



УДК 553.43:902(470.5)

DOI <https://doi.org/10.26516/2227-2380.2018.23.87>

## Медные рудники бронзового века в Южном Зауралье\*

М. Н. Анкушев<sup>1,2</sup>, А. М. Юминов<sup>1,2</sup>, **В. В. Зайков<sup>2</sup>**, В. В. Носкевич<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт истории и археологии УрО РАН, Россия

<sup>2</sup>Институт минералогии УрО РАН, Россия

<sup>3</sup>Институт геофизики УрО РАН, Россия

**Аннотация.** Изложены данные о медных рудниках Южного Урала, разрабатывавшихся в бронзовом веке: Воровская Яма, Новониколаевский и Новотемирский. Медные руды приурочены к ультраосновным глубинным породам (ультрабазитам) и гранитоидным интрузиям. Возраст рудников установлен по находкам керамики бронзового, раннего железного века и радиоуглеродному датированию частиц угля, найденных в отвалах. Разрезы отвалов рудников свидетельствуют о нескольких этапах разработки древних рудников, что подтверждается горизонтами погребенных почв. Это может говорить о значительном периоде функционирования рудников в течение бронзового века.

**Ключевые слова:** Южный Урал, бронзовый век, древние рудники, месторождения меди, металлургические шлаки, малахит, сульфиды меди, хромшпинелиды.

**Для цитирования:** Медные рудники бронзового века в Южном Зауралье / М. Н. Анкушев, А. М. Юминов, В. В. Зайков, В. В. Носкевич // Известия Иркутского государственного университета. Серия Геархеология. Этнология. Антропология. 2018. Т. 23. С. 87–110. <https://doi.org/10.26516/2227-2380.2018.23.87>

### Введение

В настоящее время под рудником понимается горно-промышленное предприятие, разрабатывающее месторождение. К древним рудникам следует относить археологические объекты, на которых в древности происходили добыча, сортировка, предварительное обогащение и складирование руд. Первые описания древних рудников на Урале присутствуют в классических работах энциклопедистов прошлого: Й. Менге, А. Гумбольдта, И. В. Мушкетова, И. И. Лепехина, П. С. Палласа, Н. П. Рычкова и др. [Прокин, 2008]. На данный момент в степной зоне Южного Зауралья и Мугоджар известно около трех десятков разнотипных медных рудников, разработка которых происходила в бронзовом веке. Согласно расчетам, на них было добыто около 55 тыс. т медной руды, в которой содержалось примерно 3,5 тыс. т меди [Добыча медных руд ... , 2013].

---

\* Работа проведена при финансовой поддержке гранта РНФ № 16-18-10332 (М. Н. Анкушев – исследование минералогии руд и металлургических шлаков, А. М. Юминов – документация и изучение древних рудников, **В. В. Зайков** – геологическая позиция месторождений, В. В. Носкевич – геофизические исследования рудников).

Начиная с 1995 г. проводились исследования древних рудников, выявленных в Южном Зауралье, с помощью методов рудной геоархеологии [Зайков, Зданович, Юминов, 2000; Юминов, Носкевич, 2014; Юминов, Анкушев, Рассомахин, 2015; Анкушев, Юминов, Зайков, 2016]. Целью настоящей статьи является характеристика древних рудников Воровская Яма, Новониколаевский и Новотемирский, включая морфологию выработок, минералогические и геохимические особенности руд и металлургических шлаков.

### **Методика исследований**

Полевые работы на древних рудниках включали в себя составление крупномасштабных геологических схем и разрезов древних выработок, проведение ряда геофизических работ, частичную вскрышу карьера, поиски орудий древнего горного промысла, отбор образцов медных руд и вмещающих пород для лабораторных анализов.

Для геофизических исследований, проведенных на рудниках Воровская Яма и Новониколаевском, использовался георадар SIR-3000 (GSSI) с антенной 400 МГц (оператор В. В. Носкевич). Обработка проводилась с помощью программного обеспечения RADAN 6.6 (GSSI).

Оптические исследования аншлифов руд и металлургических шлаков проводились на микроскопах Axiolab Carl Zeiss и Olympus BX-51. Состав шлака устанавливался на рентгенофлуоресцентном анализаторе INNOV- $\alpha$ -400 (режим Soil, время экспозиции – 30 сек, аналитик М. Н. Анкушев).

Состав минералов шлаков установлен в Институте минералогии УрО РАН на растровом электронном микроскопе РЭММА 202М с рентгеновским энергодисперсионным спектрометром LZ-5 (SiLi детектор, разрешение 140 eV), ускоряющее напряжение 20 или 30 кВ, ток зонда 4–6 нА. При проведении количественного анализа на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 с ЭДС Oxford Instruments X-act использовались стандарты чистых металлов (MICRO-ANALYSIS CONSULTANTWS LT, LTD, X-RAY MICROPROBE STANDARDS, REGISTERED STANDARD NUMBER 1362) или стандарты синтетических (или природных) минералов (ASTIMEX SCIENTIFIC LIMITED, MINM 25-53, Mineral Mount Serial N0:01-044) (аналитик В. А. Котляров). Формулы хромшпинелидов рассчитывались анионным методом на 4 атома О, пироксена на 6 атомов О, волластонита на 3 атома О, анортита на 8 атомов О. В работе применяются общеизвестные для хромшпинелидов параметры минерала: хромистость  $\#Cr$  ( $Cr/(Cr+Al)$ ) и магнезиальность  $\#Mg$  ( $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ ), рассчитанные по атомным количествам компонентов.

### **Основные черты сырьевой базы древней металлургии меди на Южном Урале**

Источники сырья для древнего медного производства на Южном Урале представлены многочисленными мелкими месторождениями окисленных сульфидных руд, в составе которых преобладают карбонаты меди – малахит и азурит. Выделяется несколько главных типов рудных объектов [VMS deposits ... , 2005; Puchkov, 2016]:

*Зоны окисления вкрапленных сульфидных руд в породах ультраосновного и основного состава, приуроченных к сутурам (шовным зонам).* Минерализация представлена прожилками и пленками малахита и азурита, имеющими прожилковое и сетчатое распределение. Мощность таких зон от нескольких до первых десятков метров. Примером являются месторождения Ишкининское, Дергамышское, Ивановское, Воровская Яма, Новотемирское [Юминов, Зайков, 2002; Геология и колчеданное ... , 2009; Юминов, Анкушев, Рассомахин, 2015].

*Зоны окисления массивных медноколчеданных руд вулканогенно-осадочного происхождения девонского возраста.* Основным компонентом таких рудных тел являются бурые железняки с гнездами карбонатов меди и залежами вторичных сульфидных руд, сложенных халькозином и ковеллином. Рудные залежи имеют плащеобразную или линзовидную форму, мощность – десятки метров. В их подошве обычно располагаются первичные сульфидные руды. Месторождения известны во всех колчеданосных рудных районах Южного Урала. Наиболее известным древним рудником такого типа является Бакр-Узьяк [Черных, 1970].

*Зоны окисления прожилково-вкрапленных руд в гранитоидных и габброидных массивах девонского возраста,* рассеченных телами порфиروهого сложения преимущественно кислого состава. Первичные руды представлены сульфидами меди. Форма рудных тел изометричная или неправильная, поперечником в сотни метров – первые километры. Примером такого рудника является Новониколаевский [Юминов, Носкевич, 2014].

*Зоны окисления прожилково-вкрапленных сульфидных руд в турмалин-содержащих породах вблизи контактов гранитоидных массивов.* Типичный пример – рудник Еленовка в Оренбургской области, который относится к редкому минеральному типу – молибденит-халькопирит-турмалиновому [Бушмакин, Зайков, 1997].

*Зоны окисления сульфидно-кварцевых и сульфидно-карбонатно-кварцевых жил.* Такие пункты минерализации невелики по параметрам, но очень многочисленны. Как правило, кроме меди, эти жилы содержат серебро и мышьяк. Типовым примером являются рудники Никольского рудного поля [Черных, 1970].

*Зоны окисления медистых песчаников, формировавшихся в мелководных бассейнах.* Классическим примером такого типа являются Каргалинские месторождения на западе Оренбургской области, давшие огромное количество меди в бронзовом веке [Черных, 1970].

Главными факторами для определения источников медного сырья являются руды, выявленные на поселении, в сравнении с данными о микровключениях рудных минералов в шлаках. Фрагменты руд обнаружены в культурном слое многих поселений бронзового века, таких как Каменный Амбар, Устье, Аркаим, Левобережное, Кудуксай. Руды представлены 4 основными типами.

1. Малахит-азуритовые руды распространены наиболее широко. Малахит образует мелкочешуйчатые, спутано-волоконистые, реже – радиально-лучистые агрегаты. В рудах также встречаются азурит, мелкие включения сульфидов.

2. Магнетит-малахитовые руды встречаются реже, представляя собой образования массивного магнетита с вкраплениями и прожилками малахита.

3. Малахитовые прожилково-вкрапленные руды представляют собой небольшие обломки серпентинитов с вкраплениями и прожилками малахита.

4. Турмалин-малахитовые руды являются довольно редкой разновидностью и выявлены среди рудных обломков поселений Каменный Амбар и Аркаим. Размер фрагментов руд 1–3 см.

### **Рудник Воровская Яма**

Рудник располагается на междуречье Зингейка – Куйсак вблизи пос. Зингейский (Кизильский р-н Челябинской обл.). В геологическом отношении рудник приурочен к северному ограничению крупного аллохтона, сложенного офиолитами. Строение подошвы аллохтона чешуйчатое. Пластины серпентинитов мощностью от 10 до 200 м чередуются с пластинами вулканогенно-осадочных пород. Среди последних преобладают базальтоиды и темно-серые силициты. Отмечены также тела желтовато-серых кварцитов и красных гематит-кварцевых пород, установленных среди андезибазальтов западнее рудника. Преобладают разности однородной и брекчиевой текстур.

