

УДК 902.01

<https://doi.org/10.24852/2587-6112.2022.2.206.217>

СПЕЦИФИКА РУДНОГО ПРОТОЛИТА В МЕТАЛЛУРГИИ БРОНЗОВОГО ВЕКА СТЕПНОГО ПРИУРАЛЬЯ¹

© 2022 г. С.В. Богданов

В статье рассматриваются вопросы определения вероятных источников медного сырья металлопроизводства бронзового века IV–II тыс. до н.э. на территории степного Приуралья. Автором обобщены и систематизированы данные полевых, экспериментальных и геохимических аналитических исследований 2016–2021 гг. Установлена связь исходного рудного протолита металлургии бронзового века преимущественно с сульфидными материалами медистых сланцев и песчаников конца пермского периода с исходным содержанием меди на уровне 17–25%. Карьеры и шахты бронзового века врубались в линзы сульфидных руд на тальвегах ископаемых временных водотоков конца пермского периода. В минералогическом отношении основу сульфидного протолита составлял халькозин в ассоциации с ковеллином, борнитом, в меньшей степени – халькопиритом, пиритом, хризоколлой и др. Неподальёку от рудников бронзового века располагались обогатительные площадки с пожоговыми ямами и шламовыми отвалами, служившие для пиротехнического обогащения и рафинирования кусковой сульфидной руды и её переработки в металлургический концентрат – пиролит со средним содержанием меди на уровне 35–45%, серы – 7–10%. Основная часть карбонатных рудных материалов (азуромалохиты) с относительно низким содержанием меди на уровне 1,5–2,5% в древности не использовалась. Все разработки руд этого типа в Приуралье датируются Новым временем.

Ключевые слова: археология, бронзовый век, медные рудники, сырьевая база, рудный протолит, вторичные сульфиды в медистых сланцах и песчаниках, металлопроизводство, степное Приуралье.

CHARACTERISTICS OF ORE PROTOLITH IN BRONZE AGE METALLURGY OF STEPPE CIS-URALS²

S. V. Bogdanov

The paper addresses the issues of determining the probable sources of copper raw materials in the Bronze Age metal production of the 4th–2nd Millennia BC in the territory of the steppe Cis-Urals. The author summarized and systematized the data of field, experimental and geochemical analytical studies of 2016–2021. A relationship was established between the original ore protolith of Bronze Age metallurgy with predominant sulfide materials of cuprous shales and sandstones of the late Permian period with an initial copper content of 17–25%. Bronze Age quarries and mines were cut into sulfide ore lens on the watercourses of fossil temporary streams of the late Permian period. In terms of mineralogy, the sulfide protolith was based on chalcocine in association with covellite, bornite, and to a lesser extent chalcopyrite, pyrite, chrysocolla, etc. Processing sites with burn pits and sludge dumps were located in the vicinity of the Bronze Age mines, which served for pyrotechnic concentrating and refining of lumpy sulfide ore and their processing into a metallurgical concentrate – pyrolite – with an average copper content of 35–45%, and sulfur content of 7–10%. The major portion of carbonate ore materials (azurmalachite) with a relatively low copper content of 1.5–2.5% was unused in antiquity. All mines of this type of ores in the Urals date back to the Modern period.

Keywords: archaeology, Bronze Age, copper mines, raw material base, ore protolith, secondary sulfides in cuprous shales and sandstones, metal production, steppe Cis-Urals.

В эпоху раннего металла начиная с IV тыс. до н. э. по II тыс. до н. э. степное Приуралье являлось ключевым горно-металлургическим регионом Северной Евразии. На протяжении указанного периода в регионе функционировал крупный горно-металлургический центр, объединявший несколько культурных металлургических очагов. Нерудные источники металла, включая скрапы, черновую и рафинированную медь в слитках и король-

¹ Работа выполнена по гранту РФФИ № 21-78-20015 «Технологии горно-металлургического производства бронзового века в эволюции культурно-исторического ландшафта Уральского региона», а также по государственной бюджетной теме АААА-А21-1210111900016-1.

² The work was carried out under the grant No. 21-78-20015 of the Russian Science Foundation “Technologies of Mining and Metallurgical production of the Bronze Age in the Evolution of the Cultural and Historical Landscape of the Ural Region”, and under the state budget topic АААА-А21-1210111900016-1.

ках из других регионов, а также импортные металлические изделия, не играли существенной роли в металлопроизводстве. Основным источником сырья для горняков-металлургов скотоводческих культур эпохи раннего металла степного Приуралья служили месторождения окисленных медных руд казанского и татарского ярусов конца пермского периода (Зеленецкий и др., 1948). Окисленные руды Приуралья в силу осадочного происхождения крайне неоднородны в химико-минералогическом и петрографическом аспектах.

Вопрос о том, какой рудный протолит служил основным источником медного сырья до сих пор не получил определенного ответа. В 2016–2021 гг. археологами Оренбургского Федерального исследовательского центра УрО РАН, геологами и геохимиками Института минералогии УрО РАН в ходе совместных экспедиций в степном Приуралье, включая Центральное Оренбуржье, юго-запад Башкирии и северо-запад Актюбинской области Казахстана, выявлено и обследовано около 300 геоархеологических медно-рудных объектов в четырех смежных горно-металлургических районах (ГМР): Каргалинском (Сакмаро-Самарском), Сакмаро-Юшатырском, Сакмарско-Уральском, Уральском левобережном (Богданов, 2017, с. 134, рис. 1; 3).

Важным достижением 2017–2020 гг. стало открытие и изучение горно-перерабатывающих комплексов (ГПК) Михайловского (N52°09'30,85" E54°57'00,55") и Белоусовского (N52°11'17,93" E54°48'18,07") рудников бронзового века на юго-западной периферии Каргалинского рудного поля и нескольких десятков аналоговых памятников с ямами для пожара рудных концентратов, шламовыми отвалами и т. п., позволивших сформировать представления о рудных источниках древней металлургии, способах обогащения и рафинирования рудных материалов и др. (Богданов и др., 2018; 2019а). Рудные концентраты с этих памятников использованы в археометаллургических экспериментах 2018–2021 гг. (Богданов, 2019а; 2019б). Реализуемый в 2016–2021 гг. проект по изучению древней металлургии основан на геоархеологических и экспериментальных подходах, во многом он продолжает и развивает основные направления исследований Каргалинской экспедиции Лаборатории естественнонаучных методов Института археологии РАН под руководством Е.Н. Черных (Каргалы, т. I–V, 2002–2007).

Пожалуй, наиболее распространенной точкой зрения о рудных источниках древней

металлургии является суждение о связи древней металлургии IV–II тыс. до н. э. исключительно с карбонатами меди (азурмалахитами) в песчаниковых отложениях конца пермского периода – т. н. «медистых песчаниках» (Черных, 1966а; Дегтярева, 2010). Указанная гипотеза во многом обусловлена недостатком эмпирических данных по технологическим алгоритмам горно-металлургического производства, а также отсутствию фундаментальных исследований по источникам рудного сырья эпохи бронзы. Высокая чистота древних металлических изделий, по мнению исследователей, обусловлена отсутствием серы и др. загрязняющих примесей в исходном протолите. Массовые данные современных геохимических анализов не подтверждают гипотезы об исключительно карбонатном источнике рудного протолита, в образцах металлургических шлаков и черновой меди большинства памятников Южного Урала эпохи раннего металла от начала бронзового века до его финала присутствуют следы сульфидов меди (Анкушев и др., 2018; Artemyev, Ankushev, 2019). В черновой меди археологических памятников степного Приуралья, так же как и в экспериментальных образцах, полученных автором статьи в ходе плавки на медь сульфидов Белоусовского рудника, содержание серы варьирует от 0,5 до 1,5% (Пазухин, 1969; Богданов, 2019а; 2019б; 2021). Соответственно в медных минералах шихты, шедшей в плавку, содержание серы превышало 8–10%, а в исходном сульфидном рудном протолите до пиротехнического обогащения составляло около 25%. В ходе дальнейших переплавки черновой меди и литейных операций осуществлялась практически полная десульфидация металла.

