

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии  
Российской академии наук (ИГЕМ РАН)

СТЕНОГРАММА ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.122.02

26 февраля 2020 года

Защита диссертации Анкушева Максима Николаевича на тему: «Минералогия шлаков древних металлургических производств Южного Зауралья» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05. – Минералогия, кристаллография.

Москва 2020

СТЕНОГРАММА ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.122.02  
26 февраля 2020 года

ПРЕДСЕДАТЕЛЬСТВУЕТ – Председатель диссертационного совета, академик РАН,  
д.г.-м.н., Бортников Н.С.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ - к.г.-м.н. Чефранова А.В.

На заседании присутствовали:

|     | Фамилия, имя,<br>отчество                   | Ученая степень, шифр<br>специальности<br>в совете |
|-----|---|---|
| 1.  | Бортников Николай Стефанович (председатель) | д. г.-м.н., 25.00.05                              |
| 2.  | Чефранова Анна Викторовна (уч.секретарь)    | к. г.-м. н., 25.00.11                             |
| 3.  | Аранович Леонид Яковлевич                   | д. г.-м.н., 25.00.05                              |
| 4.  | Боева Наталья Михайловна                    | д. г.-м. н., 25.00.11                             |
| 5.  | Величкин Василий Иванович                   | д. г.-м. н., 25.00.11                             |
| 6.  | Викентьев Илья Владимирович                 | д. г.-м. н., 25.00.11                             |
| 7.  | Волков Александр Владимирович               | д. г.-м. н., 25.00.35                             |
| 8.  | Гонгальский Бронислав Иосифович             | д. г.-м. н., 25.00.11                             |
| 9.  | Еремин Николай Иосифович                    | д. г.-м. н., 25.00.05                             |
| 10. | Коваленкер Владимир Александрович           | д. г.-м. н., 25.00.11                             |
| 11. | Лаломов Александр Валерианович              | д. г.-м. н., 25.00.35                             |
| 12. | Мальковский Виктор Иоанович                 | д. ф.-м. н., 25.00.35                             |
| 13. | Мохов Андрей Владимирович                   | д. г.-м. н., 25.00.05                             |
| 14. | Ожогина Елена Германовна                    | д. г.-м. н., 25.00.05                             |
| 15. | Пеков Игорь Викторович                      | д. г.-м. н., 25.00.05                             |
| 16. | Перцев Алексей Николаевич                   | д. г.-м. н., 25.00.05                             |
| 17. | Пэк Александр Арнольдович                   | д. г.-м. н., 25.00.11                             |
| 18. | Чижова Ирина Александровна                  | д. г.-м. н., 25.00.35                             |
| 19. | Юдинцев Сергей Владимирович                 | д. г.-м. н., 25.00.05                             |

**Бортников Н.С.** Здравствуйте, уважаемые члены ученого совета, у нас есть кворум, не менее 18 членов совета присутствуют, и не менее 8 докторов по специальности. Ученый совет правомочен проводить заседание. У нас на повестке дня один вопрос: защита диссертации Анкушева Максима Николаевича «Минералогия шлаков древних металлургических производств Южного Зауралья» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05. – Минералогия, кристаллография.

Диссертация выполнена в Институте минералогии Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН.

Научные руководители – доктор геолого-минералогических наук Виктор Владимирович Зайков, который, к сожалению, ушел от нас, и доктор геолого-минералогических наук Белогуб Елена Витальевна, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук (ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН), заместитель директора по научной работе.

Официальные оппоненты: Брусницын Алексей Ильич, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой минералогии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» и Кулькова Марианна Алексеевна,

кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник кафедры геологии и геоэкологии федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН

Есть ли вопросы по повестке дня? Вопросов нет. Тогда я предоставлю слово ученому секретарю, она доложит документы и познакомит вас с личным делом Анкушева Максима Николаевича.

**Чефранова А.В.** Добрый день, члены совета и гости. Соискатель Анкушев Максим Николаевич 1989 года рождения, в 2011 году окончил «Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Южно-Уральский государственный Университет». В 2014 году окончил аспирантуру в Институте минералогии УрО РАН, при лаборатории минералогии рудогенеза. В настоящее время работает младшим научным сотрудником в Институте минералогии Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН. Соискатель имеет 83 опубликованные работы, по теме диссертации опубликовано 72 работы, в том числе 10 статей в изданиях, который включены в перечень рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций ВАК. Личное дело соискателя содержит все необходимые документы согласно перечню ВАК. Все документы размещены на сайте ВАК и в информационной системе ВАК согласно регламенту, поэтому можно заслушать диссертацию.

**Бортников Н.С.** Есть ли вопросы по личному делу Максима Николаевича? Если вопросов нет, спасибо. И я предоставляю слово вам, Максим Николаевич, 20 минут для доклада.

**Анкушев М.Н.** Добрый день, я хочу представить вам доклад по диссертации на тему «Минералогия шлаков древних металлургических производств Южного Зауралья».

Цель работы – определение исходного протолита и источников сырья древней металлургии в Зауральском горно-металлургическом центре

Задачи работы: минералого-геохимическая характеристика металлургических шлаков важнейших археологических памятников Зауральского ГМЦ и выявление их основных минералогических типов; установление онтогенических особенностей породообразующих минералов шлаков, отражающих особенности их кристаллизации; исследование рудного сырья, естественных и техногенных легирующих примесей и флюсовых добавок, установление типов месторождений, использовавшихся в бронзовом веке.

Актуальность исследований обусловлена необходимостью реконструкции цикла добычи, транспортировки и металлургического передела медных руд в бронзовом веке. Ключевое значение для изучения древней металлургии имеют шлаки, поскольку в большинстве случаев они привязаны к археологическому культурному слою, в контексте которого были произведены. Особенности шлаков позволяют выявить состав рудного протолита, определить температурные режимы металлургического процесса, применяемые флюсы, химизм выплавленного металла.

Научная новизна. Впервые для многих археологических памятников бронзового века на Южном Урале, связанных с металлургией, изучены и интерпретированы минералого-геохимические особенности металлургических шлаков. Для ранее изучавшихся объектов знания о минералогии значительно расширены за счет применения новых высокопрецизионных методов. Выделены основные минералогические типы древних металлургических шлаков. Установлены важнейшие критерии и маркеры для определения источников медного сырья для металлургии бронзового века.

Результаты работы могут быть использованы при археологических изысканиях и прикладных археологических работах в России и мире.

Объекты работы: металлургические шлаки и реликты руд с наиболее хорошо изученных поселений бронзового века Южного Урала, таких как Каменный Амбар, Устье, Сарым-Саклы, Левобережное, Коноплянка, Кацбах 6.

Личный вклад автора состоит в участии в раскопках археологических памятников, отборе образцов из коллекций артефактов, пробоподготовке, участии в аналитических работах, интерпретации результатов анализов

Для изучения металлургических шлаков был применен широкий спектр аналитических методов: состав шлаков определялся методом силикатного анализа, геохимические особенности – с помощью РФА и ICP-MS, общая минералогия установлена методом рентгенофазового анализа и оптической микроскопии, состав минералов определялся методом электронной микроскопии, микрозондового анализа, ЛА-ИСП-МС, особенности структуры минералов определялись методом КР-спектроскопии и ДОЭ.

Промежуточные результаты работы докладывались на конференциях: «Металлогения древних и современных океанов», «Геоархеология и археологическая минералогия» г. Миасс, «Минералы: строение, свойства и методы исследования», «Уральская минералогическая школа» г. Екатеринбург, «Новое в познании процессов рудообразования», г. Москва, 2018. Исследования проводились в рамках госбюджетной темы Института минералогии, проектов РФФИ и РНФ.

По теме диссертации опубликовано 16 работ, из них 6 статей в рецензируемых изданиях

Поселения бронзового века, на которых был и обнаружены металлургические шлаки находятся в Зауральском горно-металлургическом центре, выделенном Е.Н. Черныхом, который находится на территории Челябинской области и республики Башкортостан. Реконструкции поселений приведены на изображениях справа.

Укрепленные поселения относятся к синташтинско-петровскому этапу, неукрепленные – к более позднему срубно-алакульскому. В Зауральском горно-металлургическом центре присутствуют как однослойные, так и многослойные поселения.

Защищаемое положение 1 Шлаки металлургического производства бронзового века Южного Зауралья по химическому составу и индикаторным минералам разбиваются на две группы – хромитсодержащие, соответствующие синташтинско-петровскому периоду (2000-1700 лет до н.э.), и сульфидсодержащие, характеризующие более поздний срубно-алакульский период (1700-1300 лет до н.э.)

Металлургические шлаки на поселениях встречаются в виде единичных фрагментов и массовых скоплений. На некоторых поселениях были обнаружены тысячи фрагментов шлаков. По минералогическим и текстурно-структурным особенностям шлаки Южного Зауралья были разделены на два основных типа: хромитсодержащие, представленные фрагментами шлаковых «лепешек» и сульфидсодержащие образующие комковатые, бесформенные образцы.

Основным минералом хромитсодержащих шлаков является оливин, который образует призматические зональные и скелетные кристаллы, повсеместно распространен магнетит, образующих скелеты и небольшие зерна. Реликтовые включения представлены нерасплавленными фрагментами серпентинитов и зернами хромшпинелидов. Металлические включения представлены каплями меди и мышьяковых бронз. Общей матрицей служит стекло.

В сульфидсодержащих шлаках оливин образует цепочечные и скелетные кристаллы, железистые фазы представлены магнетитом, который образует срастания с вюститом. Реликтовые включения представлены фрагментами сульфидных ковеллин-халькозиновых руд. Расплавные включения представлены новообразованными каплями сульфидов и мелкими – меди и бронз. Матрицей является стекло.

По данным рентгенофазового анализа минеральный состав типов шлаков отличается. В хромитсодержащих шлаках больше оливина и стекла, отсутствует вюстит, в сульфидсодержащих меньше оливина и стекла, значительно больше железистых фаз. В

обоих типах шлаков по включениям меди и сульфидов образуются гипергенные минералы.

Типы шлаков значимо отличаются по соотношению основных петрогенных оксидов. В хромитсодержащей разновидности больше  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , в сульфидсодержащей значительно больше оксидов железа, меди.

