

Ю.Г. Карин¹, О.А. Позднякова²✉, Е.В. Балков¹,
И.О. Шапаренко¹, Г.Л. Панин¹, Д.И. Фадеев¹

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
Новосибирск, Россия

² Институт археологии и этнографии СО РАН
Новосибирск, Россия

E-mail: olka.pozdnyakova@gmail.com

Опыт использования дистанционных методов для экспресс-оценки устройства археологических памятников

Территория большинства археологических памятников очень обширна и часто лишена рельефных признаков, что затрудняет оценку их состава и границ. По этой причине разработка и внедрение в археологию высокоточных и высокопроизводительных дистанционных методов весьма актуальна. В последнее время, благодаря разработке на базе ИНГГ СО РАН новой геоэлектрической аппаратуры «Геовизер», совместимой с высокоточными GPS системами для привязки, удалось существенно увеличить производительность и точность малоглубинного частотного профилирования. Монтаж данного оборудования на движущиеся платформы дал возможность сформировать комплекс методов, позволяющих в короткие сроки оценивать строение и состав археологических памятников. Он включает аэрофотосъемку, малоглубинное частотное профилирование (аппаратура «Геовизер») и электротомографию (аппаратура «Скала»). В данной статье представлены результаты апробации данного комплекса методов на поселении эпохи поздней бронзы Гришкина Рыбалка (юг Западной Сибири). Аэрофотосъемка с применением миниатюрных БПЛА позволила в течение одного рабочего дня получить информацию о рельефе дневной поверхности на площади в сотни м². Показано, что за счет более высокой плотности точек карта относительных высот, построенная по результатам аэрофотосъемки, демонстрирует более информативную картину рельефа, чем тахеометрический план памятника. Благодаря монтажу аппаратуры «Геовизер» на движущуюся за автомобилем платформу, удалось в короткие сроки картировать территорию распаханного зольника. Установлено, что границы зольника больше определенных ранее по шлейфу из подъемного материала. Кроме того, рядом с ним выявлено два новых объекта с аналогичными характеристиками. Доказано, что метод малоглубинного частотного профилирования в совокупности с высокоточной системой позиционирования приближается по производительности к аэрофотосъемке. Благодаря применению электротомографии удалось получить информацию о глубинных характеристиках жилищ. Таким образом, проведенные исследования показали, что опробованный комплекс методов высокоэффективен и позволяет в короткие сроки определять особенности устройства археологических памятников.

Ключевые слова: поселение, эпоха поздней бронзы, аэрофотосъемка, малоглубинное частотное профилирование, электротомография.

Y.G. Karin¹, O.A. Pozdnyakova²✉, E.V. Balkov¹,
I.O. Shaparenko¹, G.L. Panin¹, D.I. Fadeev¹

¹ Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the SB RAS
Novosibirsk, Russia

² Institute of Archaeology and Ethnography of the SB RAS
Novosibirsk, Russia

E-mail: olka.pozdnyakova@gmail.com

Use of Remote Methods for Rapid Assessment of Structure in Archaeological Sites

The majority of archaeological sites has a vast area and often lacks relief, which makes it difficult to assess their composition and boundaries. This required elaboration and implementation of high-precision and high-performance

remote methods in archaeology. Recently, thanks to new geoelectric unit “Geovizer,” designed by the Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the SB RAS, it has become possible to significantly increase effectiveness and accuracy of shallow frequency profiling. Placing this equipment on the moving platform ensured the use of methodology for rapid assessment of structure and composition of archaeological sites, which involves aerial photography, shallow frequency profiling (“Geoviser” unit), and electrical tomography (“Skala” unit). This article presents the results of testing this set of methods at the Late Bronze Age settlement of Grishkina Rybalka (south of Western Siberia). Aerial photography from miniature drones provided information on relief of the surface over hundreds of square meters in one working day. Due to higher density of aerial photography points, the map of relative heights demonstrated more informative picture of the relief compared to tacheometric plan of the site. Setting the “Geoviser” unit on the platform moved by the car has made it possible to map the territory of the plowed ash pit in a short time. It has been established that the boundaries of the ash pit were larger than it had been previously established from the trail of surface finds. In addition, two new objects with similar features were found next to it. The method of shallow frequency profiling combined with high-precision positioning system proved to be similar to aerial photography in terms of performance. Electrical tomography provided information on underground features of dwellings. The study has revealed that the tested set of methods was highly effective and fostered rapid detection of structural features of archaeological sites.

