

РУБРИКА: ИНЖЕНЕРНАЯ И РУДНАЯ ГЕОФИЗИКА

## **Применение методов электротомографии и электромагнитного картирования для исследования Танайского курганного могильника**

И. О. Шапаренко\* (ИНГГ СО РАН), Ю. Г. Карин (ИНГГ СО РАН), З. Я. Кузина (ИНГГ СО РАН), Е. В. Балков (ИНГГ СО РАН)

Представлены результаты исследования курганного могильника Танай-3 методами электротомографии (ЭТ) и электромагнитного картирования (ЭМК). Цель — изучение внутреннего строения насыпей, выявление структурных особенностей. Построены геоэлектрические модели четырех курганов. Для курганов 5 и 16 установлены кольцевые аномалии (распаханные рвы) и центральные высокоомные зоны (грабительские ямы). Курганы 9 и 12 не имеют выраженных рвов, что указывает на их возможное иное время возведения. На основе данных все курганы разделены на две структурные группы. Показано, что площадная ЭТ эффективна даже при слабом контрасте удельного сопротивления, а ЭМК пригодно для рекогносцировки, но уступает в детальности.

**Ключевые слова:** электротомография, электромагнитное картирование, археогеофизика, курганный могильник.

## **Application of electrical resistivity tomography and electromagnetic mapping methods to study the Tanai burial mound**

I. O. Shaparenko (IPGG SB RAS), Yu. G. Karin (IPGG SB RAS), Z. Ya. Kuzina (IPGG SB RAS), E. V. Balkov (IPGG SB RAS)

The results of a study of the Tanai-3 burial mound using electrical resistivity tomography (ERT) and electromagnetic mapping (EMM) are presented. The objective is to study the internal structure of the mounds and identify structural features. Geoelectric models of four mounds were constructed. Ring anomalies (plowed ditches) and central high-resistivity zones (robber pits) were identified for mounds 5 and 16. Mounds 9 and 12 lack distinct ditches, indicating a possible different construction date. Based on these data, all mounds are divided into two structural groups. It is shown that areal ERT is effective even with weak resistivity contrast, while EMM is suitable for exploring surveys but lacks detail.

**Keywords:** electrical resistivity tomography, electromagnetic mapping, archaeogeophysics, burial mound.

## Введение

В настоящее время археолого-геофизические исследования развиваются в русле идей неразрушающей археологии, что предполагает получение максимально возможного количества информации об археологических объектах дистанционными (аэрофотосъемка, электромагнитное картирование) и поверхностными (электротомография) геофизическими методами, не нарушая целостность дневной поверхности. Электротомография (ЭТ) является одним из самых распространенных методов электроразведки в связи с высокой информативностью и развитым программным, методическим и аппаратным обеспечением. Последнее время все чаще используется площадная съемка методом ЭТ [1, 3]. В свою очередь, метод электромагнитного картирования является менее популярным, но по причине высокой производительности подходит для решения задач археологии наряду с методами магниторазведки [2].

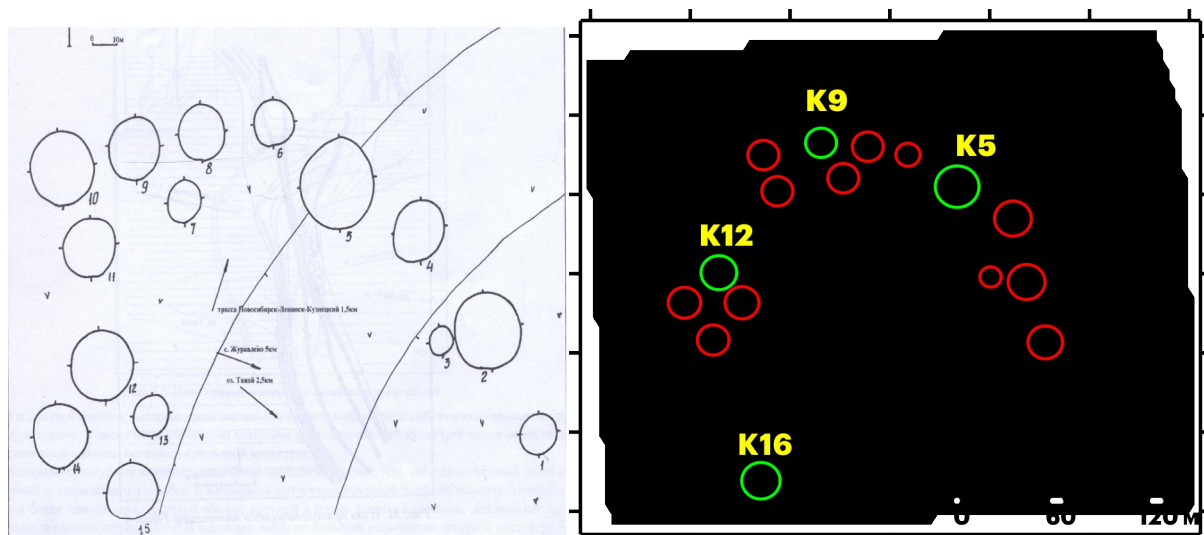
В работе показаны результаты исследования одного из памятников Новосибирской области с помощью методов неразрушающей электроразведки.