Древняя выработка имеет округлую форму диаметром 30–40 м и глубину 3–5 м (рис. 1, 2). Днище плоское, слегка заболоченное. Склоны имеют крутизну 10–20°, покрыты степной растительностью с отдельными развалами и высыпками руд и горных пород. Котловина с северной и юго-западной части окружена достаточно отчетливыми задернованными отвалами шириной от 5 до 15 м, высотой 0,8–1,2 м.

Наиболее полный разрез состоит из трех горизонтов, разделенных слоями погребенных почв. Нижний горизонт мощностью 5–10 см сложен зеленовато-желтыми нонтронитовыми глинами с малахитовой дресвой. Средний слой имеет линзовидную форму мощностью 70 см и состоит из песчано-глинистой массы, обогащенной дресвой и плитчатыми обломками базальтов и серпентинитов, а также обломками родингитов, пронизанных малахитом. Верхний горизонт состоит из нескольких тел различного цвета и состава. В слоях, обогащенных нонтронитовой глиной, имеются фрагменты медных руд. В тяжелой фракции содержатся зерна магнетита, граната, хромшпинелидов, гематита, амфибола.

В днище выработки обнажаются рудоносные гранатсодержащие метасоматиты в виде линзы мощностью до 8 м, длиной 25 м. Реконструированное рудное тело имеет следующее строение (сверху вниз):

- 1) зона раздробленных окисленных руд в коре выветривания – род «шапки» над телом родингитов, мощность 1–3 м;
- 2) зона дезинтегрированных окисленных руд (элювиальная часть рудного тела), мощностью 2–4 м;
- 3) зона окисленной медной руды родингитовой линзы, предполагаемой мощностью 3–5 м;
- 4) зона первичных руд – сульфидная минерализация в родингитах.

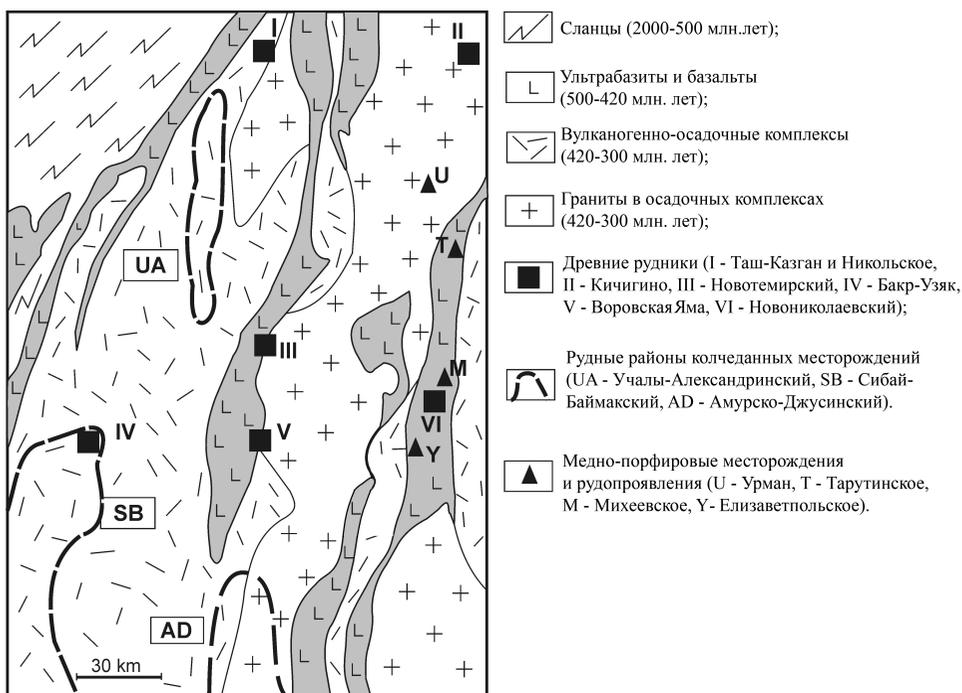


Рис. 1. Схема геологического строения Южного Зауралья

Рудовмещающие горные породы, к которым приурочены медные руды, представлены серпентинитами, тальк-карбонатными и хлорит-эпидотовыми метасоматитами. Контакт существенно тальковых и эпидотовых пород имеет северо-восточную ориентировку. Породы северо-западного борта котловины сложены серпентинитами со значительной примесью магнезиальных карбонатов и магнетита. Часто присутствуют мелкочешуйчатые выделения розовато-серого талька в виде корок и небольших прожилков. Магнетит выделяется в виде зерен неправильной формы или их сростков, значительно реже образует мелкие кристаллы октаэдрической формы. Из аксессуарных минералов отмечено присутствие хромшпинелидов, брусита, актинолита, кварца, талька, а также вторичных медных минералов – малахита, азурита, хризоколлы. Тальк-карбонатные породы имеют желтовато-серый, бледно-зеленый цвет. Мелкие черные пятна образованы скоплениями зерен магнетита, местами покрыты серовато-белой смесью листоватых агрегатов талька и коротковолокнистыми агрегатами серпентина. Рудная зона, имеющая линзовидную форму мощностью в раздуде 8 м и длиной до 25 м, вскрыта в центре карьера двумя траншеями, где представлена пироксен-гранатовыми породами. Текстура пород массивная, структура мелко- и среднекристаллическая. Отдельные участки сложены кристаллами граната поперечником 1–3 см, содержащими жилки и пластинчатые выделения халькопирита и сфалерита. По результатам микрозондового анализа установлено, что гранат представлен андрадитом  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$ . Медное оруденение представлено

комплексом вторичных минералов зоны гипергенеза. Вторичные минералы меди в основном сгруппированы на поверхности обломков в виде натеков, тонких корок и пленок, небольших скоплений землистых масс. Значительно реже они развиты по мелким прожилкам и трещинам совместно с доминирующими черными гидроксидами железа.

Наибольшее распространение имеет малахит, дающий рыхлые землистые массы зеленовато-коричневого цвета, а также небольшие зонально-концентрические, радиально-лучистые, иногда почковидные агрегаты до 2–3 мм в диаметре. Выделения азурита редки, он обнаружен в виде мелких зерен в тесном сростании с малахитом в зернистых массах. В шлиховом материале шурфов обнаружены единичные зерна куприта темно-красного цвета, иногда с развитым по нему корродирующим зеленым минералом.

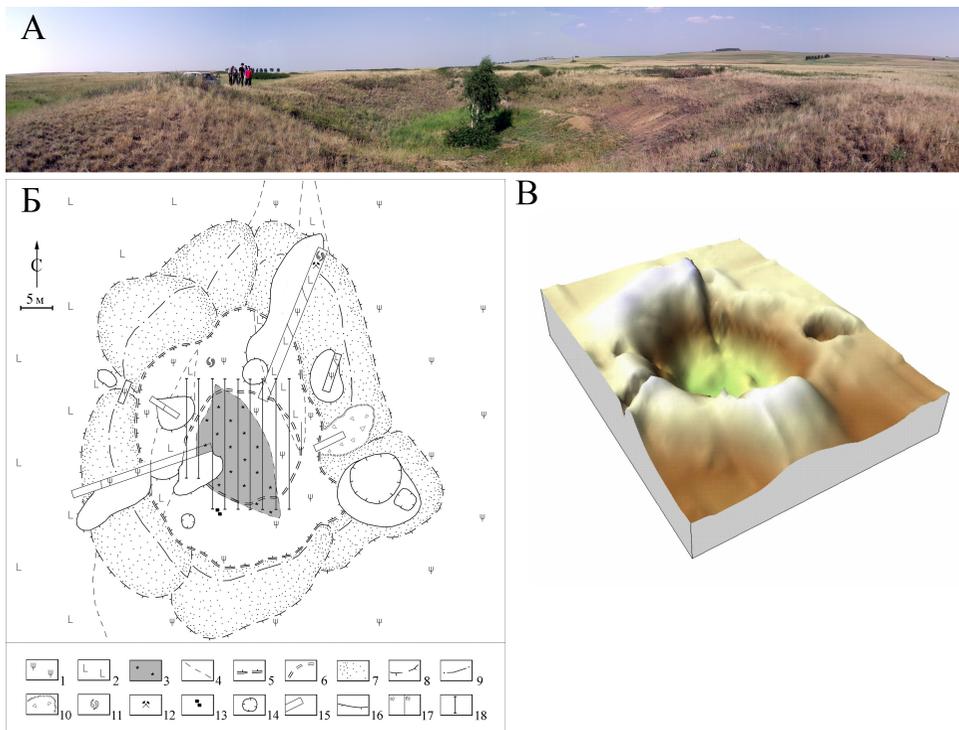


Рис. 2. Древний рудник Воровская Яма.

*А* – общий вид; *Б* – схема геологического строения древнего рудника Воровская Яма: 1 – серпентиниты; 2 – базальты; 3 – родингиты с примазками медных руд; 4 – геологические границы; 5–6 – древний карьер: 5 – контуры карьера; 6 – контуры дна; 7–9 – древние отвалы: 7 – материал отвалов; 8 – подошва отвалов; 9 – осевая линия; 10 – промплощадка; 11–13 – места находок артефактов (11 – обломки керамики, 12 – каменные орудия, 13 – металлургические шлаки); 14–15 – современные выработки (14 – контуры ям, 15 – канавы); 16 – контуры отвалов; 17 – относительные: а) высоты, б) глубины; 18 – местоположение георадарных профилей; *В* – трехмерное изображение современного рельефа рудника

По данным атомно-адсорбционного анализа родингиты Воровской Ямы имеют содержания (г/т): Au 0,2–0,5 и Ag 5–19. На древнем руднике происходила разработка зон № 1, № 2 и, частично, № 3. Замеры зон и произведенные расчеты показывают, что из добытой руды (приблизительно 4700 т) при содержании меди 3 % и коэффициенте извлечения 10 % могло быть получено приблизительно 70 т меди [Горная энциклопедия ... , 1989].

### **Рудник Новониколаевский**

Рудник расположен в 2 км к востоку от одноименной деревни (Карталинский р-н Челябинской обл.) на левом берегу р. Караталы-Аят. По данным геологоразведочных работ рудник находится в контактовой зоне гранодиоритовых пород михеевского комплекса с метасоматически изменёнными карбонатно-вулканогенно-осадочными породами и входит в состав Михеевского рудного района Новониколаевско-Тарутинской рудной зоны.