Мнение о преобладании карбонатного протолита в древней металлургии Евразии отчасти обусловлено относительной многочисленностью азурмалахитов со средним содержанием меди на уровне 1,5–2,5% в отвалах древних рудников и их наличием в культурных слоях поселений бронзового века. По всей видимости, древние горняки выбраковывали эти рудные материалы намеренно, т. к. обогатить их в 20–30 раз до значений, пороговых для древней металлургии (35–40% Cu в шихте), и тем более восстановить из них медь пиротехническим путём – невозможно. Так, в культурном слое раннего бронзового века Турганинской стоянки (Моргунова и др., 2017) обнаружено 14 фрагментов рудных материалов. 13 фрагментов азурмалахитов

связаны с медистыми песчаниками и гравелитами со средним содержанием меди менее 2,5%. Лишь в одном фрагменте выявлены вторичные сульфиды меди с преобладанием халькозина (80% – Cu, около 20% – S). Металлургические шлаки, черновая медь и медные орудия Турганикской стоянки по химизму связаны не с преобладающими азурмалахитами, а с этим единственным сульфидным образцом. При анализе источников рудного сырья тех или иных памятников необходимо ориентироваться не на самые многочисленные и бедные рудные материалы, а на относительно малочисленные с наиболее высоким содержанием меди.

Об особенностях сырья, использованного в древности в Приуралье при составлении шихты, объективно свидетельствует металлургический комплекс из 250 спекшихся кусков шлаков общим весом 4,5 кг одной неудачной плавки середины II тыс. до н. э. с поселения срубной культуры Горный на Каргалинских рудниках (Каргалы, т. III, 2004, стр. 47, рис. 2.20; Каргалы, т. IV, 2005, стр. 101, рис. 3.1). Судя по этим образцам, основу шихты составлял халькозин в смеси с кремнекарбонатными рудными материалами. Часть кусков ошлакована, халькозин частично замещен штейновым борнитом, на ожелезненных участках шихтного спека за счет выгорания серы из сульфидов развиты игольчатые кристаллы делафоссита, наиболее десульфурезированная часть шихты замещена купритом. По-видимому, древние металлурги в ходе плавки допустили ошибку, прекратив на несколько минут подачу воздуха в печь, разогретую до восстановительных температур (1200–1300°C), в ходе загрузки шихты в устье печи – колошник. Возобновление подачи воздуха привело к взрывному воспламенению смеси колошниковых газов и угольной пыли, конструкция печи оказалась повреждена. Шлаково-шихтная смесь, называвшаяся в Новое время «козлом», полностью в объеме около 4,5 кг, необходимом для выплавки лепешкообразного слитка весом 1,5–2,5 кг, выброшена древними металлургами в отвал. Таким образом, сульфиды меди безусловно составляли важную часть шихты при пиротехническом переделе рудных материалов в черновую медь в эпоху бронзы (Богданов, 2020; 2021). В то же время объективных свидетельств преобладания в рудном протолите карбонатных минералов не зафиксировано.

Современные представления об особенностях рудного сырья бронзового века степ-

ного Приуралья сформированы на основе 1,5 тыс. геохимических анализов образцов руды, продуктов пирометаллургического передела, шлаков эпохи бронзы, а также аналоговых экспериментальных образцов металла, шлаков и т. п., проведенных в 2016–2021 гг. в **ЮУ ФНЦ Минералогии и геоэкологии УрО РАН** (Миасс) и Центре коллективного пользования УрО РАН "Геоаналитик" ФГБУ Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), рентгенофлуоресцентного анализа (XRF) электронной микроскопии, рентгенофазового и др.

В геолого-стратиграфическом аспекте все рудопроявления конца пермского периода степного Приуралья осадочного генезиса связаны с одной обширной мульдой, расчлененной на юго-востоке юрскими депрессиями. Руслу крупных рек – Урала, Сакмары и др. – сформированы по этим депрессиям. Часть рудопроявлений, разрабатывавшихся в бронзовом веке, вскрыто малыми притоками Сакмары и Урала, часть выявлена древними горняками шурфовкой.

По основным петрографическим признакам все изученные нами окисленные руды конца пермского периода в степном Приуралье делятся на три группы. К первой относятся рудопроявления в серых аркозовых песчаниках, пропитанных карбонатами меди (обычно 1,5–5% Cu, в среднем – 2,5% Cu). В линзах и гнездах на тальвегах ископаемых позднепермских потоков за счет вторичного обогащения при цементации рудных материалов содержание меди обычно выше (от 5% до 15–20% Cu), разнообразнее минерализация за счет вкрапления кремнекарбонатных минералов, сульфидов, сульфатов, оксидов меди, а также присутствия силикатов меди. В Новое время, в XVIII–XIX вв., эти руды назывались «песчаниковыми», добывалась лишь «песчаниковая доска» толщиной свыше 2,5–3 см, тонкие прослойки песчаниковой руды не разрабатывались.

Ко второй группе относятся рудопроявления в темно-серых (с пепельным, кремовым, коричневым, бурым оттенками) или почти черных алеврито-глинистых отложениях. Оруденение в них связано с сульфидно-окисными минералами. Содержание меди в этих рудах, называвшихся в Новое время «вапами» (Богачев, 1889), «глинистыми сланцами», «шифером», может достигать 14–80% Cu.

Таблица. 1. Вероятностный интервал радиоуглеродной даты образца кости из пожоговой ямы №1 Белоусовского горно-перерабатывающего комплекса №1
Белоусовского рудника эпохи поздней бронзы

Table. 1. Probability interval of radiocarbon dating of a bone sample from burn pit No. 1 of the Belousovsky Mining and Processing Complex No. 1 of the Late Bronze Age Belousovsky Mine

