

## «УТВЕРЖДАЮ»

Директор Государственного учреждения  
«Центр по исследованию инновационных  
технологий» Национальной академии наук  
Таджикистана, доктор технических наук,  
доцент Эшов Б.Б.

« \_\_\_\_\_ » 2023 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Нимонова Ривожа Амировича на тему «Физико-химические основы оптимизации сплавов на основе серебра», представляемую на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02-«Металлургия чёрных, цветных и редких металлов»

**Актуальность темы исследования.** Развитие новых отраслей техники в значительной мере определяется свойствами применяемых материалов. Среди этих материалов важное место занимают сплавы на основе серебра, обладающие высокой электро-, теплопроводностью и целым рядом физико-химических свойств, привлекающих к ним внимание металлургов, ювелиров, электроэнергетиков и многих других специалистов различных отраслей промышленности..

Исходя из высокой востребованности серебра и его сплавов в современной промышленности, представленная диссертационная работа посвящена **актуальной** проблеме, в задачи которой входит изучение его поведения при взаимодействии с различными элементами периодической таблицы Д.И.Менделеева (ПТ) и получение сплавов с улучшенными эксплуатационными свойствами.

**Оценка структуры, содержания и оформления диссертации.** Представленная работа изложена на 117 страницах компьютерного набора, содержит введение, четыре главы, выводы из восьми пунктов, список использованной литературы из 115 наименований и два приложения.

Диссертация иллюстрирована 21 таблицей и 21 рисунком, а автореферат изложен на 22 страницах.

Во **введении** обоснована актуальность, степень изученности научной проблемы, теоретические и методологические основы исследований, сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследования, отражены методы исследования, научная и практическая значимости, дано представление о выносимых на защиту основных положениях, а также апробация работы.

В литературном обзоре **первой главы** приводится описание основных свойств серебра, методов их получения и применение в промышленности. По анализу полученной информации оценена степень изученности двойных диаграмм состояния с участием серебра, что составило около 62%.

Во **второй главе** диссертации автор, используя разнообразные физико-химические критерии, осуществил прогноз типа взаимодействия серебра с другими элементами периодической таблицы. К примеру, в системах Ag-Cu, Ag-Ni, Ag-Zn, Ag-In, Ag-Tl, Ag-Ge, компоненты которых образуют сплавы с уникальными свойствами, экспериментально установлено образование ограниченных твердых растворов, перитектических или эвтектических точек, что с большей вероятностью подтверждается осуществленными в работе прогнозами. Элементы из группы редкоземельных металлов, по полученным статистическим прогнозам, склонны с серебром образовывать промежуточные фазы типа Лавеса. Это подтверждается опытными данными более ранних работ. Для малоизученных или неизученных систем, к которым, например, относятся системы серебра с щелочными металлами Ag-K, Ag-Rb, Ag-Cs и Ag-Fr, соответственно, прогнозами установлена частичная смешиваемость компонентов в жидком и твердом состояниях с наличием эвтектического типа нонвариантного превращения, как и в ранее экспериментально исследованной системе серебра с их аналогом натрием, где также рентгеновские исследования позволили установить наличие фаз Лавеса, как и в системе серебра с калием.

**Третья глава** работы имеет продолжение по получению расчетных данных в двойных системах с участием серебра, где установлен тип взаимодействия. Отличие заключается в методике применения уже не статистического, а термодинамического анализа на основании теорий идеальных, регулярных растворов и двухзонной модели растворимости. Используя принятую методику соискателем рассчитываются термодинамические константы межчастичного взаимодействия, активности, энергия смешения, свободная энергия Гиббса и границы растворимости различных компонентов с серебром.

**Четвертая глава** работы посвящена экспериментальному изучению влияния цинка на серебро и сплав системы Ag-Cu-Ni с целью разработки оптимального состава ювелирного сплава, имеющего улучшенные характеристики физико-механических и технологических свойств. Соискателем установлено, что основной структурообразующей фазой в многокомпонентном сплаве системы Ag-Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-V является твердый раствор легирующих её компонентов. Этим объясняется влияние меди, цинка, никеля и кадмия на повышение механических и технологических свойств серебра согласно закону Н.С.Курнакова.

