

Geophysical Research Results of Archaeological Sites on The Site of Barun-Hal II in The Baikal Region

Y.A. Davydenko^{1,3,4*}, D.A. Skrypnichenko¹, S.V. Snopkov², A.Y. Davydenko^{1,2}

¹ INRTU, ² ISU, ³ IEC SB RAS, ⁴ LLC «Gelios»

Summary

The purpose of this work is to analyze the results and assess the capabilities of geophysical methods in the area of the Chernorud practice base. Recent decades have been marked by the formation of a new direction in applied earth sciences - archaeo-geophysics. The use of geophysical methods has proved particularly effective in the early, reconnaissance stages of archaeological research. Archaeological excavations are very labour-intensive, without the use of geophysics. Therefore, based on the above, archaeologists are very interested in using geophysical methods to replace continuous excavations with selective ones. A task has been set: to analyze the results of the work already carried out with the help of magneto-exploration methods and electrotomography in the area of Barun Hal II.

Результаты геофизических исследований археологических объектов на участке Барун-Хал II в Прибайкалье

Ю.А. Давыденко* (ИРНТУ, ИЗК СО РАН, ООО «Гелиос»), Д.А. Скрышниченко (ИРНТУ), С.В. Снопков (ИГУ), А. Ю. Давыденко (ИГУ, ИРНТУ),

Введение

В районе Малого моря о. Байкал в 1997 г. в приустьевой части пади Барун-Хал был открыт памятник древней металлургии железа Барун-Хал II (Рисунок 1). Возраст памятника по радиоуглеродному методу – 2180-1750 лет [1-3]. С конца I тыс. до н.э. предметы из железа становятся преобладающими в составе орудийного комплекса жителей западного побережья оз. Байкал. Большинство из них, вероятно, изготовлялось на месте, о чем свидетельствуют остатки металлургического производства, зафиксированные в разных частях региона [1]. Приольхонье не относится к тем районам, где имеются значительные рудопроявления железа. Но для производства этого металла в древности не требовалось такого количества сырья, как для современных промышленных гигантов [2].

В геологическом отношении участок относится к складчатому обрамлению Сибирской платформы и сложен глубоко метаморфизованными породами ольхонского кристаллического комплекса (Рисунок 1а). Использование геофизических методов при изучении подобных объектов позволяет проводить их дистанционное исследование и заменять сплошные раскопки селективными.

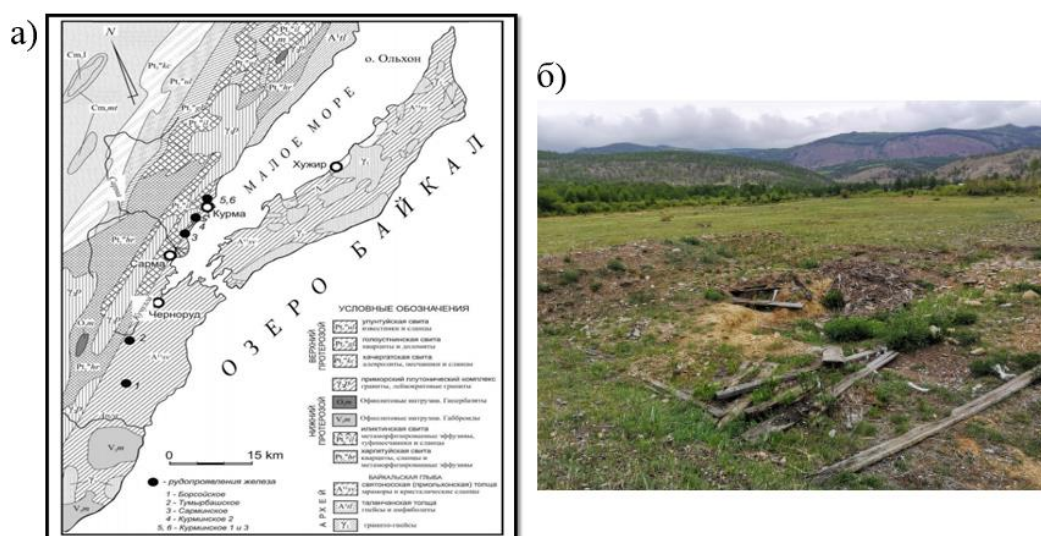


Рисунок 1. а) Обзорная карта Приольхонья, б) Остатки железовосстановительного горна с участка работ Барун-Хал II

