

УДК 553.435:549.2 (470.5)

**В.В. Зайков¹, А.М. Юминов¹, А.Ю. Дунаев¹,
Г.Б. Зданович², С.А. Григорьев³**

¹Институт минералогии УрО РАН,
Ильменский заповедник, Миасс, Челябинская обл., 456317, Россия
E-mail: zaykov@ilmeny.ac.ru

²Челябинский государственный университет
ул. Братьев Кашириных, 129, Челябинск, 454021, Россия
E-mail: center_arkaim@mail.ru

³Институт истории и археологии УрО РАН
ул. Коммуны, 68, Челябинск, 454000, Россия
E-mail: stgrig@mail.ru

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДРЕВНИХ МЕДНЫХ РУДНИКОВ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ*

Введение

Открытие на Южном Урале протогородской цивилизации бронзового века инициировало геоархеологические исследования исторических памятников Южного Урала [Зданович, 1995]. Большое внимание было уделено изучению минерально-сырьевой базы древних обществ, сравнительному минералого-геохимическому исследованию руд, шлаков и металлических изделий. Полученные материалы не только дополнили сведения о древнем горном деле и металлургии региона [Иссен, 1948; Черных, 1970; Черных, Кузьминых, 1989; Григорьев, 2000; Zaykov et al., 2002], но и позволили выработать новый методический прием сопоставления руд и шлаков по индикаторным минералам – хромшпинелидам и турмалину.

В статье подведен итог геолого-минералогических исследований древних рудников, расположенных в степной зоне на восточном склоне Южного Урала. Полевые методы включали составление карт и

планов карьеров; проходку и документацию горных выработок, которыми вскрывались отвалы и рудные тела; отбор проб из коренных пород и рыхлых отложений. Был проанализирован состав медных и бронзовых изделий из поселений и погребений, датированных в интервале XX–X вв. до н.э. Химический, рентгеноспектральный, рентгеноструктурный, рентгенофлуоресцентный анализы, оптическая и электронная микроскопия выполнены в лабораториях Института минералогии УрО РАН (Миасс), Музея естественной истории (Лондон), Фрайбергской горной академии (Фрайберг). При составлении картосхем рудников использованы материалы К.Д. Субботина (Ишкининский рудник).

Исследования проводились по теме Института минералогии УрО РАН “Геоархеология и археологическая минералогия Урала (01.2.00303810)”, научным программам Челябинского государственного университета, Музея-заповедника “Аркаим”, Института истории и археологии УрО РАН.

Сырьевая база древней металлургии меди на Южном Урале

В бронзовом веке в Уральском регионе сложились три горно-металлургических центра [Черных, 1970; Фирсов, Мартынова, 1995; Черных, 2002]: Каргалин-

*Исследования выполнены при финансовом содействии РГНФ (проект № 05-01-85112а/у) и гранта Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (НШ РИ-112/001/081). Авторы благодарны Д.Г. Здановичу, А.Д. Таирову, Т.С. Малютиной за предоставленные для изучения образцы, И.Ю. Мелекесцевой за участие в полевых работах, А.В. Рочеву и Е.И. Чуринову за выполнение аналитических работ.

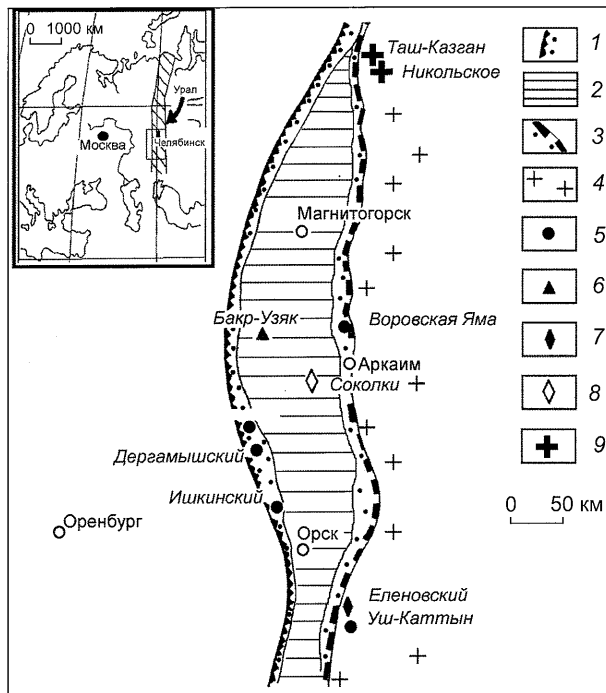


Рис. 1. Схема расположения древних медных рудников в степной зоне Южного Урала.

1 – Главный Уральский разлом; 2 – Магнитогорская палеоостроводужная система (S-C); 3 – Восточно-Уральский разлом; 4 – Восточно-Уральское поднятие; 5–9 – типы разрабатываемых месторождений: 5 – зоны окисления вкрапленных сульфидных руд в метасоматически измененных породах ультраосновного и основного состава; 6 – зоны окисления медно-колчеданных руд вулканогенно-осадочного происхождения; 7 – зоны окисления прожилково-вкрапленных руд в гранитоидных массивах; 8 – зоны окисления прожилково-вкрапленного медно-цеолитового оруденения в базальтовых лавах; 9 – зоны окисления сульфидно-кварцевых и сульфидно-карбонатно-кварцевых жил и штокверков в гранитоидных массивах и палеоостроводужных вулканах.

ский со знаменитыми месторождениями медистых песчаников, Среднеуральский с малахитовыми залежами и Восточно-Уральский, который и является предметом исследования. Источниками сырья в нем были многочисленные малые месторождения продуктов окисления сульфидных руд с преобладанием карбонатов меди – малахита и азурита. Исторически сложилось, что многие месторождения из-за удаленности от металлургических центров не разрабатывались в Новое время (XVIII–XX вв.), и древние карьеры достаточно хорошо сохранились. Исключением являются рудные поля с колчеданными залежами, на которых сформированы промплощадки, кардинально нарушившие первичный ландшафт.

Основными меденосными геологическими структурами Южного Урала являются (с запада на восток, рис. 1):

1) Главный Уральский разлом, представленный тектоническими пластинами ультраосновных, вул-

каногенных и осадочных пород раннего и среднего палеозоя;

2) Магнитогорская палеоостроводужная система, сложенная подводными и наземными вулканическими сооружениями девонского и карбонового возраста;

3) Восточно-Уральский разлом, представленный тектоническими пластинами и останцами вулканических сооружений;

4) Восточно-Уральское поднятие с крупными гранитоидными массивами позднего палеозоя.

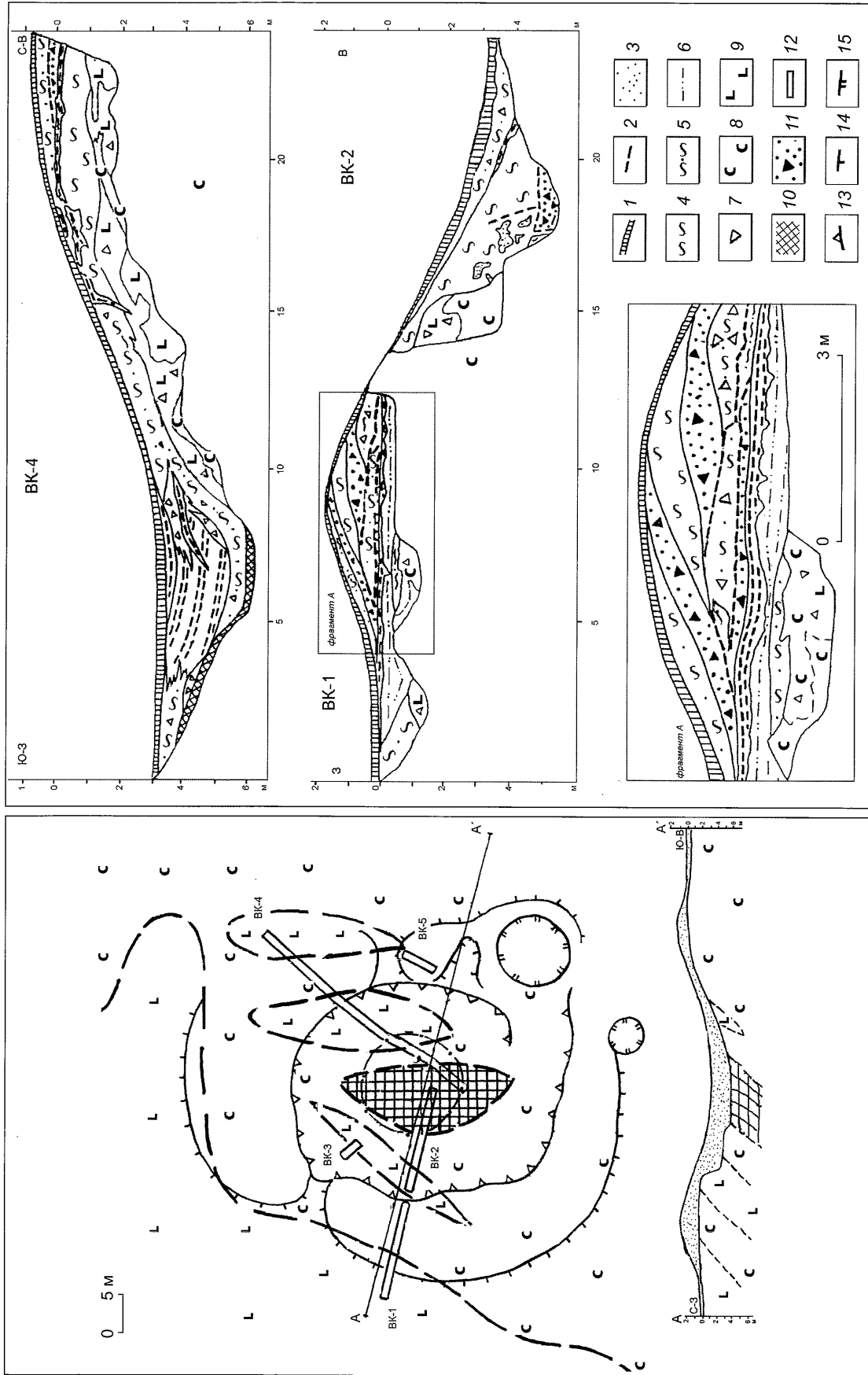
Среди многочисленных меднорудных объектов различного происхождения [Зайков и др., 1999] основное значение в древности имели пять типов.