В этой же главе приводятся результаты применения математических методов планирования экспериментов модели четвертой степени для изучения тройной системы Ag-Ge-Tl с целью разработки легкоплавких составов сплавов, предназначенных для пайки серебросодержащих изделий.

**В заключении** автором сформулированы основные выводы по работе.

Представленная работа **соответствует паспорту** специальности 05.16.02 - Metallургия чёрных, цветных и редких металлов по следующим пунктам: п.2 (Твёрдое и жидкое состояние металлических, оксидных, сульфидных, хлоридных систем); п.3 (Твердофазные процессы в металлургических системах); п.4 (Термодинамика и кинетика металлургических процессов); п.5 (Металлургические системы и коллективное поведение в них различных элементов); п.8 (Кристаллизация расплавов); п.19 (Производство особо чистых металлов и сплавов).

### **Научная новизна исследований заключается в том, что:**

- впервые рассчитаны параметры взаимодействия (энергия взаимообмена, энергия связи одноимённых, разноимённых частиц и степень ближнего порядка) серебра с элементами ПТ Д.И.Менделеева;
- впервые рассчитаны и построены полные диаграммы состояния для 11 двойных систем Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W, Ag-Re;
- впервые определены термодинамические свойства (константы межчастичного взаимодействия, активность и энергия Гиббса) сплавов систем Ag-S, Ag-Se, Ag<sub>2</sub>Se-Se, Ag-Te из их построенных двойных диаграмм состояния, и установлены в них координаты критического распада гомогенного раствора на две гетерогенные фазы;
- впервые определена максимальная растворимость элементов (Sn, Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba и Ra) в серебре при кристаллизации;
- впервые получены результаты экспериментального исследования взаимодействия компонентов в тройной Ag-Ge-Tl и многокомпонентной Ag-Cu-Ni-Zn системах с применением современных методов физико-химического анализа;
- произведена оптимизация стандартного сплава марки СpМ 925-ой пробы и впервые установлено совместное влияние никеля, цинка, кадмия, титана и бора на физико-механические и технологические свойства стандартного серебра в сплавах с содержанием до 5.3% меди, 1.7% цинка, 0.4% никеля, 0.02% титана, 0.015% кадмия, 0.015% бора и остальное серебро;
- разработаны составы легкоплавких сплавов на основе системы Ag-Ge-Tl, предназначенные для пайки серебряносодержащих изделий.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в том, что построенные диаграммы фазового равновесия и полученные расчётом значения термодинамических характеристик сплавов серебра способствуют снижению материальных затрат на эксперименты и повышают экономическую эффективность процессов при разработке технологии ликвационного рафинирования и синтеза новых сплавов, а также дополняют

банк справочной литературы новыми данными. Разработанные оптимальные составы сплавов с участием серебра могут быть рекомендованы для ювелирной промышленности. На основании проведенных опытно-промышленных испытаний в филиале ООО Равшан «Зари точик» (г. Душанбе, РТ) принят к внедрению новый серебряный сплав, защищенный малым патентом РТ № ТЈ 1265, содержащий медь, никель, цинк и кадмий, который имеет ряд преимуществ (например, высокие показатели твердости, прочности, жидкотекучести, формозаполняемости и устойчивость в цвете) по сравнению с известным сплавом марки СrМ925. Полученный экономический эффект (449650.17 сомони в ценах 2022 года) свидетельствует о возможности внедрения данного оптимизированного состава серебряного сплава в другие отрасли промышленности (художественное литье, электротехнику, приборостроение и т.д.). Общие результаты работы применяются и могут быть использованы в научных исследованиях и в учебном процессе в Таджикском техническом университете им. акад. М. Осими, Таджикском национальном университете и других вузах республики. На указанные положения к работе прилагаются соответствующие акты внедрения.