## Метод

Объектом исследования являлся курганный могильник Танай-3, расположенный на вершине гривы в 1,5 км к юго-юго-западу от автодороги Новосибирск — Ленинск-Кузнецкий и в 2,5 км к северо-западу от озера Танай. По данным топографической съемки, могильник включает 15 курганов круглой формы, их диаметр составляет от 11 до 35 м (из которых 10 курганов диаметром более 20 м). Высота насыпей различная, но обычно от 12 до 35 см. Только три кургана имеют высоту 53, 58 см и 1 м. Курганы с 1-го по 10-й расположены цепочкой, образуя дугу, сооружения с 12-го по 15-е — образуют компактную группу (рис. 1).

Общая площадь могильника более 40 000 м<sup>2</sup> (160 × 250 м). Памятник открыт В. В. Бобровым в 1986 г. Раскопки курганного могильника, который интенсивно распахивается, не проводились. Культурная и хронологическая принадлежность памятника не установлены.

Аэрофотосъемка проводилась с высоты 60–70 м с помощью квадрокоптера Dji Mavic Air. Фотограмметрическая обработка снимков выполнена в программе Metashape, по ее результатам построена карта относительных высот. В юго-западной части исследованного участка найден ранее не задокументированный курган 16, на котором также проведены измерения методами ЭТ и ЭМК.



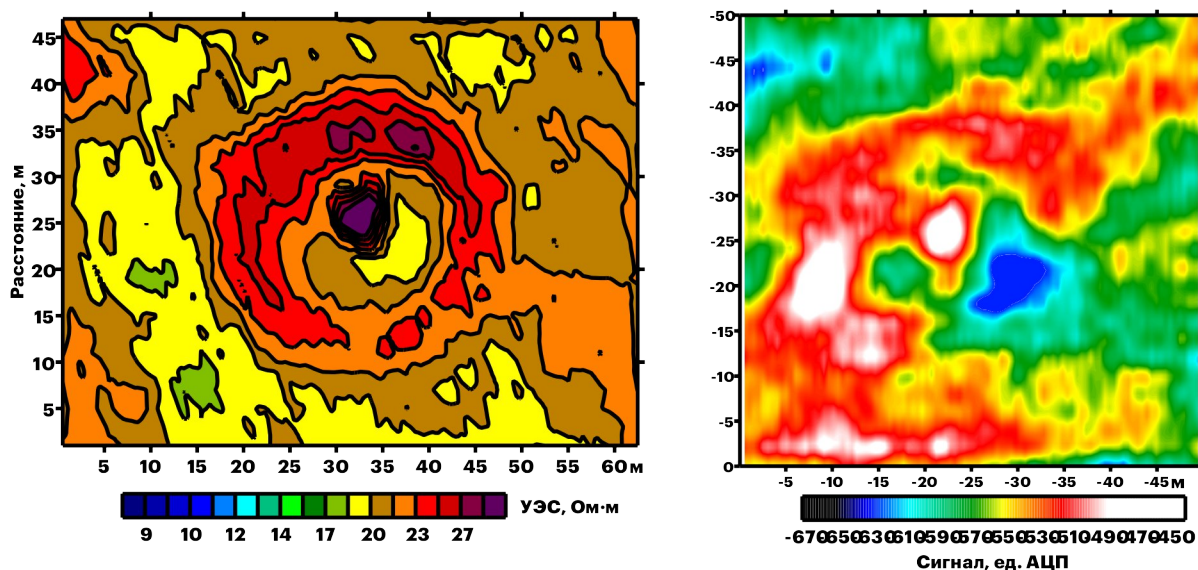
**Рисунок 1.** План археологического памятника Танай-3 по результатам тахеометрической съемки (слева); карта относительных высот, полученная с помощью аэрофотосъемки, с выделенными контурами курганов (зеленым — где провели геофизическую съемку) (справа)

При исследовании методом электротомографии использовалась многоканальная многоэлектродная аппаратура «Скала 32К4» и «Скала 64К15Е», разработанная в ООО «КБ Электрометрии». Для проведения электромагнитного картирования применялась аппаратура «Геовизер», разработанная там же. Эта аппаратура применяется для широкого круга задач, в частности для археогеофизики.