Содержания рассеянных элементов также демонстрируют расхождения между выделенными типами. В хромитсодержащем типе содержится больше литофильных элементов Li, Sc, Rb, некоторых металлов: Cr, V, Ni, As, а также U и Th, в сульфидсодержащих шлаках повышенные содержания Co, Mo и Se.

Стекло в обоих типах шлаках концентрирует Na, K, Ca, Al, P. Матрица аморфного стекла хорошо отличается от кристаллических минеральных фаз на картах контраста полос ДОЭ. По составу стекло шлаков укладывается в поля основных, реже ультраосновных пород нормального и субщелочного ряда.

Таким образом, по минералого-геохимическим особенностям среди металлургических шлаков древних производств Южного Зауралья выделены два основных типа шлаков хромитсодержащие и сульфидсодержащие. Соотнесение двух типов с археологическими данными (тип керамики, радиоуглеродные даты) показало, что хромитсодержащий тип соответствует синташтинско-петровскому историческому этапу, сульфидсодержащий – более позднему срубно-алакульскому этапу.

Защищаемое положение 2 Кристаллизация шлаков начинается с идиоморфных кристаллов фаялита, в котором центральная часть обогащена форстеритовым миналом, затем образуются скелетные кристаллы фаялита и агрегаты оксидов железа, на завершающем этапе происходит закаливание стекла, обогащенного щелочными металлами и РЗЭ, и металлической меди, концентрирующей цветные металлы. Геохимическая зональность кристаллов оливина согласуется со степенью совершенства его структуры, что доказывается данными КР-спектроскопии и EBSD.

Оливины в металлургических шлаках образуют зональные кристаллы, в которых центральная часть обогащена форстеритовым миналом, вплоть до формального соответствия железистому форстериту, кайма высокожелезистая фаялитовая, также в кайме повышенное количество кирштейнитового и тефроитового минала.

За счет кристаллизации из металлоносного расплава оливины концентрируют большое количество примесей, таких как Cu, Co, Cr, Zn, As, P, РЗЭ. Содержание всех примесей, кроме Ni, в оливинах шлаков значительно выше, чем в природных. Некоторые элементы, такие как Co, Ni проявляют сходную с Mg зональность в распределении в кристалле.

Для установления особенностей структуры оливина в разных зонах кристалла были сняты спектры КР. Центральная часть кристалла характеризуется типичным КР-спектром оливина. Спектр каймы значительно отличается, наблюдается сдвиг характерных пиков спектра оливина на  $815\text{ см}^{-1}$  и  $840\text{ см}^{-1}$  кроме этого они имеют низкую интенсивность.

Картирование по параметрам КР-спектров показывает постепенное снижение интенсивности характерных пиков оливина от центра к кайме кристалла.

Картирование зонального кристалла оливина методами СЭМ и ДОЭ показало, что кайма имеет значительно более низкий контраст полос, по сравнению с центральной частью. Кайма характеризуется низкой степенью совершенства кристаллической решетки, за счет захвата микрочастиц стекла и неструктурных примесей при резком снижении температуры расплава и быстрой кристаллизации.

На некоторых кристаллах также проявляется хорошо видимая внутренняя зона микровключений стекла.

Фазовая диаграмма  $\text{MgO-FeO-SiO}_2$  показывает весьма высокие температуры кристаллизации для валовых проб шлаков и оливинов, вплоть до  $1500\text{-}1600^\circ\text{C}$ . С этими значениями согласуется также диаграмма форстерит-фаялит. Тем не менее, в этих диаграммах не учитывается наличие в расплаве  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ , снижающих температуру

плавления. Согласно проведенному эксперименту температура плавления шлаков составляет около 1200-1300°C.

По результатам экспериментальных работ и оценки температуры кристаллизации шлака может быть предложена следующая схема. 1. На этой стадии объект представляет собой основной высоко железистый расплав, в котором находятся реликты хромшпинелидов и серпентинитов, которые продолжают взаимодействовать с расплавом. 2. На этом температурном интервале происходит кристаллизация высокомагнезиальных ядер кристаллов оливинов. Реликты серпентинитов уже не плавятся, на их границе образуются мелкие кристаллы оливина. На этой стадии большая часть Mg и частично Fe из расплава переходит в оливин. 3. Образование фаялитовой каймы и скелетных кристаллов оливина приблизительного состава. Этап проходит довольно быстро, поэтому при росте оливин захватывает включения расплава, позднее застывающие в стекло. 4. На этом этапе происходит формирование мелких идиоморфных зерен и скелетных кристаллов магнетита. Завершается формирование кристаллов оливина. 5. Закаливание стекла.

В итоге были установлены особенности образования металлургических шлаков бронзового века: температурный режим, порядок и особенности кристаллизации основных минералов, распределение элементов при кристаллизации различных фаз.

Защищаемое положение 3. Присутствие в хромитсодержащих металлургических шлаках бронзового века реликтов хромшпинелидов и серпентинитов, а также повышенные концентрации Ni, Cr и As указывают на использование в качестве сырья азурит-малахитовых руд из зоны окисления месторождений меди, локализованных в ультрабазитах. Наличие ковеллина и халькозина в сульфидсодержащих шлаках, высокие содержания Fe, Co и Se свидетельствуют об эксплуатации сульфидных руд зоны вторичного обогащения. Высокие концентрации Ca, P и PЗЭ говорят о применении в металлургии известковых и костных флюсов.

Одним из индикаторов источников медного сырья являются реликтовые включения хромшпинелидов и серпентинита в хромитсодержащих шлаках и реликты ковеллин-халькозиновых руд в сульфидсодержащих шлаках

Состав хромшпинелидов в шлаках соответствует полю хромит-алюмохромит-ферриалюмохромит на классификационной диаграмме Павлова. Таким же составом характеризуются рудные и акцессорные хромшпинелиды ультрабазитовых массивов главного уральского разлома и массивов восточно-магнитогорской островной дуги.

Реликтовые и новообразованные сульфиды в шлаках по составу относятся к ряду халькозин-ковеллин, часто содержат значимые примеси железа. Высокие содержания Se и Te позволяют предположить, что источником сульфидных руд служила зона вторичного обогащения колчеданных месторождений в базальтах и риолитах.

На представленных поселениях бронзового века фиксируются обломки медных руд, наиболее распространенным типом являются окисленные массивные малахит-азуритовые руды, а также прожилково-вкрапленные, вмещающей породой является серпентинит. Реже встречаются магнетит-малахитовые руды. Наиболее редкой разновидностью являются турмалин-малахитовые руды.

На Южном Урале известно несколько древних рудников – месторождений со следами отработки в бронзовом веке. Они принадлежат к различным генетическим типам. К скарновому типу относятся рудопоявления Восточно-магнитогорской островной дуги: Воровская яма, Новотемирское, Новониколаевское. Древние рудники на месторождениях колчеданного типа относятся к типу кобальт-медноколчеданных – месторождения ГУР Ишкининское, Дергамышское и к уральскому типу – месторождение Западно-Магнитогорской островной дуги Бакр-Узяк. К древним рудникам на медно-порфировых месторождениях относятся рудопоявления Никольского рудного поля: Кураминский, Таш-Казган, Никольское и Еленовский.

Стекло шлака концентрирует большое количество Ca, P, PЗЭ, которые не могли содержаться в рудном протолите. Эти элементы привносятся в расплав при добавлении в

плавку температуроснижающих известковых и костных флюсов. Вывод подтверждается наличием большого количества дробленой и обожженной кости при археологических раскопках металлургических комплексов.

Таким образом, с помощью минералого-геохимического анализа были установлены основные типы руд и технологических примесей, использовавшихся в металлургии бронзового века Южного Зауралья

**Заключение:**

Хромитсодержащие шлаки отличаются крупными зональными зернами фаялита, в центре кристалла переходящими в форстерит; присутствием реликтов хромшпинелидов и серпентинизированных ультрабазитов; высоким содержанием Cr, Ni в шлаке и As в расплавных включениях. Протолитом для этих шлаков служили окисленные медные руды в ультрабазитах.

Сульфидсодержащие шлаки выделяются наличием цепочечных кристаллов фаялита; присутствием реликтовых обломков и капель сульфидов; повышенными содержаниями Co, Mo в шлаке, Se и Te в сульфидах. Источником руд служила зона вторичного сульфидного обогащения колчеданных месторождений в вулканитах.

В зональных оливинах методом КР-спектроскопии и ДОЭ установлены 3 зоны: центральная, промежуточная и периферийная. Центральная зона формировалась относительно продолжительное время и характеризуется повышенным содержанием форстеритового минала и наиболее совершенной структурой. Промежуточная зона содержит включения стекла и неструктурные примеси, что приводит к дефектности кристаллической структуры. Внешняя зона представлена новообразованным фаялитом.

Оливины древних металлургических шлаков отличаются по содержанию элементов-примесей от природных глубинных аналогов. Наличие в составе оливина высоких содержаний P и P3Э свидетельствует о захвате микрочастиц стекла при быстрой кристаллизации. Источником этих элементов являются добавки костных и известковых флюсов. Благодарю за внимание!

**Бортников Н.С.** Спасибо! Кто бы хотел задать вопросы, пожалуйста.

**Пеков И.В.** У меня несколько вопросов. Максим Николаевич, вы упомянули в оливине мышьяк и фосфор какие содержания там этих компонентов? Или я ослышался, про мышьяк и фосфор в оливине. Приблизительно, проценты, полпроцента?

**Анкушев М.Н.** Мышьяка там меньше конечно, это, наверно, десятки, первые сотни ppm. Фосфора может доходить до полпроцента примерно, это также как в пирогенных породах.

**Пеков И.В.** Полпроцента, понятно. И второй вопрос по оливинам. Вы говорите о сдвиге полосы в КР спектре: 815 это у ядра, а 845 у каймы, или наоборот?

**Анкушев М.Н.** Нет, там для типичного КР спектра оливина характерны два пика оливина это 815 обратных сантиметров и 840. Если мы смотрим наш оливин, дефектный, то у него и тот и другой пик сдвигаются и при этом уширяются.

**Пеков И.В.** Насколько сдвигаются и в каком направлении? Приблизительно опять же, не обязательно точно, 10 обратных сантиметров, 20, 30, 50?

**Анкушев М.Н.** Дело в том, что сдвиг, который в центральных частях, которые по нашим данным хорошо закристаллизованы с совершенной структурой незначительный и сдвиг зависит от колебаний железо-магний. А в тех местах, где мы наблюдаем этот сдвиг, там сложно сказать, потому что там в некоторых местах пики практически пропадали.

