

*И.А. Блинов<sup>1</sup>, М.Н. Анкушев<sup>1</sup>, Н.Б. Виноградов<sup>2</sup>, А.М. Юминов<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс*

*<sup>2</sup> – Челябинский государственный педагогический университет  
ivan\_a\_blinov@mail.ru*

## **Геохимические особенности металлургических шлаков и руд поселения Устье (Южный Урал)**

Древнее поселение Устье находится в 30 км севернее г. Карталы, на севере степной части Южного Урала, в 5.8 км юго-западнее пос. Солнце Варненского района. Микрорайон древнего поселения был открыт и впервые обследован разведочным отрядом археологической экспедиции ЧГПИ в 1983 г. Автором раскопок в 1984–1991 гг. был д.и.н. Н.Б. Виноградов. В последующее время на поселении работал большой коллектив исследователей широкого профиля из разных стран.

Укрепленное поселение Устье функционировало без значительного перерыва в конце среднего и начале позднего бронзового века. В его истории выявлено наличие двух периодов: синташтинского и петровского. Значительная часть артефактов, найденных на поселении, связана с металлургией и металлообработкой медных сплавов (найденны остатки металлургических печей, медные руды, шлаки, капли и слитки металла, заготовки-отливки, металлические изделия). Анализ металлических изделий проводился А.Д. Дегтяревой и С.В. Кузьминых. Ведущей металлургической группой в изделиях металла поселения Устье является «чистая» медь (53.4 % находок), вторая по численности группа мышьяковой меди и бронзы (25.4 % находок), далее идет группа оловянных бронз (13.6 % находок), последняя группа представлена комплексной оловянно-мышьяковой бронзой (7.6 % находок) [Древнее Устье..., 2013].

В ходе работы нами были изучены образцы руд и шлаков. Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) проводился в Институте минералогии УрО РАН на портативном приборе Innov-X  $\alpha$ -4000, режимы Soil и Process Analytical, аналитики И.А. Блинов. Особенностью метода является то, что анализируется небольшой участок площадью 1 см<sup>2</sup>. С каждого образца сделано по одному анализу. Чувствительность прибора для наиболее распространенных примесей (Zn, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Ni) составляет около 10 г/т.

Образцы руд, обнаруженные на поселении, представляют собой небольшие кусочки азурит-малахитовых и малахитовых окисленных руд, образующих мелкозернистые агрегаты и короткопризматические кристаллы. Также руды представлены бурыми железняками с корками малахита, вкраплениями тенорита и куприта. Среди примесных элементов в рудах обнаружены Pb, Zn и Bi.

Образцы шлака визуально различаются по ряду признаков. По визуальному осмотру предшественниками было выделено две группы: лепешкообразные шлаки с утолщенными валиковыми краями по периферии, бугристой верхней и ровной пористой нижней поверхностями; ко второму типу относятся комочки бесформенного плотного шлака темного цвета с оплавленными внешними поверхностями [Древнее Устье..., 2013]. Нами при осмотре было выделено три типа шлака, главным образом, по развитию пористости.

Тип 1: плотные, непористые или слабопористые шлаки, лепешковидной формы с гладкой поверхностью образца (48 образцов);

Тип 2: слабо- или среднепористые шлаки, с неровными, комковатыми поверхностями (121 образец);

Тип 3: сильнопористые, пемзовидные шлаки (36 образцов).

Всего нами изучены 206 образцов шлака (табл. 1).

Общая выборка. Среди металлов выявлены Cu, Ni, Zn, As, Sn, Sb, Pb и Bi, зачастую шлаки содержат по несколько металлов-примесей сразу. В целом, по всей коллекции Cu фиксируется в большинстве образцов (187 анализов, 91 % случаев, табл. 2), остальные металлы распространены реже Pb (104 анализа, 50 % случаев), As (122 анализа, 49 % случаев), Zn (83 анализа, 40 % случаев), Bi (79 анализов, 38 % случаев), Sn (14 анализов, 7 % случаев), Ni (9 анализов, 4 % случаев), Sb (2 анализа, 1 % случаев) (табл. 1). Среди компонентов отмечается положительная корреляция Pb-Bi (0.87), Cu-Bi (0.76), Cu-Sn (0.63), отрицательная As-Sn (-0.64).