1. *Зоны окисления вкрапленных сульфидных руд в метасоматически измененных породах ультраосновного и основного состава.* Минерализация представлена прожилками и пленками малахита и азурита, имеющими сетчатое распределение. Мощность таких зон от нескольких до первых десятков метров. К этому типу относятся рудники в сложных тектонических зонах: Главном Уральском разломе (Ишкинский, Дергамышский, Ивановский), руды которых характеризуются повышенными концентрациями мышьяка, а также в разломах, ограничивающих с востока Магнитогорский синклиниорий (Воровская Яма, Уш-Каттын).

2. *Зоны окисления медно-колчеданных руд вулканогенно-осадочного происхождения.* Основным компонентом таких рудных тел являются бурые железняки с гнездами карбонатов меди, возникшие во время формирования коры выветривания. Рудные залежи имеют плащеобразную или линзовидную форму, мощность – первые десятки метров. В их подошве обычно располагаются первичные сульфидные руды. По древним рудникам этого типа были открыты многие медно-колчеданные месторождения в Учалинском, Сибайском и Баймакском рудных районах, поэтому они не сохранились. Исключением являлся рудник Бакр-Узяк [Черных, 1970], отработка которого шла в последнее десятилетие.

3. *Зоны окисления прожилково-вкрапленных руд в гранитоидных массивах (медно-порфировый тип).* Первичные руды представлены сульфидами меди. Форма рудных тел изометричная или неправильная, поперечник в сотни метров – первые километры. К этому типу близки зоны окисления прожилково-вкрапленных сульфидных руд в турмалинсодержащих породах вблизи контактов гранитоидных массивов. Типичный пример – месторождение Еленовка в Оренбургской обл.

4. *Зоны окисления прожилково-вкрапленного медно-цеолитового оруденения в базальтовых лавах.* Примером является рудник Соколки на правобережье р. Урала в 15 км южнее пос. Кизильского, представленный небольшими карьерами.



II

I

Рис. 2. Схема геологического строения (I) и разрез рудника (и отвалов) (II) Воровская Яма.
 1 – современный почвенно-растительный слой; 2 – прослой погребенных почв; 3 – наносы; 4 – глины; 5 – супесь; 6 – древес и щебень; 7 – дрова и щебень; 8 – серпентиниты; 9 – базальты; 10 – родингиты с примазками медных руд; 11 – щебень родингитов; 12 – канавы; 13 – контуры карьера; 14 – контуры отвалов; 15 – контуры жилищных ям.

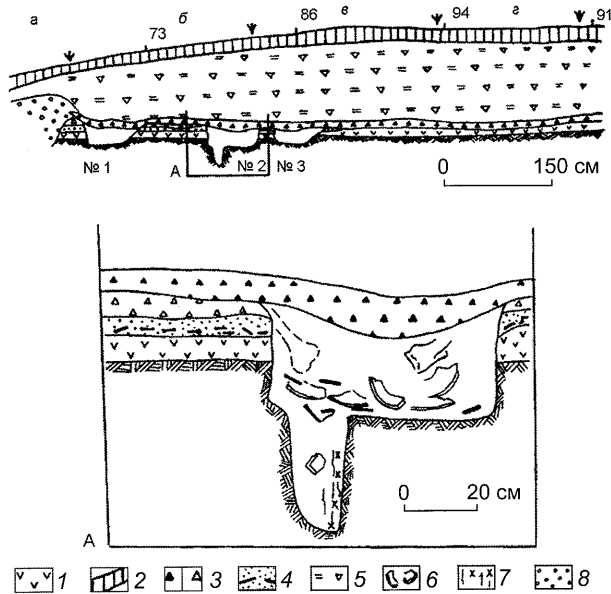


Рис. 3. Схема строения северо-восточного участка траншеи ВК-4.

1 – погребенная почва (темно-серый гумусированный суглинок); 2 – современный дерновый слой; 3 – отработанная порода (нонтронитовые глины с обломками родингитов); 4 – культурный слой (темно-серый золистый грунт с обломками костей домашних животных); 5 – отработанная порода (суглинок зеленовато-серый с обломками базальтов); 6 – развалы сосудов и фрагменты керамики; 7 – заполнение ямок и углублений (серый гумусированный суглинок с вкраплениями древесного угля); 8 – темный суглинок с обломками серпентинитов.

5. Зоны окисления сульфидно-кварцевых и сульфидно-карбонатно-кварцевых жил и штокверков, сопровождающих гранитоидные массивы и палеоостроводужные вулканы. Такие пункты минерализации невелики по параметрам, но очень многочисленны. Как правило, кроме меди, эти жилы содержат золото, серебро, вольфрам, молибден и другие металлы. Важным обстоятельством является присутствие в жилах арсенопирита. К такому типу рудников относятся Никольское и Таш-Казган.

Несмотря на высокую степень изученности региона в отношении медного оруденения, сохранились возможности выявления ранее неизвестных археологам рудников. В качестве примера можно привести работы, в результате которых в ультраосновных породах были открыты рудники Воровская Яма [Зайков, Зданович, Юминов, 1996; 2000], Дергамышский и Ивановский [Юминов, Зайков, 2002б]. Кроме того, привлечены данные по Ишкининским карьерам, которые ранее были известны только геологам [Юминов, Зайков, 2002а], а также описана минералогия Еленовского рудника со специфическими медно-турмалиновыми рудами [Бушмакин, Зайков, 1998]. Резервом для открытий являются рудоносные площади с незначи-

тельными проявлениями медных руд, по которым получен значительный поисковый материал, но он не проработан в георхеологическом отношении.

Рудник Воровская Яма. Он выявлен В.В. Зайковым, Г.Б. Здановичем и А.М. Юминовым в 1995 г. в холмистой местности на левобережье р. Зингейка [1996]. Название выемке, в которой прятали украденный скот и которая оказалась древним карьером, дали местные жители. Оруденение приурочено к тектонической пластине, сложенной серпентинитами, талькитами, эпидозитами, базальтами и кремнистыми породами. Руды представлены апосерпентинитовыми скарноидами – породами, состоящими из граната и пироксена с вкраплениями и прожилками малахита.

Древний карьер овальной формы (рис. 2) имеет диаметр 30–40 м и глубину 3–5 м. В его центре находится ок. 2 м наносов, так что первичная глубина была, по-видимому, 6–7 м. Карьер окружен прерывистым отвалом шириной 5–15 м и высотой 0,8–1,5 м. Наиболее полный разрез состоит из трех горизонтов, разделенных слоями погребенных почв. Нижний горизонт мощностью 5–10 см сложен зеленовато-желтыми нонтронитовыми глинами с редкой дресвой медных руд. Средний состоит из песчано-глинистой массы, обогащенной дресвой и плитчатые обломками базальтов и серпентинитов, а также обломками родингитов, пропитанных малахитом. Слой имеет линзовидную форму и мощность 70 см. Верхний горизонт состоит из нескольких эшелонированных тел различного цвета и состава. В слоях, обогащенных нонтронитовой глиной, имеются фрагменты медных руд. В тяжелой фракции содержатся зерна магнетита, граната, хромшпинелидов, гематита и амфибола.