**Пеков И.В.** Ну, это у вас от ориентировки будет.

**Анкушев М.Н.** После измерения на КР-спектрометре мы провели для того же кристалла сравнение на дифракции отраженных электронов, которая показала, что ориентировка и каймы и центра кристалла одинаковая. То есть это зависит не от ориентировки, а от примесей, которые при быстрой кристаллизации захватываются кристаллом.

**Пеков И.В.** А отчего же тогда пропадет, это ведь валентные колебания Si-O, как они могут пропасть в оливине при нормальной ориентировке, не переориентировке в плоскости колебания.

**Анкушев М.Н.** Там происходит снижение интенсивности этого пика на КР-спектре. Происходит уширение сильное, то есть он как бы «размазывается».

**Пеков И.В.** Уширение то понятно отчего, а вот снижение... У меня еще маленький вопрос: у вас среди гипергенных минералов упоминается меланоталлит, как он определен, меня он очень удивил в гипергенной части. Расскажите, как вы его идентифицировали?

**Анкушев М.Н.** В данном случае меланоталлит определен только с помощью сканирующего электронного микроскопа.

**Пеков И.В.** Понятно, тогда это не меланоталлит, потому как мало того что эта фаза высокотемпературная, она еще и на воздухе не живет. И последний вопрос, если можно, у вас во втором защищаемом положении упоминалось о закаливании меди, что вы имели в виду, когда вы это написали? Как она закаливается?

**Анкушев М.Н.** Не закаливание, наверное, а застывание, я оговорился. То есть металлическая медь, жидкая, она становится твердой.

**Пеков И.В.** Закаливание стекла понятно, а закаливание меди, наверное, термин не очень.

**Анкушев М.Н.** Затвердевание.

**Пеков И.В.** Кристаллизация. Спасибо.

**Бортников Н.С.** Спасибо! Есть ли еще вопросы, пожалуйста.

**Плотинская О.Ю.** Вы упомянули, что где-то на последнем этапе у вас образуются и идиоморфные кристаллы магнетита и скелетные. Как такое возможно, потому что скелетные кристаллы это быстрый рост, а идиоморфные вроде как нет.

**Анкушев М.Н.** Здесь я не стал вдаваться в подробности. Я думаю, что есть разница температурная, потому что магнетит в шлаках образует либо зерна, скелетные кристаллы больше образуются в тех зонах где видно, что была быстрая кристаллизация. Может быть, даже в разных образцах.

**Перцев А.Н.** Скажите пожалуйста, бронзовый век известен не только в этом регионе, о котором шлак речь, гденибудь еще изучали минералогию шлаков или вы основоположник направления.

**Анкушев М.Н.** Нет, я конечно, ни в коем случае не основоположник. Есть хорошие работы, посвященные минералогии шлаков бронзового века и в России. Это, например, работы археолога Григорьева, который изучал минералогию, там в основном применялась оптическая и электронная микроскопия. А вообще в мире эта тема достаточно широко изучается и есть даже специальные журналы, издания, где это публикуется, они смежные. Вообще, самые лучшие исследования, я считаю проведены по памятникам бронзового века Италии, там очень здорово минералогия рассмотрена и все эти процессы и руды тоже. Ну и многие европейские памятники тоже хорошо изучены.

**Перцев А.Н.** Спасибо, а еще вопрос такой: в качестве восстановителя что употребляли люди бронзового века – древесный уголь или каменный?

**Анкушев М.Н.** Древесный.

**Перцев А.Н.** Спасибо, а как это установили?

**Анкушев М.Н.** Это установлено раскопками археологических памятников, где он обнаружен в печах, в очагах, древесный уголь.

**Борисов А.А.** В первом положении два типа шлаков, мне интересно, действительно, одно поселение использовало один тип, а другое другой либо по времени могла быть смена типов в одном и том же поселении?

**Анкушев М.Н.** На наших памятниках в Южном Зауралье как раз мы выявили то что, происходит смена со временем. То есть ранний этап, в который разрабатывали окисленные руды, причем они использовали ультрабазиты и есть более поздний этап, где произошла смена на сульфидные руды. Ну, и современные работы, которые проводятся нашим отрядом, нашей экспедицией совместной, как раз показывают, что более поздние,

мы находим выработки более глубокие, можно назвать их шахтами наверное, ориентированы на добычу более глубинных руд.

**Коваленкер В.А.** Поясните, пожалуйста, почему повышенные содержания селена и теллура рассматриваются вами как показатель принадлежности к зонам вторичного сульфидного обогащения?

**Анкушев М.Н.** Это я сравнил с литературными данными по изучению колчеданных месторождений, и во многих публикациях говорится о том, что высокие содержания селена как раз сконцентрированы в зоне вторичного обогащения, то есть в халькозине и ковеллине. Кроме этого, повышенные содержания селена встречаются в высокотемпературном халькопирите, например в трубах черных курильщиков, но древние общества эти руды не использовали, мы это знаем, потому что мы реликтов халькопирита не наблюдаем, и халькопирита при раскопках поселений тоже не наблюдается. И, в общем, на Урале зона залегания первичных руд была значительно ниже, чем они могли разрабатывать.

**Гирнис А.В.** Скажите, пожалуйста, известны ли бронзовые изделия, связанные с этими производствами и если есть, есть ли там тоже различия по составу бронз?

**Анкушев М.Н.** Бронзовые предметы, конечно, изучаются более тщательно, и намного большее количество работ этому посвящено. Действительно, и не только для Южного Урала, но и многих других памятников ранний этап: ранний бронзовый век, средний бронзовый век, изучение бронзовых изделий показывает, что там как раз был мышьяк, основным элементом для легирования, для получения бронз был мышьяк. И уже в позднем бронзовом веке они переходят на другие виды сырья и там уже появляются оловянные бронзы. В данном случае совпадает то что мышьяк для ранних и для поздних, там другое, другие источники.

**Волков А.В.** Максим Николаевич, скажите, пожалуйста, а медистые песчаники, древние люди обходили стороной, которые там почти полторы тысячи месторождений по всему Уралу, то есть в шлаках никак они не проявлены? Это первый вопрос. И изучали вы, там были заводы, Пермь стоит на медистых песчаниках и больше десяти тысяч маленьких заводиков существовало, которые выплавляли не сопоставляли ли вы шлаки с этих медистых песчаников с теми, которые были в бронзовом веке и второе не сопоставляли ли вы шлаки, которые современные предприятия Урала производят, с древними. И самый последний вопрос: сами вы пробовали плавить те руды, которые вы там показали на десяти рудниках примерно, разного типа и какие шлаки, если вы плавили, вы получили?

**Анкушев М.Н.** На первый вопрос: мы изучаем шлаки бронзового века поселений, которые разрабатывали медистые песчаники, но они не вошли в эту работу, потому что она посвящена только памятникам Южного Зауралья. Медистые песчаники древними сообществами разрабатывались, это Приуралье, знаменитые Каргалинские рудники, а также в Башкирии, кроме этого в Казахстане, это Джезказган еще разрабатывался в бронзовом веке. Они в эту работу не вошли, так как мы только начали в прошлом году сотрудничать с археологами. Там совершенно другое, там другие примеси, для тех песчаников характерны высокие содержания свинца, также в шлаках фиксируется барит всегда. С заводами я не сравнивал. Вы имеете ввиду заводы XIX-XX века? С современными заводами я не сравнивал, изучал только древние в этой работе.

**Волков А.В.** А сами не плавили?

**Анкушев М.Н.** Сам? Сам я тоже не плавил, дело в том, что там нужно, так сказать иметь большой навык в плане археологического образования, то есть знать как выглядели эти печи. Проводятся исследования археологов-реконструкторов или археологов-экспериментаторов, которые действительно строят эти печи и пытаются воссоздать те условия и то сырье используют. У них получается результаты очень сходные. И я занимался анализом шлаков приуральских древних, очень похоже на правду. Поэтому я только в качестве обзора в работе рассматривал, но сам не плавил.

**Бортников Н.С.** Вывод: древние были умнее нас. Мы же не можем построить пирамиды, а они построили. Есть ли еще вопросы?

**Мохов А.В.** Скажите, вы же можете на основе ваших данных спрогнозировать максимальные рабочие температуры этой плавки и как они достигались, вы знаете?

**Анкушев М.Н.** На основе диаграмм, которые у нас получились, показано, что максимальная температура доходила до полутора тысяч, а в некоторых случаях даже возможно и выше. Несмотря на то, что это кажется странной, очень высокой температурой, предшественники археологи, которые занимаются изучением шлаков и которые занимались этими плавками, на основе обычного древесного угля получали схожие температуры, причем в печах, которые соответствовали древним. И это на основе работ не только наших, отечественных, но и зарубежных, например реконструкторы из Испании в своих печах пробовали проводить и в своих работах публиковали, что им удалось с помощью древесного угля, мехов получать температуру 1600 градусов.

**Бортников Н.С.** Есть ли еще вопросы? Спасибо. Елена Витальевна, вам слово как научному руководителю, пожалуйста.

**Белогуб Е.В.** Я в первую очередь хочу сказать, что эта работа была задумана Виктором Владимировичем Зайковым очень давно, наверное, десять лет назад это произошло и, конечно, цель выглядела как найти какие то признаки, по которым можно определить из каких месторождений конкретно была использована сырье в том или ином поселении. Понятно, что Максим и археологи очень ограничены в объектах, потому что, во-первых сохраняется не так уж много шлаков, где-то много, где то единицы. Практически не сохраняются обломки руд, потому что древние их все использовали, прежде чем покинуть поселение. В связи с этим так досконально точно эта задача не могла быть решена, поэтому она была немножко переориентирована. Руководство работой, еще раз я хочу подчеркнуть, конечно, это Виктор Владимирович Зайков, идейный вдохновитель, организатор и научный руководитель основной. К сожалению, он ушел, и моя роль тут была только в доведении Максима до какого-то логического завершения. Работа очень самостоятельная. Максим самостоятельно разрабатывал некоторые направления, которые ему даже никто не предлагал. Обработано огромное количество анализов, огромное количество образцов. Он уже далеко ушел от первоначального вида этой диссертационной работы, действительно теперь занимается медистыми песчаниками и памятниками из других регионов. Он очень хорошо владеет археологической подоплекой, в какой то мере освоил, во всяком случае интерпретацию результатов современных методов изучения кристаллического вещества и поэтому я считаю что работа самостоятельная, законченная, личный авторский вклад очень большой, руководителю осталось только несколько направлять его в нужном направлении. Спасибо.

