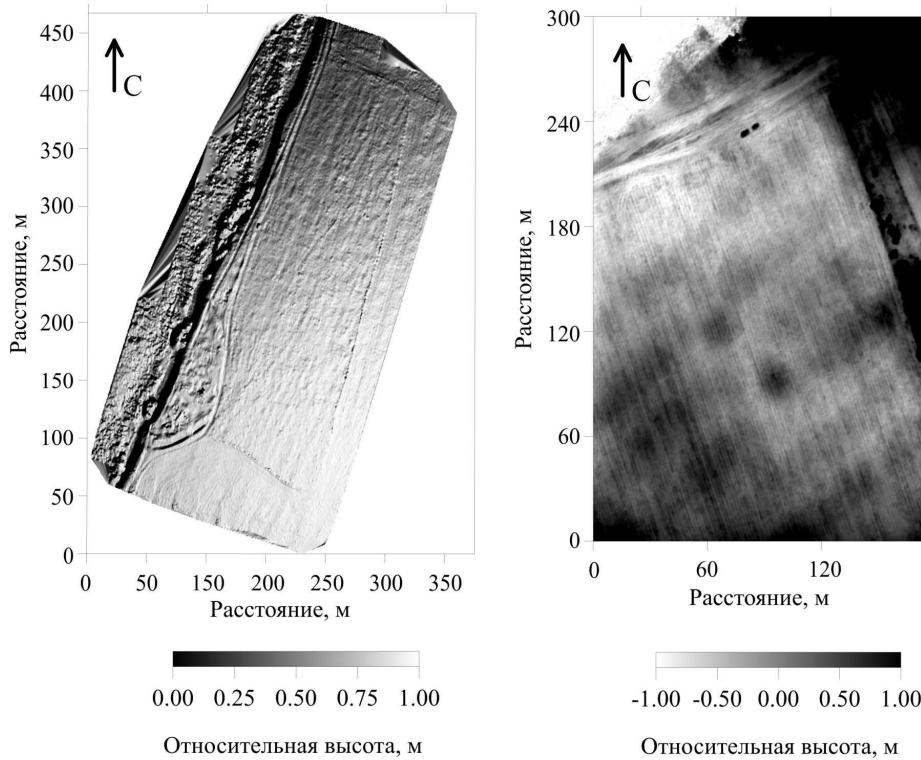
Городище Чича-1 находится в Здвинском районе Новосибирской области, на берегу оз. Малая Чича (рис. 2а). Поселение функционировало в эпоху поздней бронзы и переходное от бронзы к железу время (XIV–VIII вв. до н.э.) Выбор данного памятника обусловлен целым рядом причин. Во-первых, в 1999–2000 гг. здесь были проведены масштабные магнитометрические исследования. По итогам съемки, на площади около 6 га выявлен гигантский поселенческий комплекс с регулярной планировкой, основная часть которого оказалась полностью распахана (Молодин и др., 1999). Во-вторых, с использованием геомагнитных данных в разных частях городища были произведены проверочные археологические раскопки, результаты которых нашли отражение в цикле монографий (Молодин и др., 2001; 2004; 2009). Все это давало возможность не только верифицировать результаты геоэлектрического картирования данными магнитной съемки, но и анализировать их с учетом параметров и особенностей заполнения вскрытых археологических объектов.

Курганный могильник Конево-10 (рис. 2а) расположен в Краснозерском районе Ново-

55°27'С 78°4'В *a* 55°27'С 80°13'В



53°52'С 78°4'В *б* 53°52'С 80°13'В



**Рис. 2.** Карта района работ (а). Карты относительных высот археологических памятников Чича-1 (б) и Конево-10 (в).

**Fig. 2.** Map of the work area (a). Maps of relative heights of the archaeological sites Chicha-1 (b) and Konevo-10 (v).

сибирской области, в окрестностях одноименного села. Открыт в 2015 г. и по характеру подъемного археологического материала отнесен к тасмолинской культуре раннего железного века (VII-VI вв. до н.э.) (Автушкова, Плахута, 2020). Памятник длительное время подвергается распахке. По рельефным признакам на его территории выделяются три курганных насыпи, диаметром до 30 м, высотой 0.8–1 м. Весьма вероятно, что рельефные признаки других курганов могли быть полностью уничтожены в ходе сельскохозяйственной деятельности. Таким образом, применение высокопроизводительной технологии ЭМК давало возможность в короткие сроки получить дополнительную информацию об известных археологических объектах и обнаружить новые.

