

## ДРЕВНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ШЛАКИ ИЗ ПАДИ БАРУН-ХАЛ

Приольхонье, Западное Прибайкалье



**Николай Олегович КОЖЕВНИКОВ**, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры прикладной геофизики и геоинформатики Иркутского государственного технического университета.



**Олег Капитонович КОЖЕВНИКОВ**, кандидат геолого-минералогических наук, работал в Восточно-Сибирском НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, сейчас пенсионер.



**Артур Викторович ХАРИНСКИЙ**, доктор исторических наук, руководитель Центра гуманитарной подготовки ИрГТУ.

Падь Барун-Хал располагается в окрестностях пос. Черноруд Ольхонского района Иркутской области. Свое начало она берет в предгорьях Приморского хребта и спускается к долине р. Кучулга, впадающей в оз. Байкал. В середине 90-х годов при проведении геофизических исследований на территории пади выявлено большое количество железных шлаков — отходов металлургического производства (Кожевников и др., 1998). Дальнейшие археогеофизические работы подтвердили существование в пади Барун-Хал древнего металлургического центра по производству железа (Кожевников и др., 2000). Рекогносцировочные маршруты показали, что металлургические шлаки широко распространены не только на участке Барун-Хал, но и на соседних падах.

В пределах пади Барун-Хал шлаки обнаружены на площади более 15 га. В рассеянном виде они встречаются на дневной поверхности и в верхнем слое почвы, а при раскопках металлургических печей обнаружены в большом количестве на глубине до 2 м. Наибольшее количество шлаков концентрировалось в юго-восточной части пади. В ходе визуального осмотра и археогеофизических исследований здесь выявлено 7 круглых ям диаметром 5—6 м, заполненных рыхлыми отложениями и отходами металлургического производства. На месте одной из ям был разбит раскоп, площадь которого в 2000 г. составила 68 кв. м. В зависимости от толщины рыхлых отложений глубина раскопа в разных его частях была неодинаковой и составляла 0,5—2,1 м.

В центральной части раскопа вскрыта круглая яма диаметром 2,8 м и глубиной 2,1 м, вырытая в плотном серо-желтом суглинке. К северо-западу, западу и юго-западу от нее располагались металлургические горны. Они соединялись с ямой подземными каналами — фурмами. Дно горнов и ямы было на одном уровне, поэтому крица, образовавшаяся в результате восстанови-

тельного процесса, легко извлекалась из горна. Использование площадки на дне ямы для работы у металлургического горна позволяет назвать ее пригорновой, т. е. площадкой, расположенной возле горна. Стоя на ней, металлург контролировал процессы, протекавшие в горне.

Северо-западный и частично юго-западный горны сверху перекрывались выкладкой из камней. Оформление верхней части горнов различно. Загрузочное отверстие северо-западного горна (№ 1 имеет яйцевидную форму, размером 0,95×1,25 м). Острым углом оно ориентировано в сторону пригорновой площадки. Загрузочные отверстия западного (№ 2) и юго-западного (№ 3) горнов напоминают треугольники, обращенные одним из углов в сторону пригорновой площадки. Размеры верхней части горна № 2 — 1,4—0,5 м, горна № 3 — 0,9—1,2 м. В разрезе они имеют воронкообразную форму, через фурму нижняя часть горна соединяется с пригорновой ямой. Глубина горнов № 1 и № 3 — 1,4 м, горна № 2 — 1,55 м. Дно горна № 1 соединено с фурмой под углом 40°, ее внутренний край располагался ниже, чем внешний. Угол соединения дна горна № 3 с фурмой составлял 95°, горна № 2 с фурмой — 110°. Самая длинная фурма у горна № 1. К югу и востоку от ее внешнего края имеется выкладка из четырех- и треугольных кирпичей. У горна № 2 фурма выражена слабо. Создается впечатление, что дно горна выходит непосредственно к пригорновой площадке.