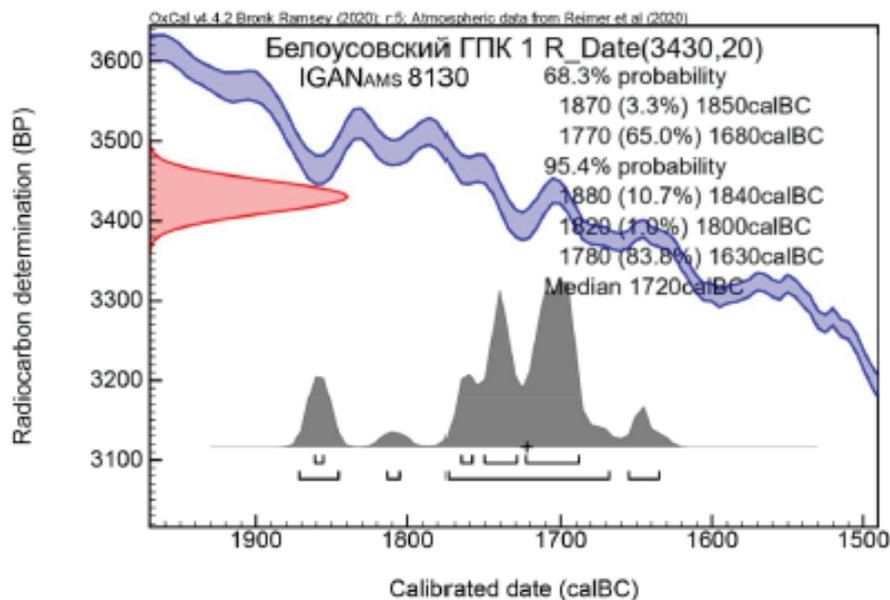
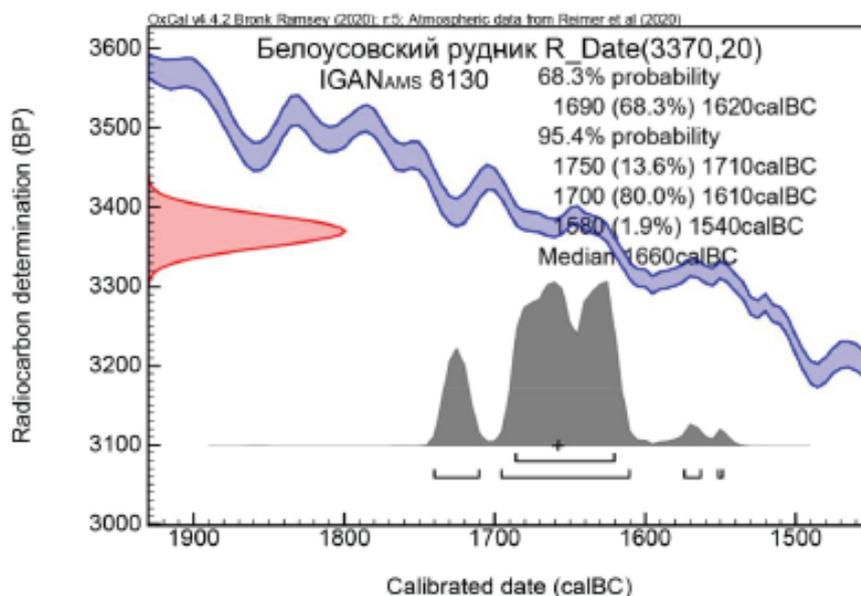


Таблица. 2. Вероятностный интервал радиоуглеродной даты образца кости из заполнения шахты №1 Белоусовского рудника эпохи поздней бронзы.

Table. 2. Probability interval of radiocarbon dating of a bone sample from the filling of shaft No. 1 of the Late Bronze Age Belousovsky Mine



Третья группа представлена галечными конгломератами на цементе кальцита или серого мергеля, пропитанного окислами меди. Как правило, эти руды не разрабатывались ни в бронзовом веке, ни в Новое время. Имеется только одно исключение – Ветлянский I

рудник, расположенный восточнее Оренбурга к югу от хутора Чулошников, где добытые кальцитовые конгломераты отжигались на обогатительной площадке, затем дробились. Из массы пустой породы выбирался халькозиновый галечный «пульник» (округлые

постройки от 0,4 до 3,5 см), отжигавшийся позднее в специальных ямах с целью частичной десульфурзации (до 8–10% S) и обогащения.

По минералогическому составу все окисленные руды степного Приуралья также делятся на три типа. Первый представлен сульфидно-окисной минерализацией, включает явно преобладающий халькозин, в меньшей степени – ковеллин, борнит и др. сульфиды, брошантит, антлерит и др. сульфаты меди, карбонаты меди – малахит и азурит, а также куприт и самородную медь. Сульфидно-окисные руды, представляя сравнительно небольшой сегмент окисленных рудопроявлений степного Приуралья (5–7%), играли определяющую роль в металлургии эпохи раннего металла.

Второй тип оруденения связан с кремнекарбонатной минерализацией рудных тел, состоящих из хризоколлы, называвшейся в Новое время «стеклянной рудой», в ассоциациях с карбонатами, оксидами меди, а также сульфидами и сульфатами. Несмотря на малочисленность (5–8%) эти руды также обладали важным значением для древней металлообработки.

Третий тип представлен наиболее распространённым (87–90%) карбонатно-окисным вариантом минерализации с абсолютным преобладанием малахита в ассоциациях с более редкими азуритом, купритом и теноритом. В бронзовом веке штольнями, шахтами и карьерами на тальвегах русел позднепермских потоков добывалась наиболее богатая часть этих руд (15–20% Cu), составлявшая менее 1,5–2% от общего объема.

Важно отметить, что два рудоносных горизонта конца пермского периода, более ранний – казанский ярус и поздний – татарский, отчетливо дифференцируются не только в геолого-стратиграфическом отношении, но и в минералогическом: лишь в отложениях позднего татарского яруса отмечены многочисленные находки крупниц и галек (от 0,3 см до 3,5 см) первичных сульфидов – халькопирита и пирита на кварцевом цементе, вынесенных из нижних зон коренных девонских месторождений Сакмарского аллохтона; в более древних отложениях казанского яруса мы находим лишь халькозиновые галечники, сформированные выносом материалов из зон вторичного обогащения коренных месторождений.

Несмотря на широкую территориальную разобщенность рудопроявлений в пределах четырех горнорудных районов Приуральско-

го горно-металлургического центра (ГМЦ), химический состав медных руд не испытывает больших колебаний. На основании данных XRF и ICP-MS удалось выделить четыре геохимических группы окисленных руд Приуралья, использовавшихся в древности (Юминов и др., 2017, с. 118–123): первая группа – «чистой меди»; вторая группа – с повышенным содержанием серебра; третья группа – с устойчивой примесью свинца; четвертая группа – с комбинацией цинка и никеля, а также хрома и никеля. Ни одна из групп не преобладает абсолютно. Все четыре группы распределяются по территории степного Приуралья мозаично. Превышение по серебру в рудных материалах, как правило, обусловлено наличием амальгам. Высокие концентрации свинца, цинка, никеля и хрома дают различные варианты сульфидов.

Остаточная комбинация вязких примесей свинца, серебра, хрома и цинка в сочетании с никелем в древнем металле является отчетливым признаком принадлежности к Приуральской группе (Черных, 1966а; 1970; Дегтярева, 2010). В тысячах г/т в окисленных рудах содержатся Fe, Mn, Ti и Ba. Маркерами принадлежности древнего металла к приуральским окисленным рудам выступают еще порядка 30 элементов, фиксируемых XRF и ICP-MS: в нескольких сотнях г/т представлены Cr, Zn, Pb, As, Ni, Ag, Sr и V; в десятках г/т содержатся Sn, Sb, Cd, Co, Bi, U и др. В группе «чистой меди» присутствуют все основные элементы (Ag, Pb, Cr, Zn и др.) в количестве менее 100 г/т. Мышьяк в небольших количествах есть во всех рудах Приуральского ГМЦ в соединениях с Ag, Pb и S. В сульфидных и кремнекарбонатных рудах имеется до 1% As. Горняки-металлурги древности использовали все доступные виды химически неоднородного рудного сырья с содержанием меди от 15–20% Cu, что свидетельствует о довольно высоком уровне технологий. Относительная чистота приуральского металла обусловлена не столько связью с некими необычайно «чистыми» источниками сырья, сколько особенностями технологий подготовки руд к плавке пиротехническим путём, способами восстановления меди в небольших печах отражательного типа (Богданов, 2020), последующим рафинированием черновой меди и особенностями кузнечных операций, проводимых при предплавленных температурах.

