

РЕЦЕНЗИЯ

Официального оппонента к.г.-м.н. Кульковой Марианны Алексеевны на диссертационное исследование Анкушева Максима Николаевича по теме «**Минералогия шлаков древних металлургических производств Южного Зауралья**». Специальность 25.00.05 – минералогия и кристаллография.

Диссертационное исследование Анкушева Максима Николаевича посвящено важной теме – изучению особенностей древних металлургических производств на Южном Урале в бронзовом веке. Реконструкция древних технологических операций, используемых при выплавке меди, была проведена на основе изучения минералогии древних шлаков, сохранившихся после металлургических процессов. Применение автором комплекса современных прецизионных аналитических методов исследования минералого-геохимических особенностей шлаков из различных древних стоянок бронзового века Южного Урала дало возможность детально реконструировать минералого-геохимические преобразования, происходящие при металлургических процессах, а именно: проанализировать этапы кристаллизации минералов в процессе плавления руды, установить температурные особенности процесса плавки по индикаторным минералам, на основании минералого-геохимических особенностей шлаков выявить типы протолитов источников рудного сырья и установить возможные их месторождения. Установлено, что в период существования культур бронзового века на территории Южного Зауралья, использовались различные рудопроявления. Синташтинско-петровский период (2000-1700 лет до н.э.) характеризуется хромитсодержащими шлаками, более поздний срубно-алакульский период (1700-1300 лет до н.э.) – сульфидсодержащими шлаками. Азурит-малахитовые руды из зоны окисления месторождений меди, локализованных в ультрабазитах использовались в синташтинско-петровский период. Эксплуатация сульфидных руд зоны вторичного обогащения связана со срубно-алакульским периодом. Для уменьшения температур выплавки для некоторых шлаков использовались флюсы, в качестве флюсов применялись известняк и костные остатки.

Такая детальная реконструкция металлургического процесса позволяет выйти на новый уровень исследования и понимания природы кристаллизации вещества, что является актуальным не только для воссоздания древних металлургических технологий, но и для моделирования процессов кристаллизации пород в условиях эффузивных извержений и в процессе метаморфизма.

Учитывая вышесказанное, можно утверждать, что диссертационное исследование Анкушева М.Н. является актуальным, его разработки имеют определенный научный

интерес, теоретическую значимость и важность для решения прикладных задач минералогии и кристаллографии.

Степень обоснованности и достоверности теоретических положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационном исследовании, обеспечивается:

- детальной проработкой зарубежных и отечественных источников литературы по теме исследования;
- применением комплекса высокоточных современных минералого-геохимических методов исследования;
- апробацией основных результатов исследований в научных публикациях.

Научная новизна, характерная для ряда результатов, полученных автором:

- 1) Впервые на Южном Урале для археологических памятников бронзового века изучены и интерпретированы минералого-геохимические особенности металлургических шлаков.
- 2) Применение современных аналитических методов дало возможность провести детальное изучение основных минералов шлаков, их геохимического состава и особенностей изменения химического состава в различных условиях кристаллизации.
- 3) Выделены основные минералогические типы древних шлаков. Установлены важнейшие минералого-геохимические критерии и маркеры для определения источников медного сырья для металлургии бронзового века.

Теоретическая значимость диссертационной работы.

Диссертационная работа «**«Минералогия шлаков древних металлургических производств Южного Зауралья»** развивает некоторые теоретические направления исследования древних металлургических медно- и бронзолитейных производств, особенностей их технологий, а также теоретической возможности использования тех или иных типов медно-рудных месторождений Южного Зауралья. Теоретические и аналитические положения работы важны для развития междисциплинарного направления на стыке естественно-научных и гуманитарных дисциплин и могут быть использованы в лекционных и практических занятиях.

Практическая ценность результатов диссертационного исследования заключается в возможности использования методических положений и рекомендаций для разработки моделирования процессов кристаллизации минералов в условиях низких давлений и высоких температур. Полученные данные по геохимическим и минералогическим индикаторам, которые характеризуют протолиты шлаков, можно

использовать для поиска месторождений рудного сырья и оценки целесообразности их использования в Южном Зауралье.

Общая характеристика работы.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы.

В первой главе приводится обзор объектов исследования, литературный обзор отечественных и зарубежных исследований по древним металлургическим шлакам, методы исследования, которые применялись для их изучения. Также в главе дана информация об археологической и металлогенической изученности района работ.

Вторая глава посвящена минералого-геохимической характеристике древних металлургических шлаков Южного Урала. В главе подробно исследуются минералого-геохимические особенности металлургических шлаков, отобранных на поселениях синташтинского периода позднего бронзового века – Сарым-Саклы, Левобережное, Устье и Каменный Амбар и шлаков алакульского периода позднего бронзового века из поселений Каменный Амбар, Коноплянка, Кацбах 6. В главе также приведен детальный анализ геохимических особенностей шлаков с поселения Каменный Амбар.

В третьей главе рассмотрены онтогенические особенности и состав главного порообразующего минерала – оливина, приведены схемы последовательности кристаллизации расплава. Проведен детальный анализ распределения отдельных химических элементов в разных типах оливинов, а также показано распределение различных геохимических ассоциаций элементов. На основании оценки минералого-геохимических характеристик различных типов оливинов показаны схемы условий кристаллизации различных типов шлаков.