Эти данные показывают, что наиболее распространенными компонентами, кроме Cu, являются Pb, As, Zn, Bi. Остальные компоненты распространены реже. Наличие положительной корреляционной связи нескольких компонентов свидетельствует том, что данные легирующие компоненты добавлены не случайно, а шли или как результат преднамеренного смешения или же как результат переплавки комплексных руд.

Морфологические различия между различными типами шлаков могут быть связаны как с разными фазами и способами технологической переработки руд. Статистическая обработка результатов анализа с выборками, разбитыми по морфологическим группам шлака, показывает следующие результаты.

Тип 1. Наиболее распространенными металлами являются Cu (46 анализов, 96 % случаев, табл. 2), Pb (31 анализ, 65 % случаев), As (29 анализов, 60 % случаев), Bi (28 анализов, 58 % случаев), Zn (9 анализов, 19 % случаев), Sn (3 анализов, 6 % случаев), Ni (2 анализов, 4 % случаев), Sb (1 анализ, 2 % случаев). Положительная корреляция наблюдается Pb-Bi (0.87) Cu-As (0.55). В этой группе относительно всей выборки повышено количество шлаков с As, Pb, Bi, понижено количество шлаков с Zn.

Тип 2. Наиболее распространенными металлами являются Cu (116 анализов, 96 % случаев, табл. 2), As (87 анализов, 72 % случаев), Pb (69 анализов, 57 % случаев), Bi (50 анализов, 41 % случаев), Zn (40 анализов, 33 % случаев), Sn (10 анализов, 8 % случаев), Ni (3 анализа, 2 % случаев), Sb (1 анализ, 1 % случаев). Положительная корреляционная связь отмечается у Pb-Bi (0.89), Cu-Bi (0.76). Отрицательная корреляционная связь Sn-Bi (-0.89), As-Sn (-0.64). В этой группе относительно всей выборки резко повышено количество шлаков только с As.

Тип 3. Наиболее распространенными металлами являются Zn (34 анализа, 94 % случаев, табл. 2), Cu (24 анализа, 67 % случаев), As (6 анализов, 17 % случаев), Ni (4 анализа, 11 % случаев), Pb (3 анализа, 8 % случаев). Положительная корреляция отмечается только в случае Cu-Zn (0.66). Третий тип шлака разительно отличается от общей выборки и от других типов. Здесь примечательно высокое содержание Zn, пониженное – Cu, As, Pb, общие содержания Bi ниже предела чувствительности прибора.

