УТВЕРЖДАЮ

Заместитель проректора по науке

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный

университет имени первого Президента

России Б.Н. Ельцина»

Доктор физ.-мат. наук, профессор

Иванов Алексей Олегович

_____

"2" февраля 2023 г.

З А К Л Ю Ч Е Н И Е

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Транспортные свойства нанокластерных полиоксометаллатов, как потенциальных средств адресной доставки биологически активных веществ» выполнена отдела химического материаловедения Научно-исследовательского института физики и прикладной математики Института естественных наук и математики.

В период подготовки диссертации соискатель Гагарин Илья Дмитриевич работал в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» в отделе химического материаловедения научно-исследовательского Института физики и прикладной математики ИЕНиМ (г. Екатеринбург) в должности младшего научного сотрудника; обучался в очной аспирантуре ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению

03.06.01 Физика и астрономия (Физика конденсированного состояния) с сентября 2014 года по август 2018 года.

В 2014 году окончил ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности 010707 Медицинская физика.

Диплом об окончании аспирантуры с приложением к нему выдан в 2018 году ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Научный руководитель – доктор химических наук, профессор Остроушко Александр Александрович, профессор кафедры физической и неорганической химии, главный научный сотрудник отдела химического материаловедения научно-исследовательского Института физики и прикладной математики Института естественных наук и математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Выписка из протокола № 4

Расширенного заседания научного семинара отдела химического материаловедения Научно-исследовательского института физики и прикладной математики

Института естественных наук и математики

Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

от 26 января 2023 г.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

1) Анимица Ирина Евгеньевна, доктор хим. наук, доцент, профессор кафедры физической и неорганической химии; 2) Петрова Юлия Сергеевна, кандидат хим. наук, доцент, доцент кафедры аналитической химии и химии окружающей

среды; 3) Тонкушина Маргарита Олеговна, кандидат хим. наук, с.н.с. отдела хим. материаловедения НИИ ФПМ; 4) Остроушко Александр Александрович, доктор хим. наук, профессор, г.н.с. отдела хим. материаловедения НИИ ФПМ; 5) Васюнин Антон Иванович, кандидат физ.-мат. наук, директор НИИ ФПМ; 6) Памятных Лидия Алексеевна, кандидат физ.-мат. наук, доцент, ученый секретарь НИИ ФПМ; 7) Терзиян Татьяна Вячеславовна, кандидат хим. наук, доцент, доцент кафедры органической химии и высокомолекулярных соединений; 8) Черепанов Владимир Александрович, доктор хим. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела хим. материаловедения НИИ ФПМ; 9) Данилова Ирина Георгиевна, доктор биолог. наук, доцент, зав. кафедрой медицинской биохимии и биофизики; 10) Гетте Ирина Федоровна, кандидат биолог. наук, с.н.с. лаборатории морфологии и биохимии Института иммунологии и физиологии УрО РАН; 11) Гржегоржевский Кирилл Валентинович, кандидат хим. наук, зав. лабораторией функционального дизайна нанокластерных полиоксометаллатов НИИ ФПМ; 12) Прокофьева Анна Владимировна, н.с. лаборатории функционального дизайна нанокластерных полиоксометаллатов НИИ ФПМ; 13) Коротаев Владислав Юрьевич, доктор хим. наук, в.н.с. отдела химического материаловедения НИИ ФПМ; 14) Гилев Артем Рудольфович, кандидат хим. наук, с.н.с. лаборатории химического дизайна новых многофункциональных материалов; 15) Жуланова Татьяна Юрьевна, лаборант-исследователь отдела химического материаловедения НИИ ФПМ; 16) Корона Даниил Валентинович, кандидат хим. наук, с.н.с. лаборатории химического дизайна новых многофункциональных материалов; 17) Русских Ольга Владимировна, кандидат хим. наук, с.н.с. отдела хим. материаловедения НИИ ФПМ; 18) Мансуров Ренат Русланович, кандидат хим. наук, н.с. лаборатории функционального дизайна нанокластерных полиоксометаллатов НИИ ФПМ; 19) Пермякова Анастасия Евгеньевна, м.н.с. отдела химического материаловедения НИИ ФПМ; 20) Киселев Евгений Александрович, кандидат