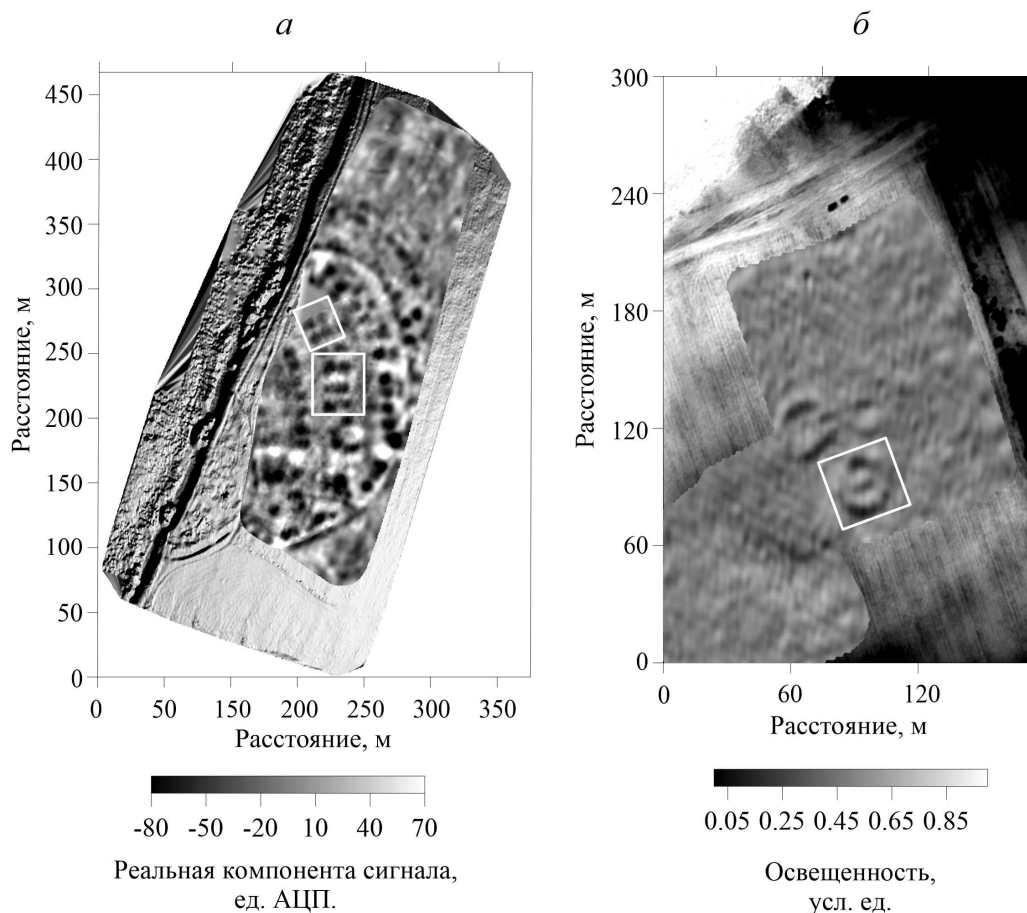
### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Съемка по технологии ЭМК, а также последующая детализация методом ЭТ позволили в

течение одного рабочего дня получить информацию о внутреннем устройстве изученных памятников.

На памятнике Чича-1 работы проводились в пределах распаханной части городища. Аэрофотосъемка участка исследований, выполненная на начальном этапе, дополнительной информации не дала. На построенной цифровой модели рельефа выделяется только так называемая «цитадель», которая не была распахана (рис. 2б). Жилищные западины и рвы однозначно локализуются по данным ЭМК, кроме того, обнаруживаются аномалии повышенного уровня сигнала (более 50 ед. АЦП), которые могут быть связаны с зольными отвалами (рис. 3а).

Вокруг двух рельефно выраженных насыпей могильника Конево-10 выделяются кольцевые аномалии, которые можно интерпретировать как запаханые рвы (рис. 3б). В центре южного кургана фиксируется аномалия, которая по знаку и уровню сигнала совпадает с кольцевыми аномалиями рвов. Вероятнее всего, она связана



**Рис. 3.** Карта распределения реальной компоненты сигнала для городища Чича-1 (а) и теневая карта распределения реальной компоненты сигнала с горизонтальным и вертикальным углами искусственного освещения в 126° и 29°, соответственно, для курганного могильника Конево 10 (б). Белыми прямоугольниками обозначены площадки для детализации.