Древний карьер врезан в склон небольшого лога, выходящего в русло р. Караталы-Аят. Выработка перекрыта аллювиально-делювиальными наносами и в значительной степени задернована. Современные контуры карьера: длина – около 35 м, ширина – 15–20 м (см. рис. 1). Максимальная глубина – 2 м. Дно ровное, с небольшим наклоном на юго-восток. Южный борт невысокий (0,50–0,75 м), но относительно крутой. Северный и восточные борта перекрыты наносами, углы склона не превышают 5–10°. Западный борт наиболее пологий, вероятно, там, в древности мог находиться вход в карьер. На сегодняшний день ложе карьера почти полностью заполнено стратифицированными аллювиально-делювиальными отложениями (суглинки, песок, дресва) и гумусированным глинисто-щебнистым материалом, перемещёнными в результате оползания части отвала. Вскрытая мощность – 2 м. Для уточнения морфологии древней выработки, скрытой под наносами, была произведена георадарная съемка дна карьера. По типу волновой картины на разрезах выделяются 2 георадарных комплекса [Старовойтов, 2008]. Нижний комплекс характеризуется так называемой звучащей записью и связан с кровлей коренных пород. Верхний отличается от нижнего по конфигурации осей синфазности, их частотному составу и длине и связан с техногенными или переработанными грунтами. На профилях в зоне верхнего комплекса отмечаются отражающие границы, вызванные следами отвалов, погребенных канав и шурфов. После интерполяции границ между верхними и нижними георадарными комплексами, нормализации глубин этих границ и их приведению к точке с координатами была построена модель рельефа рудника в период его разработки (рис. 3), а также построены разрезы.

В древности карьер разрабатывался небольшими уступами высотой 0,75–1,25 м. Угол наклона уступов варьировал в пределах 45–60°. Дно выработки ровное, с небольшим наклоном на юго-восток. Разработка карьера велась до уровня грунтовых вод (из-за близости реки он не превышал 2–2,5 м от поверхности). Разрабатывались гнезда окисленных руд, сложенные

малахитом и азуритом. Оруденение приурочено к зоне контакта вулканогенно-осадочных пород основного состава с хлорит-серицит-кварцевыми метасоматитами. Рудная зона имеет субмеридиональное простирание и сложена серией кулисообразных крутопадающих линзовидных тел бурых железняков, несущих медную минерализацию в виде вкрапленности халькопирита. В древности на Новониколаевском карьере разрабатывались вторичные руды из зоны окисления, сложенные малахитом, азуритом и гидроксидами железа. Согласно анализам, средние содержания металлов варьируют в пределах (мас. %): медь 3,86–8,25 (в среднем 4,9); цинк 0,16–0,55; свинец 0–0,15. В отдельных пробах обнаружено присутствие (г/т): олова – 200; серебра – 9,4; мышьяка – 0,5 и золота – 0,8. Добытые руды предварительно обогащались (ручная отборка, обкол, сортировка и отбраковка сырья). Обогащение происходило в специально отведенных местах на «промплощадках», которые фиксируются по наличию скоплений мелких (менее 0,5–1 см) обломков почти чистого малахита, полученного в результате дробления добытой «черновой» руды и последующего удаления из нее пустой породы. На руднике обнаружены две «промплощадки». Одна из них находится на поверхности одного из отвалов, вторая – в небольшой промоине. Согласно предварительным расчетам, произведенным по оригинальной методике [Добыча медных руд ... , 2013], на Новониколаевском руднике было добыто порядка 130 т медной руды, в которой содержалось около 6,5 т меди. Из такого количества, с учетом неизбежных потерь при металлургическом переделе, можно было выплавить 2,5 т черновой меди.

Древняя выработка окружена пятью отвалами, последовательно налегающими друг на друга. Судя по их положению, разработка рудника началась на северо-западном фланге и проходила в несколько этапов. Перед началом эксплуатации для уточнения контуров рудного тела древними горняками был удален слой дерна, а в отдельных местах заложено несколько небольших разведочных выработок, вскрывающих наносы. Отвалы отсыпались на расстоянии 6–10 м от борта карьера. В настоящее время отвалы слабо выражены в рельефе. Очевидно, большая их часть под действием сезонных водотоков, особенно в период паводков, была смыта или перемещена в ложе карьера. Максимальная современная высота не превышает 0,5 м. Ширина – от 5–10 м на севере, до 10–15 м на юге. Осевая линия сдвинута к бортам выработки. Отвалы имеют кулисообразное строение и сложены глинисто-щебнистым материалом, в котором иногда фиксируются мелкие фрагменты вторичных медных руд. Отвалы селективные: на северном фланге рудника в отсыпанном материале преобладают 2–6 см обломки бурых железняков; на южном – в основном встречается щебень вмещающих пород.

В 2,8 км к востоку от карьера на левом берегу р. Караталы-Аят находится неукрепленное поселение бронзового века Новониколаевское I, существовавшее примерно в том же отрезке времени.

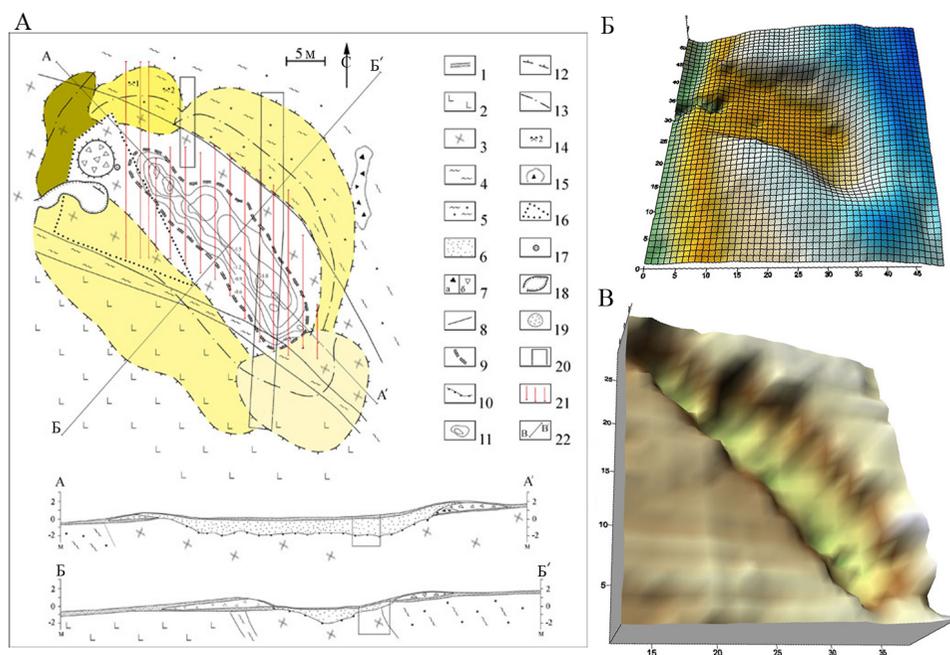


Рис. 3. Древний рудник Новониколаевский.

А – схема геологического строения древнего карьера: 1–8 – геологическое строение (1 – почвенно-растительный слой, 2 – базальты, 3 – бурые железняки с медной минерализацией, 4 – серицит-кварц-карбонатные породы; 5 – серицит-кварц-карбонатные породы лимонитизированные, 6 – материал заполнения древнего карьера, 7 – щебень: а) бурых железняков, б) вмещающих пород, 8 – геологические границы); 9–15 – древняя выработка (9 – контуры древнего карьера, 10 – контуры днища древнего карьера, 11 – изолинии глубин, 12 – контуры подошвы древнего отвала, 13 – осевая линия древнего отвала, 14 – места находок и номера каменных орудий, 15 – контуры древней промплощадки); 16–20 – современные выработки (16 – контуры буровой площадки, 17 – устья скважин, 18 – контуры ямы под буровой раствор, 19 – современный отвал, 20 – контуры разведочных траншей); 21 – линии геофизических профилей; 22 – линии геологических разрезов; Б – трехмерное изображение современного рельефа рудника; В – трехмерная модель древней поверхности рудника, скрытой под наносами

### Рудник Новотемирский

Рудник расположен в 1 км юго-юго-восточнее одноименного поселка по левому берегу р. Зингейка (Чесменский р-н Челябинской обл.). Он находится в центральной части Куликовского ультрабазитового массива на контакте апогарцбургитовых серпентинитов с родингитами. Серпентиниты образуют брекчированные блоки поперечником 2,5–8 м, отделенные друг от друга тонкорассланцованным материалом мощностью 1–2 м. Породы хлоритизированы и оталькованы. В отдельных местах по трещинам и плоскостям рассланцевания наблюдается выделение вторичных медных минералов. Родингиты представлены мелкозернистыми породами светло-серого цвета. Происхождение этих пород связано с преобразованием основных по-

род Куликовского массива, слагающих отдельные тектонические блоки в серпентинитах [Геологическое строение ... , 2001]. Они имеют однородное сложение и разбиты сетью кливажных трещин на небольшие блоки. В составе пород преобладают гранаты андрадитового ряда и пироксены, при небольшом содержании хлорита. На дневной поверхности родингиты преобразованы в бурые железняки. На некоторых из них фиксируется медная минерализация.

Руды в основном сложены малахитом, азуритом и хризоколлой. Малахит встречается в виде тонких пленок и корок толщиной 1–3 мм, реже образует маломощные прожилки или плотные мелкозернистые обособления – «журавчики», размером 2–4 см в поперечнике. В рудах присутствует небольшое количество азурита и хризоколлы. Азурит неравномерно распределен в малахитовой матрице, где формирует отдельные зерна размером 1–2 мм или их небольшие скопления. Скорлуповидные и прожилковые выделения хризоколлы более характерны для апородингитовых руд.