Геофизические исследования

В 2017 году были проведены магниторазведочные работы на участке Барун-Хал II, расположенном в 300 метрах от базы практик «Черноруд». Детальная пешеходная магнитная съёмка выполнялась квантовым магнитометром «Геоскан» по 16-ти профилям на равнинной местности с целью выделения объектов древней металлургии. Шаг между профилями составлял 5 м, съёмка велась в непрерывном режиме на частоте 1 кГц при высоте датчика магнитометра над земной поверхностью 0.5 м.

Для исследования участка так же была применена электротомография аппаратурой Скала-64 на 9 профилях длиной по 126 м с расстоянием между профилями 10 м и с шагом между электродами 2 м.

Физико-геологическая модель объекта исследований

В качестве эталона для формирования физико-геологической модели были взяты известные железовосстановительные горны пади Бурун-Хал. В результате были сформированы петромагнитная и петроэлектрическая модели (Рисунок 2).

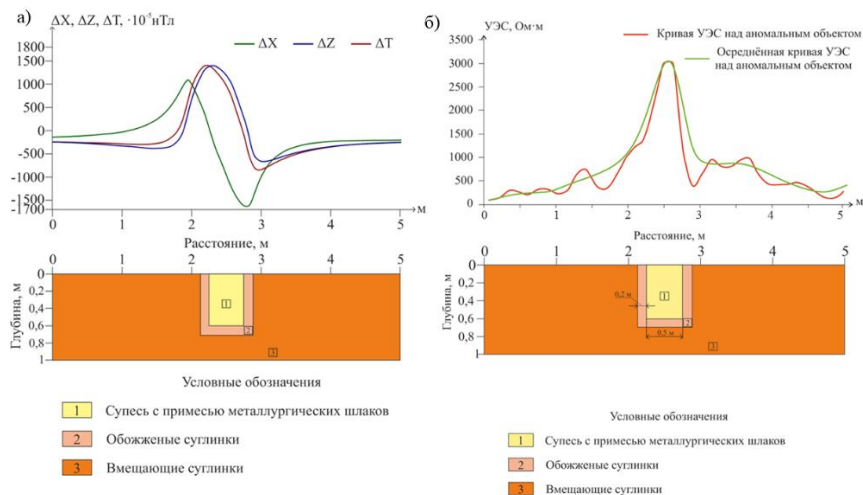


Рисунок 2. Модели исследуемого участка работ: а) Петромагнитная, б) Петроэлектрическая

Аномальное магнитное поле амплитудой около $2000 \cdot 10^{-5}$ нТл. получено путем решения прямой задачи, и обусловлено наличием примесей металлургических шлаков в стенках из обожжённого суглинка

Кривая УЭС над известным горном была получена в результате 3D инверсии данных электротомографии. Объект выделяется аномально высокими значениями УЭС до 3000 Ом·м, что, вероятно, обусловлено высоким сопротивлением стенок из обожженного суглинка.

Результаты на участке Барун-Хал II

Положение известного горна показано кругом на схеме измерений, карте аномального магнитного поля и карте УЭС на глубине 3.5 м, построенной по результатам трехмерной инверсии электрофотографии, выполненной в программе ZondRes3D (автор А.В. Каминский).