**Fig. 3.** Map of the distribution of the real signal component for the Chicha 1 object (а) and a shadow map of the distribution of the real signal component with horizontal and vertical artificial illumination of 126° and 29° degrees, respectively, for the burial mound Konevo 10 monument (б). White rectangles show areas for detailing.

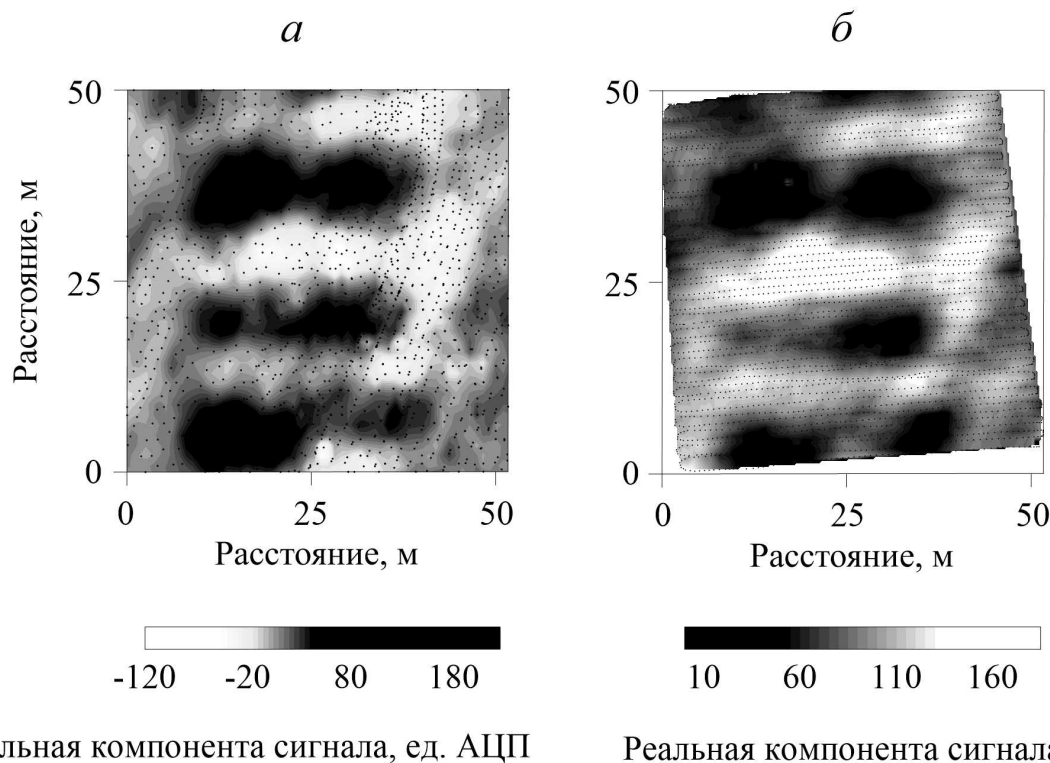
с разграбленным центральным захоронением. В непосредственной близости от этих курганов обнаружен еще один ров. Характерная кольцевая структура отчетливо прослеживается на теневой карте, построенной по результатам ЭМК (рис. 3б). Выраженных рельефных признаков данный объект не имеет и, по-видимому, представляет собой остатки полностью распаханного кургана. Под курганом, расположенным в восточной части площадки, аномалии, характерные для рвов и погребений не обнаружены (рис. 3б), однако по данным аэрофотосъемки на этом месте выделяется возвышение (рис. 2в). Вполне вероятно, что оно имеет естественное происхождение.

Для изучения влияния плотности сети наблюдения на информативность данных ЭМК, на участке городища Чича-1, содержащем шесть жилищных котлованов, проведена пешеходная съемка. Расстояние между профилями составляло 1 м. Сопоставление результатов показало, что для изучения объектов подобного типа посредством механизированной съемки необходимости в увеличении плотности точек наблюдения нет (рис. 4). При пешеходной съемке, несмотря на большее количество точек по профилю и регулярное расположение профилей, увеличение контрастности границ аномалий не наблюдается. Стоит отметить, что при пешеходной и механизированной съемках, аномалии от

одних и тех же объектов имеют разный знак. Это связано с особенностями настройки конкретной реализации аппаратуры Геовизер, использованной в ходе работ.