На горноперерабатывающих комплексах бронзового века, связанных с Михайловским

и Белоусовским рудниками на юго-западной периферии Каргалинского рудного поля, обследованных в 2018–2021 гг., преимущественно перерабатывались сульфидные руды, в меньшей степени – карбонатные и кремнекарбонатные. На каждом ГПК могли перерабатываться руды нескольких рудников: на Белоусовском 1 ГПК – Белоусовского и Пятисотенного рудников, на Михайловском ГПК – Михайловского, частично Белоусовского, Карповских рудников, Ордынского оврага и др. Изучение изотопии меди в образцах, рафинированных пожогом обогащенных рудных концентратов Михайловского ГПК, показало их соответствие рудам не только Михайловского, но и Белоусовского рудников (Кагорова и др., 2019). Всего на поверхности шламовых отвалов Михайловского и Белоусовского ГПК удалось собрать порядка 16 кг рафинированных рудных концентратов, использованных в ходе экспериментальных плавов 2018–2019 гг. (Богданов, 2019а; Богданов, 2019б). Около 17 кг сульфидных рудных материалов, использованных позднее в экспериментальных плавках, получено при разборе рудного отвала шахты № 2 Белоусовского рудника, содержащего керамику и кости эпохи бронзы.

На территории четырех горно-металлургических районов степного Приуралья к 2021 г. установлено порядка 40 древнейших горнорудных объектов с обогащенными и рафинированными рудными концентратами, относящихся к эпохе бронзы. Аналогичные рафинированные рудные материалы выявлены в ходе геохимических анализов медных руд из древнеямного культурного слоя Турганской стоянки первой половины IV тыс. до н. э. (Моргунова и др., 2017) на западной степной периферии Каргалинского рудного поля и в стенках глиняного сосуда срубной культуры середины II тыс. до н. э. из п. № 3 к. № 4 Першинского курганного могильника в центре Каргалов (Богданов, 2005, с. 61, рис. 2.21). При этом в древности во время обжига срубного сосуда из Першинского могильника, содержавшего обильную примесь дробленых рафинированных рудных концентратов штейнового типа, в его стенках часть меди восстановилась в виде очень мелких гранул и прутков внутри сульфидно-магнетитовых капсул, часть – купритизовалась. Обогащенные и рафинированные рудные концентраты выявлены в культурном слое уже упомянутого выше поселения Горный – опорного горно-металлургического объекта Каргалинского рудного поля, а также в шламовых отвалах к

северо-западу от поселения под напластованием рудных отвалов Нового времени.

На Михайловском и Белоусовском рудниках древние горняки-металлурги ориентировались на добычу сульфидных руд, залегающих в линзах в ассоциации с окиснокарбонатными, кремнекарбонатными и др. минералами в алеврито-глинистых отложениях фаций себхи – внутренних лагун и лиманов побережий приморских пустынь, отторженных от заливов позднепермского моря Тетис песчано-глинистыми косами. Эти отложения связаны с верхним татарским ярусом оруденения, они перекрыты песчаниково-мергелевым плитняком, песком, галечниками мощностью 3–5 м. Как уже отмечалось, в Новое время подобный тип оруденения называли «ваповым» (сульфидно-окисные руды в глинистых сланцах). Именно такие смеси богатых позднепермских руд верхнего горизонта оруденения, содержащих в среднем 25–30% Cu, на протяжении всего бронзового века, начиная с IV тыс. до н. э. и до конца II тыс. до н. э., составляли основу массового металлопроизводства в степном Приуралье. Реже, в силу относительной малодоступности, использовались сульфидные «путьники» и др. варианты руд нижнего казанского яруса.

Наиболее распространённые варианты окисленных карбонатных руд медистых песчаников с малахитом и азуридом, содержащие в среднем 2,5% Cu, в бронзовом веке не рассматривались в качестве металлургического сырья и выбрасывались в отвалы. Исходное сырьё древней металлургии меди мы отчетливо представляем по рудам опорного памятника – Белоусовского рудника (табл. 3–4). Вероятно, до трех четвертей объема рудных материалов Белоусовского рудника, отбравшихся для дальнейшей переработки, составляли т. н. «вторичные» сульфиды, преимущественно халькозин (Cu_2S) ромбической формы кристаллизации, в значительно меньшей степени ковеллин (CuS) и борнит (Cu_5FeS_4). В виде мелких зерен присутствует реликтовый халькопирит (CuFeS_2), встречаются микроскопические дендриты самородной меди. Сульфаты меди представлены антлеритом ($\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$) и брошантитом ($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$). В отдельных рудных постройках они могут преобладать над сульфидами. Ванадаты представлены моттрамитом ($\text{PbCu}(\text{VO}_4)(\text{OH})$). В небольших количествах присутствует гидроксид меди атакамит ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), эпизодически встречается арсенат кальция и меди конихальцит ($\text{CaCu}(\text{AsO}_4)(\text{OH})$) и близкие

соединения мышьяка. На контакте с окаменевшей древесиной встречается силикат меди – хризоколла $((CuAl)_2H_2Si_2O_5(OH)_4)$ в ассоциациях с сульфидами и карбонатами. Окисные минералы представлены теноритом (CuO) и купритом (Cu₂O), карбонатные – азури́том $(Cu_3(CO_3)_2(OH)_2)$ и малахитом $(Cu_2(CO_3)(OH)_2)$. Сложность минерализации сульфидно-окисных вариантов позднепермских рудопроявлений степного Приуралья обусловлена их формированием и развитием в условиях гипергенеза: изначально в отсепарированных илистых отложениях позднепермских лиманов и внутренних лагун (фации себхи), пересыхающих дважды в год – летом и зимой, на сероводородных барьерах на основе осажденных крупиц халькопирита и сульфатов типа халькантита по реакции основного сульфида с сульфатами, развивалась халькозиновая минерализация в ассоциациях с ковеллином и др. сульфидами и сульфатами. Остальные медные минералы вторичны по отношению к ним, сформированы в ходе окисления первых. Химизм формирования сульфидных построек в позднепермских вапсовых (алевритовых) отложениях внутренних лиманов (фации себхи) приморских пустынь можно представить следующим образом: $CuFeS_2 + CuSO_4 + 2H_2S + O_2 = Cu_2S + FeS_2 + 2H_2O + 2SO_2$ (синген.); $CuSO_4 + H_2S = CuS + H_2SO_4$ (синген.).