Keywords: *settlement, Late Bronze Age, aerial photography, shallow frequency profiling, electrotomography.*

Введение

В настоящее время эффективность применения методических подходов и аппаратных средств геофизики для решения археологических задач не вызывает сомнений. Общеизвестно, что наиболее востребованными геофизическими методами в этой области являются магнитометрия и электроразведка. Не менее очевидно, что объем работ, выполненных методами геоэлектрики, значительно меньше магниторазведочных, поскольку они менее производительны. Однако с учетом того, какую важную информацию мы получаем посредством геоэлектрики (строение, структура, глубинные характеристики археологических объектов), увеличение производительности не требующих заземления методов электроразведки является актуальной задачей. Решение этой проблемы стало возможным, благодаря разработке на базе ИНГГ СО РАН аппаратуры электромагнитного профилирования «Геовизер». Первые испытания на археологических памятниках, верифицированные данными других геофизических методов, показали эффективность и перспективность новой технологии [Балков и др., 2021а]. С развитием высокоточных систем спутниковой привязки, появилась возможность монтажа данного оборудования на движущиеся платформы. Это, в свою очередь, позволило сформировать комплекс дистанционных методов на базе электроразведки, который дает возможность в короткие сроки получать разноплановую информацию об археологических памятниках. Задачей полевых работ 2022 г. была апробация такого комплекса, включающего аэрофотосъемку, мало-глубинное профилирование (аппаратура «Геовизер») и электротомографию (аппаратура «Скала»). В качестве объектов для исследований были выбраны разновременные поселения. Данная статья посвящена анализу результатов, полученных по итогам работ на поселении Гришкина Рыбалка.

Характеристика объекта исследования

Поселение Гришкина Рыбалка расположено в 5,1 км к ССВ от окраины с. Заречное Тогучинского р-на Новосибирской обл., на мысовидном выступе террасы левого берега р. Иня. Памятник открыт в 1981 г. В.А. Захом и А.Н. Панфиловым. Поселение неоднократно обследовалось в рамках мониторинга и инвентаризации памятников археологии, при этом самые масштабные работы проведены в 2010 г. сотрудниками ГАУ НСО НПЦ под руководством В.А. Сумина. Была сделана топографическая съемка, уточнены границы и пообъектный состав памятника. На пашне собран многочисленный и разнообразный подъемный материал: фрагменты керамических сосудов, орудия труда из камня и кости, а также бронзовые изделия (ножи, наконечник стрелы, бляхи, кольцо, наконечник, браслет). По характеру подъемного материала поселение было отнесено к ирменской культуре эпохи поздней бронзы. В 2014 г. памятник был включен в Единый государственный реестр объектов недвижимости в качестве зоны с особыми условиями использования территории.

Поселение занимает территорию ок. 3,5 га, его юго-восточная половина подвергается регулярной распашке. Остальная часть хорошо задернована. На площади памятника выделено 15 западин и два зольника. Зольник 1, размерами ок. 40 × 50 м, расположен на пашне, у основания мыса. Рельефных признаков он не имеет, но хорошо выделяется по характерному шлейфу подъемного материала из фрагментов керамики и костей животных, в том числе обожженных. Зольник 2 находится за пределами пашни, в 35–40 м к северу от зольника 1. Он имеет аналогичные размеры, но представляет собой пологую возвышенность, высотой до 1,5 м. В выкидах из нор фиксируется археологический

материал, аналогичный находкам из зольника 1. Нельзя исключить, что появление данной возвышенности является следствием современной хозяйственной деятельности, в результате которой часть зольника 1 была перемещена. Западины подпрямоугольной и подквадратной формы имеют размеры от 8×11 до 23×23 м и глубину 0,34–1,63 м. Все они находятся у оконечности мыса, за исключением двух жилищ, выделенных в пространстве между зольниками.