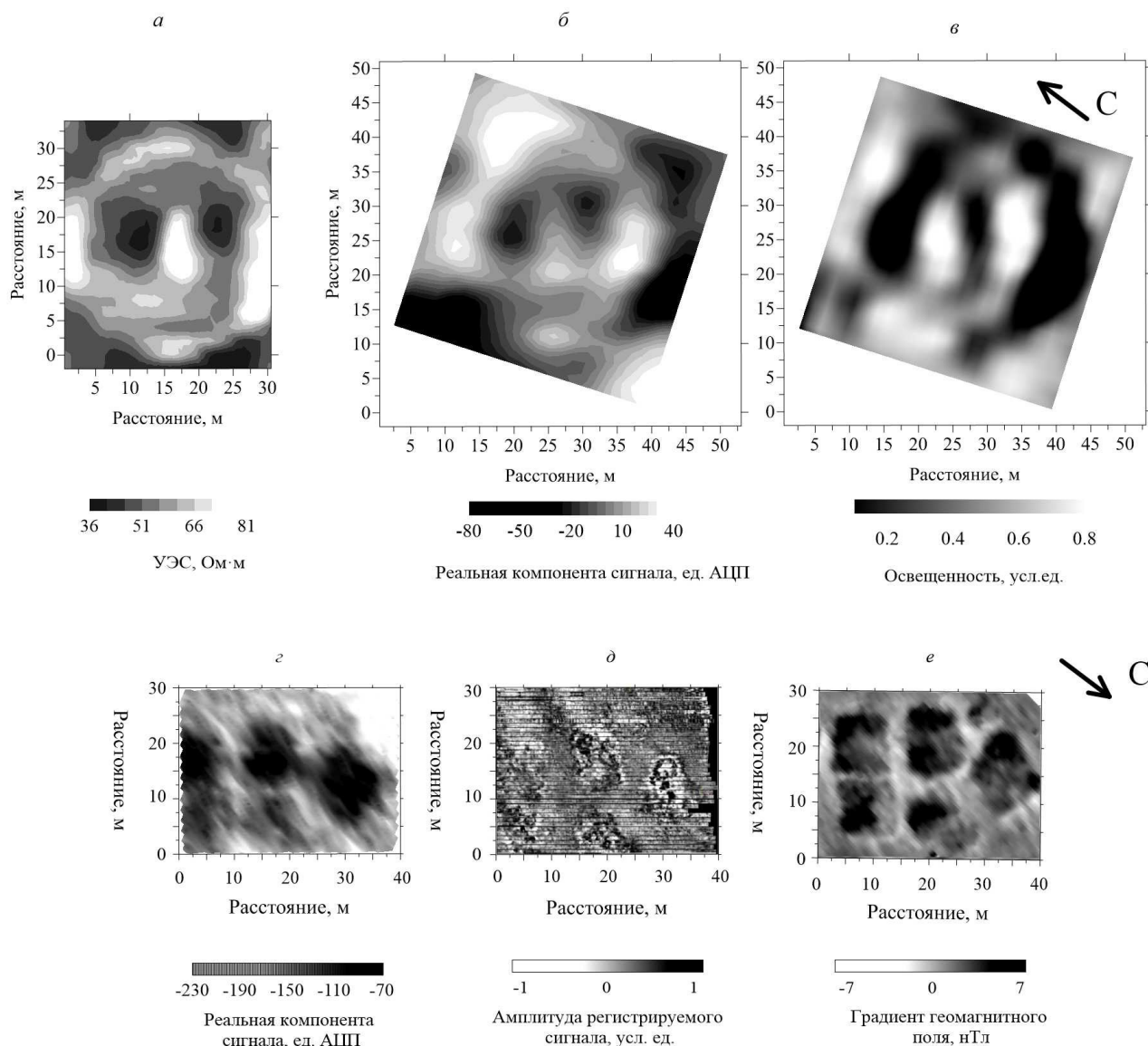
Сопоставление данных ЭМК с результатами других геофизических методов (ЭТ, георадиолокация, магнитометрия) показало следующее. Кольцевая структура рва и центральное захоронение одного из курганов памятника Конево-10 уверенно восстанавливаются по результатам методов ЭТ и ЭМК (рис. 5а, 5б). Представление данных ЭМК в виде теневой карты лучше выделяет эти объекты на фоне вмещающей среды, при этом карта распределения реальной компоненты сигнала дает количественную оценку контрастности этих аномалий по отношению к периферии (рис. 5б, 5в). Границы археологических объектов на картах ЭМК менее контрастны в сравнении с картой УЭС по данным ЭТ, при этом форма и расположение аномалий по данным обоих методов хорошо коррелируют между собой.