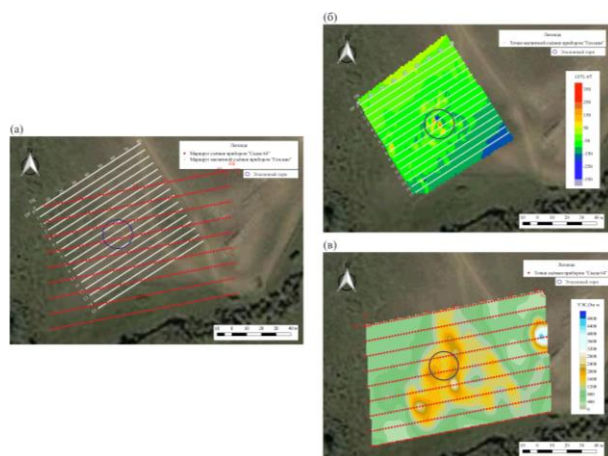


Рисунок 3 Сравнение результатов магниторазведки и электротомографии: а) схематическое расположение электроразведочной и магнитных съёмок, б) карта аномального магнитного поля (магнитометр «Геоскан»), в) карта УЭС (электроразведочная станция «Скала-64»)

Преждевременно делать выводы о наличии объектов древней металлургии только по наблюдаемому магнитному полю полученному в результате съемки пешеходной съёмки, выполненной при помощи квантового магнитометра «Геоскан» в непрерывном режиме. Наличие магнитного мусора и шлаков в верхней части разреза затрудняет интерпретацию магнитных аномалий интенсивностью около 300 нТл.

С целью выделения аномалий от археологических объектов на фоне интенсивных высокочастотных помех в почвенном слое была проведена трехмерная инверсия магнитного поля [4]. В этом случае использовалась 3D-сетка с ячейками $1 \times 1 \times 1$ м до глубины 10 м. По данным инверсии магнитное поле разделено на две составляющие, связанные с соответствующими магнитными неоднородностями (Рисунок 4).

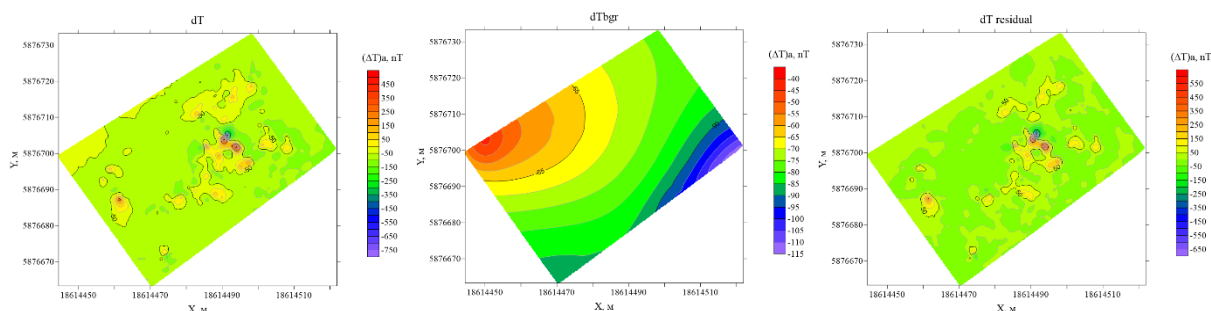


Рисунок 4. Разделение магнитного поля на составляющие магнитных источников различного происхождения: исходное поле; эффект «породных» источников (центр); составляющая, связанная с преобладанием «археологических» источников

Результаты инверсии позволили отделить несущественные мелкие магнитные неоднородности в четвертичных отложениях и оценить местоположение, форму и размеры плавилиных горнов. Последние контрастно выделяются как по магнитной восприимчивости, так и по параметрам остаточной намагниченности термической природы. Следует отметить, что верхние кромки выделенных объектов приурочены к поверхности выравнивания с отметкой 448 м, а в вышележащем приповерхностном слое крупные магнитные неоднородности отсутствуют (Рисунок 5).