Методы, аппаратура и методика измерений

Аэрофотосъемка. Аэрофотосъемка проводилась с помощью компактного дрона DJI Mavic Air (DJI, Китай). В ходе работ аппаратурой DJI Mavic Air для планирования полетов применялось программное обеспечение (ПО) Drone Harmony Plus (Drone Harmony Infrastructure digitalization, Швейцария). Данные фотограмметрии обрабатывались с помощью ПО Metashape (Agisoft, Россия). Обработка, оформление, визуализация цифровых моделей рельефа и карт относительных высот выполнены в ПО Surfer (Golden Software, США). При обработке данных аэрофотосъемки использован оригинальный подход, заключающийся в построении карты относительных высот [Балков и др., 2021б]. Это снижает влияние естественного рельефа местности и подчеркивает высотные аномалии антропогенного происхождения, что повышает эффективность анализа цифровой модели рельефа. Съемка производилась с высоты 70 м, перекрытие снимков составляло 80 % в двух направлениях.

Электромагнитное профилирование. Малогабаритные аппаратные реализации электромагнитного профилирования и индукционного зондирования, функционирующие в частотной области, достаточно широко распространены и применяются, в т.ч. на археологических памятниках, особенно за рубежом [Dalan, 1991; Huang, Won, 2003]. В таких приборах используются дипольные генераторная и измерительные катушки, расположенные в одной горизонтальной плоскости. Исследования показывают, что для большинства известных приборов свойственны недостатки, заключающиеся в сложностях калибровки, отсутствии компенсации прямого поля и наличии нескольких экстремумов в сигнале от одного приповерхностного объекта [Балков и др., 2017]. В ИНГГ СО РАН ведется разработка двухкатушечной трехчастотной аппаратуры «Геовизер», имеющей оригинальную компоновку катушек с расположением приемной катушки в области компенсации прямого поля генераторной катушки [Карин и др., 2018]. За счет такой кон-

струкции аппарата «Геовизер» лишена перечисленных недостатков.

Профилирование выполнялось на частоте 100 кГц, с привязкой по GPS. Для увеличения производительности аппаратуры прибор перемещался на специальных санях за автомобилем. Адаптированная для сопряжения с приборами электромагнитного профилирования система высокоточного GNSS-позиционирования значительно компактнее, легче и проще в эксплуатации, а также более доступна по сравнению с дорогими, громоздкими и сложными профессиональными геодезическими системами спутниковой привязки. При этом испытанная в ходе работ в городских и полевых условиях система вполне обеспечивает точность (3–5 см в плане), требуемую для археолого-геофизических исследований.

Обработка данных аппаратуры «Геовизер» заключалась в трансформации регистрируемых сигналов в кажущееся удельное электрическое сопротивление (УЭС) в модели однородного полупространства [Фадеев и др., 2018] или анализ непосредственно регистрируемого сигнала. Данный подход дает интегральную оценку УЭС и не позволяет строить горизонтальный срез значений по определенной глубине. Тем не менее принято относить значения к определенной эффективной глубине, которую можно определить сравнением полученных данных с данными других методов, например, метода электротомографии.

Электротомография. Метод электротомографии является развитием классического электроразведочного метода сопротивлений, когда аппаратура представляет из себя многоэлектродную систему с возможностью автоматического переключения питающих и измерительных электродов по заранее заданному протоколу [Dahlin, 2001; Бобачев и др., 2006]. Аппаратура и программное обеспечение для инверсии данных метода электротомографии разрабатываются и распространяются многочисленными зарубежными и отечественными компаниями [Балков и др., 2012]. Для измерений методом электротомографии использована компактная 64-электродная, 16-канальная аппаратная реализация «Скала-64к16». При полевых работах использовалась установка Шлюмберже, шаг между электродами по профилю составлял 1 м. Инверсия данных выполнялась с помощью ПО Res2DInv v.2.22 (Малайзия, <https://www.geotomosoft.com>).