**Бортников Н.С.** Спасибо. Нам предстоит заслушать отзывы ведущей организации, я предоставляю для этого слово ученому секретарю.

**Чефранова А.В.** Ведущая организация Институт геологии и геохимии УрО РАН, в своем отзыве отмечает... Зачитывает отзыв ведущей организации.

Отзыв приложен к аттестационному делу.

**Бортников Н.С.** Спасибо. Может диссертант хочет ответить за замечания сейчас оппонировавшей организации, или вы будете отвечать потом на все? Как вам лучше?

**Анкушев М.Н.** Давайте я сразу отвечу.

Можно ли на основании полученных автором данных судить об окислительно-восстановительных режимах и температуре плавки руды? Может ли быть зафиксирована разница в технологиях металлургических плавков в различных культурах в пределах одного местонахождения?

Обстановка была, в целом, восстановительная до слабоокислительной, о чем свидетельствует присутствие металлов и сульфидов меди, таких как ковеллин и халькозин. Однако, этот параметр значительно варьировал, расплавы, вероятно, не полностью перемешивались и рассчитать конкретные цифры Eh не представляется

возможным. О температуре плавки говорят экспериментальные данные и анализ фазовых диаграмм. Даже в пределах одного многослойного поселения шлаки разных культур сильно отличаются друг от друга, это указано в первом защищаемом положении и второй главе работы.

Были ли попытки установить генетические взаимоотношения между рудой и шлаком изотопными методами?

Была не совсем удачная попытка использовать изотопы меди, это изложено в тезисах конференции «Новое в познаниях процессов рудообразования 2018 г». При изменении окислительного потенциала среды изотопы меди сильно фракционируют. Лучше использовать изотопию свинца, но это пока не завершено, сейчас в работе.

Можно ли с помощью предложенных в работе критериев оценить тип исходной руды для выплавки металла и проследить, как изменялся источник руды на одном местонахождении в течение длительного времени и связать это с последствиями антропогенной деятельности человека по добыче и переработке руды?

Шлаки являются лучшим материалом для определения типов исходных руд и изменения технологии металлургии с течением времени. Методы, использованные в работе, это подтверждают. Недостаток метода состоит в том, что не всегда конкретный кусок шлака можно привязать к культурному слою.

Не встречались ли образцы шлака, не укладывающиеся в предложенную типизацию, возможно выплавленные из импортированной руды неместного происхождения?

Сульфидсодержащий шлак с баритом, не зафиксированным нигде больше в древних шлаках Южного Зауралья, может быть неместным. Однако это лишь предположение.

С какой погрешностью и пределами обнаружения были измерены содержания примесных элементов Cu, S, Mn в стеклах хромитсодержащих шлаков с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3? Как определялась степень окисления Cu?

Предел обнаружения для ЭДС находится около 0.1-0.2 мас.%. Погрешность зависит от содержания элементов, чем выше абсолютные концентрации, тем ниже относительная погрешность. Валентность меди определяется методами ядерного резонанса, которые при написании работы не использовались.

В хромшпинелидах исследованных шлаков настолько сильно варьирует содержание Fe, что существенная часть его находится не только в двух-, но и в трехвалентном состоянии. В таблице 2.5 с составами хромшпинелидов не приводится расшифровка, что означает « $\Sigma\text{FeO}$ ». Как рассчитывался этот параметр?

Метод СЭМ не разделяет двух- и трехвалентное железо, поэтому в таблице приводилось суммарное железо. В формулах при подсчете оно разделялось по атомным количествам компонентов на основании стехиометрической формулы.

Спектры комбинационного рассеяния (КР-спектры) в зональных зернах оливина явно демонстрируют вариацию соотношения интенсивностей, ширин и положений колебательных линий (рис. 3.6., 3.7.), причинами которых могут быть различие химического состава, дефектности и ориентации кристаллической решетки. Наблюдаемые изменения интенсивности линий  $815\text{ см}^{-1}$  и  $840\text{ см}^{-1}$  могут определяться различием ориентировки, а не только дефектностью структуры. Сопоставлялась ли ориентация кристаллической решетки в центральной, промежуточной и периферийной частях зерен оливина по данным дифракции отраженных электронов (EBSD); насколько она различается? Вклад какого из факторов в уширение и сдвиг линий КР-спектров в выделенных зонах исследованных оливинов более существенный – соотношение Fe/Mg или нехарактерные для оливина примеси и включения стекла?

Ориентация кристаллической решетки по данным EBSD в центральной, промежуточной и периферийной частях одинаковы и являются общими для всего зерна. Дефектность структуры минерала определяется не сменой ориентировки, а неструктурными примесями в кайме кристалла.

**Бортников Н.С.** Спасибо. Анна Викторовна, продолжайте.

**Чефранова А.В.** Также на автореферат диссертации поступило 14 отзывов. Отзывы прислали: Поленов Юрий Алексеевич, д.г.-м.н., доцент, профессор кафедры геологии ФГБОУ ВО Уральского государственного горного университета и Огородников Виталий Николаевич, д.г.-м.н., профессор зав. Кафедрой геологии ФГБОУ ВО Уральского государственного горного университета; Кориневский Виктор Григорьевич, д.г.-м.н., с.н.с. Института минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН; Кислов Евгений Владимирович, к.г.-м.н., заведующей лабораторией геохимии и рудообразующих процессов Геологического института СО РАН; Григорьев Станислав Аркадьевич, к.и.н., с.н.с. Института истории и археологии УрО РАН; Киселева Дарья Владимировна, к.г.-м.н., с.н.с. Института геологии и геохимии им. Академика А.Н. Заварицкого УрО РАН и Шагалов Евгений Сергеевич, к.г.-м.н., с.н.с. Института геологии и геохимии им. Академика А.Н. Заварицкого УрО РАН; Сугоракова Амина Мидхатовна, к.г.-м.н., в.н.с. Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН; Сначев Владимир Иванович, д.г.-м.н., профессор, г.н.с. Института геологии ФГБНУ Уфимский ФИЦ РАН; Савельев Дмитрий Евгеньевич, д.г.-м.н., г.н.с. Института геологии ФГБНУ Уфимский ФИЦ РАН; Николаев Анатолий Германович, к.г.-м.н., доцент кафедры минералогии и литологии, Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета; Кургузова Анна Владимировна, к.г.м.н., ассистент кафедры минералогии, кристаллографии и петрографии Санкт-Петербургского горного университета; Попов Михаил Петрович, к.г.-м.н., доцент, кафедра «Минералогии, петрографии и геохимии», ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»; Петров Федор Николаевич, к.ф.н., н.с. музейного отдела Областного государственного бюджетного учреждения культуры «Челябинский государственный историко-культурный заповедник «Аркаим»; Виноградов Николай Борисович, д.и.н., доцент, заведующий кафедрой всеобщей истории Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета; Малахов Фируз Абдуллохонович, к.г.-м.н., доцент, начальник республиканского государственного унитарного предприятия «Геологоразведочная экспедиция по драгоценным и поделочным камням» управления геологии при Правительстве Республики Таджикистан».

Отзывы С.А. Григорьева, А.М. Сугораковой, Ф.Н. Петрова, А.Г. Николаева, Д.Е. Савельева, А.В. Кургузовой, Н.Б. Виноградова, Ф.А. Малахова без замечаний.

Поленов Ю. А. и Огородников В. Н. в своем отзыве указывают, что во введение и заключении диссертации необходимо было рассмотреть практическую и историческую значимость проведенных исследований. Кориневский В.Г. в своем отзыве сожалеет об отсутствии в автореферате диссертации исследований, изложенных в статье о минералогии редких древних погребальных шлаков Западного Казахстана. Кислов Е. В. считает, что хромшпинелиды неверно отнесены к реликтовым минералам, так как они также могут быстро перекристаллизовываться при металлургическом процессе. Он считает недостаточной характеристику морфологии хромшпинелидов и рассмотрение состава лишь диаграммой Al-Cr-Fe. У Киселевой Д.В. и Шагалова Е.С. при составлении отзыва возник вопрос к соискателю: насколько переход от одного типа руд к другим был резким и были ли эти различия связаны близостью месторождений к поселению в конкретный исторический период? Попов М.П. в своем отзыве указывает, что термин хромшпинелиды устарел, и желательно указывать какой минерал группы шпинели встречается в шлаках. Он указывает на недостаточное описание строения древних рудников и приуроченности их к месторождениям. Также в этом отзыве автор задает вопрос: с чем связаны повышенные концентрации Ga, In, Tl, Zr, Nb, Li, Na, K и Rb в стеклах? Сначев В.И. в своем отзыве указывает, что в автореферате приведена недостаточная статистика по сопоставлению составов оливинов в шлаках, ультрабазитах или вулканитах, а также задает вопрос: является ли достоверным сравнение хромшпинелидов в шлаках и ультрабазитах, к которым были приурочены источники медного сырья на основе только данных электронной микроскопии? Спасибо за внимание.

**Бортников Н.С.** Можете ответить

**Анкушев М.Н.** В отзывах было некоторое количество замечаний, которые связаны с недостатками в структуре работы, недостатками в изложении, возможно недостаточным обзором. Я с этими замечаниями согласен, со всеми полностью и учту их в дальнейшем. Сейчас я хочу ответить на вопросы.

Вопрос в отзыве Киселевой и Шагалова: можно ли оценить, насколько резкий был переход от одного типа руд к другим и были ли эти различия связаны близостью того или иного типа месторождений к конкретному поселению или месту передела в конкретный исторический период?

Археологические культуры бронзового века Южного Зауралья плавно сменяли друг друга, вместе с присущими им традициям и технологиями. Вероятнее всего, процесс смены рудной базы был также относительно нерезким.

Вопросы в отзыве Кислова Евгений Владимировича: непонятно, почему соискатель отнес хромшпинель к реликтовым минералам. Почему она не могла кристаллизоваться или преобразовываться при металлургическом процессе? Хромшпинель способна быстро перекристаллизовываться и изменять свой состав под внешним воздействием. Информации о разъединенных границах, пористости, разрушенности части зерен, хроммагнетитовой кайме недостаточно.