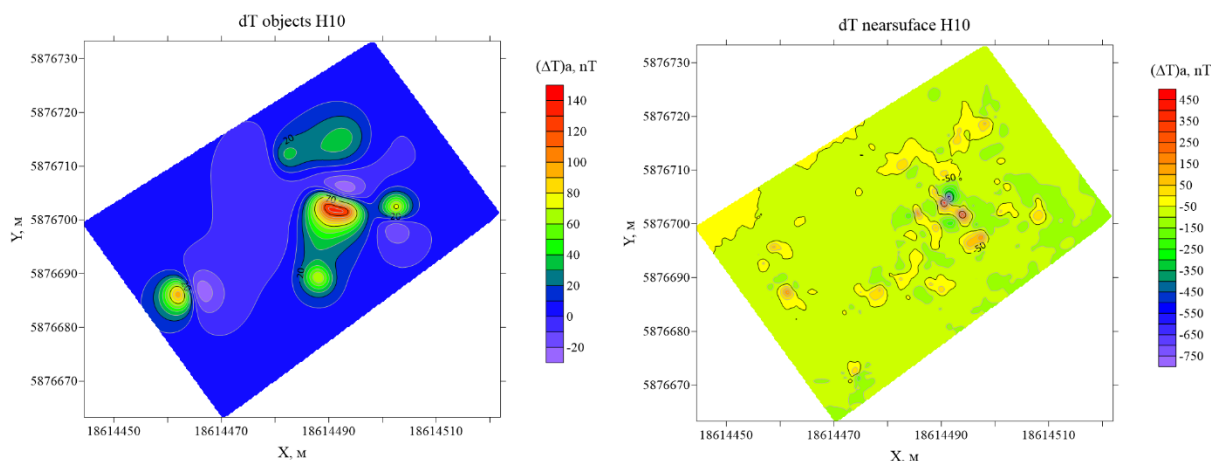


Рисунок 5. Магнитный эффект, предположительно связанный с археологическими объектами (слева) и остаточное поле близ поверхностных неоднородностей. Получены в результате инверсии до глубины 10 м.

Выводы

По результатам трехмерной инверсия данных электромиографии и магниторазведки были выделены на глубине первых метров были выделены аномальные области, перспективные для проведения дальнейших раскопок. В дальнейшем совместно с археологами планируется детально изучить дневную поверхность исследуемого участка с целью интерпретации геофизических аномалии.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-67-47037 «Методологическое и программное обеспечение обработки больших объемов данных электромагнитных зондирований, гравиразведки и БПЛА-магниторазведки на основе комплексного решения трехмерных обратных задач рудной геофизики».

Список литературы / References

1. A.V. Kharinsky, N.O. Kozhevnikov, S.V. Snopkov. Metallurgical centers of the western coast of Lake Baikal, I millennium AD // History and culture of medieval peoples of steppe Eurasia: materials of the II International Congress of Medieval Archaeology of Eurasian Steppes - Ed. - Barnaul: Published in the Alt. Un-ta, 2012. - – 248 с.
2. S.V.Snopkov, G.G.Matasova, A.Y.Kazansky, A.V.Kharinsky, N.O.Kozhevnikov. Sources of ore for iron production in ancient times: Kurminsk archaeological site. (in Russian) // Izvestia Laboratorium of Ancient Technologies: a collection of scientific works / edited by A.V. Kharinskiy. - Irkutsk: IrSTU Publishing House, 2012. - Issue. 9. - – 196 с.
3. N.O. Kozhevnikov, A.V. Kharinskiy. Monument of ancient iron metallurgy Barun-Khal III. // Sociogenesis of North Asia: past, present, future / Proceedings of regional scientific-practical conference. November 12-15, 2003 - Irkutsk: IrSTU Publishing House, 2003. - – 333 с.
4. A.YU. A.Yu. Davydenko. The Inversion of the magnetic field on the basis of elastic network and vector scanning to assess the magnetic susceptibility and residual magnetization of three-dimensional objects // Voprosy of the theory and practice of geological interpretation of geophysical fields: Proceedings of the 45th session of the D.G. Uspensky International Workshop V.N. Strakhov. Voronezh: Publishing and printing center "Scientific Book", 2020. - С. 105-110.