

Использование геофизических методов при поиске и изучении памятников древней металлургии железа в Приольхонье (западный берег Байкала)

Западное побережье центральной части Байкала (Приольхонье) – территория с высокой концентрацией археологических памятников. Лесостепные, граничащие с тайгой, участки побережья озера привлекали древних жителей, начиная с неолита. В Приольхонье известны многочисленные разнообразные археологические памятники: стоянки, захоронения, культовые сооружения, городища, петроглифы, ирригационные сооружения и т.д. Одними из интересных археологических объектов являются памятники черной металлургии. До конца XX в. вопрос о масштабах и технологии получения железа древними жителями Прибайкалья фактически являлся «белым пятном». Кроме немногочисленных упоминаний о находках шлаков и фрагментов железодельных «печей», информация о черной металлургии Приольхонья практически отсутствовала. За последние два десятилетия в области изучения этого вопроса произошел определенный сдвиг. Комплексные исследования центров черной металлургии под руководством профессора ИрНИТУ, доктора исторических наук А.В. Харинского, в которых большую роль сыграли геофизические методы, позволили получить представления о технологии получения железа в Прибайкалье. На территории Приольхонья выявлено несколько типов сыродутных горнов, используемых древними металлургами в разные хронологические периоды [Снопков, Харинский, 2012]. Несмотря на полученные результаты, изучение истории развития черной металлургии в Прибайкалье еще только началось. Нерешенных вопросов, относящихся к этой теме, предостаточно.

По результатам многолетних работ сформировалась многоэтапная методика поисков и изучения памятников древней металлургии железа на территории Приольхонья:

1 этап. Поисковые маршруты с целью выявления мест нахождения металлургических шлаков (главного признака металлургической деятельности). Дополнительными поисковыми признаками является обнаружение (вместе со шлаками) обожженной обмазки, древесного угля в почве, обожженных и закопченных камней, изометричных и вытянутых понижений рельефа, выступающих каменных плит, следов грунтовых отвалов и водоводных каналов, проявлений железных руд. Лесостепные ландшафты Приольхонья, в основном, характеризуются малыми мощностями почв – от 5 до 30 см, поэтому артефакты металлургической деятельности нередко отчетливо видны на поверхности. Большинство памятников черной металлургии были обнаружены по артефактам на проселочных дорогах. Ситуационный план местонахождения шлаков и других следов черной металлургии позволяет сделать первоначальные предположения о местонахождении металлургических конструкций [Снопков, 2015].

2 этап. Изучение образцов шлаков. Изучение строения, химический анализ и измерение магнитной восприимчивости образцов обнаруженных шлаков позволяют предположить тип сыродутного производства. Проведенные исследования выявили то, что шлаки сыродутных горнов разного типа различаются по кислотности, вязкости, химическому составу и содержанию магнитных материалов (железа, магнетита). Физико-химические исследования шлаков позволяют сделать предположения о типе сыродутного горна и скорректировать дальнейшие исследования [Снопков, 2016; Снопков, 2017].

3 этап. Поиск металлургических конструкций и дораскопная реконструкция металлургических центров с помощью геофизических исследований. Для выбора геофизических

методов необходимо выполнение двух основных условий: высокая скорость проведения исследований и однозначность определения присутствия следов черной металлургии. Основным методом решения этой задачи, удовлетворяющим вышеуказанным условиям, является магниторазведка [Kozhevnikov et al., 2018; Снопков, 2017a].

