

С целью оценки природы аномалии на второй аномалии был заложен разведочный раскоп размером  $2 \times 1$  м. После снятия почвенного слоя (толщиной около 7 см) в центре аномалии появилось темное пятно около 1 м в поперечнике, представляющее собой насыщенный угольной пылью (древесный уголь) суглинок. По краю пятна хорошо проявилась зона обожженной (кирпичного цвета) глины толщиной около 10 см. После расчистки углисто-го пятна появилась верхняя фурма железовосстановительного горна. Верхняя часть обнаруженного горна подобна распространенным в Приольхонье горнам раннего железного века – имеет треугольную форму со сглаженными углами, а сам горн – форму наклонной треугольной воронки, у которой нижняя фурма выходит в пригорновую яму.

Главной особенностью обнаруженного горна является его расположение. На ранее изученных памятниках «Курминское озеро I», «Курма 28», «Барун-Хал 2» сыродутные горны располагаются по периметру пригорновой ямы, а обнаруженный горн располагается на склоне холма. Подобный одиночный горн обнаружен в Приольхонье впервые. В дальнейшем планируется проведение раскопок в полном объеме для изучения формы железовосстановительного горна.

### Литература

*Снопков С.В.* Использование геофизических и геохимических методов при изучении памятников древней металлургии Приольхонья // Вопросы Естествознания. № 4 (12). 2016. С. 99–102.

*Снопков С.В.* Опыт использования магниторазведки при поиске и изучении памятников древней металлургии железа в Приольхонье (западное побережье Байкала) // Малышевские чтения. Мат. III Всерос. науч. конф. (Старый Оскол, 18–19 мая 2017 г.). Старый Оскол: Изд-во РОСА, 2017. С. 46–56.

*Снопков С.В., Харинский А.В.* Металлургические горны Приольхонья // Древние культуры Монголии и Байкальской Сибири: Мат. III Междунар. науч. конф. (Улан-Батор, 5–9 сентября 2012 г.). Улан-Батор: Изд-во Монг. гос. ун-та, 2012. Вып. 3. С. 241–246.

*Харинский А.В., Снопков С.В.* Производство железа населением Приольхонья в елгинское время // Известия Лаборатории древних технологий. Вып. 2. Иркутск. 2004. С. 167–187.

*С.Ю. Давыденко*

*МГРИ-РРГУ, г. Москва, sofydav@mail.ru*

### **Опыт комплексного геофизического изучения памятников древней металлургии Приольхонья (Западное Прибайкалье)**

*(научные руководители С.В. Снопков, Ю.А. Давыденко)*

Более двух десятилетий комплексные экспедиции ученых, студентов и школьников занимаются поисками и изучением памятников древней металлургии Прибайкалья. [Харинский, Снопков 2004; Снопков, 2017]. За последние двадцать лет в Приольхонье обнаружено несколько десятков подобных памятников.

Наиболее изученными металлургическими центрами являются памятники, относящиеся к раннему железному веку (3 в. до н.э. – 4 в. н.э.). Два крупных металлургических центра этого времени располагаются в распадке Барун-Хал, восточнее базы практик ИрНИТУ (с. Шара-Тогот, Ольхонский р-н, Иркутская обл.). Здесь на территории более 50000 м<sup>2</sup> располагаются два археологических памятника – Барун-Хал-2 и Барун-Хал-3 [Кожевников и др., 2000].

На рубеже эр металлурги Приольхонья использовали ямные горны [Харинский, Снопков, 2004]. Металлургические центры представляют собой предгорновые ямы или каналы

глубиной до 2 м, на краю которых сооружались рабочие камеры железовосстановительных горнов. Нижнее отверстие горнов выходило в яму, а верхнее – на дневную поверхность. Верхние отверстия горнов имели треугольную форму с закругленными углами. Рабочая камера горна имеет форму перевернутой наклонной треугольной пирамиды с закругленными гранями. Нижняя стенка рабочей камеры представляет собой наклонную плоскость, опускающуюся в предгорновую яму под углом 45–55°. Нижнее отверстие горна закрывалось куполообразным, каменно-кирпичным сооружением с отверстиями для поддува воздуха и каналом для вытекания шлаков. Кроме вышеописанных конструкций, встречаются горны, представляющие две овальные ямы, соединенные подземным каналом. Размеры ям на дневной поверхности составляют от 50 × 30 см до 80 × 50 см. Глубины ям изменяются от 20 до 50 см. Подобные горны могли использоваться в качестве как железовосстановительных, так и кузнечных [Харинский, Снопков, 2004].