хим. наук, доцент кафедры физической и неорганической химии; 21) Голуб Алексей Яковлевич, ассистент кафедры аналитической химии и химии окружающей среды; 23) Зверев Владимир Сергеевич, кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры теоретической и математической физики; 24) Ожиганов Максим Эдуардович, лаборант кафедры физической и неорганической химии; 25) Филонова Елена Александровна, кандидат хим. наук, доцент, доцент кафедры физической и неорганической химии.

ПРИГЛАШЕНЫ:

Председатель заседания:

Анимица Ирина Евгеньевна, доктор хим. наук, доцент, профессор кафедры физической и неорганической химии

Рецензенты:

Анимица Ирина Евгеньевна, доктор хим. наук, доцент, профессор кафедры физической и неорганической химии;

Терзиян Татьяна Вячеславовна, кандидат хим. наук, доцент, доцент кафедры органической химии и высокомолекулярных соединений;

Зверев Владимир Сергеевич, кандидат физ.-мат. наук (специальность 05.13.18 - доцент кафедры теоретической и математической физики

Вопросы:

1. ***Гржегоржевский К.В.****, кандидат хим. наук:*

   1. Была ли опалесценция у растворов полиоксометаллатов с сывороткой крови?

   2. 20 слайд. В чем выражалась концентрация поливинилпирролидона? Концентрация какого раствора имеется ввиду? Как лучше переносится полиоксометаллат? Почему лучше переносится чистый полиоксометаллат?

   3. Почему для изучения переноса из всех 3d элементов был выбран лантан?

2. ***Черепанов В.А.****, доктор хим. наук, профессор:*

1. На кинетических кривых наблюдается два участка. Чем вы это можете объяснить? В чем физический смысл выделения двух участков? Какие реакции происходят на каждом из этапов? В чем физический смысл? Вы говорите, что кинетические зависимости линеаризуются в логарифмических координатах, соответственно, реакция разложения является реакцией первого порядка. Строили ли в других координатах при определении порядка реакции?

2. Рассчитывали ли вы коэффициент диффузии из экспериментальных данных?

3. Что такое коэффициент распределения?

4. Модельное уравнение вы сами предложили или оно было взять из литературы? Является ли второе уравнение продолжением первого?

3. ***Памятных Л.А.****, кандидат физ.-мат. наук, доцент:*

Чья кровь была использована для исследований?

4. ***Коротаев В.Ю.****, доктор хим. наук:*

Помогает ли изучение кинетики разобраться с процессом разложения? Что происходит с полиоксометаллатом в процессе разложения? На что распадается полиоксометаллат в организме?

5. ***Васюнин А.И.****, кандидат физ.-мат. наук*:

Какие положения выносятся на защиту? Апробация работы.

6. ***Киселев Е.А.****, кандидат хим. наук*:

1. Как вы доказываете, что происходит взаимодействие полиоксометаллата с сывороткой бычьего белка? Что получается не просто смесь, а именно образование конъюгатов?

2. Каковы ошибки определения эксперименталшьных данных?

7. ***Памятных Л.А.****, кандидат физ.-мат. наук, доцент:*

Подскажите единицы измерения на графиках зависимости оптической плотности от времени.

8. *Анимица И.Е.*, *доктор хим. наук, доцент:*

Есть ли смещение максимума оптической плотности относительно исходного раствора? Можно ли по смещению судить о взаимодействии?

9. *Зверев В.С.*, *кандидат физ.-мат. наук*:

1. Если ли представление о размере молекул (слайд 27)?

2. Наблюдалась ли взаимосвязь между размером частиц и коэффициентом диффузии?

10. *Анимица И.Е.*, *доктор хим. наук, доцент:*

Какова прогрешность измерения коэффициента диффузии?