У восточной выемки северного отвала карьера был обнаружен культурный слой протяженностью ок. 8 м [Зайков, Зданович, Юминов, 2000]. Он состоял из двух горизонтов, каждый из которых, в свою очередь, перекрывался отработанной породой (рис. 3). Нижний содержал золу и кости домашних животных, верхний – остатки строительных конструкций и ямки с фрагментами сосудов алакульско-срубного типа (рис. 4). 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 дне карьера обнажаются рудоносные породы в виде линзы мощностью до 8 м, длиной 25 м.

Рудное тело имеет следующее строение (сверху вниз):

А – зона кластических окисленных руд в коре выветривания, мощность 1–3 м;

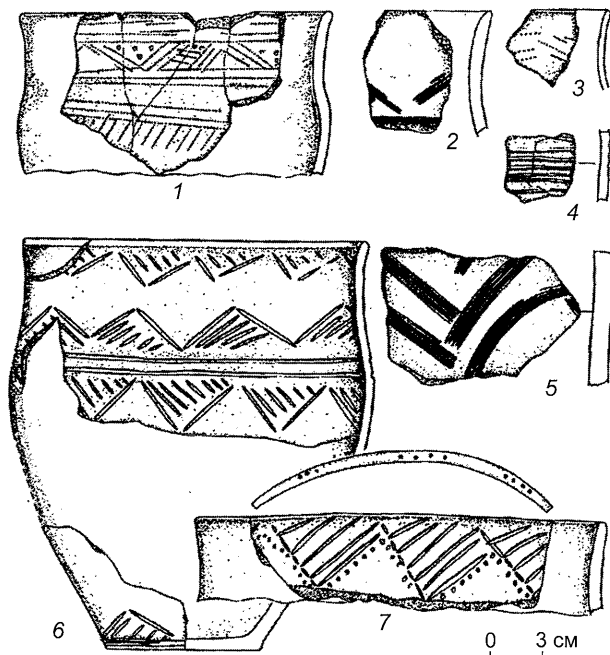


Рис. 4. Фрагменты керамики с рудника Воровская Яма.

Б – зона дезинтегрированных окисленных руд (элювиальная часть рудного тела), мощность 2–4 м;

В – зона окисленной руды родингитовой линзы (*in situ*), предполагаемая мощность 3–5 м;

Г – зона первичных руд – сульфидная минерализация в скарноидах.

В древние времена рудные обломки, очевидно, привлекались из рыхлых пород с применением простых инструментов. По строению отвала и присутствию в нем нескольких слоев погребенной почвы мы предполагаем четыре стадии эксплуатации месторождения. Они были разделены перерывами в десятки лет, в течение которых формировались почвы мощностью 5–10 см.

Согласно произведенным расчетам [Зайков, Зданович, Юминов, 2000], из добытой руды (приблизительно 6 000 т) при содержании меди 2 % и коэффициенте извлечения 10 % могло быть получено приблизительно 10 т меди.

Дергамышский и Ивановский рудники. Они расположены на одном рудном поле в осевой части Главного Уральского разлома. Дергамышское месторождение было открыто в конце 20-х гг. XX в., Ивановское – полвека назад. Обзор выполненных исследований дан в публикации Зайкова с соавторами [2001].

Дергамышское месторождение сложено тектоническими пластинами серпентинитов, базальтов и вулканогенно-осадочных пород силура и девона (рис. 5).

Рудоносная зона включает одно рудное тело, залегающее на контакте серпентинитовой и пи-

роксенитовой пластин. Его форма линзовидная, мощность варьирует от 6,5 до 40 м в раздуже, поперечник 150–200 м. Внутри залежи наблюдаются линзы и отдельные блоки тальк-хлоритовых пород. По вещественному составу выделены два типа руд: 1) сплошные халькопирит-марказитовые и халькопирит-пиритовые; 2) обломочные пирит-марказитовые.

Главные рудные минералы – пирит, марказит, халькопирит; второстепенные – пирротин, магнетит, ильменит, хромит, минералы группы линнеита, сфалерит, кубанит; редкие – золото, валлериит, кобальтин, арсенопирит, никелин [Зайков и др., 2001].

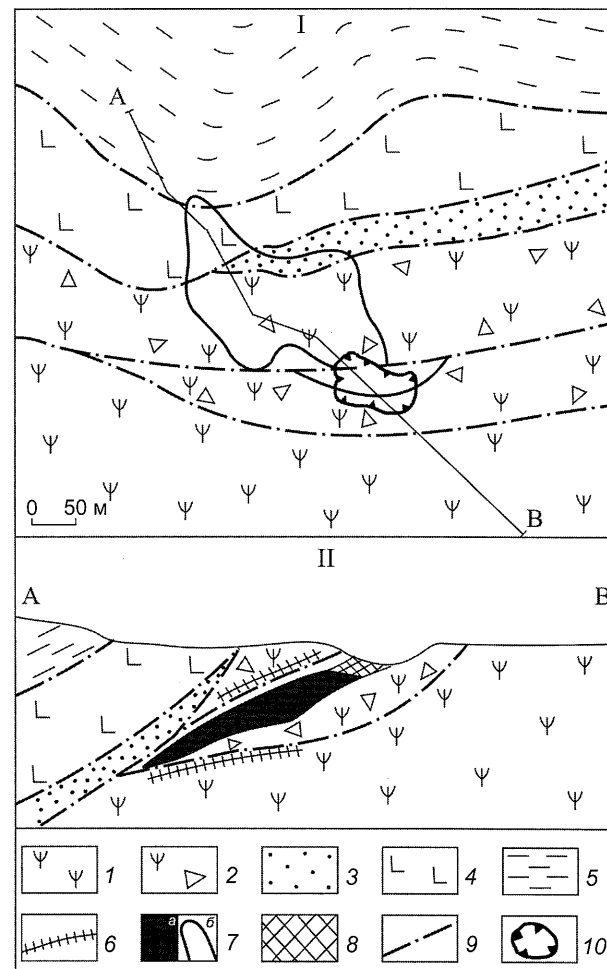


Рис. 5. Геологическая картосхема (I) и разрез (II) Дергамышского месторождения.

1 – серпентиниты (O_2-S_2 ?); 2 – брекчированные серпентиниты с зонами тальк-карбонатных метасоматитов и силлами диабазов и габбро; 3 – сакмарская свита (?) (Ssk): вулканомиктовые и полимиктовые песчаники с прослоями кремней и пластинами серпентинитов; 4 – баймак-бурибайская толща (D, b-br): базальты с линзами углеродистых алевролитов; 5 – мукасовский горизонт (D): силициты; 6 – габбро, габбро-диабазы; 7 – руда: а – рудное тело, б – его проекция на поверхность; 8 – зона окисления рудного тела; 9 – тектонические нарушения; 10 – контуры древних выработок.

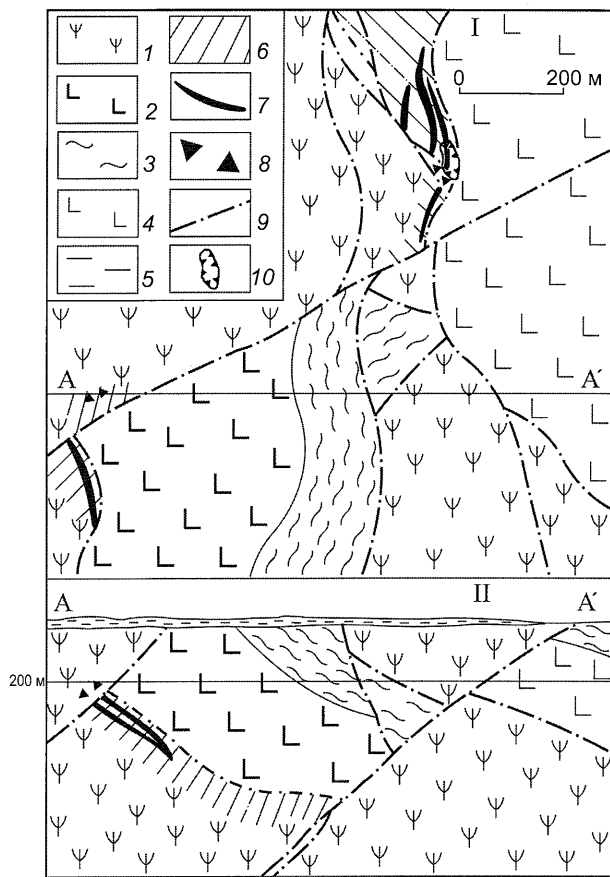


Рис. 6. Геологическая картосхема (I) и разрез (II)

Ивановского месторождения.