Для памятника Чича-1, результаты георадарной съемки (срез данных на глубине 0.68 м) показали большую детальность в сравнении с данными ЭМК, а результаты магнитометрии более четко выделяют границы жилищных котлованов, (рис. 5г-е). При этом данные ЭМК и магнитометрии хорошо коррелируют между собой (рис. 5г, 5е).



**Рис. 4.** Городище Чича-1. Сравнение результатов механизированной (*а*) и пешеходной (*б*) электромагнитной съемки. Черными точками показаны точки наблюдения.

**Fig. 4.** Settlement Chicha-1. Comparison of mechanized (*a*) and pedestrian (*b*) electromagnetic surveying. Black dots show the observation points



**Рис. 5.** Карта распределения УЭС по данным электротомографии (а), карты распределения сигнала в единицах АЦП по данным ЭМК (б, г), теневая карта по данным ЭМК (вертикальный угол освещения 25.7 градусов, горизонтальный угол освещения 107.3 градуса) (в), карта распределения сигнала георадиолокации (д), карта геомагнитных аномалий (е). а-в — курганный могильник Конево-10; г-е — городище Чича-1.

**Fig. 5.** Map of the distribution of resistivity according to electrical resistivity tomography data (a), maps of the signal distribution in ADC units according to EMM data (б, г), shadow map according to EMM data (vertical illumination angle 25.7°, horizontal illumination angle 107.3°) (в), map of the distribution of the ground penetrating radar signal (д), map of geomagnetic anomalies (е). а-в — burial mound Konevo-10; г-е — ancient settlement Chicha-1.

## ВЫВОДЫ

Предложенная технология электромагнитного картирования прошла успешную апробацию в ходе исследований двух разнотипных археологических памятников: городища Чича-1 и курганного могильника Конево-10. На территории городища зафиксированы археологические объекты (жилищные котлованы и рвы), выявленные ранее по итогам магнитной съемки, и обнаружены новые аномалии, связанные с зольными отвалами. На территории могильника вокруг двух из трех насыпей, выявленных ранее

посредством геодезической съемки, обнаружены полностью запаханые рвы. На месте третьей насыпи аномалии, которые можно сопоставить с археологическими объектами, не выявлены, что ставит под вопрос ее отнесение к курганному сооружению. Вместе с тем, в непосредственной близости от двух курганов, окруженных рвами, удалось зафиксировать кольцевую структуру, которая не имеет рельефных признаков. По всей видимости, она соответствует еще одному ранее не обнаруженному кургану в составе памятника. Полученные результаты доказывают, что с помощью технологии ЭМК возможно не только

дополнять информацию об известных археологических объектах, но и выявлять новые.

Наиболее очевидным преимуществом представленной технологии является высокая скорость съемки — около 1 Га в час (при средней плотности измерений 1×1 м). Сопоставление данных ЭМК в буксируемом и пешеходном вариантах показало их хорошую корреляцию. Таким образом, удалось доказать, что с помощью технологии ЭМК возможно проводить масштабную площадную съемку без потери информативности. Кроме того, если контрастность по УЭС археологических объектов и вмещающей среды является достаточной, карты, построенные по данным ЭМК, не уступают по информативности картам, полученным методами магнитометрии и электротомографии.

Невысокая, в сравнении с магнитометрией и георадарометрией, скорость измерений и меньшая, в сравнении с электротомографией, чувствительность к изменениям УЭС изучаемой среды ограничивают разрешающую способность аппаратуры Геовизер. Это может приводить к размытости границ искомым объектам и зашумленности данных. Тем не менее, уже на существующем уровне развития эта технология дает возможность с высокой скоростью и эффективностью получать новую информацию о древних сооружениях. Ее внедрение в археологические изыскания позволит исследовать большие площади в короткие сроки, уменьшить финансовые, трудовые и временные затраты на проведение работ. Подобные возможности могут быть востребованы в таких видах деятельности как охранно-спасательная археология, охрана культурного наследия, музеефикация археологических памятников, а также для решения исследовательских задач археологии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы фундаментальных научных исследований № FWZZ-2022-0025.

