

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**о 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**

Смешанные слоистые халькогениды известны не одно десятилетие, но только в последние 20 лет наблюдается значительный рост интереса к этим соединениям. Слоистое строение этих веществ определяет возможность использования их в качестве сорбентов для очистки и разделения реагентов, применения их в качестве материалов для аккумуляторов, полупроводников и т.д., кроме того легкость механической эксфолиации гипотетически позволяет перейти от теоретических изысканий к практическому применению этих соединений. Все это определяет **актуальность** предложенной диссертации.

**Научная новизна работы** заключается в разработке и оптимизации синтеза новых слоистых халькогенидов.

В ходе работы соискатель:

- синтезировал  $MnAl_2Se_4$ ,  $Mn_2Al_2Se_5$ ,  $Mn_2Al_2S_5$ , определил их кристаллические структуры;
- обнаружил новую слоистую высокотемпературную модификацию  $Mn_2In_2Se_5$ ;
- доказал химическую стабильность на воздухе  $Mn_2Ga_2S_5$  и  $Mn_2In_2Se_5$ ;
- впервые для данных семейств получил эксфолиацией и охарактеризовал наносвертки и нанопластины;

- исследовал магнитные свойства высокотемпературной модификации  $\text{Mn}_2\text{In}_2\text{Se}_5$ , а также анизотропные по направлению магнитные свойства монокристаллов  $\text{Mn}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$ .

Проведенная работа и сделанные на ее основе выводы имеют **теоретическую и практическую значимость**. Автор показал возможность получения наночастиц слоистых халькогенидов различной морфологии, на основе которых могут быть сформированы гетероструктуры с применением в области спинтроники. Изучил механическую жидкостную эксфолиацию полученных веществ в различных растворителях.

**Обоснованность и достоверность** полученных результатов не вызывает сомнений – диссертант использовал современные физико-химические методы для идентификации и исследования полученных соединений – рентгенофазовый анализ, электронную просвечивающую микроскопию, растровую электронную микроскопию, энергодисперсионную рентгеновскую спектроскопию, термогравиметрию, дифференциальную сканирующую калориметрию. Морфология наноматериалов доказана методом атомно-силовой микроскопии и подтверждалась эффектами, наблюдаемыми с помощью просвечивающей электронной микроскопии. Структурная модель распределения магнитоактивных катионов качественно подтверждалась данными температурных и полевых магнитных измерений.

Результаты работы Ивана Владимировича Черноухова приведены в классической форме. На 157 страницах представлено введение, литературный обзор, экспериментальная часть и обсуждение результатов. В завершении сформулированы выводы, приведены 195 ссылок. Часть экспериментальных данных вынесена в приложение.

В подробном **литературном обзоре** (38 стр.) автор рассматривает общие положения необходимые для понимания его работы, которые включают кристаллохимический анализ, методы синтеза и исследования слоистых материалов. На основании обсуждения опубликованных к

настоящему времени данных автор делает обоснованный вывод о необходимости изучения слоистых халькогенидов марганца.

В экспериментальной части приведены общие данные о методах синтеза, его оптимизации, сводные результаты рентгеноструктурных исследований.

В разделе **обсуждение результатов** диссертант подробно останавливается на особенностях синтеза, методе определения структуры, магнитных исследованиях и жидкостной эксфолиации новых слоистых халькогенидов марганца. В заключительной части обсуждения проведен общий кристаллохимический анализ изученных и родственных соединений.

На основе всего рассмотренного материала И.В. Черноухов делает обладающие несомненной **новизной** обоснованные выводы.

При прочтении работы возникли некоторые **замечания, комментарии и вопросы:**

- на стр.62 указано, что “Кристаллы ранее неизученных целевых фаз удалось получить только для соединений  $Mn_2Ga_2S_5$  и  $Mn_2In_2Se_5$ ”, однако уточнение структуры проведено только по порошковым данным. Почему не использовали монокристалльный РСА?

- на стр.109 отмечено, что “В литературе кристаллическая структура ( $MnAl_2S_4$ ) была уточнена в нецентросимметричной пространственной группе  $R\bar{3}m$ , и был предложен структурный тип  $ZnIn_2S_4$  [185]. Однако, нет никаких причин для отсутствия центра инверсии со структурной точки зрения.” и И.В. Черноухов уточняет эту структуру по порошковым данным в центросимметричной группе (в статье монокристалльные данные). Однако в статье особенно отмечено, что “*No missing symmetry was found using PLATON.*”. Усреднение фриделевых пар в порошковом эксперименте не позволяет согласиться с интерпретацией, предложенной диссертантом.

- в разделе 4.5 (стр.115 и далее) обсуждаются результаты РФА твердых растворов  $Mn_{2-x}Cr_xGa_2S_5$  и  $Mn_2Ga_{2-x}Cr_xS_5$ , в которых  $Cr^{2+}$  либо  $Cr^{3+}$  частично замещает  $Mn^{2+}$ , либо  $Ga^{3+}$ . К сожалению, подробностей этих нетривиальных синтезов не приведены.

Самая забавная описка присутствует на стр.121. “Наибольшее смещение наблюдается в системе Mn-In-Se при нагревании, вероятно, из-за наибольшего радиуса  $In^{+3}$  и неравномерного **теплового расширения ионов**, приводящего к большей дифференциации ионов по размеру”.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация 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 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.

Официальный оппонент - ведущий научный сотрудник Лаборатории кристаллохимии и рентгеноструктурного анализа Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН), по специальности 02.00.01 – неорганическая химия.

Илюхин Андрей Борисович

«05» мая 2026 г.

Почтовый индекс, адрес 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 31

Телефон

Адрес электронной почты