Из аксессуарных минералов встречаются хромшпинелиды и магнетит. Иногда отмечается присутствие корродированных зерен халькопирита, пирротина и пирита. Хромшпинелиды образуют отдельные трещиноватые зерна гипидиоморфного облика размером 0,5–1 мм. По составу хромшпинелиды соответствуют алюмохромиту (табл. 1). По периферии минерала развита хроммагнетитовая кайма.

Таблица 1

Результаты радиоуглеродного датирования образцов угля из отвалов Новониколаевского рудника

Лабор. №	№ пробы	Материал	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Дата $^{14}\text{C}$ , л. н.	Возраст, кал. л. н.*
MAMS 19398	Novopinge 1	Уголь	-18,8	2962±22	1262–1111
MAMS 19399	Novopinge 2	Уголь	-20,6	2918±23	1208–1028

\*Калибровка радиоуглеродных дат выполнена в программе OxCal 4.3 [Bronk Ramsey, 2017], кривая IntCal13 [IntCal13 ... , 2013], вероятность 95,4 %

Магнетит представлен в виде густовкрапленных скоплений, вплоть до массивных прожилков во вмещающей породе. Он образует гипидиоморфные, зачастую пористые, зерна размером 0,1–0,5 мм. В минерале присутствуют включения кобальтина, кобальтпентландита, халькопирита, борнита и маухерита. Последние образуют гипидиоморфные зерна размером 2–10 мкм.

Халькопирит встречается в виде отдельных зерен и небольших прожилков мощностью 1–2 мм. В рудах отмечено присутствие ксеноморфных субмикронных включений иодаргирита – галогенида серебра, являющегося типичным показателем аридных условий формирования зоны окисления.

По данным рентгенофлуоресцентного анализа содержание меди в рудах может варьировать в пределах 3,61–17,75 %. В рудах обнаружено присутствие (г/т): хрома (7–2641), никеля (0,10–1364), свинца (349), рубидия (69) и циркония (29). Последние три элемента присутствуют только в рудах, связанных с родингитами.

Древняя выработка в значительной степени задернована. Форма карьера овальная, размеры – 25–30×40 м, современная глубина – 2–2,5 м (рис. 4). Борта сглажены, углы наклона в верхней части не превышают 20–30°. Дно плоское, полностью перекрыто техногенными наносами.

Выработка окружена четырьмя оплывшими отвалами серповидной формы, которые разделены узкими проходами (рис. 5). Длина каждого составляет 20–30 м, ширина в подошве может достигать 5–10 м, современная высота – до 1,5 м. В материале отвала преобладает щебень серпентинитов, размером 1–4 см в поперечнике. В отдельных местах отмечены высыпки бурых железняков, на поверхности которых фиксируются тонкие корочки малахита. В южном и юго-западном отвалах наряду с серпентинитами отмечено присутствие родингитовых обломков. В разрезе отвалов выявлено присутствие, как минимум, четырех горизонтов погребенных почв различной мощности.

На руднике обнаружены две «промплощадки», которые имеют клиновидную форму, небольшой размер (до 3–5 м в поперечнике) и находятся на поверхности отвалов. Относительная высота – не более 0,1–0,2 м. «Промплощадки» сложены дресвой и мелким щебнем лимонитизированных пород. Кроме того, там же наблюдается большое количество малахитовой крошки.

Древним карьером разрабатывались гнезда окисленных руд, сложенные малахитом, азуритом, хризokolлой. Отвалы отсыпались в непосредственной близости от его борта. Добыча велась до уровня грунтовых вод и была прекращена в связи с частичным затоплением выработки. Глубина карьера из-за близости реки не превышала 2–2,5 м. По наличию нескольких уровней погребенных почв в отвале, можно предположить, что рудник пережил четыре этапа эксплуатации (рис. 6).

1. Заложение карьера и добыча медных руд в серпентинитах. Первый этап фиксируется по наличию в подошве отвала слоя зеленовато-серых суглинков с пятнами гумусированного вещества. Отсыпанный материал характерен для вскрышного делювия, перекрывающего рудное тело. Поверх отсыпан слой серпентинитового щебня. На части пород имеются выделения медных минералов, что говорит о добыче руд. Комплекс пород перекрыт слоем погребенной почвы мощностью 3–5 см. Это свидетельствует о прекращении разработки месторождения и длительном периоде покоя, за время которого мог сформироваться новый почвенный слой (второй горизонт погребенных почв).

2. Оценка перспектив для дальнейшей эксплуатации рудника. Вторым этапом был выделен из-за присутствия в разрезе маломощного слоя буровато-серых суглинков, содержащих до 50 % щебня серпентинитов. В обломках пород медная минерализация не обнаружена. Относительно небольшое количество добытого материала указывает на кратковременность проводимых работ, а отсутствие обломков руд в данном слое можно связать с неудачной попыткой обнаружения рудного тела, перекрытого техногенными наносами. Очевидно, древние горняки по результатам предпринятой разведки сделали вывод о неперспективности дальнейшей разработки месторождения. Рудник снова был заброшен, в результате чего на поверхности отвала смог образоваться очередной почвенно-растительный слой (третий горизонт погребенных почв).



Рис. 4. Общий вид древнего рудника Новотемирский (фотосъемка с западного борта карьера)

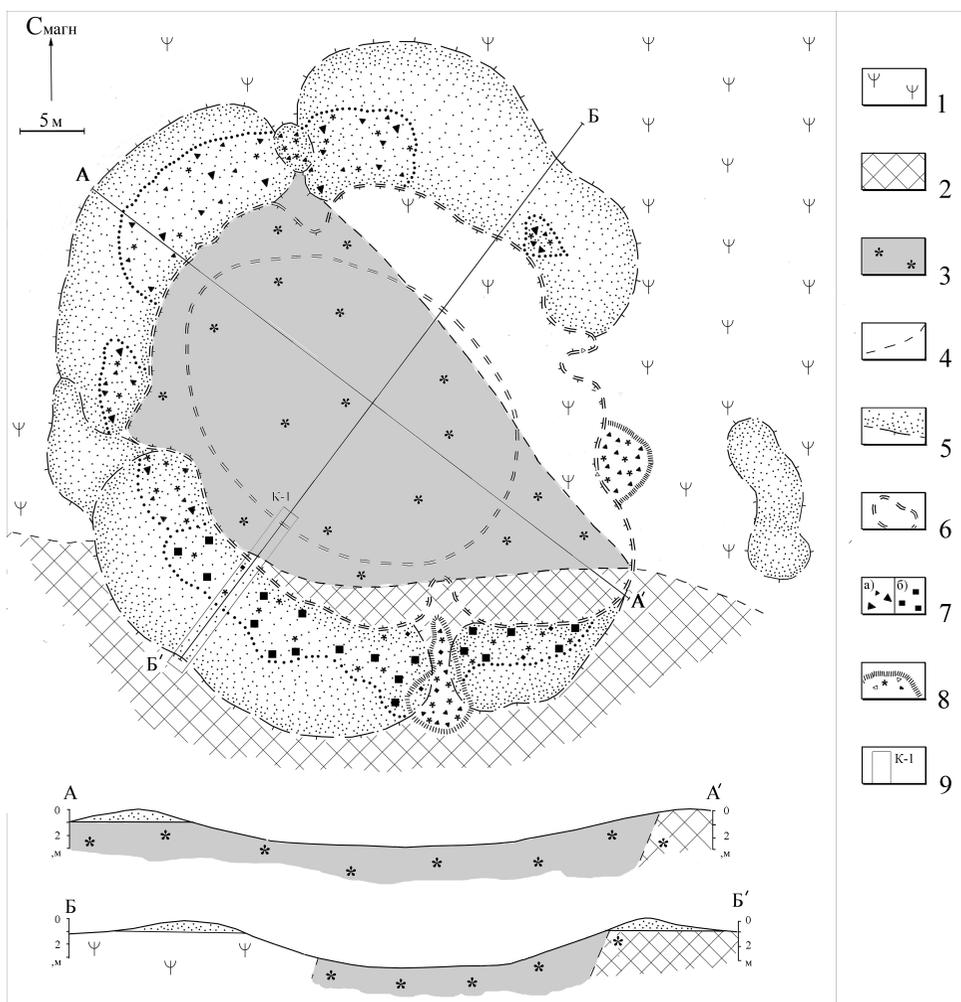


Рис. 5. Схема геологического строения древнего рудника Новотемирский:  
 1 – серпентиниты, 2 – родингиты, 3 – предполагаемый контур разрабатывавшихся руд (по обломкам карбонатов меди – малахита, азурита и бурых железняков), 4 – предполагаемые геологические границы, 5 – контуры отвалов; 6 – днище карьера; 7 – щебень: а) бурых железняков, б) родингитов; 8 – контуры обогатительных площадок; 9 – контуры канавы

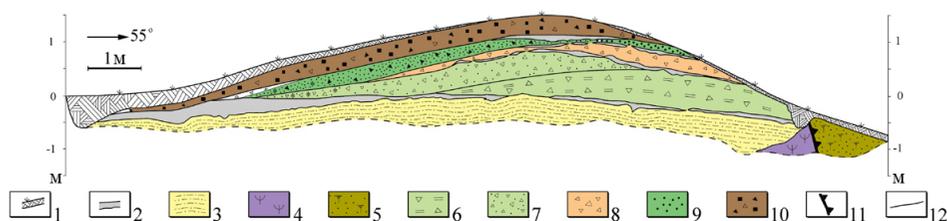


Рис. 6. Схема строения отвала древнего рудника Новотемировский:

1 – современный почвенно-растительный слой; 2 – погребенные почвы; 3 – делювиальные суглинки с мелким щебнем и дресвой окремненных пород; 4 – кора выветривания по серпентинитам; 5 – наносы; 6 – щебень серпентинитов в зеленоватых суглинках с землей мощностью 0,5–2 см (50–60 %); 7 – щебень серпентинитов мощностью 2–5 см (70–80 %) в зеленоватых суглинках; 8 – буровато-коричневый суглинок с щебнем серпентинитов мощностью 2–3 см (40–50 %); 9 – дресва и щебень серпентинитов мощностью 0,3–2 см (50–60 %) в зеленоватых суглинках; 10 – щебень родингитов и бурых железняков мощностью 1–3 см (70–80 % в серо-бурых суглинках); 11 – контур борта карьера; 12 –

3. Добыча медных руд, связанных с рассланцованными серпентинитами. Третий этап был установлен в результате фиксации слоя, отсыпанного поверх погребенных почв. Материал слоя представлен зеленоватыми суглинками, содержащими дресву и мелкий щебень рассланцованных серпентинитов. Часть пород малахитизирована. Данные отложения частично перекрыты тонким (первые мм до 1 см) прерывистым слоем погребенных почв (четвертый горизонт), в основном сформировавшихся во внутренней части отвала. Возможно, перерыв в эксплуатации рудника был небольшой.