#### Список литературы [References]

*Автушкова А.Л., Плахута Д.О.* Памятники тасмолинской культуры на территории Новосибирской области (по материалам 2014–2017 гг.) // *Российская археология.* 2020. Вып. 2. С. 142–150 [Avtushkova A.L., Plakhuta D.O. The Tasmola culture sites in the territory of Novosibirsk region (on the materials of 2014–2017). *Russian archaeology.* 2020. № 2. P. 142–150 (in Russian)].

*Балков Е.В., Карин Ю.Г., Позднякова О.А. и др.* Комплексирование аэрофотосъемки, электромагнитного профилирования и электротомографии для изучения древних археологических поселений и городищ Новосибирской области // *Геофизика.* 2023. № 1. С. 26–33 [Balkov E.V., Karin Yu.G., Pozdnyakova O.A. et al. Application of UAV

photography, electromagnetic profiling and electrical resistivity tomography in ancient settlements and city-sites of the Novosibirsk region. *Geophysics.* 2023. № 1. P. 26–33 (in Russian)].

*Балков Е.В.* Комбинирование установок электротомографии // *Интерэкспо Гео-Сибирь.* 2010. Т. 2. № 1. С. 135–139 [Balkov E.V. Kombinirovanie ustanovok elektrotomografii // *Interekspo Geo-Sibir'.* 2010. V. 2. № 1. P. 135–139 (in Russian)].

*Балков Е.В., Фадеев Д.И., Карин Ю.Г. и др.* Новый подход к малоглубинным электромагнитным зондированиям // *Геология и геофизика.* 2017. Т. 58. № 5. С. 783–791 [Balkov E.V., Fadeev D.I., Karin Yu.G. et al. A new approach to shallow-depth electromagnetic sounding / *Geology and geophysics.* 2017. V. 58. № 5. P. 783–791 (in Russian)].

*Балков Е.В., Фадеев Д.И.* Обзор современного аппаратного и программного обеспечения малоглубинных электромагнитных зондирований в частотной области // *Геофизические технологии.* 2021. № 1. С. 52–72 [Balkov E.V., Fadeev D.I. Overview of modern hardware and software for near surface electromagnetic sounding in the frequency domain. *Russian Journal of Geophysical Technologies.* 2021. № 1. P. 52–72. <https://doi.org/10.18303/2619-1563-2021-1-52>] (in Russian)].

*Балков Е.В., Карин Ю.Г., Позднякова О.А.* Применение современных беспилотных технологий при решении комплексных задач археогеофизики // *Геофизика.* 2021. № 1. С. 57–65 [Balkov E.V., Karin Yu.G., Pozdnyakova O.A. Application of modern unmanned technologies in solving integrated problems of archaeogeophysics. *Geophysics.* № 1. P. 57–65 (in Russian)].

*Карин Ю.Г., Балков Е.В., Фадеев Д.И. и др.* Электромагнитное профилирование компактной аппаратурой: новый подход и результаты применения // *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии.* 2018. Т. 16. № 4. С. 68–78 [Karin Yu.G., Balkov E.V., Fadeev D.I. et al. Electromagnetic Profiling by Compact Apparatus: New Approach and Results of Application. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies,* 2018, V. 16. № 4. P. 68–78 (in Russian) <https://doi.org/10.25205/1818-7900-2018-16-4-68-78>].

*Молодин В.И., Парцингер Г., Бекер Х. и др.* Археолого-геофизические исследования российско-германской экспедиции в Барабинской лесостепи // *Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий.* Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 1999. Т. 5. С. 454–461 [Molodin V. I., Parzinger G., Becker Kh. et al. Archaeological and geophysical research of the Russian-German expedition in the Baraba forest-steppe // *Problems of archeology, ethnography, anthropology of Siberia and adjacent territories.* Novosibirsk: Publishing house of the Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, 1999. V. 5. P. 454–461 (in Russian)].