Таблица 1

## Состав исследованных образцов шлака из поселения Устье

№ п.п.	№ анализа	тип шлака	Ni	Cu	Zn	As	Sn	Sb	Pb	Bi	Инв. №
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	1	-	2309	-	548	-	-	60	24	9364
2	3	1	-	10556	-	-	-	-	233	49	10171
3	4	1	-	7991	111	923	-	-	72	24	10085
4	5	2	-	1414	-	148	-	-	-	-	10071
5	6	1	785	134	168	-	-	-	885	-	10284
6	7	2	-	-	-	-	-	-	407	120	10129
7	8	2	-	3223	-	-	-	-	-	-	10234
8	9	2	-	5378	-	891	-	-	197	62	9426
9	10	1	-	2888	-	-	-	-	193	53	10178
10	11	2	-	11818	74329	-	1082	-	95	41	9393
11	12	1	-	1867	-	554	-	-	71	35	10001
12	13	1	-	3817	-	1269	-	-	-	-	10377
13	14	1	-	639	-	-	-	-	465	144	10029
14	15	1	-	4633	-	363	-	-	-	25	10065
15	16	2	-	8515	-	389	-	-	113	39	9425
16	17	2	-	43472	-	1078	-	-	117	40	10696
17	18	2	-	960	-	89	-	-	103	-	10853
18	19	2	-	1989	-	1074	-	-	-	-	10258
19	20	2	-	13114	-	250	-	-	-	-	10387
20	21	2	-	8501	-	661	-	-	111	39	9946
21	22	2	-	8774	-	261	-	-	113	26	10388
22	23	3	100	54	143	-	-	-	-	-	10832
23	24	1	-	3375	-	505	-	-	137	42	9413
24	25	1	-	1503	-	-	-	-	97	38	10177
25	26	1	-	5350	-	-	-	-	93	26	10176
26	27	1	-	3718	-	315	-	-	-	-	10269
27	28	1	-	-	189	-	-	-	-	-	10225
28	29	1	-	9483	-	318	-	-	283	66	9407
29	30	1	-	1696	-	894	-	-	58	21	9414
30	31	2	-	1143	-	304	-	-	-	-	10376
31	32	2	-	24047	-	1658	-	-	128	35	10290
32	33	2	-	6577	88	2147	183	-	-	-	10290
33	34	2	-	4750	360	-	-	-	258	64	10649
34	35	2	-	6688	99	838	-	-	-	25	10172

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
35	36	2	820	34324	432	4574	-	-	64	18	9408
36	37	3	327	115	125	28	-	-	-	-	10165
37	38	3	-	14100	-	1757	-	-	-	-	10285
38	39	3	-	2792	-	62	-	-	-	-	10252
39	40	1	-	18003	237	-	-	-	173	-	10681
40	41	2	-	2780	-	245	-	-	-	-	10653
41	42	2	-	4145	-	3490	-	-	-	-	10652
42	43	2	-	17829	170	-	-	-	92	-	10648
43	44	1	-	32849	-	1828	-	-	-	25	10862
44	45	1	-	1439	-	187	-	-	-	26	10778
45	46	1	-	3213	-	555	-	-	56	-	10869
46	47	1	-	8658	1278	749	-	-	209	-	10866
47	48	2	-	2002	150	678	-	-	159	-	10772
48	49	2	-	2532	70	1371	-	-	108	-	10772
49	50	2	-	6905	-	2019	-	-	-	-	10651
50	51	2	-	1693	-	375	-	-	-	24	10658
51	52	1	-	7718	1176	508	-	-	133	-	10867
52	53	2	-	15007	932	533	-	-	164	-	10831
53	54	2	-	113136	-	5141	-	-	-	-	10657
54	55	2	-	86567	-	5849	-	-	-	-	10656
55	56	2	-	7681	-	857	-	-	67	-	10719
56	57	2	-	1390	219	73	-	-	-	-	10969
57	58	3	-	2094	162	512	-	-	-	-	10793
58	59	3	-	84	131	-	-	-	-	-	9296
59	60	1	-	1138	-	-	-	-	330	83	1300
60	61	2	-	4157	107	984	-	-	-	22	5110
61	62	2	-	16765	-	394	-	-	90	24	1292
62	63	2	-	2290	-	589	-	-	51	-	6008
63	64	3	-	57	178	-	-	-	-	-	7735
64	65	3	-	134457	1019	-	-	-	1900	-	1309- 1310
65	66	1	-	3209	-	-	382	-	321	46	6819
66	67	1	-	1615	-	-	-	-	112	-	6819-2
67	68	1	-	4456	-	-	300	-	239	43	6819-3
68	69	2	-	591357	3270	155	-	-	-	-	1931
69	70	2	-	25214	2712	-	8134	-	105	25	1892
70	71	3	192	891	93	23	-	-	-	-	1587