1 – серпентиниты (O_2-S_1 ?); 2, 3 – сакмарская свита (?) (Ssk): 2 – базальты, 3 – осадочные отложения; 4 – баймак-бурибайская толща (D, b-br): базальты, диабазы; 5 – четвертичные отложения (Q_{IV}); 6 – зоны различных метасоматитов: тальковых и тальк-карбонатных по серпентинитам, хлоритовых, кварц-хлоритовых, карбонат-кварц-хлоритовых по габброидам и пироксенитам; 7 – рудные тела; 8 – рудные брекчии (7, 8 – внемасштабные знаки); 9 – тектонические нарушения; 10 – контуры древней выработки.

Дергамышский рудник представлен карьером на южном фланге залежи массивных сульфидных руд. Карьер имеет близкую к треугольной форму, поперечник 70–80 м, глубину 10–12 м. Он окружен прерывистым отвалом, наиболее выраженным в западной и восточной частях, где имеет высоту ок. 3 м при крутизне склонов 15–25°. На дне карьера находится отвал опаловых пород в виде гряды высотой 1–2 м. Опалиты белые, желтоватые, оранжевые, красные со стекляннным блеском. Эти породы не встречены на других медных рудниках Урала, но они известны в Центральном Казахстане (Акбастау и Кусмурун), где характерны для золотоносных зон окисления сульфидных руд в аридных условиях.

Медная минерализация (малахит и хризоколл) проявлена в северном и восточном бортах в щелне серпентинитов. Сульфидов на поверхности не обна-

ружено, но участками отмечена интенсивная лимонитизация. В первичных рудах установлены высокие концентрации золота в кровле рудного тела (3–5 г/т), что представляет практический интерес. Медная минерализация выражена халькопиритом, цементирующим марказит-пиритовый агрегат.

Ивановское месторождение приурочено к тектоническим контактам пластин серпентинитов и базальтоидов (рис. 6). На месторождении выявлены две рудоносные зоны, в которых находятся линзы сульфидных руд. Восточная часть рудного поля представлена крупным блоком базальтов, диабазов и габбро, в центральной развиты серпентиниты, а в западной наблюдается ансамбль мелких блоков вулканогенных, осадочных и ультрамафитовых пород. Первая рудоносная зона приурочена к контакту восточного блока с серпентинитами и имеет восточное падение, вторая располагается в западной части в сходной позиции, в подошве базальтового блока.

Руды, залегающие в метасоматитах по серпентинитам и габброидам, имеют пирит-халькопирит-пирротиновый и халькопирит-пирротиновый состав, по основным эффузивам – пирротин-халькопирит-пиритовый. Различают сплошные и прожилково-вкрапленные руды.

Древний Ивановский рудник представлен остатками слабо выраженного в рельефе карьера глубиной 1–2 м в восточной части рудной зоны. Длина выработки по днищу 50 м, ширина бортов 3–8 м. С востока она примыкает к склону, с запада ограничена отвалом высотой 1–3 и шириной 5–15 м. Разрабатывалась зона хлоритизированных базальтов с примазками и корками малахита, имеющая мощность 3–6 м и восточное падение. Она параллельна халькопирит-пирротиновому рудному телу среди тальк-карбонатных метасоматитов, располагаясь “стратиграфически” выше на 10–15 м.

Ишкининский рудник. Ишкининское кобальт-медно-колчеданное месторождение было открыто в 1927 г. Обзор поисково-оценочных и научно-исследовательских работ дан в монографии И.Ю. Мелекесцевой, В.В. Зайкова [2003]. Одно из последних исследований – горно-геологические реконструкции, связанные с разработкой Ишкининского рудника в бронзовом веке [Юминов, Зайков, 2002а].

Месторождение приурочено к кровле серпентинитовой пластины и сопровождается карбонатными и тальк-карбонатными апосерпентинитовыми метасоматитами. На месторождении выявлены три рудоносные зоны (восточная, центральная и западная), в которых пройдены древние рудники (рис. 7). Руды представлены тремя минеральными типами: пирит-пирротиновым, халькопирит-пирит-пирротиновым и сульфоарсенидно-сульфидным. Основной объем руд сформировался гидротермально-метасоматичес-

ким путем по ультрабазитам и содержит вкрапления хромшпинелидов.

На Ишкининском руднике восемь древних карьеров, из которых извлекалась медная руда. Впервые такие горные выработки на месторождении были отмечены в 1940–1942 гг. геологом К.Д. Субботиным. В шурфах, вскрывающих древние карьеры, им были обнаружены обломки керамических изделий с “веревочным” орнаментом, характерным для начала бронзового века.

Наиболее крупный карьер врезан в северный склон сопки и окружен с востока, юга и запада склонами, сложенными серпентинитами и тальк-карбонатными породами. Выработка имеет грушевидную форму и вытянута в меридиональном направлении согласно с ориентировкой восточной рудной зоны. Длина карьера 120 м, максимальная ширина ок. 40, глубина 5–15 м. На днище поперек выработки фиксируются три оплывших со временем отвала, которые отсыпались друг на друга по мере отработки карьера, высота самого большого из них более 5 м.

Верхняя часть северного отвала была вскрыта траншеей. Отвал сложен дресвяно-щебнистым материалом, слои которого залегают кулисообразно (рис. 8). Разрез отвальных отложений включает три горизонта, различающиеся как по минералого-петрографическим особенностям слагающего материала, так и по величине обломков. Горизонты, как правило, разделены погребенными почвами, что свидетельствует о перерыве в разработке. К археологическим находкам следует отнести кости домашних животных. Кроме того, в слоях обнаружены псевдоморфозы лимонита по древесине. Возможно, это фрагменты крепления, деревянные клинья или рукоятки орудий.

В нижнем горизонте на глубине 2–2,5 м на глинисто-щебнистом слое базальтов обнаружена линза, сложенная кусками медной руды. Размер рудных обломков варьирует от 1–3 до 10–15 см в поперечнике. Подобное скопление можно реконструировать как рудный склад (№ 1), т.е. специально отведенное место для складирования наиболее ценного сырья после добычи и предварительного обогащения. Видимая мощность линзы 0,6 м, протяженность 4 м. В составе руды преобладают гетит (50–60 %), азурит (20–30 %) и малахит (10–20 %). Некоторые разновидности представлены азурумалахитом. Минеральный и рентгенофазовый анализы выявили присутствие куприта, хризоколлы, самородной меди, магнетита, хромита, кальцита, арагонита, слюдяных и других минералов, характерных для зон окисления колчеданных месторождений. Руда отличается высоким содержанием меди (табл. 1). В ней обнаружено присутствие железа, хрома, цинка и мышьяка. Последний элемент особенно важен, т.к. при выплавке

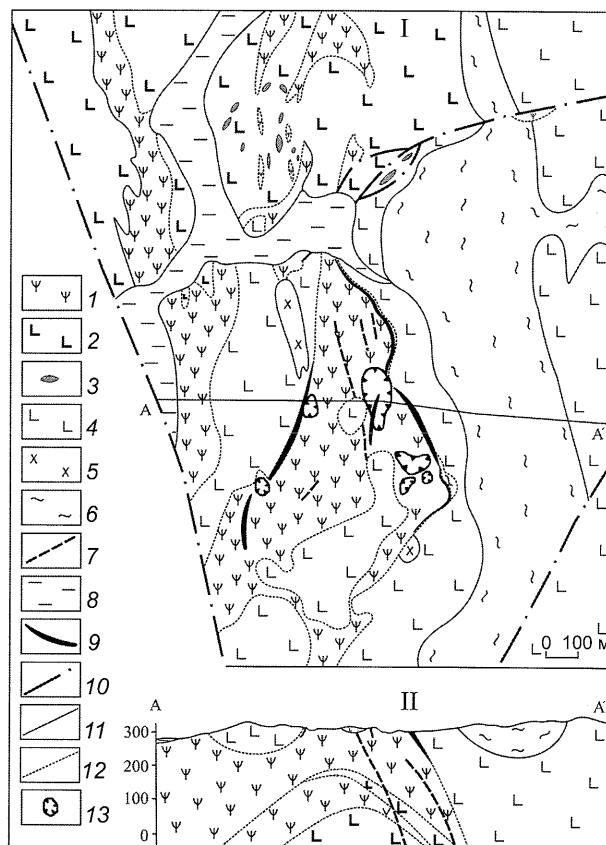


Рис. 7. Геологическая картосхема (I) и разрез (II) Ишкининского месторождения.