*Молодин В.И., Парцингер Г., Гаркуша Ю.Н. и др.* Чича – городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи (первые результаты исследований). *Материалы по археологии Сибири, вып. 1.* Новосибирск: Издательство

- Института археологии и этнографии СО РАН, 2001. 240 с [Molodin V.I., Parzinger G., Garkusha Yu.N. et al. Chicha – a settlement of the transitional period from Bronze to Iron in the Baraba forest-steppe (first research results). Materials on the archeology of Siberia, issue 1. Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archeology and Ethnography SB RAS, 2001. 240 p. (in Russian)].
- Молодин В.И., Парцингер Г., Гаркуша Ю.Н. и др. Чича – городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2004. Т.2. 336 с [Molodin V.I., Parzinger G., Garkusha Yu.N. et al. Chicha – a settlement of the transitional period from Bronze to Iron in the Baraba forest-steppe. Novosibirsk: Publishing house of the Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, 2004. V. 2. 336 p (in Russian)].
- Молодин В.И., Парцингер Г., Кривоногов С.К. и др. Чича – городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2009. Т. 3. 248 с. [Molodin V.I., Parzinger G., Krivonogov S.K. et al. Chicha – a settlement of the transitional period from Bronze to Iron in the Baraba forest-steppe. Novosibirsk: Publishing house of the Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, 2009. V. 3. 248 p. (in Russian)].
- Alymov A.O., Balkov E.V., Karin Y.G., Romanov D.B. The use of high-precision positioning equipment RTK GNSS in the study of archaeological sites by electromagnetic profiling // Engineering and Mining Geophysics 2019 15th Conference and Exhibition. – European Association of Geoscientists & Engineers, 2019. V. 2019. № 1. P. 1–7.
- Christiansen A.V., Pedersen J.B., Auken E. et al. Improved geoarchaeological mapping with electromagnetic induction instruments from dedicated processing and inversion // Remote Sensing. 2016. V. 8. № 12. P. 1022. <https://doi.org/10.3390/rs8121022>.
- Doolittle J.A., Brevik E.C. The use of electromagnetic induction techniques in soils studies // Geoderma. 2014. № 223. P. 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.027>.
- Nelson H.H., Barrow B.J., Bell T.H. et al. Characterization of a GEM-3 array for UXO classification // Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets VIII. SPIE. 2003. № 5089. P. 940–949.
- Turner J.R., Stine R.S., Stine L.F. A comparison of ground-penetrating radar, magnetic gradiometer and electromagnetic induction survey techniques at House in the Horseshoe State Historic Site // Journal of Archaeological Science: Reports. 2018. № 20. P. 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.04>.

## HIGH-PRODUCTIVITY TECHNOLOGY OF SHALLOW ELECTROMAGNETIC MAPPING

Yu.G. Karin<sup>1</sup>, E.V. Balkov<sup>1</sup>, O.A. Pozdnyakova<sup>2</sup>, I.O. Shaparenko<sup>1</sup>, G.L. Panin<sup>1</sup>, D.I. Fadeev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Oil and Gas Geology and Geophysics named after A.A. Trofimuk SB RAS, Novosibirsk, Russia, 630090; e-mail: karinyg@ipgg.sbras.ru

<sup>2</sup>Institute of Archeology and Ethnography SB RAS, Novosibirsk, Russia, 630090; e-mail: olka.pozdnyakova@gmail.com

Received May 28, 2024; revised December 16, 2024; accepted December 25, 2024

In the paper, equipment for shallow electromagnetic mapping Geoviser, the design and dimensions of special non-magnetic sledges, as well as the features of their use in the field, in combination with a high-precision positioning system are described. Based on the results of the study of archaeological sites of various types (fortified settlement, burial mound), and their comparison with the data of other remote sensing methods, conclusions were made about the efficiency of the used technology: equipment and approaches to its application. A significant increase in the productivity of electromagnetic mapping is shown, while maintaining high data density, opening up prospects for the widespread implementation of the proposed method as the first stage of studying the geoelectric properties of the environment. In the study of archaeological sites, electromagnetic mapping significantly complements aerial photography data, allowing to identify objects that are not expressed in the relief. Successful testing of the described technology on archaeological sites of the Novosibirsk Region demonstrates the need for its implementation in such areas as archeology, engineering and environmental geophysics, precision agriculture.

*Keywords: electromagnetic mapping technology, induction equipment, archaeological and geophysical research.*