Действительно, хромшпинелиды в горячем шлаковом расплаве могут испытывать преобразования, частично разрушаться итд. Тем не менее морфологически эти хромшпинелиды не похожи на новообразованные из расплава. Кроме того в шлаке присутствуют нерасплавленные реликты серпентинитов, а значит температур для плавления хромшпинелидов было явно недостаточно.

Неясно, зачем на рис. 3 в диаграмме состава сульфидсодержащих шлаков надо было выделять сектор «шпинелиды», когда понятно, что это магнетит, а хромшпинель в них не встречается.

На этой диаграмме приведен валовый минеральный состав шлаков по данным рентгенофазового анализа. Особенности этого метода не позволяют в рамках расчетов методом Ритвельда разделять хромшпинелиды и магнетит, так как они обладают близкими параметрами кристаллической решетки. Поэтому, согласно минералогической классификации, использовано обобщающее название семейства минералов «шпинелиды».

В отзыве Кориневского указано, что в самой работе не отражены результаты по шлакам Западного Казахстана.

Озвученная публикация, несомненно, имеет прямое отношение к работе, так как там рассматривается минералогия, температуры расплава и особенности кристаллизации древних шлаков. Но в ней фигурируют погребальные шлаки, а работа акцентирована на металлургических шлаках.

В отзыве Сначева Владимира Ивановича, приведены следующие вопросы:

Является ли достоверным сравнение хромшпинелидов в шлаках и ультрабазитах, к которым были приурочены источники медного сырья на основе только данных электронной микроскопии?

Изначально планировалось, что тематика всей работы будет посвящена составу хромшпинелидов, но потом я стал изучать другие индикаторные минералы. Состав хромшпинелидов по данным СЭМ нельзя использовать для определения источника медного сырья, так как он достаточно варьирует даже в пределах одного месторождения. В нынешней работе используется лишь несколько анализов, которые показывают, что хромшпинелиды имеют состав сходный с таковыми в ультрабазитах Южного Урала.

Вопросы Попова Михаила Владимировича, который в своем отзыве указывает, что термин хромшпинелиды устарел, и желательно указывать какой минерал группы шпинели встречается в шлаках.

Хромшпинелиды привычный для меня термин, и он широко употребляется в отечественной литературе посвященной ультрабазитах, месторождениям хромитовых руд. Если точно следовать современной классификации в шлаках встречается минерал хромит группы окшипинели надгруппы шпинели.

С чем связаны повышенные концентрации Ga, In, Tl, Zr, Nb, Li, Na, K и Rb в стеклах?

В работе указано, что эти содержания повышены по отношению к оливину – главному минералу шлаков. Для оливина эти элементы не характерны, поэтому при кристаллизации расплава протолита они концентрируются в стекле. Спасибо.

**Бортников Н.С.** Спасибо! Итак, мы переходим к выступлению официальных оппонентов. Пожалуйста, у нас в качестве оппонента выступит Брусницын Алексей Ильич, пожалуйста.

**Брусницын А. И.** Добрый день, коллеги, работа которую мы сегодня оцениваем, которую мы сегодня заслушали, она находится в рамках активно развивающегося последние десятилетия направления, которое объединяется под названием археологическая минералогия или археогеологии, как хотите. Это междисциплинарное и довольно интересное направление, суть которого сводится к тому что, минералогическими и геохимическими методами изучаются археологические артефакты и выводы используются, главным образом, в археологических исследованиях. Вот это вот междисциплинарность она требует от автора этих исследований большой эрудиции не только в геологических науках, но и в истории, технологии металлургии и так далее, соответственно предъявляет соответствующие требования, это раз. А во вторых она ставит перед оппонентом вопросы о соответствии этой работы той или иной специальности, в данном случае идет речь о специальности «Минералогия, кристаллография». Трудность заключается в чем: в том что объект исследования очень специфический – все таки это рукотворный материал, это продукт передела, шлаки, это не классический для минералогии такие объекты как минералы, руды и породы, это во-первых, а во вторых использование этих данных оно опять же идет не столько в область наук о земле, сколько в гуманитарных дисциплинах, в частности, в археологию, историю и так далее. Тем не менее, я считаю, что работа соответствует специальности потому что, для того, чтобы историки и археологи использовали эти результаты нужно, чтобы с ними поработал геолог или минералог. Нужно прекрасно понимать, что такое руда, в частности медная, нужно понимать типы месторождений, нужно понимать, как из этой руды возникает конечный продукт и что остается в виде шлаков, и чтобы делать прогноз на месторождения нужно знать, в том числе и региональные вещи. Более того, нужно владеть современными методами изучения вещества и тем джентельменским набором минералогических и геохимических методов, который сейчас был продемонстрирован.

Исследования М.Н. Анкушева посвящены изучению вещественного состава металлургических шлаков из поселений двух периодов бронзового века (синташтинская культура 2000–1700 лет до н.э. и алакульская культура 1700–1300 лет до н.э.) из поселений, находящихся в южном Зауралье. Цель исследований сформулированы просто и четко – определение исходного протолита и источников сырья для древних металлургических производств. Работы проведены на материале более чем 300 образцов шлаков. Они были изучены стандартным для современной минералогии набором аналитических методов, среди которых отметим оптическую и электронную микроскопию, микронзондовый и рентгенофазовый анализы, рамановскую спектроскопию, масс-спектрономию и другие. Главным результатом исследований М.Н. Анкушева стала новая, впервые полученная для изученных объектов Южного Урала, информация о фазовом и химическом составе древних металлургических шлаков. Это позволило соискателю и его коллегам-археологам установить маркеры для определения источников медного сырья для металлургии бронзового века, сделать обоснованные предположения о методике переработки сырья, о генетическом типе разрабатываемых в то время месторождения, о возможных местах добычи руды, а иногда и определить конкретный ее источник (карьер).

Актуальность темы, материалы, цели исследований и подходы и методы к их достижению адекватно соответствуют друг другу. Основные результаты работы сформулированы её автором в виде трех защищаемых положений. Их формулировки просты

и понятны, а обоснование выполнено корректно и подтверждено большим объемом оригинальных аналитических данных. Особо подчеркнем научную новизну и практическую значимость исследований М.Н. Анкушева, которые уже сейчас, а в не какой-то далекой перспективе, востребованы коллегами-археологами.

Перейдем к рассмотрению содержания диссертации.

Диссертация, общим объемом 116 страниц, состоит из введения, четырех глав и заключения.

В первой главе дается обзор отечественных и зарубежных исследований в области археоминералогии, отмечаются объекты, подходы и достижения этого активно развивающегося направления. Отдельно автор останавливается на результатах изучения объектов Урала, и Южного Урала в частности. Содержание главы показывает, что М.Н. Анкушев достаточно полно владеет материалом, в курсе современных проблем в этой области, следит за литературой. Вместе с тем, нельзя не сделать два замечания.

1. Формальное отношение к содержанию главы. Как правило, в тексте просто идет перечисление публикаций, показывающее, что направление активно развивается, но его содержание, преимущества и ограничения остаются никак не раскрытыми. Понятно, что такой обзор – это большой, отдельный труд, выходящий за рамки рецензируемой диссертации. Но, два-три более полно рассмотренных примера, без сомнения, украсили бы текст, избавили бы его от неизбежного «формального налета».

2. Разделы 1.3 и 1.4, касающиеся Южного Урала, целесообразно было бы выделить в отдельную главу, и опять-таки (но, на этот раз обязательно) полнее раскрыть подходы и результаты исследований предшественников в этом регионе. Это необходимо чтобы конкретней вписать свои исследования в общий контекст проблемы и высветить оригинальные достижения на фоне того, что уже было известно.

Главы 2–4 передают основное содержание исследований М.Н. Анкушева и являются фактическим обоснованием трех защищаемых положений диссертации.

Глава 2 обосновывает первое и отчасти третье защищаемые положения. Формулировка этого положения, на первый взгляд, кажется простой и очевидной, без «интриги». Но, на самом деле за этим стоит большой объем грамотно выполненных аналитических исследований и их интерпретация в контексте археологических задач. Смысловое содержание, и степень обоснованности этого положения не вызывает возражений. Тем ни менее есть замечания.

1. Глава насыщена оригинальными аналитическими данными. Но, почти нет попыток обработать их методами математической статистики и подать усредненные значения с необходимыми допусками, оценками сходства или различий выборок и т.п. Таблицы с исходными данными рационально было сопроводить таблицей с результатами их статистической обработки. Иначе и сам автор, и рецензент теряются в обилии цифр. Кроме того, при наличии таблиц, подача аналитических данных непосредственно в тексте диссертации представляется крайне неудачной.

2. Диагностика минералов проведена, главным образом, с помощью оптической и электронной микроскопии, и, за редким исключением, не подтверждена другими аналитическими методами, в том числе доступными автору. Например, рамановской спектроскопией, что в данном случае особенно важно для сульфидов меди.

3. В работе нет четких критериев разделения «реликтовых» и «новообразованных» сульфидов меди (халькозина и ковеллина). На приведенных в работе фотография (рис. 2.18) разницы между этими группами сульфидов невидны. Более того, совершенно не ясно как именно образуются «новообразованные»: каков механизм и физико-химические условия образования халькозина и ковеллина, и на каком этапе металлургической переработки медных руд это происходит, что является источником серы для «новообразованных» сульфидов.

4. Сопоставление химического состава стекол шлаков и общего состава шлаков с какими-либо магматическими горными породами не имеет смысла – это заведомо разные как по составу, так и по своей природе образования. Классическая для магматических

пород классификационная диаграмма  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  в работе использована не по назначению.

Глава 3 посвящена характеристике химического состава оливина шлаков, общей последовательности и условиям кристаллизации минералов шлаков. Материал этой главы послужил основанием для второго защищаемого положения. Однако, необходимо особо отметить, что содержание главы намного более информативно и интересно, чем та ее часть, которая отражена собственно в формулировке защищаемого положения (и его обоснования в тексте автореферата). В тексте рассматриваются особенности тонкой зональности химического состава оливина, результаты изучения степени совершенства его кристаллической структуры, сопоставление химического и фазового состава шлаков с экспериментально-изученными процессами в системах  $\text{MgO-SiO}_2\text{-FeO}$  и  $\text{CaO-SiO}_2\text{-FeO}$ , оценка температуры плавления шлаков, результаты опытов по переплавлению шлаков, наконец, обсуждение порядка кристаллизации шлаков, построенного на основе наблюдений над взаимоотношениями между минералами.