С восточной и северо-восточной сторон площадка окружена бордюром из камней, скрепленных глиной. С северной и восточной сторон к нему подходили вырытые в серо-желтом суглинке траншеи, названные нами каналами. У обоих каналов вертикальные стенки. Ширина восточного канала 0,55—0,65 м, длина 4,3 м, глубина в восточной части 1 м. Восточный конец канала заложен камнями, за которыми фиксируется его подземное продолжение. Ширина северного канала в южной части составляла 1,3 м, в северной — 0,7 м. Его длина 3,2 м. В средней части канала находилась поперечная стенка, сложенная из камней и кирпича, скрепленных глиной. Высота стенки с северной стороны 0,7 м, ширина в основании 0,55 м. Северный конец канала оканчивается у небольшой площадки размером 0,6×1,6 м. В северо-западном направлении от нее отходит еще один канал, отгороженный каменно-кирпичной стенкой шириной 1 м и высотой 0,8 м. Полностью расчистить канал не удалось.

К юго-востоку и югу от пригорновой ямы зафиксированы крупные земельные выемки, заполненные темно-серой супесью. Возможно, это не исследованные горны или края пригорновых ям. Их расчистка перенесена на последующие полевые сезоны.

Обнаруженные в раскопе артефакты (фрагменты керамики и кости животных) не позволяют определить возраст металлургического центра в пади Барун-Хал. Методом радиоуглеродного датирования установлено, что яма, в которой была оформлена пригорновая площадка, сооружена в середине — конце III в. до н.э. (2180± ВР). После этого она неоднократно использовалась, постепенно заполняясь отходами металлургического производства. Наиболее ранние из них имеют дату 2050±35 ВР, а поздние — 1715±50 ВР и 1705 ВР. Очередность сооружения горнов пока не установлена. Получена лишь дата по углю со дна горна № 1 — 1915±35 ВР. При пересчете на календарный возраст (с учетом калибровки) она соответствует середине — концу I в. н.э.

То обстоятельство, что определяющую роль в открытии памятника древней металлургии в пади Барун-Хал сыграли именно шлаки, заслуживает отдельного комментария. До настоящего времени традиционные исследования по археологии железного века были направлены преимущественно на поиски и изучение железных предметов. Распределение изделий из железа рассматривается как основной и наиболее представительный источник информации о том, где и как в древности возникало и развивалось производство железа. К сожалению, железные предметы легко окисляются, и поэтому сохранность их оставляет желать лучшего. Наряду с плохой сохранностью существует и другая проблема, связанная с тем, что металлические изделия могли быть изготовлены где угодно и лишь впоследствии перемещены в то место, где их нашли археологи. **В связи с этим представительность железных предметов и других артефактов, обычно обнаруживаемых в археологических комплексах, является, по меньшей мере, спорной.**

В отличие от железных предметов металлургические и кузнечные шлаки, во-первых, сохраняются намного лучше и дольше и, во-вторых, обычно остаются на том месте, где осуществлялась выплавка и/или обработка металла. **Поэтому, изучая распределение шлаков, можно воссоздать более верную картину динамики древней металлургической активности, чем это обычно удается сделать на основе изучения распределения железных артефактов.**

Наряду с изучением пространственного распределения отходов металлургического производства важным резервом повышения эффективности археологических изысканий является анализ вещественного и минерального состава шлаков. При условии, что анализу подвергаются образцы из достаточно представительной выборки, его результаты служат надежной основой для классификации (типизации) шлаков, которая, в свою очередь, может способствовать более детальной реконструкции древней металлургической деятельности. С позиций же археометаллургии изучение вещественного состава, структуры и минералогии шлаков — это прежде всего средство для решения обратной задачи, т. е. определения состава исходных компонентов металлургического процесса и условий генезиса минералов шлаков.

В последнее десятилетие на конкретных примерах было показано, что изучение шлаков дает ценную информацию для реконструкции особенностей и параметров древних металлургических процессов производства железа. (Keesmann, 1989; Kronz and Keesmann, 1955; Thiemann und Keesmann, 1991).

Ниже изложены результаты выполненного нами анализа вещественного состава, структуры и минералогии шлаков пади Барун-Хал, представляющие первый опыт подобных исследований применительно к объектам древней металлургии Приольхонья.