11. *Гржегоржевский К.В.*, *кандидат хим. наук:*

Какой состав у сыворотки крови? Какие еще белки, помимо альбумина, могут входить в состав сыворотки? Известен ли белковый состав сыворотоки? Может ли быть данный состав воспроизведён? Может ли какой-то из белков сильнее связываться с полиоксометаллатом, чем альбумин?

12. *Голуб А.Я.*:

1. Вопрос про метод молярных соотношений. Если ли спектр чистого полиоксометаллата? Насколько изменилась оптическая плотность при введении добавки? Вы работаете в областях высоких оптических плотностей, насколько это оправданно?

2. Как поддерживали pH раствора? Использовали ли буферный раствор, если да, то какой?

3. Могут ли белковые структура изменять pH раствора?

13. *Анимица И.Е.*, *доктор хим. наук, доцент:*

1. В каком интервале распределение размеров полиоксометаллата при данном методе синтеза?

2. При каких концентрациях образуется осадок в системе полиоксометаллат – витамин B1?

3. Отредактировать слайд с задачами с точки зрения русского языка.

***14. Данилова И.Г.**, доктор биол. наук, доцент:*

1. Витамин В1, остальное заходит внутрь или остается на поверхности?
2. Вы позиционировали полиоксометаллат как нанокапсулу. Может ли какое-либо вещество войти во внутреннюю полость, чтобы полиоксометаллат выполнял роль капсулы? Какой вариант взаимодействия ценнее для медицины?
3. Могут ли в полиоксометаллат заходить пептиды?
4. Почему результаты исследования in vivo не вошли в диссертацию?
5. Если витамин В1 связывается на поверхности, то для чего это было сделано?

С положительной оценкой диссертационной работы выступили рецензенты: Анимица И.Е., доктор хим. наук, доцент; Терзиян Т.В., кандидат хим. наук, доцент; Зверев В.С., кандидат физ.-мат. наук, **а также** Остроушко А.А., доктор физ.-мат. наук, профессор (научный руководитель); Черепанов В.А., доктор хим. наук, профессор; Данилова И.Г., доктор биол. наук, доцент; Гржегоржевский К.В., кандидат хим. наук, доцент.

Выступившие отметили актуальность, научную новизну, практическую значимость, большой объем проделанной работы. Так же была отмечена междисциплинарная ценность работы, отмечено глубокое владение соискателем материалом диссертационной работы.

По результатам рассмотрения диссертации: «Транспортные свойства нанокластерных полиоксометаллатов, как потенциальных средств адресной доставки биологически активных веществ» принято следующее **заключение:**

Диссертация Гагарина Ильи Дмитриевича является самостоятельным завершенным научным исследованием, содержащим оригинальные результаты по вопросам исследования физико-химических свойств полиоксометаллата $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$, существенных для его использования в качестве переносчика биологически активных веществ в организме.

1. Актуальность темы.

Сложно однозначно определить, кем и когда впервые была придумана идея адресной доставки лекарственных препаратов. Согласно

распространённому мнению, концепция *средства адресной доставки лекарств* была сформулирована на рубеже XIX и XX вв. немецким врачом, микробиологом и биохимиком Паулем Эрлихом, предложившим термин «волшебная пуля». Очевидно, что понимание необходимости повышения избирательности воздействия лекарственных средств становится глубже с появлением всё более сильнодействующих препаратов. Открытие в 1928 году Александром Флемингом пенициллина ознаменовало собой начало эры антибиотиков. Это событие вполне заслуженно называют одной из «революций» в фармакологии, так как только с появлением антибиотиков стало возможным по-настоящему активно бороться с инфекционными процессами в организме человека и животных, не полагаясь только лишь на иммунную систему организма. В то же время, довольно скоро стало понятно, что антибиотические препараты оказывают токсическое воздействие не только на болезнетворные микроорганизмы. В той или иной степени, от них страдают микроорганизмы, составляющие нормальную микрофлору, и даже собственные клетки организма.