Методом электротомографии курганы исследовались набором параллельных профилей. Для малых курганов измерения проводились на одной 32-электродной косе. Во время измерений для ускорения работы следующая коса раскладывалась и заземлялась. Шаг по профилю составил 1 м, шаг между профилями — 2 м. Для кургана 5 использовалась расстановка на 64 электрода, шаг по профилю 1 м, а между профилями — 2 м.

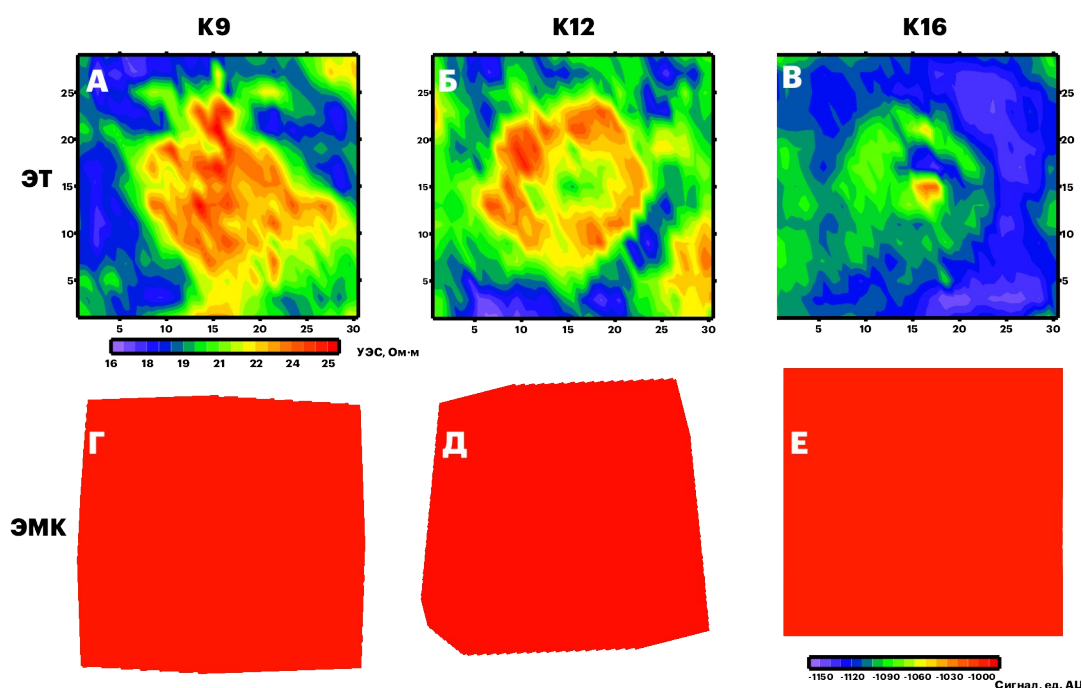
## Результаты

Съемка методами ЭТ и электромагнитного картирования позволила в течение двух рабочих дней получить информацию о внутреннем устройстве четырех курганов. Курган 5 является наибольшим на исследуемом участке, результаты его исследования показаны на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Срезы, полученные в результате обработки данных ЭТ (слева) и ЭМК (справа) для крупного кургана 5

Курган 5 является самым крупным, поэтому площадь съемки была наибольшей: 63 × 48 м. По данным ЭТ выделяется кольцевая аномалия, интерпретируемая как запаханный ров (рис. 2). По данным ЭМК явно проявляется центральная высокоомная аномалия, которая может быть связана с грабительской ямой. Для трех меньших курганов исследованы площадки размером 31 × 30 м (рис. 3).



**Рисунок 3.** Срезы, полученные в результате обработки данных ЭТ (А, Б, В) и ЭМК (Г, Д, Е) для курганов 9, 12 и 16

Среднее УЭС для рвов курганов 5 и 16 составляет около 25 Ом·м, а УЭС окружающей среды порядка 15 Ом·м. Несмотря на такой незначительный контраст, положение рва и тело курганов хорошо видны на итоговой трехмерной модели. Ширина рва непостоянна и составляет от 5 до 10 м. В свою очередь, УЭС насыпей курганов 9 и 12 тоже составляет 25 Ом·м.