**Достоверность диссертационных результатов** подтверждается применением научно-обоснованных методов исследований и более чистых исходных металлов и сплавов, современностью оборудования для проведения экспериментов, достаточным объемом результатов, их статистическим анализом и хорошей согласованностью с данными других работ, математическим моделированием, а также их практической реализацией в условиях филиала ООО Равшан «Зари точик» (г. Душанбе, РТ).

Материалы диссертации прошли достаточную апробацию. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, из них 4 статьи в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых журналов, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 10 статей в материалах конференций и защищен 1 патент РТ на изобретение.

Цитирование оформлено корректно, а заимствованного материала, использованного в диссертации без ссылки на автора, либо источников заимствования не обнаружено.

Диссертационная работа Нимонова Р.А. выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне. Исследования проведены с использованием современных методов физико-химического анализа и приборов. Выдвинутые в ней положения научно обоснованы и доказаны. Выводы сформулированы логично и обобщают результаты проведенных исследований. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

**Ведущая организация** рекомендует использовать результаты диссертационной работы в металлургической промышленности в качестве технологической инструкции при рафинировании металлического серебра от примесей.

Несмотря на очевидные достижения, работа не лишена **недостатков**, к числу которых можно отнести следующее:

1. В третьей главе диссертации соискатель приводит результаты термодинамических расчетов, но при этом достоверность полученных данных не обсуждается им. Следовало бы автору провести подобный анализ своих результатов.
2. В работе соискатель указывает, «что результаты, приведённые в третьей главе диссертации, могут быть рекомендованы для научной разработки технологий легирования, рафинирования, модифицирования и получения серебра и сплавов на его основе с востребованными показателями физических, механических, химических и технологических свойств». Однако, пояснения этим рекомендациям автор не приводит. Следовало бы дать, хотя бы на двух-трех страницах, инструкцию по их применению или же оформить в виде отдельного труда для открытой печати, чего в списке публикаций соискателя найти не удалось.
3. Результаты экспериментальных исследований в диссертации можно было бы выделить и сформулировать как конкретные рекомендации производству. Особенно те, которые касаются разработки легкоплавкого состава сплава системы Ag-Ge-Tl, это бы только украсило работу.

Отметим, что указанные замечания нисколько не снижают достоинства выполненного научного и полезного в практическом отношении исследования.

### Заключение

Диссертационная работа Нимонова Р.А. на тему «Физико-химические основы оптимизации сплавов на основе серебра» является законченной научно-исследовательской работой, которая соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 26.11.2016г. №505, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Считаем, что автор диссертации заслуживает присуждения ему искомой учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02-«Металлургия чёрных, цветных и редких металлов».

Диссертационная работа Нимонова Ривожам Аммировича на тему: «Физико-химические основы оптимизации сплавов на основе серебра» была обсуждена на заседании Ученого совета ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий» НАН Таджикистана (ГУ ЦИИТ НАНТ), протокол № 3 от «10» 08 2023г.

Председатель Ученого совета  
ГУ ЦИИТ НАНТ

Эксперт, кандидат технических наук,  
ученый секретарь ГУ ЦИИТ НАНТ

Заведующий лаборатория материоловения  
ГУ ЦИИТ НАНТ

Адрес: 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни 299/3,  
ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий» НАН

Таджикистана

Веб-сайт: <https://innovationan.tj/>

Тел.: (+992 37) 225-80-91

E-mail: [ishov1967@mail.ru](mailto:ishov1967@mail.ru)

Подлинность подписей Эшова Б.Б. и Рахимова Ф.А. *заверяю:*

Старший инспектор ОК  
ГУ ЦИИТ НАНТ



*Эшов Б.Б.*

Эшов Б.Б.

*Рахимов Ф.А.*

Рахимов Ф.А.

*Аминова Н.А.*

Аминова Н.А.

*Назарова М.И.*

Назарова М.И.