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
71	72	2	-	60	181	-	-	-	-	-	8808
72	73	2	-	1208062	-	-	-	-	2294	-	7810
73	74	2	-	239533	1325	-	-	-	3823	-	1311
74	75	3	-	196	150	-	-	-	-	-	7001
75	76	3	-	20350	1153	-	-	-	4758	-	1304
76	78	2	-	6769	-	2007	-	-	-	-	10675
77	79	2	-	13133	-	1166	-	-	-	-	10149
78	80	2	-	2227	-	1892	-	-	107	33	10631
79	81	2	-	2423	-	168	-	-	157	51	10674
80	82	2	-	2242	-	339	-	-	71	-	10664
81	83	2	-	68274	-	2501	-	-	-	-	10025
82	84	2	-	2560	-	732	-	-	-	-	10625
83	85	2	-	8279	1102	517	-	-	84	22	10661
84	86	2	-	4354	-	380	-	-	-	22	10236
85	87	2	-	-	122	-	-	-	245	74	11270
86	88	2	-	854	-	-	-	-	76	23	10613
87	89	1	-	5052	-	475	-	-	186	20	3290
88	90	2	-	1318	4686	275	-	-	89	-	1390
89	91	2	-	918540	-	-	-	-	1330	1069	5132
90	92	2	-	3454	80	570	-	-	-	-	7749
91	93	1	-	17873	-	2194	-	-	-	-	5126
92	94	2	-	33747	965	147	-	-	624	48	5130
93	95	2	-	2314	-	60	236	-	-	-	5127
94	96	2	-	17431	-	6056	-	-	366	-	1677
95	97	2	-	10143	733	82	1094	-	-	-	5129
96	98	2	-	461066	2553	77	-	-	-	-	5131
97	99	2	-	3326	-	1670	-	-	92	-	5128
98	100	3	-	56	33	-	-	-	-	-	3358
99	101	2	-	-	261	-	-	-	40	-	246
100	102	2	-	8583	-	1736	-	-	53	-	4485
101	103	2	-	16286	-	392	-	-	-	-	1638
102	104	2	-	4173	-	274	-	-	61	13	1546
103	105	2	-	64	-	191	-	-	-	-	1773
104	106	2	-	481750	-	70	-	-	-	-	5344
105	107	2	-	10768	110	879	-	-	65	-	8962
106	108	2	-	-	-	252	-	-	-	-	1769
107	109	2	-	583082	-	86	-	-	141	-	5317

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
108	110	1	-	5235	-	473	-	-	-	-	10691
109	111	1	-	2523	-	1985	-	-	86	33	47
110	112	1	743	3417	-	487	-	-	-	-	9882
111	113	2	-	10656	-	5969	-	-	-	-	10689
112	114	2	-	5511	154	3010	-	-	159	-	1364
113	115	2	-	2626	545	686	-	-	335	26	9171
114	116	3	-	78	451	-	-	-	-	-	8182
115	117	3	-	59	37	-	-	-	-	-	7786
116	118	3	-	-	86	-	-	-	-	-	8313
117	119	2	-	746055	2324	-	-	-	-	48	7745
118	120	2	-	9901	-	72	-	-	-	50	9088
119	121	2	1073	269630	3214	-	-	-	8509	-	6242
120	122	2	-	2155	-	-	-	251	-	-	10864
121	123	2	-	1663	-	196	-	-	54	-	10865
122	124	2	-	3177	60	674	-	-	-	-	10697
123	125	2	-	831	-	-	-	-	246	93	10723
124	126	3	-	-	61	-	-	-	-	-	10720
125	127	2	-	4124	-	735	-	-	167	67	10716
126	128	2	-	5027	-	1488	-	-	47	-	10714
127	129	2	-	3492	-	934	-	-	84	33	10715
128	130	2	1200	32092	-	1958	-	-	-	-	10892
129	131	3	-	-	106	-	-	-	-	-	10870
130	132	2	-	91072	-	-	219	-	300	-	11237
131	133	3	-	53	151	-	-	-	-	-	11243
132	134	3	-	201	121	-	-	-	-	-	11236
133	135	2	-	14057	179	2090	271	-	-	-	10773
134	136	1	-	14112	-	3353	-	-	139	-	10279
135	137	1	-	1292	-	238	-	-	53	-	10193
136	138	2	-	1693	181	700	-	-	-	-	10188
137	139	1	-	-	-	-	-	-	-	-	9945
138	140	2	-	4531	-	183	-	-	-	-	10650
139	141	2	-	6076	-	-	230	-	193	64	10617
140	142	2	-	219585	-	-	-	-	1753	-	10769
141	143	3	-	-	200	-	-	-	-	-	10718
142	144	1	-	709	-	-	-	-	315	87	10131
143	145	1	-	4307	-	442	-	-	-	-	10511
144	146	2	-	9404	-	2073	-	-	66	-	9986