4. Добыча медных руд, связанных с родингитами. Четвертый этап разработки фиксируется по наличию в кровле разреза щебнистого слоя лимонитизированных серпентинитов и родингитов, причем на последних установлена богатая медная минерализация. Особый интерес вызывают находки образцов, содержащих, помимо окисленных медных руд (малахита и азурита), реликты первичных сульфидов: пирротина, пирита и халькопирита, что делает вероятным их частичное использование в древней металлургии.

В целом по геологическому строению, морфологии выработки, наличию «промплощадок» Новотемировский рудник является прямым аналогом древнего рудника Воровская Яма. Минеральный состав и геохимические особенности руд также сопоставимы. В рудах месторождения диагностированы типичные минералы прожилково-вкрапленного оруденения, связанного с ультрабазиитами.

### Возраст древних рудников

Время и период эксплуатации древнего рудника можно установить по находкам фрагментов керамики в отвалах рудников, радиоуглеродному датированию углистого вещества и погребенных почв в отвалах рудников. Показательными являются также находки каменных орудий труда, изготовленные из крепких горных пород, как правило, нетипичных для геологической обстановки рудника.

У восточной выклинки северного отвала карьера рудника Воровская Яма был обнаружен культурный слой протяженностью около 8 м. Он состоял из двух горизонтов, каждый из которых, в свою очередь, перекрывался отработанной породой. Нижний содержал золу и кости домашних животных, верхний – остатки строительных конструкций и ямки с фрагментами сосудов алакульско-срубного типа. Поскольку в подъемных материалах, собранных на бортах древнего карьера, представлена посуда синташтинско-петровского облика, можно предположить, что основные этапы функционирования рудника связаны со временем средней и поздней бронзы.

В непосредственной близости от карьера рудника Новониколаевский выявлено несколько крупных обломков керамических сосудов. По мнению В. В. Ткачева, подобная морфология и орнаментация сосуда соответствует позднему бронзовому веку (оформление перехода от тулова к шейке в виде специфического уступчика; свободная от орнамента зона в нижней части шейки). Заштрихованные треугольники, выполненные по прямой сетке, меандры типичны для алакульской орнаментальной традиции. Хронологически подобную керамику можно отнести к середине II тыс. до н. э. Не исключено, что это ранний (петровский) этап алакульской культуры. В отдельных частях основания отвала рудника фиксируются линзы прокаленного грунта, содержащие золу и угольную крошку. Согласно данным радиоуглеродного анализа, возраст угля определен XII–XI вв. до н. э. (см. табл. 1). Следует учитывать, что угли находились не на самом дне карьера, а в наносах, следовательно, реальное время разработки карьера будет древнее.

При изучении Новотемирского рудника в 2017 г. в основании западного отвала на слое погребенной почвы найден фрагмент керамического сосуда без орнамента, предварительно датированный бронзовым веком [Медведева, 2017]. В северо-западной части рудника при вскрытии отвала обнаружены обломки каменных молотов, изготовленных из горных пород, не характерных для данной территории. В северной части рудника обнаружена древняя шахта, возле которой в культурном слое зафиксированы развалы двух сосудов, по морфологии и орнаменту относящиеся к кашинской культуре раннего железного века (определения И. Ю. Чикуновой). Находки позволяют сделать вывод о значительном времени функционирования рудника.

### **Древние металлургические шлаки**

В ходе проведения в 2012 г. георадарной съемки древнего рудника Воровская Яма на днище карьера А. М. Юминовым были обнаружены несколько фрагментов металлургических шлаков. Открытие представляет большой интерес, так как это первая находка шлаков непосредственно на руднике бронзового века на Южном Урале.

В ходе исследований были изучены 3 образца металлургических шлаков. Образцы представлены обломками шлаковых лепешек толщиной до 1 см и величиной 2–3 см. Цвет темно-серый, бурый, черный, пористость составляет 3–5 %. Структура порфировая. Текстуры весьма разнообразны: пятнистая, паркетовидная, перистая (рис. 7). Рентгенофлуоресцентный анализ

показал повышенное содержание Zn во фрагментах шлаков (табл. 2). Расплавные включения в шлаках всех типов представлены однофазными включениями меди изометричной, округлой, реже – вытянутой формы. Размер их весьма разнообразен – от мельчайших, слабо различимых в оптический микроскоп, до нескольких мм. По периферии корочки меди окислены, вплоть до полного замещения купритом. По минеральному составу шлаки весьма разнообразны.

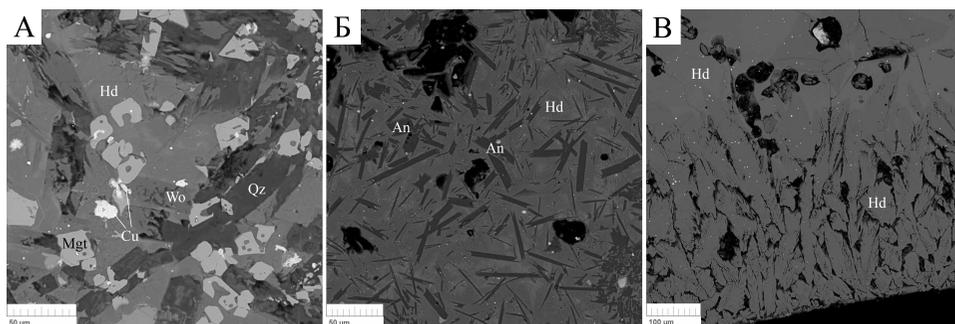


Рис. 7. Основные минералы металлургических шлаков древнего рудника Воровская Яма. Изображения в отраженных электронах:

А – зерна волластонита и кварца в общей массе геденбергита (образец ВЯ 100-1);  
 Б – удлиненные кристаллы анортита в шлаке (образец ВЯ 100-2); В – корочка закалки поверхности шлаковой лепешки, образованная перистыми кристаллами геденбергита.  
 Обозначения минералов: Hd – геденбергит, Wo – волластонит, Qz – кварц, An – анортит, Mgt – магнетит, Cu – медь

Таблица 2

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа металлургических шлаков с древнего рудника Воровская Яма\*

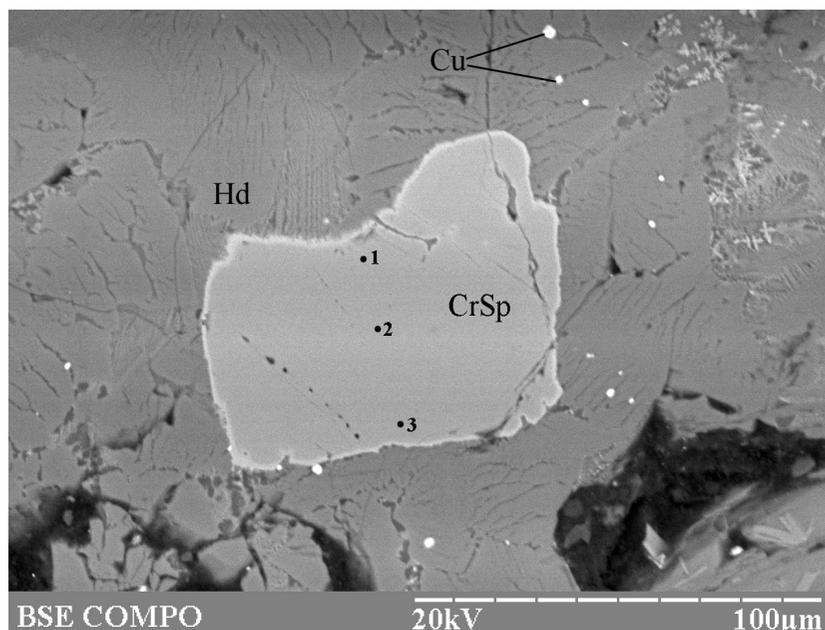
№	Образец	Cu	Zn	Cr	Pb	Mo	Mn	Ti
1	ВЯ 100-1	23711	350	–	60	–	14259	–
2	ВЯ 100-2	7756	373	925	–	–	5145	6185
3	ВЯ 100-3	8055	420	–	–	161	6197	–

\*Анализ выполнен на рентгенофлуоресцентном микроанализаторе INNOV-a-400. Режим Soil. Время экспозиции – 30 сек. – аналитик М. Н. Анкушев.

*Образец ВЯ 100-1.* Основную массу шлака составляет пироксен (геденбергит) (30–40 %) и волластонит (10–20 %) (здесь и далее доля от общего объема образца шлака), во вмещающей массе стекла с мелкими кристаллитами пироксена – 35–40 %, кроме этого в шлаке присутствует магнетит (5–10 %), кварц. Геденбергит (табл. 3) образует удлиненные идиоморфные кристаллы величиной до 0,3 мм. Волластонит представлен удлиненными призматическими и ящичными кристаллами размером до 0,2 мм, зачастую образующими радиально-лучистые сростки. Магнетит в шлаках образует агрегаты различной морфологии: гипидиоморфные зерна размером до 0,02 мм, скелетные кристаллы, кляксовидные выделения и мелкие симплектитовые вростки в кристаллах пироксена. Кварц встречается в виде единичных зерен различной морфологии размером до 0,1 мм.