Одной из проблем изучения древних металлургических центров являются большие территории ими занимаемые, что требует большого труда и времени для раскопок. Одним из способов решения этой проблемы является использование геофизических методов для изучения археологических памятников. Благоприятной предпосылкой использования геофизических методов при изучении металлургических центров в Приольхонье является изменение магнитных и электрических свойств грунтов в результате антропогенного воздействия, а также повышенная магнитная восприимчивость продуктов металлургического процесса (шлаки, зерна крицы, обмазка), которые рассеяны вблизи основных конструкций металлургических центров [Кожевников и др., 2000; Снопков, 2017].

Наиболее высокие значения магнитной восприимчивости имеют продукты металлургического производства. Вмещающие осадочные породы (суглинки с дресвой и щебнем) слабомагнитны – менее 0.25 мили ед. СИ, а средняя магнитная восприимчивость шлаков и обожженных суглинков составляет 5–7 мили ед. СИ. Кроме того, шлаки и обожженные суглинки обладают не только индуцированной, но остаточной намагниченностью. Шлаки и спеченные куски обмазки в локальных скоплениях, в основном, смещены и перемешаны относительно первоначального местоположения, в результате чего вектора остаточной намагниченности артефактов оказываются хаотично направленными, а их суммарная остаточная намагниченность является незначительной. Опыт магниторазведочных работ на металлургических центрах Приольхонья показывает, что наиболее интенсивные и четко выраженные положительные аномалии создают обожженные и оплавленные стенки рабочей камеры горна [Снопков, 2017]. Благодаря использованию магниторазведки появляется возможность более точного определения устройства металлургического центра и мест скопления продуктов металлургического процесса.

В результате антропогенного воздействия также изменяется удельное электрическое сопротивление верхней части разреза. Предгорновые ямы и канавы, заполненные рыхлыми отложениями, как правило, являются более проводящими по сравнению с вмещающими суглинками, а обожженные стенки горнов, ям и канав, наоборот, обладают повышенным удельным электрическим сопротивлением.

Целью опытных геофизических исследований, проведенных на археологическом памятнике Барун-Хал-3, было опробование комплекса геофизических методов при изучении объектов древней металлургии. Для этого на опытном участке были проведены исследования методами магниторазведки, электромагнитного профилирования и электротомографии.

1) Магнитная съемка на исследуемом участке площадью 40 × 20 м выполнялась с помощью геофизического протонного магнитометра ММРОС. Магнитная съемка с протонным магнитометром обладает высокой производительностью. Опираясь на опыт предшествующих работ, была использована следующая методика съемки: сеть – 0.5 × 0.5 м; высо-

та расположения датчика – 0.5 м [Снопков, 2017]. По результатам съемки была построена карта ДТ.

2) Электромагнитное профилирование, в отличие от методов сопротивления с электродами заземлениями, обладает значительно более высокой производительностью. Электропрофилирование выполнялось с помощью аппаратуры NEMFIS [Грайвер и др., 2013] по тому же участку и той же сети, что и магниторазведка. Высота расположения излучателя и приемника составляла 0.5 м. По результатам съемки была построена карта удельного электрического сопротивления.

3) Электротомография применяется для детального геологического расчленения разреза с целью выявления геологических неоднородностей (подземных водоносных горизонтов, таликовых зон и др.). Исследования выполнялись с помощью многоэлектродной 16-ти канальной электроразведочной станции «Скала-64». Глубинность исследований с помощью данного аппаратурного комплекса может превышать 100 м. Разрешающая способность метода зависит от плотности измерений – чем меньше размеры изучаемого объекта, тем выше плотность пунктов измерений [Бобачев, Модин, 2008]. Измерения проводились на участке  $15 \times 20$  м, по сети  $1 \times 1$  м. После первичной обработки данных были построены карты на глубины до 2, 4 и 6 м, а также разрезы по профилям.

В ходе геофизических работ были получены следующие результаты:

1) Магниторазведочная съемка выявила систему локальных пересекающихся линейных положительных аномалий северного и северо-западного простирания, шириной от 2 до 5 м. Аномалии приращений модуля вектора напряженности магнитного поля имеют амплитуду 70–100 нТл. В контур аномалий попадают два горна, раскопанных археологами ранее. В целом, аномалии магнитного поля очертили расположение конструкций металлургического центра. На карте приращений модуля вектора напряженности магнитного поля хорошо выделяются предгорновые канавы с расположенными по краям металлургическими горнами протяженностью до 20 м. Выделяются, как минимум, 4 подобных конструкции, соединенных между собой канавами (переходами).

2) Карта удельного электрического сопротивления, полученная по результатам съемки аппаратурой NEMFIS, демонстрирует общую тенденцию увеличения данной физической характеристики с юго-запада на северо-восток – 300 до 500 Ом\*м, связанную с изменением грунтов и их влажности в распадке Барун-Хал. На фоне этого тренда выделяется зона повышенных значений сопротивления (100–200 Ом\*м) шириной 5–10 м, огибающая конструкции металлургического центра. В центральной части участка находятся две локальные контрастные аномалии повышенной проводимости, связанные с дезинтеграцией грунтов в ходе археологических раскопок.