Замечания к этой части работы.

1. Сравнение зональности химического состава (в том числе и на уровне элементов-примесей) оливина шлаков и оливина из ультраосновных магматических пород не совсем корректно, так как речь идет: а) о породах разного состава, б) о минералах с изначально разными соотношениями железа и магния. В первом случае мы имеем дело с минералами ряда сильно-железистый форстерит (или даже чаще магнезиальный фаялит) → низкомагнезиальный фаялит. Во втором, форстерит → железистый форстерит. И хотя общий тренд к накоплению железа в краевых частях кристаллов является общим для обоих случаев (что определяется снижением температур кристаллизации минерала), разное исходное соотношение Mg и Fe будет оказывать кристаллохимическое влияние на итоговое содержание элементов-примесей (Co, Ni, Cu, Zn и т.д.).

2. При характеристике химического состава оливина необходимо четко пояснить какие элементы являются изоморфными примесями, а какие присутствуют в нем в составе микровключений стекла, сульфидов и проч. Какую именно смысловую нагрузку несет тот или иной химический анализ оливина. Может ли химический анализ включения в оливине являться характеристикой самого оливина?

3. К сожалению, рассматривая процессы, приводящие к образованию шлаков, автор не затрагивает самых первых этапов переработки руды, а именно технологии и условия получения самих расплавов, методы извлечения меди и появление остаточного «шлакообразующего расплава». Добавление и обсуждение этой информации (хотя бы кратко) существенно упростило бы общее понимание сути процессов.

4. Из текста автореферата почему-то исчезло обоснование той части второго защищаемого положения, которая касается последовательности кристаллизации фаз.

Глава 4 посвящена обсуждению возможных источников меди в древних металлургических производствах Южного Урала. Она подводит итог проделанной М.Н. Анкушевым работы в соответствии с теми целями, которые были заявлены в самом начале диссертации. Материалы этой главы использованы при обосновании третьего защищаемого положения. Но, также неизбежно пересекаются и с первым защищаемым положением. По мнению рецензента, первое и третье можно было бы объединить.

Судя по тексту диссертации, эта часть работы легко давалась автору. Глава написано просто и содержательно. Чувствуется, что соискатель в совершенстве владеет материалами, грамотно (и в геологическом, и в археологическом отношении) использует полученные оригинальные и опубликованные другими авторами данные, увлечен исследованиями. Именно в этой главе происходит ожидаемый синтез геологической, минералогическо-геохимической и археологической информации, делаются смелые выводы о возможных местах добычи медной руды и геологических типах ее месторождений.

Основные замечания.

1. Необходимо было сразу и четко объяснить, что, говоря о медной руде древних производств, имеется в виду ее единственный в современном понимании генетический

тип месторождений – зоны окисления сульфидных залежей. Другое дело, что эти зоны окисления могли развиваться по разным генетическим типам первичных руд (колчеданным, скарновым, медно-порфировым и т.п.). Тогда все встает на место. А иначе можно понять, что почти 4000 лет тому назад разрабатывались колчеданные, скарновые и т.п. месторождения. Именно такое впечатление складывается вначале при прочтении 4-ой главы и изучении таблицы № 4.1.

2. Говоря о составе руд древних металлургических производств (например, на странице 18 автореферата) М.Н. Анкушев все время делает акцент на главные рудные минералы меди – малахите и азурите. А между тем, согласно его же данным, очевидно, что главным минералом руды были оксиды железа, вероятнее всего, гётит. Иначе откуда такие содержания железа в шлаках? Не упоминание оксидов железа в исходной руде сбивает с толку и мешает понять, как образуется фаялит в шлаках. Если цель работы – «определение исходного протолита», то надо говорить о всех компонентах руды, а не только об извлекаемом металле.

3. Из работы в целом остается непонятным, почему в разные исторические эпохи разрабатывали медную руду из зон окисления разных геологических типов месторождений. Что это, игра случая, или за этим стоят какие-то закономерности?

Сделанные замечания не умаляют сути проведенных М.Н. Анкушевым исследований. Цели исследований реализованы в полной мере – получена новая, интересная и востребованная в научных кругах информация о минералогии и геохимии шлаков древних (2000–1300 лет до н.э.) металлургических производств Урала, сделаны обоснованные выводы о возможных источниках медной руды для этих производств. Эти исследования потребовали от ее исполнителя большого труда, сосредоточенности, целеустремленности и профессионально мастерства.

Рецензируемая работа по уровню постановки задач, ее актуальности, объему охваченного материала, использованным аналитическим методам и подходам к их интерпретации, степени опубликования результатов в ведущих научных журналах, соответствует квалификационным требованиям к кандидатской диссертации. Ее автор, М.Н. Анкушев проявил себя как профессионально грамотный в области минералогии и геохимии, сложившийся специалист, владеющий проблематикой исследований и путями ее решения. Междисциплинарность работы нашла отражение в публикациях М.Н. Анкушева по теме диссертации, часть которых издана в минералого-геологических журналах, а часть – в журналах исторического и гуманитарного направления. При этом количества публикаций в минералогических журналах (7, из них 3 из списка ВАК) вполне достаточно, чтобы претендовать на специальность «минералогия, кристаллография».

Формулировка защищаемых положений отражает главные результаты, проведенных М.Н. Анкушевым исследований. Обоснование этих результатов в диссертации не вызывает принципиальных возражений. Текст автореферата в целом соответствует тексту диссертации.

Представленная работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Максим Николаевич Анкушев – присуждения ученой степени геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография Спасибо!

**Бортников Н.С.** Спасибо! Если хотите, можете ответить сейчас.

**Анкушев М.Н.** Больше спасибо за замечания. Вы говорили, что там было большое количество замечаний, связанных с формой подачи материала, структуры диссертации прочего. Я со всеми этими замечаниями согласен, учту, действительно эта схема, которую надо было привести: шлак – как выделяется медь из руды, необходимо надо сделать. А сейчас я хотел бы ответить на вопросы, которые там были.

По первой главе были в основном структурные замечания.

Глава 2

Диагностика минералов проведена, главным образом, с помощью оптической и электронной микроскопии, и, за редким исключением, не подтверждена другими

аналитическими методами, в том числе доступными автору. Например, рамановской спектроскопией, что в данном случае особенно важно для сульфидов меди.

Не совсем согласен с замечанием. Сульфиды меди в шлаках обычно находятся в очень тонких сростаниях, при этом рамановские спектры с таких тонких сростаний трудно поддаются расшифровке, учитывая тот факт, что для группы халькозина они вообще крайне плохо разрешены и сходны между собой. (БД RRUFF – в халькозинах вообще очень шумные и грязные спектры)

В работе нет четких критериев разделения «реликтовых» и «новообразованных» сульфидов меди (халькозина и ковеллина). На приведенных в работе фотография (рис. 2.18) разницы между этими группами сульфидов невидны. Более того, совершенно не ясно как именно образуются «новообразованные»: каков механизм и физико-химические условия образования халькозина и ковеллина, и на каком этапе металлургической переработки медных руд это происходит, что является источником серы для «новообразованных» сульфидов.

Реликтовые сульфиды отличаются по текстурным особенностям: они представляют собой угловатые, или частично оплавленные обломки, сохранившие структуры природных руд зоны вторичного сульфидного обогащения (какие – нужно конкретизировать, если это возможно). Новообразованные сульфиды образуют «рубашки» вокруг капель металлической меди, а также «полумесяцы». Они представлены тонкими агрегатами сростаний разных сульфидов, часто закономерных (?). При переплавлении сульфидных руд, довольно много серы остается в расплаве, об этом говорят примеси серы в стекле в металлической меди. При остывании Cu-Fe-S-обогащенного силикатного расплава шлака и образуются мелкие капли сульфидного расплава, т.к. его смесимость с силикатным низкая. Эти капли затем кристаллизуются в виде тонких сростаний железистых ковеллин-халькозиновых фаз.

Сопоставление химического состава стекол шлаков и общего состава шлаков с какими-либо магматическими горными породами не имеет смысла – это заведомо разные как по составу, так и по своей природе образования. Классическая для магматических пород классификационная диаграмма  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  в работе использована не по назначению.

Я считаю, что шлаки, как современные, так и древние, по своей природе родственны естественным пирогенным породам. Всё это горные породы, которые кристаллизуются в поверхностных условиях. Конечно, состав шлакового расплава и его техногенная природа обязывает приводить эти сравнения с большими оговорками. Диаграмма TAS действительно не подходит для шлаков, я лишь хотел показать их место в классификации.

### Глава 3

Сравнение зональности химического состава (в том числе и на уровне элементов-примесей) оливина шлаков и оливина из ультраосновных магматических пород не совсем корректно, так как речь идет: а) о породах разного состава, б) о минералах с изначально разными соотношениями железа и магния. В первом случае мы имеем дело с минералами ряда сильно-железистый форстерит (или даже чаще магнезиальный фаялит) → низкомагнезиальный фаялит. Во втором, форстерит → железистый форстерит. И хотя общий тренд к накоплению железа в краевых частях кристаллов является общим для обоих случаев (что определяется снижением температур кристаллизации минерала), разное исходное соотношение Mg и Fe будет оказывать кристаллохимическое влияние на итоговое содержание элементов-примесей (Co, Ni, Cu, Zn и т.д.).

Сравнение оливинов шлаков и оливинов из ультраосновных магматических пород на диаграммах действительно не совсем корректно. Наиболее адекватно сравнивать оливины шлаков с оливинами из вулканитов основного состава и, пирогенных пород, в работе эта информация кратко приводится.

При характеристике химического состава оливина необходимо четко пояснить какие элементы являются изоморфными примесями, а какие присутствуют в нем в составе микровключений стекла, сульфидов и проч. Какую именно смысловую нагрузку несет тот

или иной химический анализ оливина. Может ли химический анализ включения в оливине являться характеристикой самого оливина?

Для октаэдрической позиции катионов оливина характерны Fe, Mg, Ca, Mn, Ni, Co. В некоторых работах также отмечается Cr, Sc, Ga, Pb, хотя и неизвестно, с чем связаны эти примеси (Минералы – 1972). В тетраэдрической позиции в оливинах из пирогенных пород R может частично замещать Si (Сокол, 2005). Такие элементы как Na, K, Al, PЗЭ и другие являются результатом микровключений стекла, не различимых в оптике и даже СЭМ. К составу собственно минерала оливин эти включения не имеют отношения, но они характеризуют особенности состава расплава и динамику кристаллизации шлака.