Благоприятными петрофизическими предпосылками для использования магниторазведки являются контрастно высокие магнитные свойства (магнитная восприимчивость, остаточная намагниченность) артефактов металлургической деятельности по сравнению с вмещающими грунтами. Так как для сооружения сыродутных горнов (особенно ямных) и пригорных ям требовалось выкапывать грунт, то места расположения металлургических центров, как правило, выбирались в местах, где его мощность была больше – долины, распадки, западины. Магнитная восприимчивость грунтов, как правило, не превышает 0/7 милиЕд. СИ. Коренные горные породы, магнитность которых хотя и изменяется в широких пределах, но, благодаря своему более глубокому залеганию, оказывают меньшее влияние на характер магнитного поля, чем следы металлургии. Магнитная восприимчивость шлаков и обожженной обмазки на один-два порядка превышает свойства грунтов, и изменяется в диапазоне от 0.13 до 70 милиЕд. СИ. В результате скопления шлаков и обожженной обмазки создают контрастные аномалии напряженности магнитного поля, достигающие 30–100 нТл. Подобные аномалии достаточно уверенно выявляются с помощью современных магнитометров, точность измерения которых не ниже 1 нТл, а природные помехи, как правило, не превышают 5–10 нТл. Еще более высокие амплитуды напряженности магнитного поля создают обожженные стенки и обмазка горнов. Создаваемые ими аномалии достигают 300 нТл и обусловлены влиянием остаточной намагниченности горных пород, возникающей в период остывания раскаленных стенок горна. Аномалии магнитного поля также могут быть связаны с присутствием на территории магнетитовых руд, а также кусочков кричного либо обработанного железа. В этом случае, амплитуда аномалии может изменяться в широком диапазоне от единиц до сотен нТл. Кроме того, магнитовозмущающими объектами являются крупные камни, которые древние металлурги использовали в качестве строительного материала на технологической площадке (закрепление столбиков, выравнивание площадок и т.д.). Горные породы, распространенные в Приольхонье, относятся к метаморфогенным породам раннего палеозоя (ольхонская серия). Среди пород ольхонской серии встречаются образования с повышенными магнитными свойствами (магнетитовые кварциты, ожелезненные гнейсы, габброиды, пироксениты и др.), но, как правило, их магнитная восприимчивость занимает промежуточное значение между грунтами и металлургическими артефактами. Фактически, все перечисленные магнитовозмущающие объекты (связанные с металлургической деятельностью) располагаются в верхней части разреза, на глубине не более 1/5 м [Снопков, 2015; Снопков, 2016; Снопков, 2017a].

Опыт детальных магниторазведочных работ на более чем двух десятках объектов позволил выбрать оптимальную методику выполнения съемки. Наиболее оптимальным масштабом является 1:100. Измерения проводятся по квадратной сети 1×1 м, с детализацией аномальных участков по сети 0.5×0.5 м. Оптимальная высота расположения измерительного датчика магнитометра – 0.5 м. При таком расположении прибора наблюдается высокая чувствительность к магнитовозмущающим объектам в приповерхностной части разреза, при этом высокоградиентные зоны магнитного поля, создаваемого разными объектами на поверхности земли, влияют на работу прибора не критично. Измерения проводились протонными магнитометрами ММП-203 и ММРОС-1.

Для повышения точности работ за счет учета изменения напряженности магнитного поля во времени использовались либо магнитовариационная станция (магнитометр, установленный на контрольном пункте (КП) и включенный в автоматический режим измерений), либо проведение систематических измерений поля на КП через небольшие интервалы времени (10–15 мин., обычно в начале и конце профиля).

Опыт проведения трехкомпонентных и градиентных измерений напряженности магнитного поля магнитометром ММРОС-1 на двух участках показал, что особого эффекта в данных условиях такие измерения не дают, но существенно снижают скорость съемки.

К настоящему времени магниторазведочные работы проведены на 24 памятниках древней металлургии Приольхонья. Результаты магнитных измерений позволили не только выявлять местоположение магнитовозмущающих приповерхностных объектов, ассоциируемых с металлургическими конструкциями и артефактами, но и делать первичную реконструкцию металлургических центров (расположение и тип горнов, форма и размеры пригорновой ямы, места скопления руды, площадки для отвала шлаков и обмазки, укрепительные каменные стенки и др.). Проведенные раскопки 7 памятников подтвердили возможность и корректность подобной реконструкции [Снопков С.В., Снопков П.С., 2013]

Наиболее высокоамплитудными и контрастными аномалиями напряженности магнитного поля на площади металлургического центра отображаются обожженные и оплавленные стенки рабочей камеры горнов. Это связано с высокой остаточной намагниченностью стенок горна. Аномалии, создаваемые горнами раннего железного века, достигают до 300 нТл, у средневековых горнов – 50–100 нТл. Размеры аномалий от горнов, как правило, не превышают 3×3 м. Скопления шлаков и обмазки образуют «изрезанные» аномалии с амплитудами 20–40 нТл. Каменные выкладки создают слабые аномалии амплитудой 10–20 нТл.