В ещё большей степени вышеупомянутая проблема побочных эффектов касается химиотерапевтических препаратов из группы цитостатиков. Ряд цитостатических препаратов обладает мутагенным, канцерогенным, общим токсическим действием и т. д. Всё это зачастую приводит к невозможности применения данных препаратов, поскольку доза необходимая для создания терапевтически эффективной концентрации в очаге патологического процесса может нанести организму неприемлемый ущерб.

Перспективным подходом к решению задачи адресной доставки лекарственных препаратов является создание «наноконтейнеров» или «нанокапсул» для переноса действующего вещества к месту назначения. На роль таких наноразмерных переносчиков претендуют: липосомы, магнитные наночастицы, полимерные наночастицы и т. д. Частицы такого относительно

нового класса соединений, как нанокластерные полиоксометаллаты также рассматриваются в качестве возможного «транспортного средства» для адресной доставки веществ, обладающих биологической активностью.

Частицы полиоксометаллатов обладают в водном растворе отрицательным электрическим зарядом поэтому в качестве «полезной нагрузки» могут рассматриваться, например, катионные биологически активные вещества, а также соединения пептидной природы. Среди них — ряд гормональных препаратов, обеспечение контролируемого высвобождения которых представляет практический медицинский интерес, например, инсулин. Кроме того, опубликованы исследования, показывающие возможность «перезарядки» анионов гигантских ПОМ, например, посредством ассоциации с катионами лантана, что расширяет возможности взаимодействия, в том числе и с препаратами анионной природы. Актуальной задачей является изучение способности нанокластерного ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ образовывать ассоциаты с различными биологически активными веществами, транспорт которых с помощью наноразмерных носителей может иметь практическое значение.

Одним из способов введения лекарственных препаратов в организм, повышающим, кроме прочего, локальность воздействия является лекарственный электрофорез. Электрофоретический метод введения может обладать рядом преимуществ, среди которых: создание в коже или иной ткани «депо» обеспечивающего замедленное поступление препарата в кровь или соседние ткани; низкая инвазивность метода; местный характер воздействия. Актуальным является исследование электрофоретического переноса как отрицательно заряженных частиц на основе ПОМ, так и перезаряженного ионами лантана (данный элемент выбран в качестве модельного) ассоциата, при соответствующей полярности подводимого напряжения. Последнее вызывает интерес ещё и потому, что может являться экспериментальным подтверждением «перезарядки» частицы ПОМ.

Вызывает интерес возможность оценивать количество введённого в организм таким методом вещества, его распределение в ткани. Шагом в этом направлении может стать подбор адекватной математической модели процесса переноса таких частиц.

Стоит отметить, что распространённой методикой, позволяющей направленно изменять свойства неорганических наночастиц, вводимых в организм, повышать их «биосовместимость», увеличивать время циркуляции в крови, является модификация наночастиц молекулами полимеров. В числе перспективных соединений для такого применения рассматривается *поливинилпирролидон (ПВП)*. Известно, что ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ способен образовывать ассоциаты с ПВП, влияние такой ассоциации на возможность электрофоретического введения ПОМ также представляет интерес.

Важным преимуществом ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$, как потенциальной основы для систем адресной доставки биологически активных веществ в организме, является разложение до более простых продуктов с течением времени. Необходимо также упомянуть, что в предварительных исследованиях на животных и на культурах клеток не было обнаружено токсического действия данного ПОМ и продуктов его разложения. В то же время, для эффективного выполнения задачи доставки действующего вещества необходимо, чтобы частица-носитель сохраняла целостность на протяжении заданного времени в условиях внутренней среды организма. В связи с этим актуальной задачей является исследование влияния факторов внутренней среды организма на скорость разложения ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$.