1 – аподунитовые и апогарцбургитовые серпентиниты ($O_2-S_1?$) с зонами тальк-карбонатных метасоматитов; 2 – сакмарская свита (S_{sk}): базальты и силициты с силлами и дайками диабазов и базальтоидов ($v\mu S_1$); 3 – известняки; 4, 5 – баймак-бурбайская толща (D_1b-br); 4 – базальты, андезитобазальты, вулканомитовая олисостромма с андезитобазальтовыми дайками, 5 – диориты, габбро-диориты ($\delta, v\delta D_1$) с дайками базальтоидов ($v\mu D_1$); 6 – ишкининская толща (D_2ish): силициты и вулканомитово-кремнистая олисостромма; 7 – худозавовский комплекс (?) (vC_1): дайки габбро-пегматитов; 8 – четвертичные отложения (Q_{IV}); 9 – рудоносные зоны; 10 – тектонические нарушения; 11, 12 – геологические границы: 11 – стратиграфических подразделений и интрузивных тел, 12 – серпентинитовых пластин; 13 – контуры древних выработок.

позволяет получать природно-легированную мышьяковую бронзу.

Рудный склад перекрыт пустой породой. Малая мощность этого слоя, низкая сортировка щебнистого материала и присутствие в нем большого количества глин позволяют предположить, что данный склад в целях сокрытия по той или иной причине был специально присыпан древними горняками. Впоследствии над ним сформировался слой почвы мощностью 3–5 см.

В среднем горизонте был также обнаружен рудный склад (№ 2). Он расположен в центральной части траншеи на глубине 0,75–1,0 м в виде субгоризонталь-

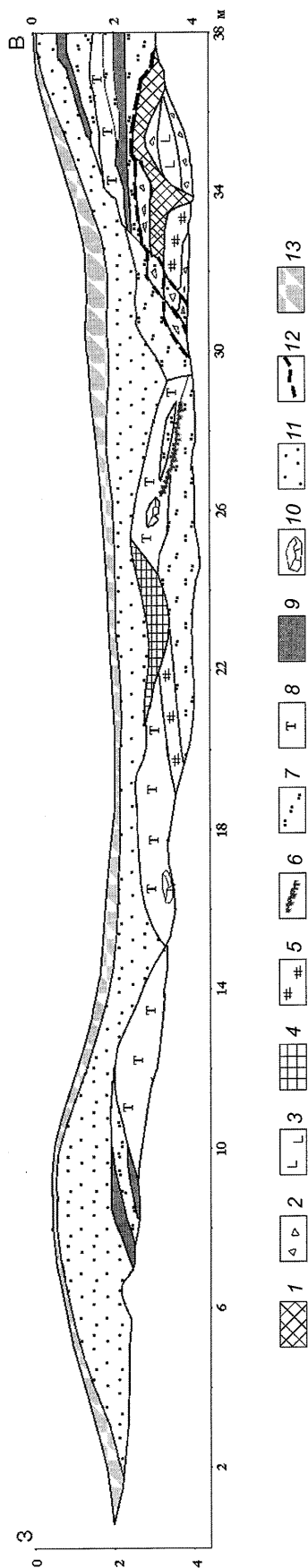


Рис. 8. Схема строения отвала № 2 Большого древнего карьера Ишминского месторождения.

1–3 – нижний горизонт: 1 – рудный склад с азурмалахитом, 2 – щебень серпентинитов, 3 – щебень базальтов; 4–10 – средний горизонт: 4 – рудный склад с “медной зеленью”, 5 – бурые железняки, 6 – склад талькового сырья, 7 – глинисто-щебнистый материал серпентинитов, 8 – щебень тальк-карбонатных пород, 9 – зольники, 10 – места нахождения навалов; 11 – верхний горизонт: темно-коричневый суглинок с щебнем выветрелых серпентинитов; 12, 13 – почвы; 12 – погрешенные, 13 – современные.

ной линзы длиной 4,5 и максимальной мощностью 0,75 м. Породы представлены выветрелыми оталькованными и железненными до бурых железняков серпентинитами, содержащими тонкие вкрапления, пленки и маломощные прожилки “медной зелени”. Содержание меди и мышьяка в руде в 2–3 раза ниже, чем в руде из склада № 1.

На руднике производилась попутная добыча талькового сырья, о чем свидетельствуют линзы тальковых “глин”, которые предварительно очищались от примесей и складировались в определенном месте. Подобное сырье могло быть использовано в качестве добавок при изготовлении керамики.

В четвертом карьере западной рудной зоны разведочным шурфом на глубине 20 м вскрыта древняя выработка в сульфидизированных породах. Этот факт имеет большое значение, поскольку обсуждается вопрос о возможности использования сульфидных руд в бронзовом веке. По данным С.А. Григорьева [2000, 2003], в металлургических шлаках на поселениях бронзового века присутствуют фрагменты сульфидов, что может свидетельствовать о применении сульфидного сырья либо о примеси такового в окисленных рудах. Данный карьер также был вскрыт траншеей, однако видимой медной минерализации не было отмечено. В отвале встречены обломки бурого железняка и карбонатизированных пород, что позволяет высказать предположение о добыче золотых руд. Среди серпентинитов в подобном карьере на южном фланге западной рудной зоны были обнаружены единичные пленки золота.

Еленовский рудник. Он расположен на правом берегу р. Киембаи, в 3 км восточнее одноименного поселка в Домбаровском р-не Оренбургской обл. Рудник был обнаружен местным жителем А.С. Новиченко в 1918 г. и в 1937 г. изучался И.Л. Рудничким. В настоящее время древний карьер имеет размеры 30×40 м, глубину 5–6 м.

Месторождение принадлежит к довольно редкому молибденит-халькопирит-турмалиновому типу и приурочено к среднедевонской риолит-базальтовой толще. На месторождении выявлены пять линзовидных тел, сложенных кварц-хлорит-турмалиновыми породами и базальтами с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией.

Главное рудное тело плитообразной формы расщепляется на несколько частей на флангах. Оно имеет крутое падение на восток, протяженность по вертикали ок. 120, по простиранию 100–130 м, мощность 5–45 м. Для рудного тела характерно полосчатое строение, которое выражается в чередовании (по 0,5–1 м) сульфидизированных пород кварцево-турмалинового, турмалинового, карбонат-хлорит-турмалинового состава. Максимальные содержания меди в этих породах соответственно 6,8; 11,8; 3,9 %. Суль-

Таблица 1. Результаты пробирного и рентгенофлуоресцентного анализа медных руд Ишкининского рудника, добываемых в древности

Тип руд	Содержание, %									
	Пробирный анализ					Рентгенофлуоресцентный анализ				
	Cu	Zn	S	Au	Ag	Fe	As	Cr	Pb	Ni
Азурмалахит (склад № 1)	7,95	0,03	0,06	–	–	14,17	1,01	1,95	–	0,06
“Медная зелень” (склад № 2)	2,57	0,05	0,09	–	–	16,77	0,58	1,20	0,21	0,20
Бурый железняк	0,46	0,07	0,06	–	–	57,59	0,60	2,30	0,21	0,18

фидная минерализация в всячем боку представлена главным образом халькопиритом, а в лежачем – пиритом.

Зона окисления распространена до глубины 15 м. Ее отличительной особенностью является малое количество гидроокисей железа, карбонаты меди представлены малахитом в виде очень тонких прожилков. Содержание меди 0,01–2,25 %. Зона вторичного сульфидного обогащения распространена в интервале 15–19 м; для нее характерны халькозин, борнит и ковеллин. Содержание меди 6,58–10,35 %.

Среди первичных руд имеются жилки, гнезда и скопления размером до 5×10 см, сложенные сульфидными агрегатами: халькопиритом, пиритом, молибденитом. Содержание меди 0,7–11,8 %, молибдена – 0,01–0,44 %. Второстепенные рудные минералы представлены сфалеритом, магнетитом, ильменитом, галенитом, рутилом, самородным золотом и серебром. Максимальное содержание золота 10 г/т.

В западном и восточном бортах карьера (рис. 9) развиты кварц-турмалиновые породы с пленками и прожилками малахита. В центре древней выработки проходит полоса кварц-турмалиновых сланцев, интенсивно обогащенных малахитом. Они, вероятно, были объектом разработки в бронзовом веке. Вблизи карьера обнаружены многочисленные следы металлургической деятельности в виде скоплений шлаков, капель меди, тиглей. Е.Е. Кузьмина [1962] отмечала, что эксплуатация Еленовского рудника началась в глубокой древности, достигла расцвета в алакульский период и была прекращена в позднеалакульскую эпоху.

Состав изделий из меди и бронзы

К настоящему времени собран значительный материал по составу изделий, выявленных в исторических памятниках Южного Урала. Анализы выполнены спектральным методом в Институте археологии РАН (лаборатория естественно-научных методов, Москва), часть – в Институте минералогии УрО РАН (Миасс)

и Институте геологии и геохимии (Екатеринбург) на микрозондовых анализаторах.