Из текста автореферата почему-то исчезло обоснование той части второго защищаемого положения, которая касается последовательности кристаллизации фаз.

Эта часть требовала расписывания этапов кристаллизации по пунктам, что привело бы к значительному увеличению объема автореферата, поэтому решил исключить.

#### Глава 4

Материалы этой главы использованы при обосновании третьего защищаемого положения. Но, также неизбежно пересекаются и с первым защищаемым положением. По мнению рецензента, первое и третье можно было бы объединить.

Во время работы над диссертацией, а также представления ее на конференциях я пробовал разные варианты 1 и 3 защищаемых положений. Нынешний вариант, при частичном взаимном пересечении был выбран как наименее громоздкий, мне кажется он лучше воспринимается.

Из работы в целом остается не понятным, почему в разные исторические эпохи разрабатывали медную руду из зон окисления разных геологических типов месторождений. Что это, игра случая, или за этим стоят какие-то закономерности?

Основным фактором была доступность зоны окисления для разработки с поверхности, т.е. уровень эрозионного среза месторождения. Смена поверхностных окисленных руд на более богатые сульфидные связана с прогрессом горного дела и металлургии в течение бронзового века. Спасибо.

**Бортников Н.С.** Спасибо. У нас Кулькова Марианна Алексеевна отсутствует по уважительным причинам, поэтому отзыв прочитает Анна Викторовна.

**Чефранова А.В.** Марианна Алексеевна в своем отзыве отмечает... Секретарь зачитывает отзыв оппонента.

Отзыв оппонента приложен к аттестационному делу.

Оппонент считает достойным Максима Николаевича степени кандидата наук.

**Бортников Н.С.** Пожалуйста, Максим Николаевич.

**Анкушев М.Н.** В отзыве Марианны Алексеевны многие замечания касаются формы подачи материала, структуре работы, опечаткам и частично перекрываются с замечаниями Алексея Ильича. В частности приведение общей схемы процесса и статистическая обработка большого количества анализов. С ними я согласен и учту в будущих работах. Сейчас хотел бы еще ответить на вопросы.

Название диссертации «Минералогия шлаков древних металлургических производств Южного Зауралья» представляет очень широкое направление. В диссертации рассмотрены не все древние металлургические производства и минералогия их шлаков, а только шлаки медно- и бронзолитейного производства.

Конкретизация каждого слова в названии делала его слишком громоздким, сложным для восприятия. Но фактически замечание справедливое, согласен.

Так, в железистых зонах оливина концентрация Mn выше, чем в более магнезиальных, однако на границе фаялитовая кайма – стекло содержание марганца незначительно снижается. С чем связано такое распределение Mn? Возможно, что с изменением окислительно-восстановительных условий или другими процессами?

Mn в оливинах распределяется одинаково с Fe, это установлено и для природных оливинов (Соболев). Снижение содержания Mn на границе зерна связано также с быстрой кристаллизацией и захватом частиц низко-Mn стекла шлака. Это плохо видно в оптике,

для получения качественных изображений нужно применять электронное фото высокого увеличения.

На схеме (с.85) показана быстрая кристаллизация скелетных кристаллов оливина для образца сульфидсодержащего шлака при  $t=1150-1100\text{ C}$ . Не совсем понятно, с каким процессом связана такая быстрая кристаллизация? В тексте на с.83 показана схема кристаллизации оливина, связанная со скоростью остывания шлаков. Был ли процесс охлаждения сульфидсодержащего шлака специальной искусственной технологической операцией в отличие от хромитсодержащих шлаков или такие отличия связаны с разными температурами расплавов разных типов шлаков?

Я думаю отличия связаны с металлургической технологией, в данном случае – временем остывания печи и нахождением образца в ней.

Почему наряду с экспериментами по плавлению шлаков не проводились эксперименты по плавлению руд из ближайших месторождений?

Есть два пути решения этого вопроса – восстановление меди из этих руд в современных печах, что не отражало бы процесса в бронзовом веке, и реконструкция выплавки в древности, что является задачей экспериментальной археологии. В работе я ограничился кратким обзором работ археологов-реконструкторов.

В тексте указывается, что при разработках колчеданных месторождений использовались руды вторичной гипергенной минерализации и не использовались руды сульфидной минерализации – пирит, халькопирит, пирротин. Не совсем понятно, насколько сложной технологией является использование руд первичной минерализации и с чем связано, то что их не использовали?

Уровень залегания первичных сульфидных руд значительно глубже уровня горных выработок того времени. К примеру, на Урале глубина распространения гипергенных процессов – от 30 м до 120 м на Гайском месторождении.

Не совсем понятно, по каким минералого-геохимическим признакам было установлено, что были использованы окисленные вторичные медные руды в гипербазитах, а не первичные руды.

Об этом свидетельствует отсутствие реликтов первичных сульфидов (халькопирит, или переплавленные кубаниты-изокубаниты, промежуточные железо-медно-серные соединения) в хромитсодержащих шлаках, присутствие нерасплавленных реликтов серпентинитов в шлаке.

В качестве индикатора месторождения зон окисления колчеданного месторождения кипрского типа или скарнового месторождения в базитовых комплексах автор использует повышенные содержания селена. Повышенные содержания селена также могут регистрироваться в высокотемпературных халькопиритах, которые, могли использоваться в качестве руды.

Действительно, повышенные содержания селена могут присутствовать в халькопирите высокотемпературных внутренних оболочек труб черных курильщиков, в халькопиритах других типов медных месторождений на Южном Урале такие повышенные концентрации пока не зафиксированы (труды Плотинской и Грабежева – меднопорфировые месторождения), но настолько высокие (до 0.5-1 мас.%) встречаются в единичных случаях. К тому же реликтов халькопирита в шлаках не обнаружено.

Автором установлено, что на поселении Устье использовался отличный от других тип руды - полиметаллические руды. По данным автора для этих руд также использовались легирующие добавки мышьяковистых минералов, что в результате, скорее всего, приводило к лучшему качеству бронзы. Не совсем понятно, можно ли отличить добывались эти минералы и использовались целенаправленно или входили в состав первоначальной руды? Этот металлургический процесс является более технологически сложным, по сравнению с рассматриваемыми ранее. Возможно, что это другая металлургическая традиция, которая была принесена в этот регион или это технологии разработанные на основе местного опыта? Также не ясно, какие температуры достигались для этих типов руд.

Предположение о полиметаллическом месторождении как источнике руд сделано на основе As-Sb-Pb-Co-Ag-Bi геохимической ассоциации компонентов шлаков Устья. Кроме того, эти шлаки действительно отличаются очень высокими примесями мышьяка в металле. Сомнительно, что они являются естественными примесями в медной руде. Более вероятным представляется вариант добавления в плавку мышьяковых минералов, например аурумита и реальгара. Это отмечается в работах предшественников (Григорьев 2013). Подобные случаи также зафиксированы на поселении бронзового века Талдысай в Центральном Казахстане, где рудой были медистые песчаники Жезказгана, для которых мышьяк также не характерен. Температуры, скорее всего, не отличались, ведь главной целью было восстановление меди из руд. Вопрос о местной/неместной традиции выплавления высокомышьяковых бронз требует дальнейшего изучения.

В тексте (с.103) автор указывает, что барий может образовывать сульфиды в шлаках. Какие сульфиды бария имеются в виду, в большинстве случаев, в природе они растворимы в воде и неустойчивы.

Опечатка в тексте работы. Должно быть «барий присутствует в качестве примеси в новообразованных закристаллизовавшихся сульфидных каплях»

Использование сульфата бария – барита в качестве флюса на поселении Кацбах 6 является технологическим ноу-хао или это культурная традиция? Из текста не понятно, почему для некоторых руд использовались флюсы, а для некоторых не использовались?

На поселении Кацбах 6 действительно обнаружен необычный образец сульфидсодержащего шлака с баритом, который более характерен для Приуральского горно-металлургического центра, где в бронзовом веке эксплуатировались медистые песчаники. Возможно, он является свидетельством миграции, торговли и др., но этот факт надо проверять детальным исследованием этого объекта.

При описании типов руд, не совсем понятно, как минеральный состав флюсов связан с использованными типами руд или не связан?

С использованными в Южном Зауралье в бронзовом веке рудами минеральный состав флюсов не связан.

Хорошо было бы провести сравнение химического состава медно-бронзовых изделий и шлаков, а также начальных протолитов. Это дало бы представление целостной картины металлургического производства изделий и более точной оценки связи шлаков и их месторождений.

Согласен, в работе нужно было больше внимания уделить химическому составу и элементам-примесям в рудах древних выработок, но для такого анализа недостаточно материалов – как правило, на поселениях практически не остается неиспользованных руд. Спасибо.

**Бортников Н.С.** Мы можем перейти к обсуждению работы. Кто из членов ученого совета и присутствующих хотел бы высказаться? Пожалуйста.

**Пеков И.В.** Во-первых очень приятно видеть, что традиция археоминералогическая, связанная с изучением руд, процессов их переработки, связанных с нашими предками бронзового века, которая существует уже несколько десятилетий в Институте минералогии, она поддерживается. Хорошо помню работы 90-х годов Анатолия Филипповича Бушмакина, по аркаимской бронзе мышьяковой, потом Виктора Владимировича работы. Будем надеяться, что это будет продолжаться, что вы будете развивать это направление. Второе, что хотелось сказать, из ответов на вопросы и вообще из того, что услышали сегодня видно, что диссертант владеет своим материалом и производит очень хорошее впечатление. Я, конечно, буду голосовать «за». Спасибо.