Результаты аэрофотосъемки

На рисунке 1 представлена карта относительных высот в черно-белой гамме. Общий перепад высот составляет 5 м (от –3 до 2 м), возвышения

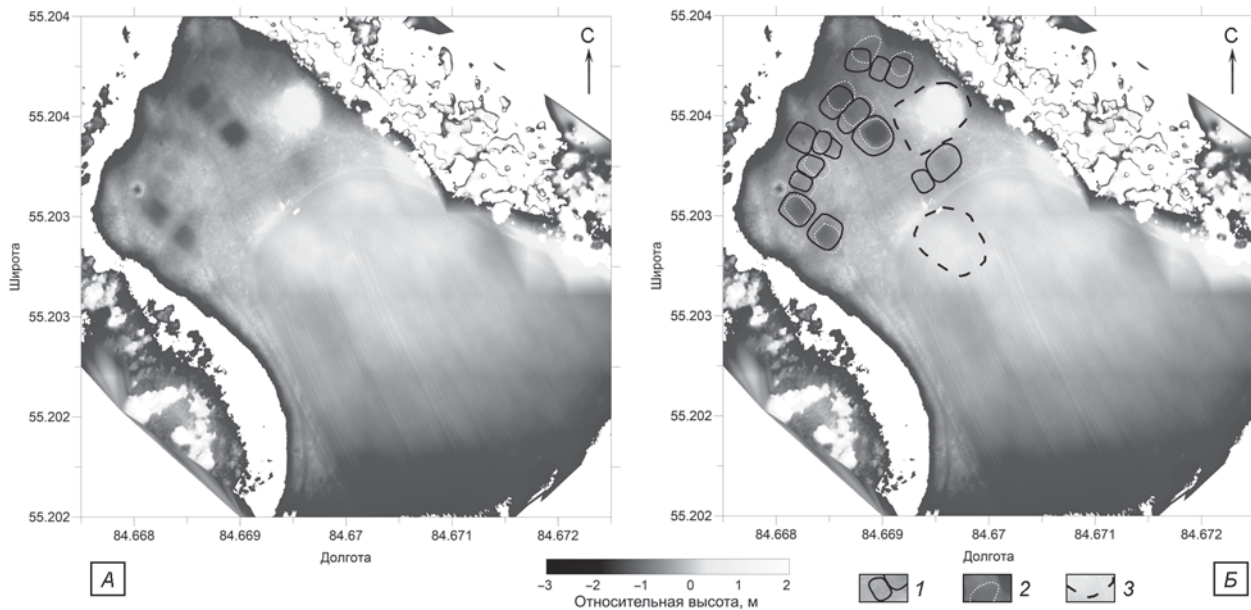


Рис. 1. Карта относительных высот (А) и результат ее сопоставления с топопланом памятника (Б).

1 – контуры западин; 2 – контуры западин по результатам интерпретации карты относительных высот; 3 – границы зольников.

обозначены белым цветом, понижения – черным. При сопоставлении границ западин с топоплана и контуров, выделенных по результатам интерпретации карты относительных высот, видно, что корреляция данных в целом хорошая. Вместе с тем отчетливо заметны и различия в местоположении и размерах западин, выделенных разными методами. Несмотря на то, что тахеометрическая съемка, выполненная при составлении плана памятника, должна иметь точность выше, чем карта относительных высот по данным аэрофотосъемки, более высокая плотность точек последней позволяет построить более информативную карту рельефа дневной поверхности. Некоторые жилищные западины, зафиксированные на плане памятника ранее, не выделяются в виде высотных аномалий с четкими контурами, поэтому они не отмечены на карте относительных высот как возможные археологические объекты. Кроме того, по сравнению с топопланом, на карте высот более отчетливо прослеживается регулярная группировка жилищ и их подквадратная форма.