На основании изучения химического состава изделий из меди и медных сплавов установлены следующие типы металлов [Зайкова, 2000]: меди – чистая (As, Sn, Ag < 0,1 % мас.), мышьяковистая (As – 0,1–

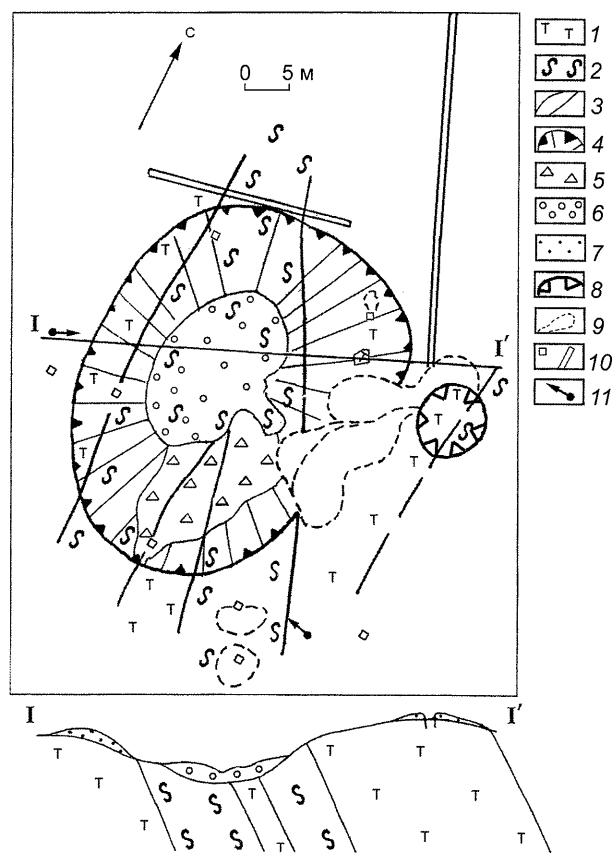


Рис. 9. Схема строения древнего Еленовского медного рудника.

1 – хлорит-турмалиновые породы с сетчатыми жилками малахита; 2 – кварц-альбит-хлоритовые сланцы с примазками малахита; 3 – геологические границы; 4 – верхняя кромка карьера; 5 – склон карьера, покрытый щебнем; 6 – днище карьера; 7 – древние отвалы; 8 – провал разведочной шахты; 9 – отвалы разведочной шахты и шурфов; 10 – разведочные шурфы и канавы; 11 – устья разведочных скважин.

Таблица 2. Химический состав турмалина, % (мас.)

Компонент	Руда Еленовского месторождения	Руда, использовавшаяся на поселении Аркаим
SiO ₂	36,33	35,87
TiO ₂	0,30	0,46
Al ₂ O ₃	31,84	31,09
MgO	6,57	6,43
FeO	9,25	10,79
MnO	0,08	0,05
CaO	0,88	0,71
Na ₂ O	1,88	2,32

Примечание. Анализы выполнены А.В. Рочевым на рентгеновском микроанализаторе JCXA-733. Ускоряющее напряжение 15 кВ. Эталоны: авгит, ильменит, скаполит. Приведено среднее по трем анализам. Кристаллохимические формулы катионной части турмалина (без бора): Еленовское – (Na_{0,60}Ca_{0,16})_{0,76}(Mg_{1,62}Fe_{1,28}Ti_{0,04})_{2,94}Al_{6,20}Si_{6,00}; Аркаим – (Na_{0,75}Ca_{0,13})_{0,88}(Mg_{1,60}Fe_{1,51}Ti_{0,06})_{3,17}Al_{6,13}Si_{6,00}.

1,0 % мас.), серебристая (Ag – 0,1–1,0 % мас.); бронзы – мышьяковая (As – 1–4 % мас.), оловянная (Sn – 1–7 % мас.), никелевая (Ni – 1,0–5,0 % мас.). Такое разделение принято исходя из предположения, что примеси до 1 % являются естественными в руде, а более 1 % – возможно, искусственными. Классификация учитывает мнение металлургов, согласно которому к сплавам относятся металлы с содержанием сопутствующих компонентов более 1 % [Сучков, 1967].

Аркаим. Исследования состава металлических изделий из раскопа Аркаима и Большекараганского могильника показали, что большинство из них сделано из чистой меди. Примеси составляют менее 0,5 %. Несколько экземпляров шильев и ножей сделаны из мышьяковой бронзы (As – 1,1–2,8 %) и мышьяковистой меди (As – 0,13–0,88 %), а один предмет – из никелевой бронзы (Ni – 1,10 %). При этом включения корольков меди в шлаке представлены никелистой бронзой, мельхиором, чистой медью. Исходя из данных по составу шлаков и обломков руды можно предположить, что для медеплавильного производства в Аркаиме использовались малахитсодержащие серпентиниты, бурые железняки (зона окисления колчеданных месторождений) и хлорит-турмалиновые породы [Бушмакин, Зайков, 1998].

Синташта. В Институте археологии РАН (Москва) проанализирована коллекция из 70 металлических изделий с целью определения геохимических типов металла. Обработка результатов проведена Е.В. Зай-

ковой в 1995 г. Почти половина предметов (48 %) изготовлена из бронзы, в подавляющем большинстве мышьяковой, остальные – из мышьяковистой (34 %) и чистой меди. Присутствуют единичные изделия из оловянной бронзы, в основном представленные украшениями [Зайкова, 2000]. Это свидетельствует о преобладании среди использованных руд мышьяксодержащих разновидностей либо о легировании меди мышьяковыми минералами. Что касается оловянной бронзы, из которой сделаны украшения, то ее источником являются другие горно-металлургические центры, вероятнее всего Алтайский. Кроме оловянной присадки, металл этих изделий характеризуется резко повышенным (примерно в 100 раз) содержанием Pb и пониженным – Fe и Ni.

Куйсак. Два предмета с поселения, по данным микронзондового анализа, сделаны из чистой меди, а один нож – из оловянной бронзы (Sn – 4,49–6,11 %). Включения в шлаках – чистая медь.

Таким образом, на изученных объектах представлены преимущественно изделия из чистой и мышьяковистой меди, а также из мышьяковой бронзы, предметы из оловосодержащей бронзы редки и, по видимому, являлись импортными.

Минералы – индикаторы минерального сырья для древней металлургии

Турмалин. Интерес к этому сложному боросиликату определился тем, что близ металлургических печей Аркаима были найдены обломки турмалинсодержащих руд, а подобные разности характерны для Еленовского рудника. Сравнительный анализ показал большое сходство образцов из Аркаима и Еленовки по облику, набору минералов и строению [Бушмакин, Зайков, 1998]. Турмалин в обоих случаях имеет практически идентичные химический состав и физические свойства и относится к ряду шерл-дравит с преобладанием дравитовой составляющей (табл. 2).

Валовый состав руд из Аркаима и Еленовского месторождения был исследован рентгенофлуоресцентным методом. Анализ показал, что концентрация меди в турмалинсодержащих рудах значительна и достигает 14 %. Это согласуется с большим количеством мельчайших выделений малахита, видимых под микроскопом в шлифах и полировках. На геохимических диаграммах фигуративные точки составов образцов из Аркаима находятся в поле составов еленовского материала. Для доказательства того, что турмалинсодержащие руды использовались древними металлургами, привлечен анализ химического состава шлаков.

В печах Аркаима металлургический процесс протекал при температуре 1 300–1 400 °С [Григорьев,

Русанов, 1995]. В таких условиях происходит термическое разрушение турмалина: при 950–960 °С выделяется бор в виде B_2O_3 , а при 1 100–1 350 °С минерал плавится [Минералы, 1981]. Освобождающийся при разложении минерала борный ангидрид благодаря своей высокой активности образует нерастворимые в меди соединения с другими элементами, переходящие в шлак [Сучков, 1967]. Поэтому, обнаружив бор в шлаке, можно уверенно говорить о присутствии в шихте боросодержащего компонента (в данном случае турмалина), концентрация которого в шихте может достигать десятков процентов, а ожидаемое количество бора в шлаке – десятые доли процента.

Для определения бора был выбран достаточно чувствительный приближенно-количественный спектральный анализ. Исследования выполнены с использованием специальных безборных углей Л.Н. Мариевой в лаборатории Уральской горно-геологической академии (Екатеринбург). Оказалось, что более половины проб шлака содержат бор в количестве сотые-десятые доли процента. Это может быть основанием для предположения о широком применении медных руд с турмалином.

Медные руды, использовавшиеся жителями Аркаима, имели, очевидно, различное происхождение, и только часть из них могла доставляться из Еленовки. Об этом месторождении, несмотря на результаты исследований, приходится говорить как о наиболее вероятном поставщике сырья, поскольку имеется возможность добычи подобных руд и в других местах. Например, обнажения турмалиносодержащих пород известны на Айдырлинском медно-колчеданном месторождении, расположенном в 60 км к югу от Аркаима, в подрудных серицит-кварцевых метасоматитах и зонах прокварцевания с сульфидами меди. Сведений о существовании древних выработок в пределах этой площади в настоящее время не имеется.