В четвертой главе показаны основные индикаторные особенности древних металлургических шлаков, иллюстрируется связь между шлаком и рудным протолитом, из которого он получен. Рассмотрены основные минералогические и геохимические индикаторы в шлаках, которые могут быть использованы для оценки типа медно-рудных месторождений.

Диссертационное исследование Анкушева М.Н. – это завершённое научное исследование, представленное на 116 страницах, включающими 50 иллюстраций, 20 таблиц, списка литературы зарубежных и отечественных авторов из 146 наименований. Содержание диссертации отвечает поставленной автором цели, структурированной в форме отдельных задач, сформулированных на стр.3 работы.

Отдельные замечания и недостатки диссертационной работы. Полученные автором результаты наряду с позитивной оценкой, имеют ряд следующих замечаний:

1. 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.
2. В работе не рассматривается влияние на минеральный состав вторичных гипергенных процессов, которые могли влиять уже после захоронения шлаков. Некоторые вторичные минералы, например, хлориды и сульфаты, могли образоваться уже при вторичных гипергенных процессах в шлаках, а не в зонах выветривания сульфидных месторождений.
3. Фраза на стр.61 «Высокие значения РЗЭ в шлаках, не свойственные предполагаемому протолиту, можно объяснить участием в металлургическом процессе известковых и костных флюсов, которые являются концентраторами этих элементов, а также фосфора» не совсем корректна, т.к. фосфор является одним из главных химических компонентов апатита - костного флюса.
4. 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?
5. На схеме (с.85) показана быстрая кристаллизация скелетных кристаллов оливина для образца сульфидсодержащего шлака при $t=1150-1100\text{ C}^\circ$. 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?
6. Почему наряду с экспериментами по плавлению шлаков не проводились эксперименты по плавлению руд из ближайших месторождений?
7. В гл. «Порядок кристаллизации металлургических шлаков бронзового века» подробно описывается кристаллизация оливинов из ультраосновного высоко железистого расплава для хромсодержащих шлаков и из низко-кремнистого высоко железистого расплава для сульфидсодержащих руд. Было бы также целесообразным проследить всю схему металлургического процесса, начиная от расплавления протолита и выплавки меди и далее - схемы кристаллизации минералов шлака.
8. 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?

9. Не совсем понятно, по каким минералого-геохимическим признакам было установлено, что были использованы окисленные вторичные медные руды в гипербазитах, а не первичные руды.
10. 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.
11. Автором установлено, что на поселении Устье использовался отличный от других тип руды - полиметаллические руды. По данным автора для этих руд также использовались лигирующие 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.
12. Было бы логичным провести корреляционный анализ по данным геохимического состава шлаков, для того, чтобы выявить ассоциации групп элементов, с наиболее высокими корреляционными связями. Автор указывает, что «кобальт, никель и сурьма, часто коррелируют между собой и мышьяком. Повышенные содержания сурьмы, часто связаны с легированной мышьяком медью, что характерно для поселений Устье. Однако повышенные количества кобальта при относительно низких никеля и мышьяка, часто являются маркерами колчеданных и скарновых месторождений в базальтах. К таким относятся сульфиды Каменного Амбара и Коноплянки». Но на фактическом материале эти данные и корреляции четко не показаны.
13. 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.

14. 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?
15. При описании типов руд, не совсем понятно, как минеральный состав флюсов связан с использованными типами руд или не связан?
16. Автором было убедительно доказано, что хромитсодержащий тип соответствует синташтинско-петровскому периоду Зауральских памятников (2000–1700 лет до н.э.), сульфидсодержащий тип распространен весьма ограниченно и встречен в срубно- алакульском слое поселения Каменный Амбар и Коноплянка (1700–1300 лет до н.э.). Для использования хромитсодержащих руд по данным исследований нужны более высокие температуры плавки, чем для сульфидсодержащего типа руд. С чем связано изменение технологического процесса и соответственно, источников сырья, для разных культурных обществ? Какое топливо могло использоваться для выплавки для создания таких высоких температур, особенно для хромитсодержащих руд?
17. 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.

Указанные выше замечания не изменяют общей положительной оценки проведенного Анкушевым М.Н. диссертационного исследования, но требуют некоторых пояснений и ответов на вопросы автора во время защиты.

Автор имеет 15 научных публикаций, отражающие основные направления, общую идеологию и результаты научного исследования. Автореферат диссертации полностью отражает основные разделы и принципиальные результаты исследования. Защищаемые положения полностью раскрыты.

Заключение о соответствии диссертации требованиям ВАК РФ.

Научная работа «Минералогия шлаков древних металлургических производств Южного Зауралья» соискателя Анкушева Максима Николаевича соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским (докторским) диссертациям (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842). Представленная диссертация соответствует специальности 25.00.05– минералогия и кристаллография и ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических

наук. Рецензируемая диссертационная работа может быть представлена в диссертационный совет для защиты.

Рецензент,
доцент кафедры геологии и геоэкологии
РГПУ им.А.И.Герцена,
к.г.-м.н., доцент

Кулькова Марианна Алексеевна

РГПУ им. А. И. ГЕРЦЕНА

подпись М.А. Рубячкова

удостоверяю 18.02.20 года

Отдел персонала и социальной работы
управления кадров и социальной работы



Ведущий документовед
отдела персонала
и социальной работы
В.В. Рубяччик