Результаты электромагнитного профилирования

Электромагнитное профилирование производилось на распаханной части памятника, в районе локализации зольника 1. На рисунке 2 показана карта относительных высот по данным аэрофото-

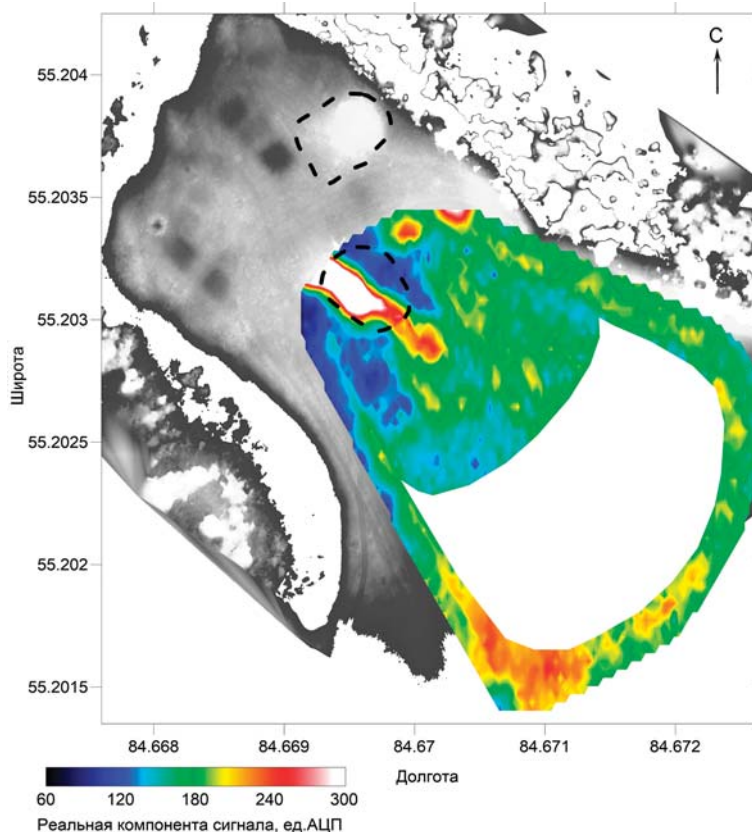


Рис. 2. Результаты электромагнитного профилирования.

Условные обозначения см. рис. 1.

съемки и наложенная поверх нее карта распределения реальной компоненты сигнала аппаратуры «Геовизер», которая буксировалась за автомобилем. Наибольший интерес представляют аномалии повышенного уровня сигнала (более 240 ед. АЦП), которые, судя по всему, связаны с низкоомными, хорошо проводящими электрический ток зольниками. Место расположения самой большой аномалии в целом совпадает с местом локализации зольника 1. Однако контуры зольника по топоплану и форма аномалии существенно отличаются. Наиболее вероятно, что это связано с последствиями растаскивания зольника в юго-восточном направлении распахкой, при этом шлейф из археологического материала здесь уже не фиксируется. Еще две аномалии, близкие по уровню сигнала к зольнику 1, зафиксированы к северу от него. Вероятнее всего, они также связаны с наличием большого количества золы и продуктов горения, а отсутствие на этом месте археологического материала может свидетельствовать об их более глубоком залегании.

Результаты электротомографии

На рисунке 3 представлен геоэлектрический разрез по данным дипольно-осевой установки электротомографии и фрагмент карты относительных высот с рядом западин, расположенных вблизи зольника 2. На геоэлектрическом разрезе только одна жилищная западина (справа) контрастна по УЭС в верхней части разреза, она же самая глубокая (глубина по топоплану 1,6 м). Глубина высокоомной аномалии не превышает 1 м, в то время как предположительная общая глубина данной западины до нижней кромки может достигать 3 м. Два других котлована не выделяются настолько отчетливо. Можно предположить, что их заполнение по своим геоэлектрическим свойствам близко к вмещающей среде. Стоит также отметить, что контуры жилищных западин, выделяемых по рельефу, могут не совпадать с границами котлованов по данным электротомографии (на разрезе, справа). Это может быть связано с особенностями осадконакопления в каждом из котлованов.