**Бортников Н.С.** Спасибо. Кто бы еще хотел высказаться из членов ученого совета?

**Мальковский В.И.** Мне немножко непросто выступать, поскольку я не минералог ни разу. На меня очень хорошее впечатление произвел комплексный подход к решению этой проблемы. Действительно, отмечавшаяся многими, и в том числе оппонентами, хорошая эрудиция автора по этому вопросу. Конечно, немного, не то чтобы огорчило, но...хотелось бы большего, но нельзя требовать от человека решать те задачи, кроме тех,

которые он себе поставил в диссертационной работе. Конечно хотелось бы, чтобы более подробно осветился вопрос о возможных добавках легирующих примесей, к сожалению ничего не было сказано об олове, об источнике олова, наверняка можно было сопоставить источники олова и меди, каким образом они доставлялись с этим металлургическим центром. Но, еще раз скажу, что это нехорошая придирка к работе, поскольку основная задача была поставлена, основная задача была решена. С моей точки зрения решена была очень хорошо, как многие говорили, действительно чувствуется очень хорошая культура автора в работе с исследованиями сугубо минералогическими методами, на вопросы диссертант отвечал очень убедительно, с явным пониманием, каким образом все эти измерения осуществлялись, какие существуют в этих вопросах сложности и в какой мере можно доверять тем или иным данным которые он получил. Еще раз скажу, что диссертация, безусловно, достойная и я буду голосовать за и призываю к этому всех членов ученого совета.

**Бортников Н.С.** Спасибо. Кто бы еще хотел высказаться? Пожалуйста, только представляйтесь, пожалуйста.

**Анкушева П.С.** Анкушева Полина Сергеевна, младший научный сотрудник археологической лаборатории Южно-Уральского педагогического университета. Я видимо в этом зале единственный археолог и хочу подчеркнуть фундаментальность данной работы и важность ее для гуманитарного знания. Дело в том, что наша лаборатория во главе с моим научным руководителем д.и.н. Николаем Борисовичем Виноградовым уже более 40 лет изучает первых металлургов Южного Урала, это представители синташтинской, петровской и алакульской археологических культур. На страницах многих изданий, как отечественных, так и зарубежных, до сих пор не утихают дискуссии о роли металла в их жизни: насколько он влиял на их миграционную активность, на их социальную сложность, на экономическое превосходство этих людей на фоне их энеолитических местных сообществ. Дело в том, что многие из этих дискуссий до сих пор оставались фактически умозрительными. Но благодаря той работе, которая была начата Виктором Владимировичем Зайковым, и которую сейчас успешно выполняет наш соискатель мы получили объективное, подтвержденное естественно-научными методами знание о технологиях металлургии, горного дела, металлообработки этих культур. И подчеркну, что Максим Николаевич уже три года возглавляет геологическую составляющую археологической экспедиции по исследованию древнего рудника Новотемирский, который в своем неповрежденном археологами виде представлен на слайде. И он комплексно овладел не только соответствующими его специальности методами, но и археологической проблематикой и методикой археологических раскопок. Поэтому от археологического сообщества, от своих коллег Ф.Н. Петрова, С.А. Григорьева, Н.Б. Виногорова присоединяюсь к положительной оценке и прошу у совета положительного решения насчет оценки диссертации. Спасибо!

**Бортников Н.С.** Спасибо. Есть ли еще желающие высказаться? Если нет, то позвольте мне сказать несколько слов в заключение. Конечно, представленная работа необычна для нашего ученого совета, необычна для этой аудитории, потому что как правило мы рассматриваем минералогические, геохимические и другие работы, которые посвящены действительно природным образованиям и тому как эти образования способствуют нашему пониманию тех процессов, которые протекали в недрах нашей планеты. Поэтому для меня, как для председателя ученого совета сразу возник некоторый неожиданный вопрос: правомочны ли мы рассматривать эту диссертацию на нашем ученом совете. Я вообще благодарен профессору Брусницыну за то, что он в своем отзыве очень обстоятельно ответил именно на этот непростой вопрос. Хотя с моей точки зрения, конечно, определение минерала как природного соединения, которое приводится в справочниках, в учебниках – да, конечно, это природное соединение, но мы широко используем экспериментальные результаты исследования синтетических аналогов минералов именно потому что процессы минералообразования вообще то говоря не так уж доступны для нас, и многие и остаются недоступными. Мы наблюдаем небольшое

число минералообразующих процессов, например на дне современного океана. Я имею в виду эндогенные процессы, а не экзогенные. Или, например, вулканическая активность. А так мы, в общем, то судим о тех процессах, которые протекали или в результате экспериментальных исследований и термодинамических расчетов. Так что, я бы совсем строго говорить о том, что минерал это только природное соединение, может бы когда то от этого уйдем, потому что когда то вообще считалось, что минерал это соединение, образующееся в недрах Земли. Но потом появилась космическая минералогия, скажем, Дмитрий Павлович Григорьев создал комиссию по космической минералогии, так что мы теперь не боимся использовать этот термин минерал как образование, возникшее за пределами нашей планеты. Так что, мне кажется, что этот вопрос мы обсудили и, не думаю, что он в ВАКе вызовет какие то проблемы, мне не хотелось бы это было, но мне кажется мы имеем право это сделать потому что были применены минералогические методы, были изучены искусственные аналоги природных минералов. А то, что выводы...если подходить строго с точки зрения определения Канта к науке, то что наука должна обладать своим предметом исследования, методом исследования и выводы должны касаться только того предмета, который изучается. В данном случае, конечно, изучается не минерал, а его искусственный аналог, тем не менее мне показалось очень важным для археологии и вообще для познания для истории человечества, а ведь это не менее важно, чем понимать историю геологических процессов. Мне кажется это очень интересным, что, во-первых минералогия становится более популярной наукой и привлекается другими науками очень широко и в медицине, и в биологии, и в космических исследованиях и вот в археологии, это как мне кажется, идет только на пользу нашей науке, и мы должны такие исследования приветствовать. Ну, и мне крайне интересно узнать, что на территории нашей страны более 4000 лет назад проводились такие сложные металлургические процессы и это говорит о том, что вряд ли можно нашу страну относить к варварским, хотя у нас в непростых условиях это проходило. Здесь очень много интересных вопросов, например, можно было бы посмотреть, как менялся климат, если он менялся, и можно ли это проследить, изучая, скажем, шлаки. Потому что ведь исследован процесс за 700 лет, это же колоссальный, мы за 30 лет разобраться не можем, меняется диаметрально. Исследован большой период деятельности человека, используя современные методы. Мне кажется, что мы заслушали очень интересную работу, выполненную на современном уровне, получены очень интересные результаты, сделаны принципиально новые выводы, с моей точки зрения эта работы заслуживает присуждения кандидатской степени, а диссертант продемонстрировал свою эрудицию, знания, блестящей отвечал на вопросы, мне кажется у него большое будущее, и, я думаю что мы имеем полное моральное право поддержать эту работу и присудить Максиму Николаевичу ученую степень кандидата наук. Теперь я прошу вас выступить с заключительным словом и вы можете поблагодарить всех тех, кто принимал участие в создании и продвижении вашего научного исследования.

**Анкушев М.Н.** Я хотел бы выразить огромную благодарность своим научным руководителям Виктору Владимировичу Зайкову и Елене Витальевне Белогуб. Также я хочу поблагодарить всех коллег, которые помогали мне проводить различные анализы, аналитиков. Я очень благодарен своим коллегам археологам, которые предоставляли своим материалы для изучения. Больше спасибо хочу сказать оппонентам работы за скрупулезный и внимательный разбор всей работы целиком, всех глав, и за то, что уделили большое время для разбора всех недочетов. Я теперь могу ориентироваться и эти результаты использовать в своих дальнейших работах. Еще я благодарен членам совета за внимание и отдельную благодарность хочу выразить Чефрановой Анне Викторовне за руководство в ходе процедуры сбора документов. Спасибо большое!

**Бортников Н.С.** Спасибо. Итак, мы переходим к завершающей, и, пожалуй, главной части нашего заседания, нам надо провести процедуру тайного голосования. Нам надо избрать председателя и членов счетной комиссии. Предлагаются избрать: в качестве председателя Боеву Наталью Михайловну, в качестве членов Ожогину Елену Германовну

и Мохова Андрея Владимировича. Нужно утвердить открытым голосованием, кто за предложенные кандидатуры, прошу голосовать. Есть ли против? Нет. Есть ли воздержавшиеся? Нет. Комиссия избрана единогласно. Я предлагаю членам счетной комиссии провести голосование. Пожалуйста. На момент голосования в аудитории остаются только члены ученого совета.

**Бортников Н.С.** Уважаемые коллеги, счетная комиссия через минуту будет готова объявить результаты, поэтому прошу вас занимать свои места. Я представляю слово председателю счетной комиссии.

**Боева Н.М.** Протокол заседания счетной комиссии, избранной диссертационным советом Д 002.122.02 при ИГЕМ РАН. Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по диссертации Анкушева Максима Николаевича «Минералогия шлаков древних металлургических производств Южного Зауралья» представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – Минералогия, кристаллография. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 27 человек. Присутствовало на заседании «19» членов совета, в том числе «8» докторов наук по специальности 25.00.05 – Минералогия, кристаллография. Роздано бюллетеней – 19. Осталось не розданных бюллетеней – 8. Оказалось в урне бюллетеней – 19. Результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени кандидата геолого-минералогических наук Анкушеву Максиму Николаевичу. За – 19. Против – 0. Недействительных бюллетеней – 0.

**Бортников Н.С.** Нам необходимо утвердить протокол счетной открытым голосованием. Кто за утверждение, прошу голосовать. Есть ли против? Нет. Есть ли воздержавшиеся? Нет. Протокол утвержден единогласно.

Таким образом, Максим Николаевич, в соответствии с положением о совете по защите диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук утвержденный приказом министерства образования и науки РФ от 10.11.17. Диссертационный совет Д 002.122.02 принял решение присудить вам ученую степень кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 «Минералогия и кристаллография». Позвольте мне, от имени диссертационного ученого совета и от себя лично поздравить вас с присуждением вам искомой степени и пожелать вам дальнейших успехов. На этом заседание ученого совета я объявляю закрытым.

**Чефраова А.В.** Нам необходимо еще утвердить заключение диссертационного совета по диссертации.

**Бортников Н.С.** Да. Коллеги, все Вы имели возможность ознакомиться с проектом заключения диссертационного совета. У кого есть замечания? Хорошо. Тогда голосуем. Кто за? Против? Воздержавшиеся? Единогласно. На этом заседание ученого совета я объявляю закрытым.

Председатель диссертационного совета  
Д 002.122.02, академик РАН

Секретарь диссертационного совета  
Д 002.122.02, к.г.-м.н.

16 марта 2020 г.

  
Н.С. Бортников

  
А.В. Чефраова