*Образец ВЯ 100-2.* Основную массу шлака составляет стекло (80 %), вмещающее в себя удлиненные идиоморфные кристаллы анортита размером до 50 мкм. В купритовой кайме расплавных включений встречаются субмикронные агрегаты, содержащие в себе Ag, S, Se и Te. Количественный анализ включений, из-за их малого размера, получить не удалось. Ag и Se весьма редки, а находка Te является первой в древних металлургических шлаках Южного Урала. Se и Te указывают на использование не только окисленных руд в процессе плавки, а также и руд из зоны вторичного обогащения зоны окисления.

*Образец ВЯ 100-3.* Основную массу шлака составляют перистые кристаллы геденбергита в общей матрице стекла. Стекло шлака характеризуется повышенными (до 20 мас. %) содержаниями К. Иногда на поверхности образца шлака фиксируется корочка закалки, представленная отдельными срастаниями перистых кристаллов пироксена величиной до 0,2 мм (рис. 7, В). В расплавных включениях обнаружены S, Se и Bi. Минеральные микровключения представлены зернами хромшпинелидов размером 0,01–0,1 мм (рис. 8), встречаются как в виде гипидиоморфных зерен, так и ксеноморфных, с изъеденными границами. По периферии обычно развивается сплошная или прерывистая магнетитовая кайма. Состав хромшпинелидов варьирует в диапазоне (мас. %): Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 46–50; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5–16; MgO 0,5–3; FeO 20–34; TiO<sub>2</sub> 0–0,2; MnO 1,1–3,3; ZnO 0,8–13,5; V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> до 0–0,4 (табл. 4).



*Рис. 8.* Включение хромшпинелида в металлургическом шлаке древнего рудника Воровская Яма. Образец ВЯ 100-3. Изображения в отраженных электронах. Точки анализированных хромшпинелидов соответствуют табл. 3. Обозначения минералов: CrSp – хромшпинелид, Hd – геденбергит, Mgt – магнетит, Cu – медь, Gl – стекло

Таблица 3

## Состав новообразованных минералов в металлургических шлаках древнего рудника Воровская Яма\*

№	Образец	№ ан.	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма
Геденбергит (Ca <sub>0,78-1,1</sub> K <sub>0,00-0,11</sub> Na <sub>0,00-0,17</sub> ) <sub>0,92-1,1</sub> (Fe <sub>0,74-1,02</sub> Mg <sub>0,01-0,3</sub> Mn <sub>0,01-0,06</sub> ) <sub>0,95-1,15</sub> (Si <sub>1,66-1,81</sub> Al <sub>0,17-0,43</sub> Ti <sub>0-0,03</sub> Cr <sub>0-0,01</sub> ) <sub>1,92-2,14</sub> O <sub>6</sub>													
1	ВЯ 100-1	16114d	41,08	20,73	8,74	26,28	1,44	–	–	0,95	–	–	99,22
2		16114e	39,98	18,80	6,82	28,13	0,19	1,53	1,88	1,68	–	–	99,02
3		16114f	42,70	20,92	7,88	25,54	1,19	–	–	0,83	–	–	99,05
4		16114h	39,62	17,11	8,18	28,80	0,28	2,03	2,08	1,61	–	–	99,72
5	ВЯ100-3	2034d	40,00	21,86	4,15	26,43	1,02	–	0,59	1,01	0,19	0,21	95,46
6		2034g	42,03	24,32	3,43	25,11	4,11	–	0,18	0,52	0,02	0,02	99,73
7		2035b	40,08	24,67	6,28	22,81	4,22	–	0,18	0,24	0,90	–	99,38
8		16115a	44,47	20,19	6,75	24,19	2,20	0,31	1,02	0,46	0,24	–	99,84
9		16115b	43,21	20,02	6,76	24,17	1,40	0,91	1,51	0,71	0,35	–	99,03
10		16115d	44,53	21,65	5,31	22,03	5,00	–	–	0,57	0,39	–	99,49
11	16115h	44,45	21,47	5,99	22,85	3,51	–	–	0,42	0,40	–	99,10	
Волластонит (Ca <sub>0,9-0,91</sub> Fe <sub>0,03-0,05</sub> Mg <sub>0,01</sub> Mn <sub>0,01</sub> ) <sub>0,96-0,97</sub> Si <sub>1,02</sub> O <sub>3</sub>													
12	ВЯ 100-1	16114c	52,82	43,67	0,13	2,80	0,24	–	–	0,51	–	–	100,16
13		16114g	52,75	43,68	–	2,12	0,27	–	–	0,35	–	–	99,16
Анортит (Ca <sub>0,76</sub> Na <sub>0,2</sub> K <sub>0,01-0,02</sub> Mg <sub>0-0,01</sub> Fe <sub>0,03-0,07</sub> ) <sub>1,02-1,04</sub> (Al <sub>1,7-1,72</sub> Si <sub>0,22</sub> Fe <sub>0,06-0,08</sub> ) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>													
14	ВЯ 100-2	16116a	47,30	15,03	30,65	3,93	–	2,20	0,24	–	–	–	99,35
15		16116b	47,84	15,25	31,44	2,36	0,17	2,26	0,28	–	–	–	99,59
Стекло полевошпатового состава													
16	ВЯ100-3	2035d	55,64	0,42	20,34	3,25	0,46	–	19,49	–	–	–	99,60
17		16115i	54,51	1,79	21,66	3,14	–	1,32	16,49	0,29	0,20	–	99,39

\*Анализы выполнены в Институте минералогии УрО РАН на электронных микроскопах Tescan Vega 3 с ЭДС Oxford Instruments X-act (№ 1–4, 8–15, 17), аналитик И. А. Блинов и РЭММА 202М (№ 5–7, 16) – аналитик В. А. Котляров. Прочерк – не обнаружено.

Таблица 4

## Состав хромшпинелидов из металлургических шлаков древнего рудника Воровская Яма\*

№	Образец	№ ан.	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	ΣFeO	TiO <sub>2</sub>	MnO	ZnO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма	Кристаллохимическая формула	#Cr	#Mg
1	ВЯ 100-3	2034a	48,84	14,69	2,38	30,63	—	1,58	1,11	—	99,23	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,82</sub> Mg <sub>0,12</sub> Mn <sub>0,05</sub> Zn <sub>0,03</sub> ) <sub>1,02</sub> (Cr <sub>1,34</sub> Al <sub>0,6</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,06</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,69	0,13
2		2034b	49,10	15,55	2,88	29,26	0,21	1,29	0,82	0,25	99,36	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,8</sub> Mg <sub>0,15</sub> Mn <sub>0,04</sub> Zn <sub>0,02</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,33</sub> Al <sub>0,63</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,03</sub> Ti <sub>0,01</sub> V <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,68	0,15
3		2034c	49,51	15,83	2,75	29,13	0,12	1,1	0,99	0,38	99,81	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,81</sub> Mg <sub>0,14</sub> Mn <sub>0,03</sub> Zn <sub>0,02</sub> ) <sub>1,01</sub> (Cr <sub>1,33</sub> Al <sub>0,64</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,02</sub> V <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,68	0,15
4		2034e	46,62	15,36	0,48	19,88	0,11	3,29	13,52	0,09	99,34	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,54</sub> Zn <sub>0,35</sub> Mn <sub>0,1</sub> Mg <sub>0,03</sub> ) <sub>1,02</sub> (Cr <sub>1,31</sub> Al <sub>0,64</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,05</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,67	0,04
5		2035a	50,13	5,53	2,10	34,22	0,24	2,35	5,17	—	99,73	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,77</sub> Zn <sub>0,14</sub> Mg <sub>0,12</sub> Mn <sub>0,07</sub> ) <sub>1,1</sub> (Cr <sub>1,48</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,27</sub> Al <sub>0,24</sub> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,86	0,13
6		16115c	9,38	4,74	2,96	81,18	0,42	0,84	—	—	100*	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,81</sub> Mg <sub>0,16</sub> Mn <sub>0,03</sub> )(Fe <sup>3+</sup> <sub>1,52</sub> Cr <sub>0,27</sub> Al <sub>0,2</sub> Ti <sub>0,01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,43	0,17

\*Анализы выполнены в Институте минералогии УрО РАН на электронных микроскопах РЭММА 202М (№ 1–5) – аналитик В. А. Котляров, Tescan Vega 3 с ЭДС Oxford Instruments X-act (№ 6) – аналитик И. А. Блинов. Прочерк – не обнаружено. \* – в составе присутствует 0,48 мас. % CaO.

Цинковистый хромшпинелид представляет собой пористые зерна сложной морфологии и округлые реликты, окруженные мощной магнетитовой каймой. Подобные образования в природе являются результатом преобразования исходных акцессорных хромшпинелидов, причем самого различного состава, в результате гидротермально-метасоматических и гидрогенных процессов. Основное значение имеют изоморфные замещения  $Zn^{2+} \rightarrow Mg^{2+}, Fe^{2+}$  [О цинксодержащих ... , 2008]. В ранее изученных хромшпинелидах древних шлаков Южного Урала не фиксировались содержания ZnO выше 0,5 мас. %. По классификации Н. В. Павлова [1949] состав хромшпинелидов находится в поле алюмохромитов. Разновидность хромшпинелидов с высоким содержанием Zn (см. табл. 4, анализ № 4) попадает в поле субферрихромитов. Кроме этого в шлаках встречаются преобразованные зерна хроммагнетита (см. табл. 4, анализ № 6).

На поселении бронзового века Куйсак, расположенном в 4 км к западу от Воровской Ямы, были обнаружены обломки посуды синташтинского облика, сходные с установленными на древнем руднике [Малютина, Зданович, 1995]. В составе культурного слоя поселения были найдены обломки хромитсодержащих шлаков.