Отдельно рассмотрим курган 16. На старом плане этот курган не отмечен, он был выявлен в результате современной аэрофотосъемки и электромагнитного картирования площади всего курганного могильника. Поэтому интересно, что на кургане 16, как и на крупном кургане 5, проявляется ярко выраженный распаханый ров (рис. 3В).

Кроме того, на карте, полученной аппаратурой «Геовизер» (рис. 3Е), заметна довольно значительная аномалия в центре кургана, которая, вероятно, также связана с грабительской ямой. По данным «Геовизера» выделяется и кольцевая структура, но по размеру она шире, чем по данным ЭТ.

Иначе дела обстоят с южной группой курганов. На срезах для курганов 9 и 12 (рис. 3 А, Б) рвы явно не проявляются. Структура курганов ближе к прямоугольной. Предположительно это связано с тем, что эти курганы были возведены в другое время относительно курганов 5 и 12.

Ранее территория курганного могильника археологами разделялась на северную дугообразную цепочку и юго-западную компактную группу. По полученным геофизическим данным курганы можно разделить на две группы по схожей структуре: юго-восточная группа (курганы 1–5, 16) и северо-западная группа (остальные курганы). В будущем планируется проведение археологических изысканий, чтобы проверить данную гипотезу.

## **Выводы**

По результатам интерпретации данных ЭТ и ЭМК построены модели нескольких курганов. Определены две группы сопряженных по геоэлектрическим характеристикам курганов. Исходя из глубин рвов, можно предполагать, что курганы возведены в разное время. Методика параллельных профилей ЭТ хорошо показала себя, даже на малоконтрастном по УЭС объекте исследования.

Метод ЭМК позволяет посмотреть на общую картину для большой площади, однако не добавляет детальности к данным, полученным методом ЭТ.

## Благодарности

Исследования выполнены в рамках проекта НИР FWZZ-2026-0049. Полевые работы выполнены при технической поддержке ООО «КБ Электрметрии». Авторы выражают благодарность геофизику ООО «КБ Электрметрии» Попову И. А. за активное участие в сборе полевого материала.

## Список литературы

1. Балков Е. В. Первые результаты комплексных дистанционных исследований курганов с «усами» (по материалам археологических памятников Северной Кулунды) / Балков Е. В., Карин Ю. Г., Позднякова О. А., Шапаренко И. О., Марченко Ж. В., Гришин А. Е., Фадеев Д. И. // Археология, этнография и антропология Евразии. — 2024. — Т. 52. — № 4. — С. 117–124.
2. Карин Ю. Г. Высокопроизводительная технология малоглубинного электромагнитного картирования / Карин Ю. Г., Балков Е. В., Позднякова О. А., Шапаренко И. О., Панин Г. Л., Фадеев Д. И. // Вестник КРАУНЦ. — 2024. — Т. 44. — № 4. — С. 50.
3. Степченков В. С. Пространственное положение талых и мерзлых грунтов по площадным данным электротомографии / Степченков В. С., Большаков Д. К., Модин И. Н. // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. — 2025. — № 4. — С. 107–113.

## References

1. Balkov E. V. The First Results of Remote Sensing Studies of Mounds with Mustaches in Northern Kulunda, Southwestern Siberia / E. V. Balkov, Y. G. Karin, O. A. Pozdnyakova, I. O. Shaparenko, Z. V. Marchenko, A. E. Grishin, D. I. Fadeev // Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia. — 2024. — Vol. 52. — № 4. — P. 117–124.
2. Karin Y. G. Vysokoproizvoditel'naya tekhnologiya maloglubinnogo elektromagnitnogo kartirovaniya / Karin Y. G., Balkov E.V., Pozdnyakova O. A., SHaparenko I. O., Panin G. L, Fadeev D. I. // Vestnik KRAUNC. — 2024. — Vol. 44. — № 4. — P. 50 (in Russ.).
3. Stepchenkov V. S. Prostranstvennoe polozhenie talyh i merzlyh gruntov po ploshchadnym dannym elektrotomografii / Stepchenkov V. S., Bol'shakov D. K., Modin I. N. // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4. Geologiya. — 2025. — № 4. — P. 107–113 (in Russ.).