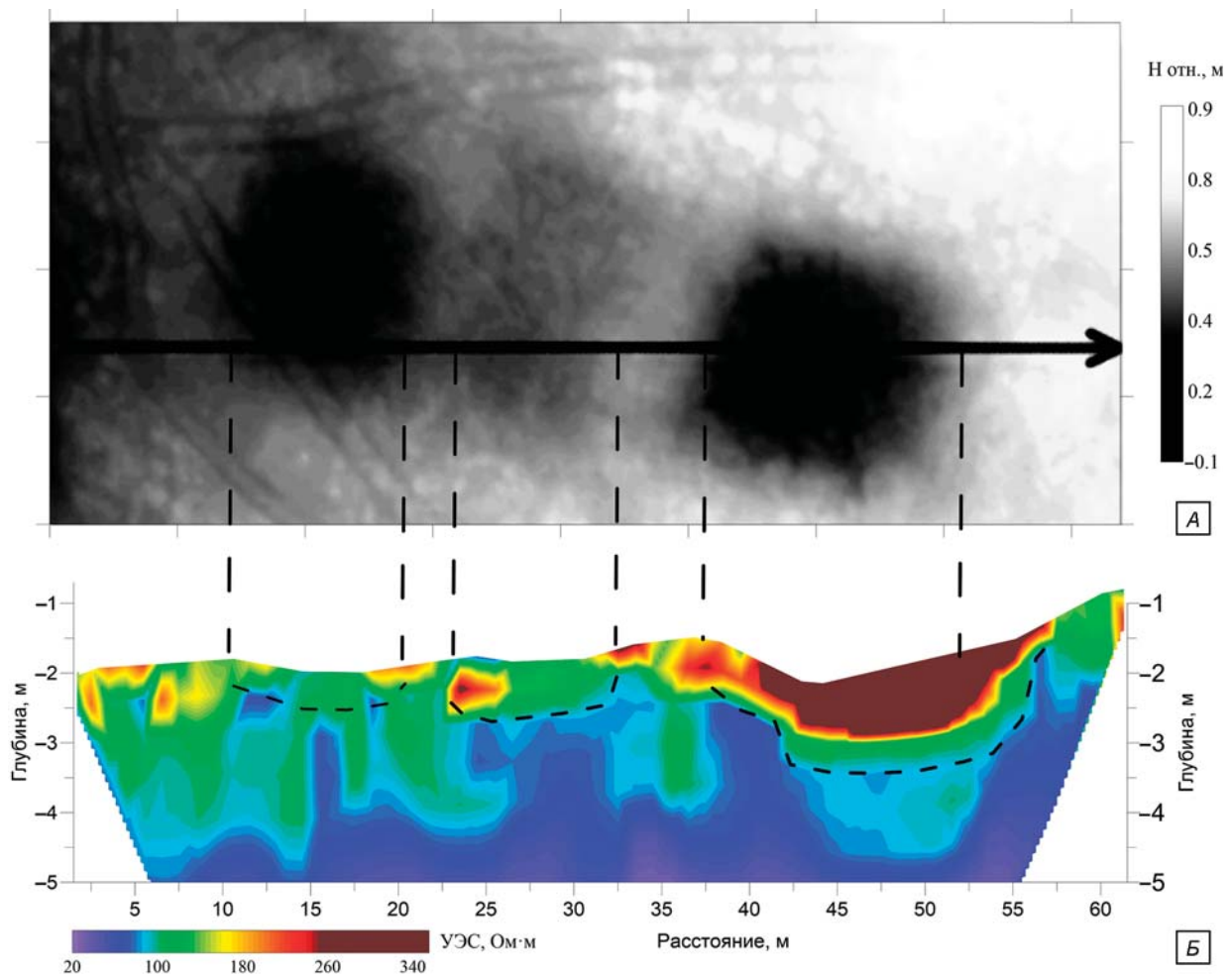


Рис. 3. Фрагмент карты относительных высот (А) и геоэлектрический разрез по данным электротомографии (Б).