3) Интересные результаты были получены с помощью электротомографии. Удельное электрическое сопротивление разреза на глубинах 2–6 м изменяется незначительно – 550–600 Ом\*м. На глубине 1.5–4 м в разрезе выделяется линза повышенного сопротивления (700–900 Ом\*м), вероятно, связанная с сезонно-мерзлыми грунтами. В верхней (1.5 м) части разреза сопротивление резко понижается – до 300–400 Ом\*м. Кроме того, в верхней части разреза наблюдаются контрастные аномалии высокого сопротивления – до 500 Ом\*м, связанные с конструкциями металлургического центра, в первую очередь, горнами. Карта распределения удельного электрического сопротивления до глубины 2 м показала пространственное расположение этих антропогенных объектов. Локальные аномалии повышенного электрического сопротивления точно попали в контур аномалий магнитного поля, что свидетельствует об их антропогенном происхождении.

Таким образом, проведенные опытные геофизические исследования на археологическом участке Барун-хал-3 позволили оценить возможности геофизических методов для из-

учения памятников древней металлургии железа. Основным методом, позволяющим выявлять и оконтуривать металлургические центры, безусловно, является магниторазведка. В качестве дополнительного подтверждающего метода оконтуривания конструкций металлургического центра может быть использовано электромагнитное профилирование. Выявленные аномалии повышенного сопротивления, в контуре магнитных аномалий, позволяют интерпретировать их как элементы конструкции металлургического центра (железвосстановительные и кузнечные горны). Дополнительную информацию для реконструкции металлургических центров может дать электротомография, которая позволяет не только выделять неоднородности в верхней части геологического разреза, но и дифференцировать эти объекты по глубине. Конечно, окончательно подтвердить результаты интерпретации геофизических данных могут только археологические раскопки. Но уже до проведения таких работ очевидно то, что локальные аномалии магнитного поля и удельного электрического сопротивления способны выявлять объекты антропогенного изменения верхней части геологического разреза.

### Литература

*Бобачев А.А., Модин И.Н.* Электротомография со стандартными электроразведочными комплексами. // Разведка и охрана недр. 2008. № 1. С. 43–47.

*Грайвер А.В., Давыденко А.Ю., Попков П.А., Слепцов С.В.* Технология интерпретации данных площадных геофизических работ в программном комплексе «GelioSMI» // Мат. 40-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского. М.: ИФЗРАН, 2013. С. 115–120.

*Кожевников Н.О., Кожевников О.К., Никифоров С.П., Снопков С.В., Харинский А.В.* Древний центр металлургии железа в пади Барун-Хал // Байкальская Сибирь в древности. Сб. науч. трудов. Вып. 2. Ч. 2. Иркутск: изд-во ИГПУ, 2000. С. 112–125.

*Снопков С.В.* Опыт использования магниторазведки при поиске и изучении памятников древней металлургии железа в Приольхонье (западное побережье Байкала) // Малышевские чтения. Мат. III Всерос. науч. конф. (Старый Оскол, 18–19 мая 2017 г.). Старый Оскол: Изд-во РОСА, 2017. С. 46–56.

*Харинский А.В., Снопков С.В.* Производство железа населением Приольхонья в элгинское время // Известия Лаборатории древних технологий. Вып. 2. Иркутск, 2004. С. 167–187.

**А.М. Назин**

*ГИАУ ДО Иркутской обл., МБОУ СОШ № 18, г. Иркутск,  
snopkov\_serg@mail.ru*

### **К вопросу о предназначении глиняных валиков при сооружении железвосстановительных горнов в Приольхонье** *(научные руководители С.В. Снопков, В.Э. Данилевская)*

Начиная с раннего железного века на территории Приольхонья (западное побережье пролива Малое море оз. Байкал) происходит массовое получение железа. Этому способствовало широкое распространение легкодоступных богатых железных руд и леса, используемого для отжига древесного угля [Харинский, Снопков, 2004]. Обнаруженные в Приольхонье горны имеют разнообразные конструкции. Наиболее ранние (конец I тыс. до н.э. – начало I тыс. н.э.) представляют собой ямные горны, имеющие наклонную воронкообразную рабочую камеру, выходящую в предгоронную яму [Снопков, Харинский, 2012].

В 2015 г. были проведены раскопки средневековых железодельных горнов, которые представляют собой прямоугольные горизонтальные камеры шириной 35–45 см, длиной 80–90 см и высотой 30–40 см. Объем рабочей камеры горна составлял 0.1–0.15 м<sup>3</sup> (10–