Примерно 2–3% халькозиновой минерализации связано с заматыми в илах обломками корней и веток деревьев, выступавшими осадителями меди из рассолов. Крупных стволов деревьев в себхах не имелось, древесина образовывала русловые завалы, заматые песчано-глинистыми материалами, значительно выше по течению временных водотоков конца пермского периода. Флора и фауна «вапов» Белоусовского рудника скудна и однообразна, представлена раковинами двустворчатых моллюсков типа дрейссен (*dreissena polymorpha*), отлагавшихся во время нагонных морских волн и приливов, а также отпечатками стеблей тростников в алевритах, окружающих сульфидные постройки. Внутри нескольких халькозиновых желваков удалось обнаружить целые раковины дрейссен, полностью замещенных сульфатами и карбонатами меди. Преобладающая плитно-желвачная форма сульфидных построек в «вапах» во многом воспроизводит структурные отдельности ископаемых илистых формаций на дне пересыхающих внутренних лиманов и лагун. В части плиток и желваков (менее 1%) из рудного отвала Белоусовского рудника медная минерализация развита только в корах, небольшие халькозиновые стяжения имеются под корами, центральная часть желваков или плиток выражена глини-

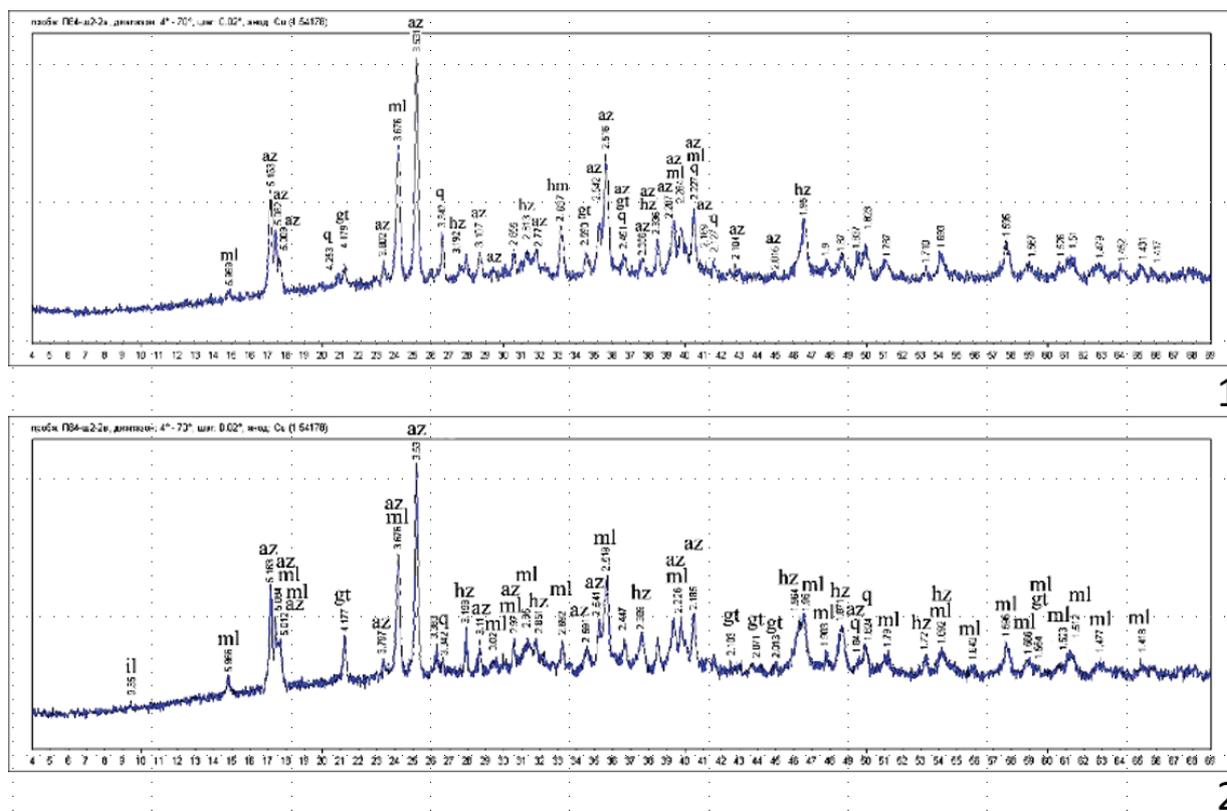
Таблица. 3. Данные геохимических анализов (LA-ICP-MS) сульфидных построек из рудного отвала Белоусовского рудника
Table. 3. Geochemical analysis data (LA-ICP-MS) of sulfide structures from the ore dump of the Belousovsky mine

№ п.п.	№ эксп.	минерал	ppm = 1/10000 %												
			Cu	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co	Au	S
1.77.1	Блс19-3-2а	ковеллин	69,6	<0.23	56,7	2,8	0,64	402	0,15	8,9	1700	1,14	0,12	0,54	299000
1.77.2	Блс19-3-2а	халькозин	77,9	<0.17	174	0,4	2,38	163,9	0,3	3,4	360	0,3	<0.02	0,29	204000
1.77.3	Блс19-3-2а	халькозин	81,6	0,4	39,7	<0.7	0,28	257	0,16	3,2	180	1,2	0,05	<0.01076	210000
1.77.4	Блс19-3-2а	ковеллин	69,9	<0.15	298	2,6	4,6	589	<0.3	10,9	21400	4,3	1,78	<0.0129	285000
1.77.5	Блс19-3-2а	борнит? Фаза	60,2	0,52	538	41	8,23	1242	7,6	67,8	178000	24,8	11,9	0,11	196000
1.77.6	Блс19-3-2а	ковеллин	71,6	0,3	66,2	<1.8	0,74	195,9	0,79	5,9	41800	16,3	1,74	0,55	258000
1.77.7	Блс19-3-2а	халькозин	80,6	0,2	78,9	3,7	1,01	125,5	0,69	4,4	6350	0,63	0,98	0,52	190000
1.77.8	Блс19-3-2а	борнит? Фаза	60,9	0,2	745	62	12,4	1340	10,1	76,2	133200	27,5	14	0,62	280000
1.77.9	Блс19-3-2а	ковеллин	72,3	1,8	49,1	<3.3	0,73	546	<0.79	10,4	440	0,56	<0.01	0,8	281000
1.77.10	Блс19-3-2а	борнит? Фаза	57,4	0,43	696	71	11,4	1289	11,8	103,5	141000	27,4	17,4	0,15	268000
1.77.11	Блс19-3-2а	ковеллин	72,8	0,6	366	43	9,8	1177	6,7	44,8	47900	14,3	5,4	0,2	241000
1.77.12	Блс19-3-2а	халькозин	76,9	0,5	200	4,6	2,79	137	0,02	5,9	3660	3,4	0,92	0,71	224000
1.77.13	Блс19-3-2а	халькозин	76,4	<1.94	51,9	<0.2	1,85	126,4	0,23	2,3	230	0,45	0,4	0,17	245000
1.77.14	Блс19-3-2а	ковеллин	72,3	<0.2	78,7	6,7	3,5	253	1,3	11,5	26300	12	1,28	<0.00955	251000
1.77.15	Блс19-3-2а	халькозин	82,5	0,8	88,1	1,6	0,94	235	0,26	9,5	4160	5,4	0,24	0,11	178000
1.77.16	Блс19-5-1	самород. жел.	0,036	5	0,4	1			13	350	992000	2370	660	0,1	760

1-15 – сульфидные руды Белоусовского рудника (рудный отвал №2 из шахты №1); 16 – образец самородного железа из лимонитовой конкреции из рудного отвала №2. Аналитик к.г.-м.н. Д.А. Артемьев, Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс. Элементы нормированы на 100 % по международному стандарту NIST SRM-500, сера – по NIST SRM-610.

Таблица. 4. Данные рентгенофазового анализа сульфидных построек из рудного отвала Белоусовского рудника (1.77)

Table. 4. X-ray phase analysis data of sulfide structures from the ore dump of the Belousovsky mine (1.77)



1 – Фрагмент дифрактограммы сульфидных построек из серицевых алевролитов. Штуфная проба из рудного отвала. Обр. П84-ш2-2а. (общий материал). Буквами на рисунке обозначены пики следующих минералов: az – азурит, ml – малахит, gt – гетит, hm – гематит, hz – халькозин (ромб.), q – кварц. В образце присутствует опал. 2 – Фрагмент дифрактограммы сульфидных построек из серицевых алевролитов. Штуфная проба из рудного отвала. Обр. П84-ш2-2в (монофракция: черные плотные зернистые массы). Буквами на рисунке обозначены пики следующих минералов: ml – малахит, az – азурит, gt – гетит, hz – халькозин (ромб.), q – кварц, il – иллит (следы). В образце присутствует опал.