2. *Наиболее существенные результаты и их новизна.*

1) Впервые получены ассоциаты ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ с биологически активными веществами (тиамина хлорид, инсулин). Ассоциат ПОМ с тиамина хлоридом исследован комплексом физико-химических методов (ИК-, КР-спектроскопия, лазерное светорассеяние);

2) Впервые проведено исследование кинетики разложения полиоксометаллата кеплератного типа $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ в среде, моделирующей внутренние среды организма (сыворотка крови). Показано существенное замедление разложения $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ в сыворотке, по сравнению с буферным раствором со слабощелочным pH;
3) Выдвинуто предположение о том, что обнаруженная стабилизация ПОМ в растворе сыворотки крови связана со взаимодействием ПОМ с белками, содержащимися в сыворотке, в первую очередь – с альбумином;
4) В ходе дальнейших экспериментов явление стабилизации ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ в слабощелочном буферном растворе обнаружено также в присутствии бычьего сывороточного альбумина. Данный факт согласуется с выдвинутым ранее предположением;
5) Впервые показана возможность электрофоретического переноса тиамина в составе ассоциата с $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ через кожную мембрану;
6) Модель электрофоретического транспорта через однородную мембрану с учётом коэффициента разделения донорный раствор/кожа впервые применена к процессу переноса ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ и его ассоциатов с другими веществами через кожную мембрану.

3. Личный вклад автора.

Вклад автора заключается в поиске информации и подготовке обзора литературы по теме исследования, в планировании, подготовке и проведении экспериментов, а также анализе, интерпретации и обсуждении полученных результатов, подготовке публикаций, совместно с научным руководителем и коллегами.

4. Достоверность результатов и апробация работы.

Достоверность обеспечена использованием современных физико-химических методов анализа, корреляцией ряда экспериментальных данных и

результатов моделирования с информацией, имеющейся в литературных источниках.

5. *Теоретическая и практическая значимость работы.*

Получены экспериментальные данные по ассоциации ПОМ $[Mo^{VI}_{72}Fe^{III}_{30}O_{252}(CH_3COO)_{12}\{Mo_2O_7(H_2O)\}_2\{H_2Mo_2O_8(H_2O)\}(H_2O)_{91}]\cdot\approx150H_2O \equiv \{Mo_{72}Fe_{30}\}$ с такими биологически активными соединениями, как: тиамина хлорид (витамин B1), инсулин, что позволяет судить о возможности использования ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ в качестве «носителя» для этих, либо иных сходных по свойствам и строению веществ в системах адресной доставки или модифицированного высвобождения лекарств.

Получены экспериментальные данные по переносу ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ и его ассоциатов с биологически активными веществами через кожу под действием электрического поля in vitro. Это позволяет судить о возможности введения в организм ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ и его ассоциатов методом электрофореза.

Проведено исследование кинетики разложения ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ в средах, моделирующих биологические среды организма. Получены данные, указывающие на стабилизирующее действие белков сыворотки крови по отношению к ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ в водных растворах с нейтральной и слабощелочной реакцией. Это говорит о потенциальной возможности достаточно длительного существования ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$, выполняющего роль «носителя» для лекарственного препарата, во внутренней среде организма.

Основываясь на экспериментальных данных по переносу ПОМ $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ и его ассоциатов через кожу, провели расчёты коэффициентов диффузии, а также дали оценки коэффициентов разделения в приближённом представлении кожи, как однородной однослойной мембраны. Наличие модельных представлений о процессе переноса может быть необходимо для оценки количества переносимого через кожу и депонируемого в ней препарата.

6. *Соответствие диссертации научной специальности.*

Диссертация соответствует специальности 1.4.4. Физическая химия, согласно паспорту специальности, относится к следующей области исследования: п. 4 Теория растворов, межмолекулярные и межчастичные взаимодействия. Компьютерное моделирование строения, свойств и спектральных характеристик молекул и их комплексов в простых и непростых жидкостях, а также ранних стадий процессов растворения и зародышеобразования, п. 5. Изучение физико-химических свойств изолированных молекул и молекулярных соединений при воздействии на них внешних электромагнитных полей, потока заряженных частиц, а также экстремально высоких/низких температурах и давлениях. п. 6 химические превращения, потоки массы, энергии и энтропии пространственных и временных структур в неравновесных системах, п. 7 Макрокинетика, механизмы сложных химических процессов, физико-химическая гидродинамика, растворение и кристаллизация.

Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования. Диссертационное исследование не содержит результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Материалы диссертации полно представлены в работах, опубликованных соискателем.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

По теме диссертации в изданиях, включенных в Перечень ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, опубликовано 8 статей в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 1.4.4. Физическая химия

(химические науки), 1 патент, а также тезисы 8 докладов на конференциях различного уровня:

Основные публикации:

1. Ostroushko A.A., Gagarin I.D., Tonkushina M.O., Grzhegorzhevskii K.V., Danilova I.G., Gette I.F., Kim G.A. Iontophoretic transport of associates based on porous Keplerate-type cluster polyoxometalate $Mo_{72}Fe_{30}$ and containing biologically active substances//Russian Journal of Physical Chemistry A, 2017, Vol. 91, No. 9, P. 1811-1815.
2. Tonkushina M.O., Gagarin I.D., Russkikh O.V., Belozerova K.A., Ostroushko A.A. Destruction of polyoxometalate $\{Mo_{72}Fe_{30}\}$ as a transport agent in blood simulating media, its stabilization by albumin//Physical and Chemical Aspects of the Study of Clusters, Nanostructures and Nanomaterials, 2020, No. 12, P. 885-892.
3. Ostroushko A., Gagarin I., Tonkushina M., Grzhegorzhevskii K., Russkikh O. Association of Spherical Porous Nanocluster Keplerate-Type Polyoxometalate $Mo_{72}Fe_{30}$ with Biologically Active Substances//Journal of Cluster Science, 2018, Vol. 29, No. 1, P. 111-120.
4. Ostroushko A.A., Gagarin I.D., Danilova I.G., Gette I.F. The use of nanocluster polyoxometalates in the bioactive substance delivery systems//Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics, 2019, Vol. 10, No. 3, P. 318-349.
5. Ostroushko A.A., Gagarin I.D., Grzhegorzhevskii K.V., Gette I.F., Vlasov D.A., Ermoshin A.A., Antosyuk O.N., Shikhova S.V., Danilova I.G. The physicochemical properties and influence on living organisms of nanocluster polyoxomolybdates as prospective bioinspired substances (based on materials from the plenary lecture)//Journal of Molecular Liquids, 2020, Vol. 301, P. 110910.
6. Ostroushko A.A., Grzhegorzhevskii K.V., Medvedeva S.Yu., Gette I.F., Tonkushina M.O., Gagarin I.D., Danilova I.G. Physicochemical and biochemical properties of the Keplerate-type nanocluster polyoxomolybdates as promising

components for biomedical use//Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics, 2021, Vol. 12, No. 1, P. 81-112.

7. Губарев Ю.А., Лебедева Н.Ш., Тонкушина М.О., Гагарин И.Д., Голуб А.Я., Остроушко А.А. Взаимодействие нанокластерного железосодержащего полиоксометаллата с доксорубицином//Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов, 2021, N 13, С. 841-851.

8. Tonkushina M.O., Belozerova K.A., Gagarin I.D., Adamova L.V., Terziyan T.V., Russkikh O.V., Ostroushko A.A. Thermodynamics of the interaction between Keplerate-type polyoxometalate {Mo72Fe30} and vitamin B1//Thermochimica Acta, 2022, Vol. 711, P. 179201.

Патент:

1. Способ коррекции постгеморрагической анемии : пат. RU2671077C1 / И.Ф. Гетте и др. ; заявл. 07.07.2017 ; опубл. 29.10.2018.

Другие публикации:

Публикации в сборниках научных трудов, материалов конференций:

1. Гагарин И.Д., Остроушко А.А. Ассоциация витамина B_1 с нанокластерным полиоксометаллатом $Mo_{72}Fe_{30}$ // Тезисы докладов XXV Российской молодежной научной конференции <<Проблемы теоретической и экспериментальной химии>>. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2015.

