

**ОТЗЫВ**  
**на автореферат диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата химических наук Черноухова Ивана Владимировича**  
**на тему: «Тройные слоистые халькогениды марганца: синтез, структура**  
**и магнитные свойства»**  
**по специальности 1.4.1. Неорганическая химия**

Диссертационная работа И.В. Черноухова посвящена синтезу, исследованию кристаллической структуры и магнитных свойств тройных слоистых халькогенидов марганца семейств «124» и «225». Исследование относится к актуальному направлению современной неорганической химии и химии конденсированного состояния, посвященному поиском новых слоистых материалов, обладающих перспективными физическими свойствами и потенциальным применением в нанoeлектронике, спинтронике и магнитных девайсах. Актуальность темы обусловлена тем, что системы тройных слоистых халькогенидов, содержащие три и более элементов, представлены сравнительно небольшим числом соединений и остаются перспективным объектом для химического поиска новых материалов.

Целью работы является разработка методов синтеза новых тройных слоистых халькогенидов марганца семейств «124» и «225», установление их кристаллической структуры и магнитных свойств, а также исследование областей существования данных структурных типов в зависимости от химического состава.

В ходе выполнения работы автором получен ряд новых соединений, включая  $MnAl_2Se_4$ ,  $Mn_2Al_2Se_5$ ,  $Mn_2Al_2S_5$ , а также новая слоистая высокотемпературная модификация  $Mn_2In_2Se_5$ , для которых определены кристаллические структуры. Предложена новая модель структуры соединения  $MnAl_2S_4$  и уточнена структура  $Mn_2Ga_2S_5$ . Показано, что соединения кристаллизуются в структурных типах  $MgAl_2Se_4$  и  $Mg_2Al_2Se_5$ , характерных для семейств «124» и «225».

В работе продемонстрирована возможность эксфолиации в жидкой фазе некоторых полученных соединений с образованием наноматериалов

различной морфологии — нанолистов и наносвертков, обладающих атомарно гладкой поверхностью. Также установлена химическая стабильность соединений  $Mn_2Ga_2S_5$  и  $Mn_2In_2Se_5$  на воздухе, что повышает перспективность их дальнейшего практического применения.

Особый интерес представляют результаты исследования магнитных свойств полученных соединений, для которых выявлены антиферромагнитные взаимодействия и значительная фрустрация магнитных моментов, обусловленная геометрией магнитной подрешетки и смешанным заселением катионных позиций.

К достоинствам работы следует отнести комплексный подход к исследованию полученных соединений, включающий методы рентгеновской дифракции, электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии, термического анализа и магнитных измерений. Полученные экспериментальные результаты позволяют установить взаимосвязь между химическим составом, кристаллической структурой и физическими свойствами исследуемых соединений.

Критические замечания по представленному автореферату в основном носят терминологический и редакционный характер и связаны с помещением полученных результатов в более широкий научный контекст. Так, использование условных обозначений для семейств «124» и «225», хотя и явно вводится автором, не является общепринятым и вне контекста работы может вызывать вопросы у читателя.

Кроме того, для использования термина «гомологи» без кавычек следовало бы явно задать общую формулу соответствующего гомологического ряда и ввести переменный параметр, описывающий изменение состава.

Некоторое сомнение вызывает утверждение о том, что сильные антиферромагнитные взаимодействия могут приводить к образованию скирмионов. Образование таких магнитных структур в реальности, как правило, связано с более сложным балансом конкурирующих обменных

взаимодействий, магнитной анизотропии и геометрии магнитной подрешётки.

Также можно отметить, что аббревиатура «МВУ» не расшифровывается явным образом в тексте автореферата, хотя из контекста следует, что речь идёт о методе валентных усилий.

Наконец, использование эмпирического подхода на основе фактора толерантности представляется весьма интересным, однако в автореферате было бы полезно (1) более чётко отграничить введённый фактор от традиционного фактора толерантности, широко применяемого для перовскитных структур, и (2) хотя бы в общих чертах обсудить геометрические соображения, лежащие в основе его вывода применительно к рассматриваемым системам.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Автореферат диссертации отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.4.1. Неорганическая химия (по химическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Черноухов Иван Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.1. Неорганическая химия.

Dr. rer. nat.

В настоящее время:

Научный сотрудник факультета физики

Университета «Технический Университет г. Дортмунд, ФРГ»

44227, Федеративная Республика Германия, Дортмунд, Отто-Хан-штрассе, 4,  
Северный кампус, Физический факультет Дортмундского технического  
университета  
(44227, Deutschland, Dortmund, Otto-Hahn-Str. 4, TU Dortmund University  
Department of Physics North Campus)

С 2011 по 2017 гг. обучался на Химическом факультета Федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования "Московский государственный университет имени  
М.В.Ломоносова"

119991, г. Москва , Ленинские Горы, д. 1, стр. 3, ГСП-1,  
МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет

Плохих Игорь Владимирович

11.05.2026

Контактные данные:

тел.: , e-mail:

Я, Плохих Игорь Владимирович, даю согласие на включение моих  
персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного  
совета МГУ.014.8, и их дальнейшую обработку.