стыми материалами с включениями кристаллов халькопирита и пирита. Среди образцов, полученных из рудных отвалов Белоусовского рудника, встречаются плитные, гроздевидные и аморфные лимонитовые конкреции с псевдоморфозами халькозина. Конкреции ярозита и сидерита не образуют значительных скоплений. Внутри отдельных лимонитовых конкреций развиты магнетитовые образования с микроскопическими стяжениями теллурического железа. В рудном отвале Белоусовского рудника одна из лимонитовых конкреций диаметром около 3 см содержала самородок теллурического железа весом около 30 гр. Металл очень чистый, за исключением никеля в первых десятых процента, заметных примесей не имеет (табл. 3, образец 1.77.16). Железные изделия, эпизодически встречающиеся в памятниках срубной культуры позднего брон-

зового века, вероятно, могут быть связаны происхождением с аналогичными источниками.

Добытые на Белоусовском и Михайловском рудниках сульфидные постройки после сортировки на рудных отвалах перевозились древними горняками-металлургами за несколько сотен метров от рудника и отжигались в ямах для получения обогащённого и рафинированного рудного концентрата – пиролита (Богданов, 2020), состоящего из твердого раствора халькозина гексагональной сингонии, тенорита, куприта и нестабильных сульфатов типа долерофанита. Следы аналоговых технологических операций зафиксированы на десятках других рудопроявлений, разрабатывавшихся в бронзовом веке. Связь рудной базы культур бронзового века преимущественно с сульфидным протолитом не вызывает особых сомне-

ний. Пилотные данные по изотопии свинца части слитков черновой меди бронзового века степного Приуралья показывают связь металла с рудными материалами Белоусовского рудника и др. объектов юго-западной периферии Каргалинского рудного поля (Киселёва, 2020). К западу от степного Приуралья в Донецком ГМЦ в Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловинах древние горняки-металлурги добывали похожие по морфологии и химизму плитно-желвачные халькозиновые постройки в рудопроявлениях нижней перми (Татаринов, 1977, 25, с. 193). К востоку, в Зауралье, Мугоджарах и Центральном Казахстане, добывались сульфидно-кремнекарбонатные руды из зон вторичного обогащения ультраосновных месторождений (Зайков и др., 2009).

Для культурно-хронологического комплекса Белоусовского рудника и пожоговой ямы Белоусовского ГПК в 2020 году получены две радиоуглеродные даты по AMS-технологии в Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США). Подготовка образцов осуществлялась в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН. Образец кости КРС из пожоговой ямы № 1 (фрагмент зуба животного) Белоусовского 1 ГПК (шурф № 1, глубина 1,6 м) № 8130 дает дату 3430 ± 20 14С, ВР (1 σ). Второй обра-

зец кости КРС № 8132 из заполнения горной выработки ПБВ Белоусовского рудника (шурф № 1) с глубины 1,5 м, где кости вместе с керамикой срубной культуры ПБВ и кусками халькозина находились под завалом песчаниковых плит, дал дату 3370 ± 20 14С, ВР (1 σ). Калибровочные интервалы обеих дат (табл. 1–2) соответствуют основному хронологическому интервалу срубной культуры позднего бронзового века (Купцова, 2014, с. 189, табл. 2). Указанные даты отражают время «металлургического бума» в степных регионах Северной Евразии, связанного с деятельностью горняков-металлургов срубной и алакульской культур позднего бронзового века, исчерпавших запасы сульфидных и кремнекарбонатных руд большинства доступных месторождений. Metallургия финальной фазы бронзового века, представленная материалами классического Сосново-Мазинского клада на Нижней Волге (Черных, 1966 б), основывалась на использовании принципиально нового рудного протолита – медного колчедана (халькопирита) (Богданов, 2020). Таким образом, памятники горной археологии юго-западной периферии Каргалинского рудного поля – Белоусовский, Михайловский рудники и связанные с ними ассоциации пожоговых ям и шламовых отвалов – представляют собой опорные объекты в изучении металлургического сырья эпохи раннего металла.

ЛИТЕРАТУРА

Анкушев М.Н., Петров Ф.Н., Блинов И.А. Металлургические шлаки и медные руды поселения бронзового века Левобережное (Южный Урал) // *Геоархеология и археологическая минералогия* – 2018. Научное издание. Материалы V Всероссийской молодежной научной школы. Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2018. С. 155–161.

Богачев В.Ф. Краткий очерк месторождений медных руд, бурого угля, селенита и др., в Тургайской области // *Горный журнал*. 1889. Вып. 3. С. 453–458.

Богданов С.В. Першинский некрополь: курганы №№ 3 и 4 // *Каргалы*. Том IV. Некрополи на Каргалах. Население Каргалов: палеонтологические исследования / сост. и науч. ред. Е.Н. Черных. М.: Языки славянской культуры, 2005. С. 49–69.

Богданов С.В. Систематика комплексов древнеямной культуры востока Понто-Каспийских степей в контексте проблемы трансферта горно-металлургических традиций в Северную Евразию // *Stratum Plus*. 2017. № 2. С. 133–157.

Богданов С. В. Технологии горно-металлургического производства эпохи раннего металла Северной Евразии с позиций экспериментальной археологии // *Феномены культур раннего бронзового века степной и лесостепной полосы Евразии: пути культурного взаимодействия в V – III тыс. до н.э.* / Отв. ред. Н.Л. Моргунова. Оренбург: ОГПУ, 2019а. С. 161–174.

Богданов С.В. Триада В.А. Городцова в аспекте преемственности традиций горно-металлургического производства Восточной Европы // *Древности Восточной Европы, Центральной Азии и Южной Сибири в контексте связей и взаимодействий в евразийском культурном пространстве (новые данные и концепции): Материалы Международной конференции, 18–22 ноября 2019 г., Санкт-Петербург*. Т. II. Связи, контакты и взаимодействия древних культур Северной Евразии и цивилизаций Востока в эпоху палеометалла (IV–I тыс. до н.э.). К 80-летию со дня рождения выдающегося археолога В.С. Бочкарева / Отв. ред. А.В. Поляков, Е.С. Ткач. СПб.: ИИМК РАН, Невская Типография, 2019. С. 143–145.

Богданов С.В. Технологические алгоритмы пастушеской модели металло-производства бронзового века степных регионов Северной Евразии. // Уральский исторический вестник. 2020. №4. С. 6–14.

Богданов С.В. Пилотные археометаллургические эксперименты по восстановлению меди из рудных концентратов Каргалов // Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов. Вып. 5 / Отв. ред. и сост. Е. Н. Черных, В. И. Завьялов. М.: Ин-т археологии РАН, 2021. С. 78–103.

Богданов С.В., Ткачев В.В., Юминов А.М., Авраменко С.В. Геоархеологическая система исторических медных рудников Приуралья (Каргалинского) степного горно-металлургического центра // Геоархеология и археологическая минералогия – 2018. Научное издание. Материалы V Всероссийской молодежной научной школы. Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2018. С. 121–133.

Дегтярева А.Д. История металлопроизводства Южного Зауралья в эпоху бронзы. Новосибирск: Наука, 2010. 162 с.