2. Gagarin I., Ostroushko A., Grzhegorzhevskii K., Tonkushina M. Iontophoretic Delivery of {$Mo_{72}Fe_{30}$} Nanocluster // Proceedings of 7 th International BioNanoMed 2016 Congress / BioNanoMed 2016. – Krems an der Donau, Austria: SciTechnol, 2016. – P. 25.

3. Gagarin I., Tonkushina M.O., Ostroushko A.A., Grzhegorzhevskii K.V. Modelling of {Mo72Fe30} electrophoresis // abstract book / EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL BIOMEDICINE : Russian Confere

nce with International Participation in memory of Professor Vladimir S. Markhasin. – Ekaterinburg: Издательство Уральского университета, 2016. – P. 65.

4. Gagarin I.D., Ostroushko A.A., Tonkushina M.O., Grzhegorzhevskii K.V. Study of {$Mo_{72}Fe_{30}$} nanocluster polyoxometalate in context of targeted drug delivery conception // VIII th International Symposium «Design and Synthesis of Supramolecular Architectures» II-nd Youth School on Supramolecular and Coordination Chemistry. – Kazan, 2016.

5. Gagarin I., Tonkushina M., Ostroushko A. Stabilization of keplerate-type spheric porous nanocluster polyoxometalate $Mo_{72}Fe_{30}$ // 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT). – 2018. – P. 41-44.

6. Гагарин И.Д., Остроушко А.А. Функционализация полиоксометаллата {$Mo_{72}Fe_{30}$} биологически-активными веществами // V Школа-конференция молодых учёных «Неорганические соединения и функциональные материалы» ICFM-2019. – Новосибирск, 2019. – С. 34.

7. Белозерова К.А., Тонкушина М.О., Гагарин И.Д., Адамова Л.В., Остроушко А.А. Исследование взаимодействия нанокластерного полиоксометаллата {Mo72Fe30} с тиамином и доксорубицином // тезисы докладов XXXI Российской молодежной научной конференции с международным участием <<Проблемы теоретической и экспериментальной химии>>. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2021. – С. 135.

8. Остроушко А.А., Тонкушина М.О., Гагарин И.Д., Гржегоржевский К.В. Инновационный потенциал исследований нанокластерных полиоксометаллатов на основе молибдена // VI Международная конференция «Современные синтетические методологии для создания лекарственных препаратов и функциональных материалов» (MOSM 2022). – Екатеринбург, 2022.

Диссертация «Транспортные свойства нанокластерных полиоксометаллатов, как потенциальных средств адресной доставки биологически активных веществ» Гагарина Ильи Дмитриевича рекомендуется для представления к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Заключение принято на заседании расширенного научного семинара отдела химического материаловедения Научно-исследовательского института физики и прикладной математики Института естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина от 26 января 2023 года.

Присутствовало на семинаре 25 человека, из них: докторов химических наук – 4 человека, докторов биологических наук – 1 человек.

Результаты голосования: «за» – 25 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел. Протокол № 4 от 26 января 2023 года.

Председатель расширенного научного семинара отдела химического материаловедения Научно-исследовательского института физики и прикладной математики Института естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

_____ (подпись)

Ирина Евгеньевна Анимица, доктор химических наук (02.00.04 – физическая химия), доцент, профессор кафедры физической и неорганической химии Института естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,

Подпись И. Е. Анимица
Заверяю: вед. документовед
С. В. Жукова

Секретарь расширенного научного семинара отдела химического материаловедения Научно-исследовательского института физики и прикладной математики Института естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

_____
(подпись)

Ольга Владимировна Русских, кандидат химических наук (02.00.04 – физическая химия), старший научный сотрудник отдела химического материаловедения Научно-исследовательского института физики и прикладной математики Института естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Подпись О.В. Русских
Заверяю: вед. документовед
С.Н. Жукова