По макроскопическим визуальным наблюдениям шлаки состоят из фрагментов застывшего вязко-текучего материала. Форма их неправильная, часто округлая, натечная, размеры от нескольких миллиметров до 5, редко 10 см. Характерной особенностью многих образцов является сильная пористость, обусловленная наличием пустот двух типов: мелких сферических пустот размером до нескольких миллиметров, представляющих газовые пузырьки, и более крупных размером до 5—6 см, неправильной формы, являющихся полостями, оставшимися в вязко-жидких шлаках после выгорания кусков угля.

При значительной пористости шлаки имеют большую объемную массу от 3 до 4 г/см<sup>3</sup>, что указывает на высокую плотность слагающего их вещества.

О структуре шлаков без микроскопического анализа судить трудно. При макроскопическом изучении и под бинокулярным микроскопом они кажутся плотной черной массой без следов зернистости. Иногда в образцах видно мелко- и микрозернистое строение черной массы мелкокристаллической структуры. По данным рентгеновской дифрактометрии, в пробах шлаков большое количество аморфного вещества (стекла). На снимках, сделанных при помощи растрового электронного микроскопа при увеличении от 200 до 1000, на одном из участков образца met-10 видно тесное переплетение пятен стекла и зернистого материала; зерна размером от 3 до 20 мкм. Эти данные вполне соответствуют природе шлаков, которые являются продуктом застывания расплавов или полурасплавленного вещества (Колчин, 1953; Колчин и Круг, 1965).

Данные о химическом составе шлаков приведены в табл. 1 (спектральные анализы) и табл. 2 (химические анализы).

Таблица 1

Содержание элементов в шлаках по данным полуколичественного спектрального анализа (%)

Элемент	Проба met-2: мелкопузырчатый шлак	Проба met-4: мелкопузырчатый шлак	Проба met-6: лимонитизированная губка
Si	1—4	3—5	3—8
Al	0,3—0,6	0,5—0,6	0,5—1,5
Na	0,15—0,6	0,1—0,15	0,3
K	<1	не обнаружен	<1
Ca	0,3—1	1—1,5	0,8—1,5
Mg	0,6	0,2—0,3	0,3—1
Fe	60—80	25—30	40—60
Mn	1—3	20—30	0,4—0,6
Cr	0,3	0,02—0,2	0,015—0,03
Ni	0,1	0,02	0,002—0,006
Co	0,004	0,001—0,004	0,003—0,004
Ti	0,04—0,08	0,08	0,15
Ba	0,2	0,7—1	0,015—0,02
P	1—1,5	0,4—0,8	0,2—0,5

Таблица 2

Содержание главных шлакообразующих элементов по данным химических анализов

Образец	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	Ni
met-8	7,8	0,34	2,09	53,20	0,22	1,09	0,37	не обн.
met-9	10,86	0,34	1,97	49,00	0,21	1,25	0,37	не обн.
met-10	5,31	0,40	2,29	55,65	0,08	2,68	0,79	не обн.
met-11	4,04	0,48	3,45	55,65	0,79	1,76	0,17	0,18
met-12	8,23	0,46	2,98	48,65	0,80	2,66	0,79	не обн.

Минералогический состав кристаллической фракции шлаков  
(содержание в массовых%)

Минералы	Номера проб					
	met-1	met-2	met-4	met-6	met-8	
По результатам рентгеновской дифрактометрии						
Фаялит $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$		57,99	-	19,05	41,65	64,89
Кнебелит (манганофаялит) (Fe, Mn) $_2\text{SiO}_4$		-	30,14	-	-	-
Вюстит FeO		17,78	51,81	20,83	40,62	21,39
Железосодержащая шпинель $\text{Mg}(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_4$		16,88	11,81	-	11,07	-
Кварц $\text{SiO}_2$		-	2,22	23,57	6,66	6,36
Альбит $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$		7,35	-	21,81	-	-
Доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$		-	-	8,19	-	7,36
Бругнателит $\text{Mg}_6\text{FeCO}_3(\text{OH})_{13}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$		-	4,03	-	-	-
Аннит 1-М $\text{KFe}_3$ $(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})$		-	4,03	-	-	-
Металлическое железо Fe		-	-	+	-	-
По результатам магнитных анализов						
Магнетит $\text{FeFe}_2\text{O}_4$	0,05	0,12	0,28	7,08	-	
Манганомгнетит (Fe, Mn) $\text{Fe}_2\text{O}_4$	-	0,18	-	-	-	
Маггемит $\checkmark\text{Fe}_2\text{O}_3$	-	-	-	-	1,77	
Металлическое железо Fe	0,006	0,03	0,22	0,22	-	
Цементит $\text{Fe}_3\text{C}$	0,01	?	-	?	-	
Ферро-и ферримангнитная фракции в целом	0,07	0,35	0,50	7,46	1,77	