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
145	147	2	-	-	107	-	-	-	354	89	10610
146	148	1	-	3034	-	-	-	-	112	-	5318
147	149	1	-	2115	-	677	-	-	60	29	5312
148	150	2	-	4295	-	534	-	-	66	-	1389
149	151	3	-	58	105	-	-	-	-	-	7449
150	152	1	-	1660	535	353	-	-	-	21	5310
151	153	1	-	5763	-	77	-	-	83	30	2560
152	154	2	-	9271	-	1187	-	-	-	24	5311
153	155	2	-	12980	-	-	2386	-	-	-	3261
154	156	2	-	2057	-	137	-	-	-	22	7511
155	157	2	-	1755	-	277	-	-	-	-	5980
156	158	2	-	4694	234	-	-	-	172	54	2589
157	159	3	-	2330	-	-	1280	-	80	31	6141
158	160	2	-	3660	-	151	1376	-	87	-	5374
159	161	2	-	530890	-	-	-	-	-	-	5375
160	162	2	-	2139	-	699	-	-	-	-	6228
161	163	2	-	25402	-	-	-	-	105	48	6146
162	164	2	-	12875	-	-	-	-	98	60	6119
163	165	2	-	1632	-	77	-	-	170	48	6231
164	166	2	-	63150	-	3008	-	-	424	-	3357
165	167	2	-	1686	311	-	-	-	87	22	5076
166	168	2	-	3162	-	-	-	-	179	50	3246
167	169	2	-	3095	-	-	-	-	185	65	3250
168	170	2	-	94795	-	5578	-	-	-	24	3066
169	171	2	-	1244	394	1423	-	-	-	31	6305
170	172	1	-	1463	79	-	-	-	-	20	6572
171	173	3	-	69	170	-	-	-	-	-	6249
172	174	1	-	2308	-	126	-	-	308	-	2043
173	175	1	-	1390	-	-	-	-	144	49	1587
174	176	1	-	91210	-	-	18793	-	-	36	6216
175	177	1	-	1121	317	-	-	-	162	51	1182285
176	178	2	-	5866	-	2400	-	-	-	-	7235
177	179	3	237	314	193	23	-	-	-	-	7142
178	180	2	-	3664	-	-	-	-	284	86	2044
179	181	2	-	6914	1718	1620	-	-	83	-	10608
180	182	2	-	4330	-	1339	-	-	214	84	10928
181	183	2	-	3234	-	1697	-	-	79	22	10625

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
182	184	2	-	496	303	-	-	-	112	41	10929
183	185	3	-	-	41	-	-	-	-	-	10737
184	186	3	-	-	80	-	-	-	-	-	10736
185	187	3	-	-	347	-	-	-	19	-	10752
186	188	3	-	-	55	-	-	-	-	-	10666
187	189	3	-	97	238	-	-	-	-	-	8611
188	190	3	-	-	215	-	-	-	-	-	8292
189	191	3	-	61	343	-	-	-	-	-	8611
190	192	3	-	-	171	-	-	-	-	-	8233
191	193	3	-	-	116	-	-	-	-	-	8897
192	194	3	-	48	614	-	-	-	-	-	8285
193	195	3	-	-	156	-	-	-	-	-	8708
194	196	3	-	92	214	-	-	-	-	-	8675
195	197	3	-	46	83	-	-	-	-	-	8697
196	198	1	-	3274	-	1730	-	-	-	-	9313
197	199	1	-	2578	-	297	-	-	-	-	9616
198	200	2	-	964	-	84	-	-	-	-	9412
199	201	2	-	410871	2718	-	-	-	117	-	9446
200	202	2	-	31043	-	6287	-	-	-	21	9187
201	203	2	-	752	73	59	-	-	-	-	9342
202	204	2	-	248432	662	-	-	-	2380	-	10025
203	205	2	-	8790	-	1651	-	-	-	-	10472
204	206	1	-	4672	-	94	-	256	-	26	10052
205	207	2	-	1258	-	-	-	-	144	55	9325
206	208	2	-	17150	-	945	-	-	153	48	10066