В 8 км к юго-востоку от рудника в долине р. Зингейки находятся 10 поселений бронзового века, одно из них – укрепленное поселение Сарым-Саклы синташтинского времени, девять – неукрепленные поселения с материалами позднего бронзового века и финала бронзового века. Металлургические шлаки этих поселений по текстурно-структурным особенностям схожи со шлаками рудника Воровская Яма. Так, в шлаках с поздних неукрепленных поселений, например Кацбах I, широко развиты цепочечные и ящичные кристаллы волластонита, как и в образцах с Воровской Ямы. Тем не менее присутствуют отличия минерального состава: повышенные содержания цинка в шлаке и включениях хромшпинелидов с рудника, а также разнообразный минеральный состав шлаков, среди которых можно выделить 3 разновидности: волластонит-геденбергитовый тип (обр. ВЯ 100-1), анортитовый тип (обр. ВЯ 100-2), хромитсодержащий геденбергитовый тип (обр. ВЯ 100-3).

В шлаках поселения Сарым-Саклы основной минеральный состав выражен фаялитом и магнетитом, во включениях хромшпинелидов не отмечен цинк. Шлаки поздних неукрепленных поселений содержат минеральные включения сульфидов, что не отмечено на руднике. Не исключено, что рудник эксплуатировался в течение большого времени на протяжении бронзового века.

## Выводы

1. Исследованные рудники Южного Зауралья относятся к двум типам: связанные с ультраосновными глубинными породами (ультрабазитами) – Воровская Яма и Новотемирский, и приуроченные к контактам гранитоидных интрузий с медно-порфиоровыми рудами – Новониколаевский. В них добывались руды, из которых выплавлялась медь и мышьяковая бронза.

2. Изучение строения рудников проведено с использованием георадарного метода. Результаты интерпретации геофизических исследований подтверждены серией разведочных горных выработок. Изучение древних горнорудных объектов вкупе с геофизическими работами позволяет более точно определить технологию разработки рудника и объем добычи полезного компонента. Установлено, что первичная глубина карьеров отличалась от современной поверхности на 1–2 м.

3. На руднике Воровская Яма выявлены обломки металлургических шлаков, в которых обнаружены включения хромшпинелидов – индикаторных минералов, ранее обнаруженных на многих поселениях бронзового века на Южном Урале, соответствующих синташтинскому культурно-историческому этапу.

4. Находки керамики, относящейся к разным культурно-историческим периодам, сравнение металлургических шлаков с аналогами на поселениях раннего и позднего бронзового века, а также радиоуглеродное датирование углей из отвалов позволяют сделать вывод о значительном периоде эксплуатации рудников Южного Зауралья в древнее время.

### Благодарности

*Авторы благодарят за помощь Д. А. Артемьева, И. А. Блинова, В. А. Котлярова, Р. Краузе.*

### Список литературы

Анкушев М. Н., Юминов А. М., Зайков В. В. Медные рудники Таш-Казган, Никольский и Кураминский (Южный Урал) // Геоархеология и археол. минералогия. 2016. № 3. С. 108–112.

Бушмакин А. Ф., Зайков В. В. Еленовское медно-турмалиновое месторождение – вероятный источник руды для медеплавильного производства Аркаима // Урал. минералог. сб. 1997. № 7. С. 221–232.

Геологическое строение и полезные ископаемые территории листа N-41-XIX (Чесма) масштаба 1:200 000, серия Южно-Уральская, лист N-41-XIX» за 1993–1999 гг.) / Ал. В. Тевелев, И. А. Кошелева, Е. Ф. Бурштейн, Арк. В. Тевелев, И. Е. Кузнецов, В. С. Попов. М., 2001.

Геология и колчеданное оруденение южного фланга Главного Уральского разлома / В. В. Зайков, И. Ю. Мелекесцева, Д. А. Артемьев, А. М. Юминов, В. А. Симонов, А. Ю. Дунаев. Миасс : Ин-т минералогии УрО РАН, 2009. 376 с.

Горная энциклопедия / ред. Е. А. Козловский. М. : Сов. энцикл., 1989. Т. 4. 550 с.

Добыча медных руд в бронзовом веке в Мугоджарах / А. М. Юминов, В. В. Зайков, В. Ф. Коробков, В. В. Ткачев // Археология, этнография и антропология Евразии. 2013. № 3 (55). С. 87–96.

Зайков В. В., Зданович Г. Б., Юминов А. М. Воровская яма – новый рудник бронзового века // Археологический источник и моделирование древних технологий: труды музея-заповедника Аркаим. Челябинск, 2000. С. 112–130.

Малютина Т. С., Зданович Г. Б. Куйсак – укрепленное поселение протогородской цивилизации Южного Зауралья // Россия и Восток: проблемы взаимодействия. Челябинск, 1995. Ч. 5, кн. 1 : Культуры древних народов степной Евразии и феномен протогородской цивилизации Южного Урала. С. 100–106.

Медведева П. С. Отчет об археологической разведке в долине р. Темир-Зингейка в Чесменском и Нагайбакском районах Челябинской области, 2017 г. Челябинск, 2017. 105 с.

О цинксодержащих и цинкистых хромшпинелидах Тимано-Уральского региона / В. И. Силаев, В. Н. Шабалин, И. И. Голубева, А. Ф. Хазов, Е. А. Белоусова // Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. 2008. № 8 (199). С. 6–16.

Павлов Н. В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Тр. Геол. ин-та РАН. 1949. Вып. 103. 91 с.

Прокин В. А. История изучения и промышленного освоения рудных месторождений Урала // Литосфера. 2008. № 1. С. 100–119.

Старовойтов А. В. Интерпретация георадиолокационных данных. М.: Изд-во МГУ, 2008. 192 с.

Черных Е. Н. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья. М.: Наука, 1970. 181 с.

Юминов А. М., Зайков В. В. Горные разработки бронзового века на Ишкининском медном руднике (Ю. Урал) // Урал. минералог. сб. 2002. № 12. С. 220–228.

Юминов А. М., Носкевич В. В. Геолого-минералогические и геофизические исследования древнего медного рудника Новониколаевский (Южный Урал) // Геоархеология и археол. минералогия. 2014. № 1. С. 108–114.

Юминов А. М., Анкушев М. Н., Рассомахин М. А. Древний медный рудник Новотемирский (Южный Урал) // Геоархеология и археол. минералогия. 2015. № 2. С. 78–81.

Bronk Ramsey C. OxCal 4.3 [Electronic resource]. 2017. URL: <http://c14.arch.ox.ac.uk>.

VMS deposits of the South Urals, Russia / R. Herrington, V. V. Maslennikov, V. V. Zaykov, I. Seravkin // Ore Geology Review. 2005. Vol. 27. P. 238–239.

Puchkov V. N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why // Ore Geology Reviews. 2016. № 1. P. 1–26.

IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP / P. J. Reimer, E. Bard, A. Bayliss, J. W. Beck, P. G. Blackwell, C. B. Ramsey, C. E. Buck, H. Cheng, R. L. Edwards, M. Friedrich, P. M. Grootes, T. P. Guilderson, H. Haflidason, I. Hajdas, C. Hatte, T. J. Heaton, D. L. Hoffmann, A. G. Hogg, K. A. Hughen, K. F. Kaiser, B. Kromer, S. W. Manning, M. Niu, R. W. Reimer, D. A. Richards, E. M. Scott, J. R. Southon, R. A. Staff, C. S. M. Turney, J. van der Plicht // Radiocarbon. 2013. Vol. 55(4). P. 1869–1887.

## Copper Mines of Bronze Age in Southern Trans-Urals

M. N. Ankushev<sup>1,2</sup>, A. M. Yuminov<sup>2</sup>, V. V. Zaykov<sup>2</sup>, V. V. Noskevich<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of History and Archaeology UB RAS, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Institute of Mineralogy UB RAS, Russian Federation*

<sup>3</sup>*Institute of Geophysics UB RAS, Russian Federation*

**Abstract.** The paper presents data on the Southern Trans-Urals copper mines, developed in the Bronze Age: Vorovkaya Yama, Novonikolaevsky and Novotemirsky. The geodynamic positions of this copper mines are reviewed. The results of field work on ancient mines are described, including the compilation of large-scale geological schemes and sections of ancient excavations, partial overburden mining, and the search for tools of ancient mining. Laboratory researches of ores and ancient metallurgical slags mineralogy were carried out by optical and electron microscopy, formulas of minerals and some petrochemical coefficients were calculated. Copper ores are confined to ultrabasites and granitoid intrusions. The ores found in the settlements are represented by four main types: malachite-azurite, malachite-magnetite, malachite streaky-impregnation, and tourmaline-malachite. Mineralogy of copper ores is represented by malachite, azurite and accessory minerals: chalcopyrite, bornite, chrome spinels, cobaltite, cobaltpentlandite, mauherite, chrysocolla, iodargyrite. The conducted geophysical surveys made it possible to establish that the primary depth of the quarries differed from the present

day surface by 1–2 m. Research of ancient mining objects, combined with geophysical methods, allows more accurate determination of mine development technology and the volume of useful component extraction. The age of the mines is determined from the finds of the Bronze Age and Early Iron Age ceramics and the radiocarbon dating of the coal particles found in the dumps. The sections of the mine dumps indicate several stages of the ancient mines development, which is confirmed by the horizons of buried soils. Fragments of metallurgical slags were found at the Vorovskaya Yama mine, similar to those found in the neighboring settlements of the Zingeika archeological microdistrict, referring to the Sintashta and the Srubno-Alakul cultural-historical stage. Findings of ceramics related to different cultural and historical periods, comparison of metallurgical slags with analogues in the settlements of the Early and Late Bronze Age, as well as radiocarbon dating of coal from dumps, allow us to conclude that the Southern Trans-Urals mines were used for a long period in ancient times.

**Keywords:** Southern Urals, Bronze Age, ancient mines, copper deposits, metallurgical slags, malachite, copper sulfides, chrome spinels.

**For citation:** Ankushev M. N., Yuminov A. M., Zaykov V. V., Noskevich V. V. Copper Mines of Bronze Age in Southern Trans-Urals. *Bulletin of the Irkutsk State University. Geoarcheology, Ethnology, and Anthropology Series*, 2018, Vol. 23, pp. 87–110. <https://doi.org/10.26516/2227-2380.2018.23.87> (in Russian)

#### References

Ankushev M. N., Yuminov A. M., Zaykov V. V. Mednye rudniki Tash-Kazgan, Nikol'skii i Kuraminskii (Yuzhnii Ural) [Tash-Kazgan, Nikolsky and Kuraminsky copper mines (South Urals)]. *Geoarheologiya i arheologicheskaya mineralogiya [Geoarcheology and archeological Mineralogy]*. Miass, 2016, pp. 108–112. (In Russ.)