+ минерал присутствует, но количество не определено

? имеются следы присутствия минерала

- минерал не обнаружен

Из табл. 1—2 видно, что элементом, доминирующим во всех пробах, является железо, которое составляет около половины массы шлаков. На втором месте, значительно уступая железу, находится кремний, за которым следуют алюминий, кальций и магний. Эти пять элементов в соединении с кислородом создают почти всю гамму шлакообразующих минералов. С помощью спектрального анализа было обнаружено много и других элементов, но они присутствуют в малых количествах и существенного значения для характеристики состава шлаков не имеют. Лишь в единичных пробах некоторые из элементов (Mn, Ni, Cr, Ba, P) встречаются в концентрациях, которые необходимо учитывать при детальном изучении шлаков.

По данным двух микрозондовых анализов, относящихся к разным точкам одного образца крупнопористого шлака, в одной из точек доминирующими элементами являются железо и кремний, а в другой — железо и кислород. Эти анализы демонстрируют резкую неоднородность шлаков на микроуровне: если в первой точке можно предположить железисто-силикат-

ный минерал (фаялит), то во второй преобладает оксид железа (скорее всего, вюстит) и, возможно, металлическое железо.

Представление о минеральном составе шлаков (табл. 3) дают результаты рентгеновского дифрактометрического анализа (выполнены в ЯНИГП ЦНИГРИ, г. Мирный), а также магнитных анализов, выполненных в палеомагнитной лаборатории ВостСибНИИГиМСа (г. Иркутск).

Из табл. 3 видно, что главное место среди шлакообразующих минералов занимают богатые железом фаялит и вюстит, в сумме составляющие от 68 до 76%; только в одной пробе, представляющей лимонитизированную железную губку, количество этих минералов не превышает 40%. Несмотря на сравнительное постоянство суммарного содержания фаялита и вюstitа, количество каждого из них в пробах варьирует от 18 до 65%. В пробе met-4 с высоким содержанием марганца фаялит представлен марганцевистой разностью — кнебелитом.

На вюстите следует остановиться особо. Он устойчив только при температуре выше 575° С и в случае медленного охлаждения ниже этой температуры превращается в смесь магнетита и металлического железа. Тем не менее сохранение его в шлаках вполне возможно, так как при малых объемах шлаки охлаждаются быстро и являются в той или иной степени закаленными образованиями, сохраняющими без изменения неустойчивые при медленном охлаждении минералы, в том числе и вюстит. Однако встретить чистые порции вюstitа при этом маловероятно: в зависимости от скорости охлаждения часть его все равно распадается, и практически он всегда содержит в рассеянном виде то или иное количество магнетита и металлического железа.

К типичным шлакообразующим минералам, обнаруженным рентгенодифрактометрическим анализом, следует отнести также железистую шпинель, найденную в трех пробах в количестве от 11,7 до 16,8%. Из других минералов обращают на себя внимание кварц и альбит.

В пробе шлака met-6 установлено присутствие металлического железа, но количественно содержание его не определено. Зато в некоторых пробах обнаруживается визуально, на шлифованной поверхности образцов. Благодаря блеску и белому цвету оно хорошо выделяется на монотонно-темном фоне шлака в виде сплошных зерен прихотливой формы и тонких извилистых прожилков. Количество проб с видимым железом невелико — не превышает 5% от всех просмотренных образцов. Содержание металлического железа в этих образцах визуально может быть оценено от сотых долей до целых процентов.