*Примечание:* анализы выполнены рентгенофлуоресцентным методом на приборе INNOV-X α-4000 (аналитик И.А. Блинов); значения приведены в ppm.

Нахождение нескольких легирующих компонентов в шлаках свидетельствует о том, что древние металлурги умели улавливать и конденсировать более легкоплавкие металлы (As, Pb, Zn и др.), и легирование происходило уже на этапе плавки [Десярева, 2010].

Наличие третьего типа шлака – легкого, пористого, обогащенного Zn и обедненного другими металлами, скорее всего, показывает, что металлурги имели несколько источников сырья или разные технологии их переработки.

Вместе с тем, различия состава конечного металла и шлака могут быть обусловлены тем, что, с одной стороны, неизвестна форма нахождения этих компонентов, которая может быть связана с силикатами и(или) другими соединениями. С другой стороны, после выплавки металл мог претерпевать несколько этапов передела –

Таблица 2

**Характеристика состава исследованной выборки шлаков**

		Ni	Cu	Zn	As	Sn	Sb	Pb	Bi	Σ
Общая выборка	n	9	187	83	122	14	2	104	79	206
	%	4	91	40	59	7	1	50	38	100
тип 1	n	2	46	9	29	3	1	31	28	48
	%	4	96	19	60	6	2	65	58	100
тип 2	n	3	116	40	87	10	1	69	50	121
	%	2	96	335	72	8	1	57	41	100
тип 3	n	4	24	34	6	-	-	3	-	36
	%	11	67	94	17			8		100

*Примечание.* Количество образцов шлака. Типы шлака: тип 1: плотные, непористые или слабопористые шлаки, лепешковидной формы с гладкой поверхностью образца; тип 2: слабо- или среднепористые шлаки, с неровными, комковатыми поверхностями; тип 3: сильнопористые, пемзовидные шлаки.

чистка,ковка, возможно, переплавка и(или) сплавление с оловом и другими легирующими примесями.

Работы поддержаны госзаданием Минобрнауки РФ № 33.2644.2014к, проектом РФФИ № 14-06-00287.

**Литература**

Древнее Устье: укрепленное поселение бронзового века в Южном Зауралье: коллект. моногр / отв. Ред. Н.Б. Виноградов; науч. ред. А.В. Епимахов. Челябинск: Абрис, 2013. 482 с.

*Дегтярева А.Д.* Древнее металлопроизводство Южного Зауралья. Новосибирск: Наука, 2010. 162 с.

**И.А. Блинов<sup>1</sup>, В.В. Варфоломеев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, [ivan\\_a\\_blinov@mail.ru](mailto:ivan_a_blinov@mail.ru)

<sup>2</sup> – Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, г. Караганда (Казахстан), [vicvarfolomeev@mail.ru](mailto:vicvarfolomeev@mail.ru)

**Состав бронзовых изделий из кургана 27 могильника Тегисжол  
(Карагандинская область, Казахстан)**

Могильник Тегисжол – один из памятников Тегисжольского археологического микрорайона – находится на левом берегу р. Нуры, в 10 км западнее г. Темиртау Карагандинской области. На памятнике в 2002–2008 гг. экспедицией Карагандинского государственного университета им. Е.А. Букетова были исследованы погребения андроновского времени с алакульским и федоровским инвентарем, а также бегазыдандыбаевские погребения с посудой валикового облика. В 2009 г. на северо-