Зайков В.В., Мелекесцева И.Ю., Артемьев Д.А., Юминов А.М., Симонов В. А., Дунаев А.Ю. Геология и колчеданное оруденение южного фланга Главного Уральского разлома. Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2009. 375 с.

Зеленецкий А.А., Зяблицкий И.И., Малютин В.Л. Полезные ископаемые Чкаловской области. Чкалов: Чкаловское издательство, 1948. 213 с.

Каргалы I. Геолого-географические характеристики. История открытий, эксплуатации и исследований. Археологические памятники / сост. и науч. ред. Е.Н.Черных. М.: Языки славянской культуры. 2002. 112 с.

Каргалы III. Селище Горный: Археологические материалы. Технология горно-металлургического производства. Археобиологические исследования / сост. и науч. ред. Е.Н.Черных. М.: Языки славянской культуры. 2004. 321 с.

Каргалы IV. Некрополи на Каргалах. Население Каргалов: палеонтологические исследования / сост. и науч. ред. Е.Н.Черных. М.: Языки славянской культуры. 2005. 240 с.

Киселева Д.В., Солошенко Н.Г., Стрелецкая М.В., Окунева Т.Г., Шагалов Е.С., Ткачев В.В., Богданов С.В., Анкушев М.Н., Корякова Л.Н., Виноградов Н.Б. Изотопный анализ свинца в металле бронзового века степного Приуралья и Зауралья // XI Всероссийская молодежная научная конференция «Минералы: строение, свойства, методы исследования», Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2020. С. 122–125.

Купцова Л.В. Погребальные памятники срубной культуры Западного Оренбуржья с применением камня: специфика, культурные связи, периодизация и радиоуглеродная хронология // Археологические памятники Оренбуржья. Вып. 11 / Отв. ред. Н.Л. Моргунова. Оренбург Изд-во Оренбург. гос. пед. ун-та, 2014. С. 177–196.

Пазухин В.А. Медные слитки из Оренбургского музея // СА. 1969. №4. С. 239–245.

Татаринев С. И. О горно-металлургическом центре эпохи бронзы в Донбассе // СА. 1977. №4. С. 192–207.

Турганикское поселение в Оренбургской области / Отв. ред. Н.Л. Моргунова. Оренбург: изд. центр ОГАУ, 2017. 300 с.

Черных Е.Н. История древнейшей металлургии Восточной Европы / МИА. № 132. М.: Наука, 1966а. 144 с.

Черных Е.Н. О химическом составе металла клада из Сосновой Мазы // КСИА. Вып. 108. М.: Наука. 1966 б. С. 123–131.

Черных Е.Н. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья / МИА. № 172. М.: Наука, 1970. 180 с.

Черных Е.Н. Каргалы: феномен и парадоксы развития: (Каргалы в системе металлургических провинций. Потаенная (сакральная) жизнь архаических горняков и металлургов) / Каргалы. Т. V. М.: Языки славянской культуры, 2007. 200 с.

Черных Е.Н., Лебедева Е.Ю., Журбин И.В., Лопес-Саец Х. А., Лопес-Гарсия П., Мартинес-Наваррете М.И.Н. Каргалы.: Горный - поселение эпохи поздней бронзы: Топография, литология, стратиграфия: Производственно-бытовые и сакральные сооружения: Относительная и абсолютная хронология. / Каргалы. Т. II / под ред. Черных Е. Н. М.: Языки славянской культуры, 2002. 184 с.

Юминов А.М., Богданов С.В., Ткачев В.В., Авраменко С.В., Манбетова Г.Р. Геохимическая характеристика руд исторических медных рудников степного Приуралья // Геоархеология и археологическая минералогия 2017. Материалы IV Всероссийской молодежной научной школы. Миасс: Институт минералогии УрО РАН. 2017. С. 35–41.

Artemyev D.A., Ankushev M. N. Trace elements of Cu-(Fe)-sulfide inclusions in Bronze Age copper slags from South Urals and Kazakhstan: ore sources and alloying additions. Minerals. 2019. No 9 (12). P. 746.

Karpova S. V., Kiseleva D. V., Chervyakovskaya M. V., Streletskaya M. V., Shagalov E. S., Bogdanov S. V., Tkachev V. V., Yuminov A. M., Ankushev M. N. Copper isotope ratios in Cis-Urals copper sandstones and products of their processing as a tool for uncovering the Bronze Age smelting activities //AIP Conference Proceedings. Yekaterinburg: American Institute of Physics Inc., 2019. P. 020221.

Информация об авторе:

Богданов Сергей Вячеславович, кандидат исторических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт степи Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН (ОФИЦ УрО РАН) (г.Оренбург, Россия); bogdanov-step@yandex.ru

REFERENCES

Ankushev, M. N., Petrov, F. N., Blinov, I. A. 2018. *Geoarkheologiya i arkeologicheskaya mineralogiya – 2018. Nauchnoe izdanie. Materialy V Vserossiiskoi molodezhnoi nauchnoi shkoly (Geoarchaeology and Archaeological mineralogy – 2018. Scientific Publication. Proceedings of the 5th All-Russian Youth Scientific School)*. Miass: Institute of Mineralogy. Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 155–161 (in Russian).

Bogachev, V. F. 1889. In *Gornyi zhurnal (Mining Journal)* 3, 453–458 (in Russian).

Bogdanov, S. V. 2005. In Chernykh, E. N. (ed). *Kargaly: Nekropoli na Kargalakh. Naselenie Kargalov: paleontologicheskie issledovaniia (Kargaly: Kargaly' necropolis. Kargaly Population: paleoanthropological investigations)*. Moscow: "Iazyki slavianskoi kul'tury" Publ., 49–69 (in Russian).

Bogdanov, S. V. 2017. In *Stratum plus. Archaeology and Cultural Anthropology* (2), 133–157 (in Russian).

Bogdanov, S. V. 2019. In Morgunova, N. L. (ed.). *Fenomeny kul'tur rannego bronzovogo veka stepnoi i lesostepnoi polosy Evrazii: puti kul'turnogo vzaimodeistviia v V – III tys. do n.e (Phenomena of Early Bronze Age Cultures of the Steppe and Forest-Steppe Belt of Eurasia: Cultural Interaction Routes in the 5th–3rd Millennia BC)*. Orenburg: Orenburg State Pedagogical University, 161–174 (in Russian).

Bogdanov, S. V. 2019. In Polyakov, A. V., Tkach, E. S. (eds.) *Drevnosti Vostochnoi Evropy, Tsentral'noi Azii i Iuzhnoi Sibiri v kontekste svyazei i vzaimodeistvii v evraziiskom kul'turnom prostranstve (novye dannye i kontseptsii (Antiquities of Eastern Europe, Central Asia and Southern Siberia in the Context of Relations and Interactions in the Eurasian Cultural Space (New Information and Concepts) Vol. II. Saint Petersburg: Institute for the History of Material Culture, Russian Academy of Sciences, "Nevskaia Tipografiia" Publ., 225–229 (in Russian).*

Bogdanov, S. V. 2020. *Ural'skii istoricheskii vestnik (Ural Historical Bulletin)* (4), 6–14 (in Russian).

Bogdanov, S. V. 2021. In Zav'yalov, V. I., Kuzminykh, S. V. (eds.). *Analiticheskie issledovaniia laboratorii estestvennonauchnykh metodov (Analytical Studies of the Laboratory of Natural Scientific Methods) 5*. Moscow: Institute of Archaeology, Russian Academy of Sciences, 78–103 (in Russian).