Тот факт, что жители Аркаима использовали редко встречающуюся боросодержащую медную руду, сомнений не вызывает. Не исключено ее использование

и другими обитателями “Страны городов”. Для доказательства этого необходимо выявить наличие бора в шлаках с поселений бронзового века на данной территории. Возможно также присутствие бора в металле, получаемом из боросодержащей шихты, т.к. данный элемент, хотя и в очень малом количестве (0,06 %), растворяется в меди [Самсонов и др., 1960].

Хромшпинелиды. К ним относится группа минералов со структурой шпинели и непостоянным химическим составом.

Нами изучен состав хромшпинелидов в шлаках трех археологических памятников Южного Урала: Аркаима, Синташты и Аландского. Целью исследований было определение типоморфных свойств хромшпинелидов в шлаках с поселений синташтинской культуры и сопоставление их с аналогами в рудах Ишкининского, Ивановского и Дергамышского месторождений [Григорьев, Дунаев, Зайков, 2005].

Хромшпинелиды шлаков. Изученные шлаки темно-серые, с неровным изломом, сложены главным образом пироксенами, оливином, медными корольками, хромшпинелидами и магнетитом. Структура микрولитовая гипидиоморфно-зернистая, неравномерно-зернистая. Для пироксенов и магнетитов отмечены переходы от “нормальных” зерен к причудливым скелетным формам, которые приурочены к периферическим зонам кристаллов. Текстура массивная, однородная, в случаях наличия обломков серпентинитов – такситовая.

Во всех изученных шлаках хромиты эвгедральные и субгедральные, редко округлые, размер зерен 0,1–1 мм, часто встречаются силикатные включения. Магнетитовая кайма устанавливается во многих зернах шпинелей, ее толщина не превышает 75 мкм. В большинстве случаев кайма имеет простое строение, внутренние границы с хромшпинелидом ровные.

Хромшпинелиды из медных руд. Сульфидные апосерпентинитовые руды Ишкининского месторождения повсеместно содержат вкрапления эвгедральных и субгедральных хромшпинелидов октаэдрическо-

Таблица 3. Результаты микрозондового анализа хромшпинелидов из шлаков с поселений Аркаим, Синташта и Аландское

Номер аншлафа	Поселение	Кол-во анализов	Содержание, % (мас.)							
			MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	V ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO*	SiO ₂
Гр-750	Аркаим	2	11,99	13,00	0,21	–	55,11	–	20,52	–
656	»	12	8,31	13,27	0,07	–	51,34	0,32	26,33	0,11
726	»	8	7,66	13,32	–	–	52,06	–	26,49	0,78
Гр-4	Синташта	11	7,28	10,35	0,24	0,13	51,33	0,29	31,28	–
Гр-286	»	8	8,06	12,26	0,14	0,06	52,78	0,18	27,02	–
В11-51	Аландское	12	11,80	12,96	0,15	–	53,08	0,30	21,82	–

Примечание. Приведены средние значения. FeO* = Fe₂O₃ + FeO.

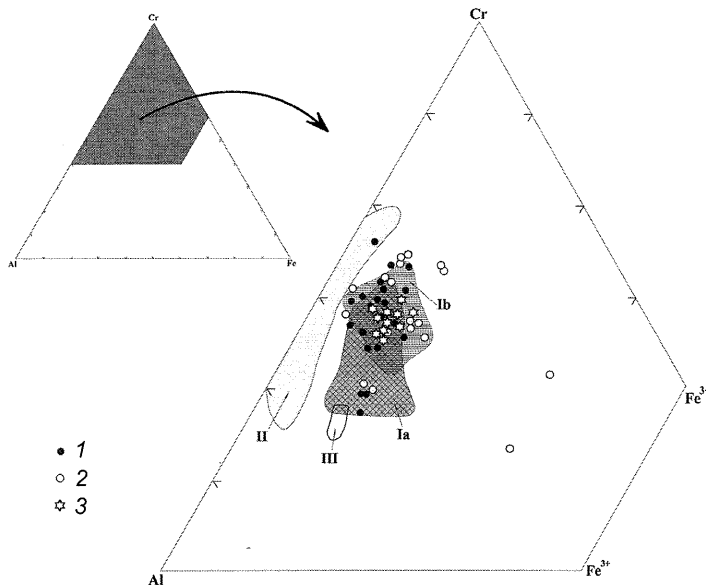


Рис. 10. Диаграмма составов хромшпинелидов из шлаков с поселений.

1 – Аркаим; 2 – Синташта; 3 – Аландское.

Поля составов хромитов: Ia – из колчеданных руд Ишкининского месторождения; Ib – из окисленных руд того же месторождения; II – из колчеданных руд Ивановского месторождения; III – из колчеданных руд Дергамышского месторождения.

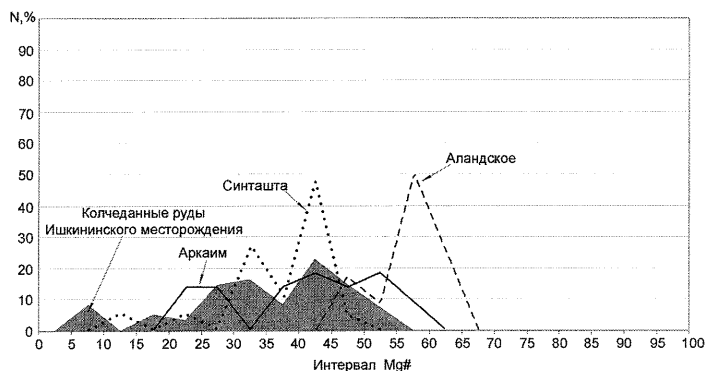
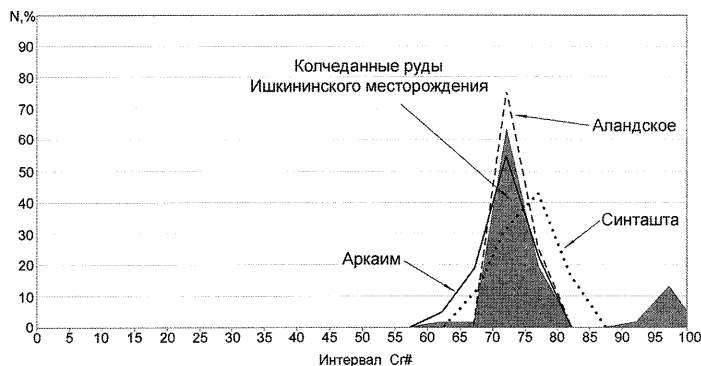


Рис. 11. Гистограммы распределений Cr# и Mg# для хромитов из шлаков с поселений Синташта (19 анализов), Аркаим (22 анализа), Аландское (12 анализов) и из колчеданных руд Ишкининского месторождения (62 анализа).

N – частота встречаемости.

го габитуса с преобладающими размерами 0,5–1,0 мм. Содержание зерен от 1 до 4 % объема. Для них характерны магнетитовая и хроммагнетитовая каймы толщиной десятки микрон и округлые включения силикатного материала расплавной природы. В малахитосодержащих рудах из зоны окисления хромшпинелиды аналогичны.

Хромшпинелиды Ивановского месторождения близки по морфологии и размерам, но практически не содержат силикатных включений и для них не свойственны магнетитовые каймы. В рудах Дергамышского гидротермально-осадочного месторождения включения хромшпинелидов единичны, они имеют размеры 0,1–0,3 мм.

Особенности химического состава хромшпинелидов. Для корректности сравнения анализировались только центральные части зерен, в удалении от магнетитовых и хроммагнетитовых кайм [Мелекесцева и др., 2001; Дунаев, Чуринов, 2003]. Результаты микронзондовых исследований приведены в табл. 3.

Сопоставлен состав хромшпинелидов трех охарактеризованных месторождений и хромитов из исследуемых шлаков. Установлено практически полное сходство хромитов из шлаков с хромшпинелидами колчеданных и окисленных руд Ишкининского месторождения (рис. 10). Хромиты Ивановского месторождения отличаются более низким содержанием трехвалентного железа. Хромшпинелиды Дергамышского месторождения относительно глиноземистые по сравнению с хромитами из шлаков, однако в нашем распоряжении были результаты только пяти анализов.