1 – линия профиля; 2 – предполагаемые нижние границы жилищных западин.

Выводы

Поставленные коллективом авторов задачи по апробации комплекса дистанционных методов для экспресс-оценки устройства конкретного археологического памятника были успешно выполнены. По результатам полевых исследований, проведенных за один рабочий день, построены карта относительных высот, карта распределения реальной компоненты сигнала по итогам съемки в зоне пашни и геоэлектрические разрезы нескольких жилищ. В результате интерпретации полученных материалов, удалось скорректировать границы распаханного зольника, оценить глубинные характеристики некоторых жилищ, более четко обозначить регулярную планировку поселка и выявить новые зольники. Таким образом, использованный комплекс методов в полной мере продемонстрировал свою перспективность как для детализации уже известных, так и для поиска новых археологических объектов. Вполне очевидно, что это направление очень перспективно и в дальнейшем его необходимо развивать.

Благодарности

Сбор и анализ археологической информации выполнен в рамках проекта НИР FWZG-2022-0006 «Комплексные исследования древних культур Сибири и сопредельных территорий: хронология, технологии, адаптация и культурные связи». Геофизические исследования выполнены в рамках проекта НИР FWZZ-2022-0025. Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам ГАУ НСО НПЦ и лично В.А. Сумину за предоставленную информацию об объекте исследования.

Список литературы

Балков Е.В., Карин Ю.Г., Позднякова О.А., Шапаренко И.О., Гоглев Д.А. Аэрофотосъемка с БПЛА в поисковых задачах археологии: обзор и практические примеры // Геофизические технологии. – 2021б. – № 3. – С. 38–47. – doi: 10.18303/2619-1563-2020-3-38

Балков Е.В., Панин Г.Л., Манштейн А.К., Манштейн Ю.А., Белобородов В.А. Опыт применения электротомографии в геофизике // Геофизика. – 2012. – № 6. – С. 54–63.

Балков Е.В., Фадеев Д.И., Карин Ю.Г., Манштейн А.К., Манштейн Ю.А., Панин Г.Л. Новый подход к малоглубинным электромагнитным зондированиям // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 5. – С. 783–791. – doi: 10.15372/GiG20170508

Балков Е.В., Фадеев Д.И., Карин Ю.Г., Позднякова О.А., Панин Г.Л., Лехнович А.В. Комплексное применение и сопоставление результатов электромагнитного профилирования и электротомографии при исследова-

нии археологических памятников // Геофизика. – 2021а. – № 6. – С. 68–75.

Бобачев А.А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2006. – № 2. – С. 14–17.

Карин Ю.Г., Балков Е.В., Фадеев Д.И., Манштейн А.К., Панин Г.Л., Алымов А.О., Романов Д.Б. Электромагнитное профилирование компактной аппаратурой: новый подход и результаты применения // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Сер.: Информационные технологии. – 2018. – Т. 16, № 4. – С. 68–78. – doi: 10.25205/1818-7900-2018-16-4-68-78

Фадеев Д.И., Балков Е.В., Панин Г.Л., Карин Ю.Г. Калибровка и экспресс-трансформация сигналов компактной аппаратуры малоглубинного электромагнитного профилирования // Геофизика. – 2018. – № 2. – С. 52–57.