Bogdanov, S. V., Tkachev, V. V., Yuminov, A. M., Avramenko, S.V. 2018. *Geoarkheologiya i arkeologicheskaya mineralogiya – 2018. Nauchnoe izdanie. Materialy V Vserossiiskoi molodezhnoi nauchnoi shkoly (Geoarchaeology and Archaeological mineralogy – 2018. Scientific Publication. Proceedings of the 5th All-Russian Youth Scientific School)*. Miass: Institute of Mineralogy. Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 121–133 (in Russian).

Degtyareva, A. D. 2010. *Istoriya metalloproduktstva Yuzhnogo Zaural'ya v epokhu bronzy (History of metal production in the south trans-Urals basin during the Bronze Age)*. Novosibirsk: "Nauka" Publ. (in Russian).

Zaikov, V. V., Melekestseva, I. Yu., Artemiev, D. A., Yuminov, A. M., Simonov, V. A., Dunaev, A. Yu. 2009. *Geologiya i kolchedannoe orudnenie iuzhnogo flanga Glavnogo Ural'skogo razloma (Geology and Pyrite Mineralization of the Southern Flank of the Main Uralian Fault)*. Miass: Institute of Mineralogy. Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (in Russian).

Zelenetskii, A. A., Zyavlitiskii, I. I., Malyutin, V. L. 1948. *Poleznye iskopaemye Chkalovskoi oblasti (Mineral Resources of Chkalov Oblast)*. Chkalov: "Chkalovskoe knizhnoe izdatel'stvo" Publ. (in Russian).

In Chernykh, E. N. (ed). 2002. *Kargaly: Geologo-geograficheskie kharakteristiki. Istoriia otkrytii, ekspluatatsii i issledovaniia. Arkheologicheskie pamiatniki (Kargaly: Geological and geographical characteristics History of discoveries, exploitation and investigations Archaeological sites)*. Moscow: "Iazyki slavianskoi kul'tury" Publ. (in Russian).

In Chernykh, E. N. (ed). 2004. *Kargaly III. Selishche Gornyy: Arkheologicheskie materialy. Tekhnologiya gorno-metallurgicheskogo proizvodstva. Arkheobiologicheskie issledovaniia (Kargaly 3: Gornyy Site. Archaeological Materials. Mining and Metallurgy Technology. Archaeobiological Studies)*. Moscow: "Iazyki slavianskoi kul'tury" Publ. (in Russian).

In Chernykh, E. N. (ed). 2005. *Kargaly: Nekropoli na Kargalakh. Naselenie Kargalov: paleontologicheskie issledovaniia (Kargaly: Kargaly' necropolis. Kargaly Population: paleoantropological investigations)*. Moscow: "Iazyki slavianskoi kul'tury" Publ. (in Russian).

Kiseleva, D. V., Soloshenko, N. G., Streletskaya, M. V., Okuneva, T. G., Shagalov, E. S., Tkachev, V. V., Bogdanov, S. V., Ankushev, M. N., Koryakova, L. N., Vinogradov, N. B. 2020. In *Mineraly: stroenie, svoistva, metody issledovaniia (Minerals: Structure, Properties, Study Methods)*. Yekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 122–125 (in Russian).

Kuptsova, L. V. 2014. In Morgunova, N. L. (ed.). *Arkheologicheskie pamiatniki Orenburzh'ia (Archaeological Sites of Orenburg Region)* 11. Orenburg: Orenburg State Pedagogical University, 177–196 (in Russian).

Pazukhin, V. A. 1969. In *Sovetskaia Arkheologiya (Soviet Archaeology)* (4), 239–245 (in Russian).

Tatarinov, S. I. 1977. In *Sovetskaia Arkheologiya (Soviet Archaeology)* (4), 192–207 (in Russian).

Morgunova, N. L. (ed.). 2017. *Turganiskoe poselenie v Orenburgskoi oblasti (Turganik settlement in Orenburg Oblast)*. Orenburg: "OGAU" Publ. (in Russian).

Chernykh, E. N. 1966. *Istoriia drevneishei metallurgii Vostochnoi Evropy (History of the Ancient Metallurgy in Eastern Europe)*. Materialy i issledovaniia po arkheologii SSSR (Materials and Research in the USSR Archaeology) 132. Moscow: "Nauka" Publ. (in Russian).

Chernykh, E. N. 1966. In *Kratkie soobshcheniia Instituta arkheologii (Brief Communications of the Institute of Archaeology)*. 108. Moscow: "Nauka" Publ., 123–131 (in Russian).

Chernykh, E. N. 1970. *Drevneishaia metallurgiya Urala i Povolzh'ia (Ancient Metallurgy of the Urals and Volga Region)*. Materialy i issledovaniia po arkheologii SSSR (Materials and Research in the USSR Archaeology) 172. Moscow: "Nauka" Publ. (in Russian).

Chernykh, E. N. 2007. *Kargaly: Fenomen i paradoksy razvitiia; Kargaly v sisteme metallurgicheskikh provintsi; Potaennaia (sakral'naia) zhizn' arkhaiskikh gornikov i metallurgov (The Phenomenon and the Paradoxes of Evolution; Kargaly in the System of Metallurgical Provinces; the Hidden (Sacred) Aspects of Life of Archaic Miners and Metallurgists)*. Series: Kargaly 5. Moscow: "Iazyki slavianskoi kul'tury" Publ. (in Russian).

Chernykh, E. N., Lebedeva, E. Yu., Zhurbin, I. V., López- García, P., López-Sáez, J. A., Martínez-Navarrete, M. N. 2002. *Kargaly: Gornyye poselenie epokhi pozdnei bronzy. Topografiia, litografiia, stratigrafiia. Proizvodstvenno-bytovyie i sakral'nye sooruzheniia. Otnositel'naia i absolutnaia khronologiia (Kargaly: The Gorny — the Late Bronze Age Settlement .Topography, lithology, stratigraphy. Household, manufacturing and sacral structures. Relative and absolute chronology)*. Series: Kargaly 2. Moscow: "Iazyki slavianskoi kul'tury" Publ. (in Russian).

Yuminov, A. M., Bogdanov, S. V., Tkachev, V. V., Avramenko, S. V. 2017. *Geoarkheologiya i arkheologicheskaia mineralogiia –2017. Nauchnoe izdanie. Materialy IV Vserossiiskoi molodezhnoi nauchnoi shkoly (Geoarchaeology and Archaeological mineralogy – 2017. Scientific Publication. Proceedings of the 4th All-Russian Youth Scientific School)*. Miass: Institute of Mineralogy. Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 35–41 (in Russian).

Artemyev, D. A., Ankushev, M. N. 2019. In *Minerals* 12 (9), 746 (in English).

Karpova, S. V., Kiseleva, D. V., Chervyakovskaya, M. V., Streletskaya, M. V., Shagalov, E. S., Bogdanov, S. V., Tkachev, V. V., Yuminov, A. M., Ankushev, M. N. 2019. In *AIP Conference Proceedings*. Yekaterinburg: American Institute of Physics Inc., P. 020221.

About the Author:

Bogdanov Sergei V. Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, Steppe Institute of the Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (OFIC of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences). Pionerskaya Str., 11 460000, Orenburg, Russian Federation; bogdanov-step@yandex.ru

Статья поступила в журнал 01.02.2022 г.
Статья принята к публикации 01.04.2022 г.