4 этап. Детальное изучение территории металлургических центров комплексом геофизических методов. Памятники черной металлургии Приольхонья чрезвычайно разнообразны по своему строению. Технологические площадки, на которых располагались объекты, связанные с получением и обработкой железа, могут значительно различаться по своим размерам и характеру размещения конструкций. Раскопка всего памятника дело трудоемкое, поэтому важно получать максимально возможное количество информации дистанционными методами [Снопков, 2015].

Авторами был опробован ряд электроразведочных методов: электромагнитное профилирование (ЭМП), электротомография методом электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭЗВП) и георадиолокация. Предпосылкой использования электроразведочных методов является различие удельного электрического сопротивления грунтов, скальных пород, материала конструкций и их заполнения. В случае ямных горнов раннего железного века геоэлектрическая модель выглядит следующим образом: вмещающие грунты имеют сопротивление 500–600 Ом*м; у обожженных и оплавленных стенок горнов (толщина 20–30 см) сопротивление повышается до 1500–2000 Ом*м; а у рыхлого песчано-глинистого материала, заполняющего пригорновые ямы, сопротивление снижается до 200–400 Ом*м. Средневековые горны выделяются повышением сопротивления на фоне вмещающих пород за счет вертикальных плит горных пород и спеченной обмазки. Ямы и канавы, присутствующие на технологической площадке, ожидаемо выделяются понижением сопротивления, а выкладки из глыб горных пород – его повышением.

Электромагнитное профилирование выполнялось с помощью электромагнитного сканера «Nemfis», который излучает и регистрирует электромагнитное поле на 14 частотах в диапазоне от 2.5 кГц до 250 кГц. Среднее время одного измерения на всех частотах составляет около 2 сек. Максимальная чувствительность сканера приходится на область низкого удельного электрического сопротивления (0.01–1 Ом*м), что позволяет эффективно выделять проводящие объекты в высокоомной вмещающей среде. Высокоомная среда (более 10 Ом*м) является неблагоприятным условием для проведения исследований, так как чувствительность сканера в этом случае резко снижается. Сканер «Nemfis» предназначен для исследования пространственного распределения удельного сопротивления геологического разреза до глубины 10 м, однако опыт использования аппаратуры на высокоомных разрезах Прибайкалья показывает,

что реальная глубинность метода не превышает 4–5 м. В отличие от методов сопротивления с электродными (гальваническими) заземлениями обладает значительно более высокой производительностью. Последних два фактора (невысокая глубинность и высокая производительность) дают возможность использовать метод при археологических исследованиях.

Для оценки возможностей сканера «Nemfis» на двух памятниках древней металлургии в Приольхонье («Барун-Хал – 3» (ранний железный век), «Черноруд – 2» (средневековые)) были проведены опытные работы ЭМП. Высота расположения излучателя и приемника составляла 0.5 м. Сеть наблюдения – 1×1 м. Данные площадной съемки обрабатывались с помощью регрессионного анализа, в результате которого минимизировался фоновый эффект от коренных горных пород и выделялись приповерхностные объекты, в том числе и археологические. По результатам обработки строились карты удельного электрического сопротивления для разноглубинных слоев геологического разреза.

В результате опытных работ было выявлено, что на фоне поля сопротивлений от горных пород (от 300 до 500 Ом*м) выделяются слабоамплитудные аномалии сопротивления (выше на 50–100 Ом*м), связанные с высокоомными объектами в верхнем (1.5–2 м) слое геоэлектрического разреза. Такими объектами являются мерзлота, выходы и крупные глыбы коренных горных пород, а также археологические объекты: каменные выкладки, металлургические горны, скопления шлаков и обмазки, обожженные стенки пригорновых ям и др. Таким образом, опытные работы показали, что ЭМП дает дополнительную информацию о технологических площадках металлургических центров.