Dahlin T. The development of electrical imaging techniques // Computers and Geosciences. – 2001. – 27 (9). – P. 1019–1029. – doi: 10.1016/S0098-3004(00)00160-6

Dalan R.A. Defining archaeological features with electromagnetic surveys at the Cahokia Mounds State Historic Site // Geophysics. – 1991. – Vol. 56, № 8. – P. 1280–1287. – doi: 10.1190/1.1443150

Huang H., Won I.J. Real-time resistivity sounding using a hand-held broadband electromagnetic sensor // Geophysics. – 2003. – Vol. 68, № 4. – P. 1224–1231. – doi: 10.1190/1.1598114

References

Balkov E.V., Fadeev D.I., Karin Yu.G., Manshtejn A.K., Manshtejn Yu.A., Panin G.L. A new approach to shallow-depth electromagnetic sounding. *Russian Geology and Geophysics*, 2017. N 5. P. 783–791. doi: 10.15372/GiG20170508

Balkov E.V., Fadeev D.I., Karin Yu.G., Pozdnyakova O.A., Panin G.L., Lehnovich A.V. Kompleksnoe primenenie i sopostavlenie rezul'tatov elektromagnitnogo profilirovaniya i elektrotomografii pri issledovanii arheologicheskikh pamyatnikov. *Geofizika*, 2021a. N 6. P. 68–75. (In Russ.).

Balkov E.V., Karin Yu.G., Pozdnyakova O.A., Shaparenko I.O., Goglev D.A. Aerofotos'emka s BPLA v poiskovykh zadachakh arheologii: obzor i prakticheskie primery. *Geofizicheskie tekhnologii*, 2021b. N 3. P. 38–47. (In Russ.). doi: 10.18303/2619-1563-2020-3-38

Balkov E.V., Panin G.L., Manshtejn A.K., Manshtejn Yu.A., Beloborodov V.A. Opyt primeneniya elektrotomografii v geofizike. *Geofizika*, 2012. N 6. P. 54–63. (In Russ.).

Bobachev A.A., Gorbunov A.A., Modin I.N., Shevnin V.A. Elektrotomografiya metodom soprotivlenij i vyzvannoj polyarizacii. *Pribory i sistemy razvedochnoj geofiziki*, 2006. N 2. P. 14–17. (In Russ.).

Dahlin T. The development of electrical imaging techniques. *Computers and Geosciences*, 2001. Vol. 27. N 9. P. 1019–1029. doi: 10.1016/S0098-3004(00)00160-6

Dalan R. A. Defining archaeological features with electromagnetic surveys at the Cahokia Mounds State Historic Site. *Geophysics*, 1991. Vol. 56. N 8. P. 1280–1287. doi: 10.1190/1.1443150

Fadeev D.I., Balkov E.V., Panin G.L., Karin Yu.G. Kalibrovka i ekspress-transformaciya signalov kompaktnoj apparatury maloglubinnogo elektromagnitnogo profilirovaniya. *Geofizika*, 2018. N 2. P. 52–57. (In Russ.).

Huang H., Won I.J. Real-time resistivity sounding using a hand-held broadband electromagnetic sensor. *Geophysics*, 2003. Vol. 68. N 4. P. 1224–1231.

Karin Yu.G., Balkov E.V., Fadeev D.I., Manshtejn A.K., Panin G.L., Aymov A.O., Romanov D.B. Elektromagnitnoe profilirovanie kompaktnoj apparatury: novyj podhod i rezul'taty primeneniya. *Vestnik NSU, seriya Informacionnye tekhnologii*, 2018. Vol. 16. N 4. P. 68–78. (In Russ.). doi: 10.25205/1818-7900-2018-16-4-68-78

Карин Ю.Г. <https://orcid.org/0000-0003-1469-5336>

Позднякова О.А. <https://orcid.org/0000-0001-8376-0344>

Балков Е.В. <https://orcid.org/0000-0002-3712-6585>

Шапаренко И.О. <https://orcid.org/0000-0002-5460-6505>

Панин Г.Л. <https://orcid.org/0000-0002-4244-1248>

Фадеев Д.И. <https://orcid.org/0000-0002-9925-9658>