В верхней части табл. 3 указаны только те минералы, которые содержатся в шлаках в количестве, превышающем порог чувствительности рентгеновского дифрактометрического анализатора (первые проценты). Полный список, включающий в себя минералы, присутствующие в меньшем количестве, еще не составлен. Имеются лишь данные о содержании минералов-магнетиков, полученные магнитными методами анализа, список которых приведен в нижней части табл. 3.

Среди магнитных минералов в изученных пробах доминирующими являются магнетит и его разновидность манганомангнетит, а также маггемит, близкий к магнетиту по структуре и магнитным свойствам и представляющий, по

сути, его окисленную разновидность. Металлическое железо по содержанию значительно уступает этим минералам, и только в пробе met-4 содержание его по порядку величины приближается к содержанию магнетита. Однако в других случаях оно может играть более важную, а иногда и главную роль в составе и магнетизме шлаков, о чем говорят находки образцов с высоким содержанием макроскопически видимого железа. К сожалению, эти образцы пока не проанализированы.

### Выводы

1. Исследования химического и минерального составов образцов шлаков из пади Барун-Хал со всей определенностью указывают на то, что это металлургические шлаки, образовавшиеся в качестве побочного продукта при сыродутном производстве железа. Этот вывод, а также распространенность шлаков на площади не менее 15 га, свидетельствуют о том, что в древности в пади Барун-Хал осуществлялась интенсивная металлургическая деятельность.

2. Разумеется, результаты наших анализов вследствие их предварительного характера и весьма ограниченного объема не позволили осуществить реконструкцию процесса получения железа. Тем не менее при их сопоставлении с упомянутыми выше публикациями, где описаны случаи успешных археометаллургических реконструкций на основе исследований петрологии шлаков (Keesmann, 1989; Kronz and Keesmann, 1995; Thiemann und Keesmann, 1991), становится ясно, что в принципе для условий Приольхонья такая реконструкция возможна прежде всего за счет представительного отбора проб шлаков и фрагментов печей (особенно их внутренних поверхностей), увеличения количества образцов, использования специальных методик из арсенала современной экспериментальной и технической петрологии.

### Литература

- Кожевников Н.О., Кожевников О.К., Харинский А.В. Как поиски решения геофизической проблемы привели к открытию археологического памятника // Геофизика. 1998. № 6. С. 48—60.
- 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. Иркутск, 2000. Вып. 2. Ч. 2. С. 166—195.
- Колчин Б.А. Черная металлургия и металлообработка в Древней Руси (домонгольский период). М.: Изд-во АН СССР, 1953.
- Колчин Б.А., Круг О.Ю. Физическое моделирование сыродутного процесса производства железа // Археология и естественные науки. М.: Наука, 1965. С. 196—216.
- Keesmann I. (1989). Chemische und mineralogische Detailuntersuchungen zur Interpretation eisenreicher Schlacken. Archaeometallurgy of iron 1967—1987. Symposium Liblice 1987, 17—34. Prag.
- Kronz A., Keesmann I. (1995). Die vorneuzietliche Eisentechnologie im Lahn-Dill. Gebiet. Chemische und mineralogische Untersuchungen // Eisenland — zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlungen Nassauischer Altertumer im Museum Wiesbaden, 29 Januar — 23 Juli, 1995. Hrsg. B. Pinsker. Seiten 215—234. Wiesbaden, 1995.
- Thiermann U., Keesmann I (1991). Chemische und mineralogische Untersuchungen von Eisenschlacken aus Waldgesheim, Kreis Mainz-Bingen. Jahrbuch des RGZM Mainz 35 (1988), 686—688 (Inga Serning-Sonderband).

**SUMMARY:** «Ancient Metallurgical Slag from Burun-Khal Depression» is the title of article of the authors from Irkutsk Technical University. It is written on the base of investigation of chemical and mineral composition of slag samples from Barun-Khan Depression the place where there were metallurgic works in the ancient times.