Метод ЭМЗВП заключается в регистрации ЭДС в приемной заземленной линии в момент пропускания через питающий горизонтальный электрический диполь (заземленная линия) импульса тока и переходного процесса после его выключения. ЭМЗВП выполнялся в форме электротомографии. Электротомография предназначена для получения двумерных и трехмерных геоэлектрических разрезов из измерений, полученных на поверхности земли, путем многократных повторных измерений сигнала в приемных линиях, при различных положениях питающей. В результате происходит своеобразная «подсветка» геологического разреза с разных позиций источника, а в ходе интерпретации измеренных данных производятся двумерные или трехмерные преобразования.

Исследования выполнялись с помощью многоэлектродной 16-ти канальной электрозведочной станции «Скала-64» установкой срединного градиента. Проблемным фактором применения метода являлось высокое сопротивление грунтов и заземлений приемных электродов, требующих большой мощности генератора электрического тока. Измерения проводились на двух памятниках: «Барун-Хал-3» и «Курминское озеро-2». Были проведены опытные измерения по сети 0.25×0.5 и 1×1 м. После первичной обработки данных были построены карты на глубины до 2-х, 4-х и 6 м, а также разрезы по профилям. Наиболее интересным для изучения археологических объектов являлся верхний слой геологического разреза (толщиной 2 м). На памятнике «Курминское озеро-2» зоной пониженного сопротивления выделились две соединенные пригорновые ямы, расположенные одна выше другой по склону. По краю пригорновых ям фиксируется зона повышенного сопротивления, создаваемая горнами (которые также хорошо выделяются в магнитном поле).

Георадиолокация основана на излучении импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от различных объектов зондируемой среды. Георадар состоит из импульсного генератора, блок управления, передающей и приемной антенн.

Проведенные опытные работы на археологических памятниках показали, что на площадках металлургических центров выявляются аномальные зоны, которые в том числе совпадают с местами расположения сыродутных горнов. Вопрос о возможностях применения георадара

для изучения памятников черной металлургии в Приольхонье требует своего дальнейшего изучения.

Таким образом, многолетние комплексные исследования памятников черной металлургии в Приольхонье показывают, что использование геофизических методов позволяет не только обнаруживать местонахождение памятников, но и проводить их первоначальную реконструкцию. В результате, геофизические исследования позволяют более рационально спроектировать проведение археологических раскопок.

Литература

Снопков С.В. Поиск и изучение памятников древней металлургии и рудопроявлений железа методами геофизической разведки (на примере археологических и геологических объектов Прибайкалья). // Геоархеология и археологическая минералогия–2015. Миасс: ИМин УрО РАН, 2015. С. 109–114.

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. научн. конф. (Старый Оскол, 18–19 мая 2017 г.). Старый Оскол: Изд-во РОСА, 2017а. С. 46–56.

Снопков С.В. Особенности технологии получения железа в Прибайкалье по результатам исследования древних железосиликатных шлаков. // Геоархеология и археологическая минералогия-2017. Миасс: ИМин УрО РАН, 2017б. С. 154–157.

Снопков С.В., Снопков П.С. Реконструкция металлургических центров по производству железа по магниторазведочным данным (Приольхонье, западный берег Байкала) // Интеграция археологических и этнографических исследований. Иркутск: ИрГТУ, 2013. С. 123–126.

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

Kozhevnikov N.O., Kharinsky A.V., Snopkov S.V. Geophysical prospection and archaeological excavation of ancient iron smelting sites in the Barun-Khal valley on the western shore of Lake Baikal (Olkhon region, Siberia) // Archaeological Prospection. 2018. P. 1–17.

А.М. Назин

*ГАОУ ДО ИО «Центр развития дополнительного образования детей»,
МБОУ СОШ № 18, г. Иркутск,
mail@detirk.ru*

Магнитная восприимчивость шлаков железвосстановительных горнов Приольхонья (Западное Прибайкалье)

(научные руководители *С.В. Снопков, В.Э. Данилевская*)

Приольхонье – западное побережье пролива Малое море озера Байкал – территория, на которой в древности происходило массовое получение железа [Харинский и др., 2004]. Следы черной металлургии прошлого встречаются в виде многочисленных россыпей железосиликатных шлаков. Железосиликатные шлаки – это отходы процесса получения железа. Шлаки, в силу их высокой устойчивости процессам разрушения, служат признаком при поиске памятников древней металлургии железа. Как правило, скопления шлаков располагаются на территории технологических площадок древних металлургов либо вблизи них. Для получе-