Таким образом, можно выделить один объект для более детального сравнения – Ишкининское месторождение. Дополнительно были построены гистограммы распределений хромистости ($Cr\# = Cr * 100 / (Cr + Al)$) и магнезиальности ($Mg\# = Mg * 100 / (Mg + Fe^{2+})$) хромитов из шлаков трех поселений и руд этого месторождения (рис. 11). Значения Cr# хромшпинелидов из шлаков и руд Ишкининского месторождения практически полностью совпадают. По параметру Mg# наблюдается широкий диапазон колебаний, однако он находится в общих пределах, исключая Аландское поселение. Для хромитов из шлаков с этого памятника характерны более магнезиальные разности.

На основании геологических и минералогических данных можно сделать вывод, что важным источником медных руд для металлургов Синташты и Аркаима было Ишкининское месторождение. Во-первых, близка морфология зерен хромшпинелидов из шлаков с этих поселений и руд месторождения: типичными являются эвгедральные кристаллы с магнетитовыми и хроммагнетитовыми каймами, характерны округлые силикатные включения расплавленной природы. Во-вторых, хромшпинелиды из шлаков и руд имеют близкий состав и относятся в большинстве случаев к субферриалюмохромитам, алюмохромитам и хромитам. В-третьих, судя по остаткам карьеров, на Ишкининском месторождении добыча апосерпентинитовых руд имела значительный масштаб. На Дергамышском и Ивановском месторождениях такие руды в зоне окисления менее характерны и объем выработок был на порядок меньше. Что касается Аландского поселения, в шлаках с которого хромшпинелиды более магнезиальные, то, вероятно, здесь использовали руды другого месторождения. Это поселение располагается вблизи крупных гипербазитовых массивов, на которых проводилась интенсивная разработка никеленосных кор выветривания, и следы древних рудников могли быть уничтожены.

Заключение

1. Древние рудники по добыче меди на Южном Урале были приурочены к зонам окисления различных типов медной минерализации: а) никельсодержащих прожилково-вкрапленных и массивных руд в глубинных ультраосновных породах (серпентинитах); б) цинксодержащих колчеданных залежей в вулканических породах; в) прожилково-вкрапленных руд в гранатсодержащих и турмалиносодержащих породах, сульфидно-кварцевых и карбонатных жил. Руду добывали открытым способом, карьеры были пройдены до уровня грунтовых вод и имели глубину ок. 10 м. Общее количество добытой в изученных рудниках меди оценивается в несколько сотен тонн.

2. Результаты минералого-геохимических и петрографических исследований руд, шлаков, металлов с археологических объектов дают важную и в ряде случаев принципиально новую информацию. Такие возможности открыты в связи с совершенствованием аппаратной базы, применением рентгеноспектрального анализа (микросонда) при изучении металлических изделий. Установлено, что на изученных объектах представлены преимущественно изделия из чистой и мышьяковистой меди, мышьяковой бронзы. Предметы из оловосодержащей бронзы редки и, по-видимому, являлись импортными. Это подтверж-

дается детальным анализом подобных изделий из Синташты, в металле которых значительно выше (примерно в 100 раз) содержание свинца, больше сурьмы и меньше железа и никеля.

Исследование типоморфных свойств индикаторных минералов – турмалина и хромшпинелидов – дает важную информацию при определении источников сырья для древней металлургии. Усовершенствование предложенного метода возможно за счет более детальной характеристики морфологии и размеров зерен, выявления микрогеохимической зональности, исследования силикатных включений в хромитах.

4. Необходимо продолжить поиски древних рудников по добыче медных и золотых руд. В числе первоочередных площадей можно назвать Айдырлинское рудное поле, где известно одноименное медно-колчеданное месторождение. Этот район примыкает к Аландскому поселению, на котором выявлены признаки медно-металлургического производства.

Список литературы

- Бушмакин А.Ф., Зайков В.В.** Еленовское медно-турмалиновое месторождение – вероятный источник руды для медеплавильного производства Аркаима // Уральский минералогический сборник. – Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 1998. – № 7. – С. 223–232.
- Григорьев С.А.** Металлургическое производство на Южном Урале в эпоху средней бронзы // Древняя история Южного Зауралья. – Челябинск: Рифей, 2000. – С. 444–531.
- Григорьев С.А.** Исследование хромшпинелидов и проблема рудной базы синташтинской металлургии // Изв. Челябинского научного центра. – 2003. – Вып. 3. – С. 56–60.
- Григорьев С.А., Дунаев А.Ю., Зайков В.В.** Хромшпинелиды как индикатор источника медных руд для древней металлургии // Докл. РАН. – 2005. – Т. 400, № 2. – С. 234–238.
- Григорьев С.А., Русанов И.А.** Экспериментальная реконструкция древнего металлургического производства // Аркаим: Исследования. Поиски. Открытия. – Челябинск: ТО “Каменный пояс”, 1995. – С. 147–158.
- Дунаев А.Ю., Чуринов Е.И.** Акцессорные хромшпинелиды из ультраосновных пород Ишкининского кобальт-медно-колчеданного месторождения (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов. – Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2003. – С. 183–188.
- Зайков В.В., Бушмакин А.Ф., Юминов А.М., Зайкова Е.В., Зданович Г.Б., Таиров А.Д.** Геоархеологические исследования исторических памятников Южного Урала: задачи, результаты, перспективы // Уральский минералогический сборник. – Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 1999. – № 9. – С. 186–205.
- Зайков В.В., Зданович Г.Б., Юминов А.М.** Медный рудник бронзового века “Воровская яма” на Южном Урале //

Россия и Восток: проблемы взаимодействия: Материалы конференции. – Челябинск: Челяб. гос. ун-т, 1996. – С. 157–162.

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

Зайков В.В., Масленников В.В., Зайкова Е.В., Херрингтон Р. Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральско-го палеоокеана. – Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2001. – С. 315 с.

Зайкова Е.В. Геохимические типы меди и бронзы в металлических изделиях поселения Синташта // Археологический источник и моделирование древних технологий: Тр. музея-заповедника Аркаим. – Челябинск: Челяб. гос. ун-т, 2000. – С. 104–111.

Зданович Г.Б. Аркаим: Арии на Урале или несостоявшаяся цивилизация // Аркаим: Исследования. Поиски. Открытия. – Челябинск: Челяб. гос. ун-т, 1995. – С. 21–43.

Иессен А.А. О древней добыче золота на Урале // 200 лет золотой промышленности Урала. – Свердловск: Изд-во Ур. фил. АН СССР, 1948. – С. 5–34.

Кузьмина Е.Е. Археологическое обследование памятников Еленовского микрорайона андроновской культуры // КСИА. – 1962. – Вып. 88. – С. 84–92.

Мелекесцева И.Ю., Зайков В.В. Руды Ишкининского кобальт-медно-колчеданного месторождения. – Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2003. – 122 с.

Мелекесцева И.Ю., Зайков В.В., Тесалина С.Г., Оже Т. Хромшпинелиды в сульфидных рудах в ультрамафитах Главного Уральского разлома // Уральский минералогический сборник. – Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2001. – № 11. – С. 180–189.

Минералы: Справочник. – М.: Наука, 1981. – Т. 3, вып. 2. – 614 с.

Самсонов Г.В., Марковский Л.Я., Жигач А.Ф., Вальяшко М.Г. Бор, его соединения и сплавы. – Киев: Изд-во АН УССР, 1960. – 590 с.

Сучков Д.И. Медь и ее сплавы. – М.: Metallurgizdat, 1967. – 248 с.

Фирсов В.Я., Мартынова В.Н. Медь Урала. – Екатеринбург: Ур. гос. техн. ун-т; Ур. гос. пед. ин-т, 1995. – 296 с.

Черных Е.Н. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья. – М.: Наука, 1970. – 180 с.

Черных Е.Н. Древнейшее горно-металлургическое производство на границе Европы и Азии: Каргалинский центр // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2002. – № 11. – С. 88–106.

Черных Е.Н., Кузьминых С.В. Древняя металлургия Северной Евразии: (Сейминско-турбинский феномен). – М.: Наука, 1989. – 320 с.

Юминов А.М., Зайков В.В. Горные разработки в бронзовом веке на Ишкининском медном руднике // Уральский минералогический сборник. – Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2002а. – № 12. – С. 220–228.

Юминов А.М., Зайков В.В. Освоение междурудных месторождений среди офиолитов Южного Урала в бронзовом веке // Металлогения древних и современных океанов: Формирование и освоение месторождений в офиолитовых зонах. – Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2002б. – С. 232–238.

Zaykov V.V., Yuminov A.M., Bushmakin A.Ph., Zaykova E.V., Tairov A.D., Zdanovich G.B. Ancient Copper Mines and Products from Base and Noble Metals in the Southern Urals // J. of Indo-European Studies Monograph Series 46: Complex Societies of Central Eurasia from 3rd to the 1st millennium BC. – Wash., 2002. – Vol. 2. – P. 417–442.

Материал поступил в редколлегию 18.10.04 г.