Bushmakina A. F., Zaykov V. V. Elenovskoe medno-turmalinovoe mestorozhdenie – veroyatnyi istochnik rudy dlya medeplavil'nogo proizvodstva Arkaima [The Elenovsky copper-tourmaline deposit is a probable source of ore for copper smelting production of Arkaim]. *Uralskii mineralogicheskii sbornik [Ural mineralogical collection]*. 1997, Is. 7, pp. 221–232. (In Russ.)

Bronk Ramsey C. *OxCal 4.3*. 2017, available at: <http://c14.arch.ox.ac.uk>.

Chernykh E. N. *Drevneishaya metallurgiya Urala i Povolzh'ya [The ancient metallurgy of the Urals and the Volga region]*. Moscow, Nauka Publ., 1970, 181 p. (In Russ.)

Herrington R., Maslennikov V. V., Zaykov V. V., Seravkin I. VMS deposits of the South Urals, Russia. *Ore Geology Review*. 2005, Vol. 27, pp. 238–239.

Kozlovskii E. A. (ed.). *Gornaya entsiklopediya [Mining encyclopedia]*. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1989, Vol. 4, 550 p. (In Russ.)

Malyutina T. S., Zdanovich G. B. Kuisak – ukreplennoe poselenie protogorodskoi tsivilizatsii Yuzhnogo Zauraliya [Kuisak – a fortified settlement of Protogorodskaya civilization at the Southern Trans-Urals]. *Rossiya i Vostok: problemy vzaimodeistviya [Russia and the East: Problems of Interaction]*. Chelyabinsk, 1995, Ch. 5, Book 1: Kultury drevnikh narodov stepnoi Evrazii i fenomen protogorodskoi tsivilizatsii Yuzhnogo Urala [Cultures of ancient peoples of the steppe Eurasia and the phenomenon of the Protogorodskaya civilization of the Southern Urals], pp. 100–106. (In Russ.)

Medvedeva P. S. *Otchet ob arheologicheskoi razvedke v doline r. Temir-Zingeika v Chesmenskom i Nagaibakskom raionakh Chelyabinskoi oblasti [Report on archaeological exploration in the valley of the river Temir-Zingeika in the Chesma and Nagaybak districts of the Chelyabinsk region]*. Chelyabinsk, 2017, 105 p. (In Russ.)

Pavlov N. V. *Khimicheskii sostav khromshpinelidov v svyazi s petrograficheskimi sostavom porod ultraosnovnykh intruzivov [Chemical composition of chromspinelides in connection with petrographic composition of ultrabasic intrusions rocks]*. *Trudy Geologicheskogo instituta RAN [Proceedings of the Geological Institute RAS]*. 1949, Is. 103, 91 p. (In Russ.)

Prokin V. A. Istoriya izucheniya i promyshlennogo osvoeniya rudnykh mestorozhdenii Urala [History of study and industrial development of ore deposits in the Urals]. *Litosfera [Lithosphere]*. 2008, Is. 1, pp. 100–119. (In Russ.)

Prokin V. A. Istoriya izucheniya i promyshlennogo osvoeniya rudnykh mestorozhdenii Urals [History of study and industrial development of ore deposits in the Urals]. *Litosfera [Lithosphere]*. 2008, Is. 1, pp. 100–119. (In Russ.)

Puchkov V. N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why. *Ore Geology Review*. 2016, Is. 1, pp. 1–26.

Reimer P. J., Bard E., Bayliss A., Beck J. W., Blackwell P. G., Ramsey C. B., Buck C. E., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P. M., Guilderson T. P., Haflidason H., Hajdas I., Hatte C., Heaton T. J., Hoffmann D. L., Hogg A. G., Hughen K. A., Kaiser K. F., Kromer B., Manning S. W., Niu M., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Staff R. A., Turney C. S. M., van der Plicht J. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*. 2013, Vol. 55 (4), pp. 1869–1887.

Silaev V. I., Shabalin V. N., Golubeva I. I., Khazov A. F., Belousova E. A. O tsinksoderzhashchikh i tsinkistykh khromshpinelidakh Timano-Uralskogo regiona [About zinc-containing and zinc chrome spinels of the Timan-Ural region]. *Vestnik Instituta geologii Komi NC UrO RAN [Bulletin of the Institute of Geology of the Komi Scientific Center UB RAS]*. 2008, Is. 8 (199), pp. 6–16. (In Russ.)

Starovoitov A. V. *Interpretatsiya georadiolokatsionnykh dannykh [Interpretation of georadar tracking data]*. Moscow, Moscow State University Publ., 2008, 192 p. (In Russ.)

Tevelev A. V., Kosheleva I. A., Burshtein E. F., Tevelev Ark. V., Kuznetsov I. E., Popov V. S., et al. *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye territorii lista N-41-XIX (Chesma) masshtaba 1 : 200 000, seriya Yuzhno-Uralskaya, list N-41-XIX za 1993–1999 gg. [The geological structure and mineral resources of the N-41-XIX (Chesma) scale of the scale 1 : 200 000, the South Ural series, N-41-XIX sheet for 1993–1999]*. Moscow, 2001.

Yuminov A. M., Noskevich V. V. Geologo-mineralogicheskie i geofizicheskie issledovaniya drevnego mednogo rudnika Novonikolaevskii (Yuzhnyi Ural) [Geological-mineralogical and geophysical research of the ancient copper mine Novonikolaevsky (Southern Ural)]. *Geoarkheologiya i arkheologicheskaya mineralogiya-2014 [Geoarchaeology and archeological Mineralogy-2014]*. Miass, 2014, pp. 108–114. (In Russ.)

Yuminov A. M., Zaykov V. V. Gornye razrabotki bronzovogo veka na Ishkininskom mednom rudnike (Yu. Ural) [Bronze Age mining at the Ishkino copper mine (Southern Ural)]. *Uralskii mineralogicheskii sbornik [Ural Mineralogical Collection]*. 2002, Vol. 12, pp. 220–228. (In Russ.)

Yuminov A. M., Ankushev M. N., Rassomakhin M. A. Drevnii mednyi rudnik Novotemirskii (Yuzhnyi Ural) [Ancient copper mine Novotemirsky (Southern Ural)]. *Geoarkheologiya i arkheologicheskaya mineralogiya-2015 [Geoarchaeology and archeological Mineralogy-2015]*. Miass, 2015, pp. 78–81. (In Russ.)

Yuminov A. M., Zaykov V. V., Korobkov V. F., Tkachev V. V. Dobycha mednykh rud v bronzovom veke v Mugodzharakh [Extraction of copper ores in the Bronze Age in Mugodzharay]. *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii [Archaeology, Ethnography and Anthropology of Eurasia]*. 2013, Is. 3 (55), pp. 87–96. (In Russ.)

Zaykov V. V., Zdanovich G. B., Yuminov A. M. Vorovskaya yama – novyi rudnik bronzovogo veka [The Vorovskaya yama is a Bronze Age new mine]. *Arkheologicheskii istochnik i modelirovanie drevnikh tekhnologii: trudy muzeya-zapovednika Arkaim [Archaeological source and modeling of ancient technologies: works of the Arkaim Museum-Reserve]*. Chelyabinsk, 2000, pp. 112–130. (In Russ.)

Zaykov V. V., Melekestseva I. Yu., Artemiev D. A., Yuminov A. M., Simonov V. A., Dunaev A. Yu. *Geologiya i kolchedannoe orudnenie yuzhnogo flanga Glavnogo Uralskogo razloma [Geology and massif sulfide mineralization of the Main Ural Fault southern flank]*. Miass, Institute of Mineralogy UB RAS Publ., 2009, 376 p. (In Russ.)

***Анкушев Максим Николаевич***

младший научный сотрудник, Институт истории и археологии УрО РАН; Россия, 620990, г. Екатеринбург, ул. Ковалевской, 16  
младший научный сотрудник, Институт минералогии УрО РАН; Россия, 456317, г. Миасс, Ильменский заповедник  
e-mail: ankushev\_maksim@mail.ru

***Юминов Анатолий Михайлович***

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт истории и археологии УрО РАН; Россия, 620990, г. Екатеринбург, ул. Ковалевской, 16  
старший научный сотрудник, Институт минералогии УрО РАН; Россия, 456317, г. Миасс, Ильменский заповедник  
e-mail: umin@mineralogy.ru

**Зайков Виктор Владимирович**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, Институт минералогии УрО РАН; Россия, 456317, г. Миасс, Ильменский заповедник

***Носкевич Владислав Витальевич***

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт геофизики УрО РАН; Россия, 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100  
e-mail: ubistu@gmail.com

***Ankushev Maksim Nikolaevich***

Junior Researcher, Institute of History and Archaeology UB RAS; 16, Kovalevskaya st., Ekaterinburg, 620990, Russian Federation  
Junior Researcher, Institute of Mineralogy UB RAS; Ilmensky reserve, Miass, 456317, Russian Federation  
e-mail: ankushev\_maksim@mail.ru

***Yuminov Anatolii Mikhailovich***

Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Institute of History and Archaeology UB RAS; 16, Kovalevskaya st., Ekaterinburg, 620990, Russian Federation  
Senior Researcher, Institute of Mineralogy UB RAS; Ilmensky reserve, Miass, 456317, Russian Federation  
e-mail: umin@mineralogy.ru

**Zaykov Victor Vladimirovich**

Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor, Institute of Mineralogy UB RAS; Ilmensky reserve, Miass, 456317, Russian Federation

***Noskevich Vladislav Vitalievich***

Candidate of Sciences (Physic and Mathematics), Senior Researcher, Institute of Geophysics UB RAS; 100, Amundsen st., Ekaterinburg, 620016, Russian Federation  
e-mail: ubistu@gmail.com