

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Попова Марка Сергеевича на тему «Скрининг и определение азотсодержащих компонентов ракетного топлива и их метаболитов в почвах методами термодесорбционной газовой хроматографии - масс-спектрометрии» на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.2 – Аналитическая химия (химические науки)

Актуальность темы диссертационной работы.

Основным фактором негативного воздействия ракетно-космической деятельности на окружающую среду являются токсичные компоненты ракетного топлива, попадающие в атмосферу, воду и почву, наносящие вред растениям, животным и здоровью человека. Особую опасность представляют аварийные запуски, приводящие к беспрецедентному загрязнению окружающей среды.

Диссертационная работа Попова Марка Сергеевича посвящена развитию методологии скрининга и определения азотсодержащих компонентов ракетного топлива и их метаболитов в почвах методами термодесорбционной газовой хроматографии - масс-спектрометрии. Соискателем рассматриваются аспекты создания и развития методологической базы экспрессного и высокочувствительного определения 1,1-диметилгидразина, метилгидразина и важнейших продуктов их трансформации в почвах. Одним из основных аспектов совершенствования аналитической методологии контроля загрязнения почв ракетным топливом и продуктами его трансформации по мнению соискателя является отказ от традиционных методов пробоподготовки в пользу подходов, основанных на прямой термодесорбции аналитов из почвы с ГХ-МС анализом. Все вышесказанное позволяет заключить, что тема данного исследования является весьма **актуальной**.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе.

Автором выполнен большой по объему, грамотно, логично спланированный и тщательно выполненный эксперимент. Объем проведенных теоретических и экспериментальных исследований в полной мере позволил соискателю обосновать выносимые на защиту положения. Использованное

научное оборудование, реактивы и методы исследований, в целом, адекватны намеченной цели и задачам.

Выносимые на защиту положения соответствуют цели и задачам диссертационного исследования, имеют научную новизну, теоретически обоснованы и экспериментально доказаны. Выводы по работе следуют из представленных экспериментальных результатов, обоснованы, логичны и представляются достоверными.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что соискателем разработаны подходы к определению и скринингу широкого круга продуктов трансформации ракетного топлива в трёх типах почв: песчаная и суглинистая, характерные для космодрома Байконур, а также в торфяной болотной почве, характерной для космодрома Плесецк.

Соискатель предложил использовать метод термической десорбции в сочетании с дериватизацией для высокочувствительного ГХ-МС определения 1,1-диметилгидразина (НДМГ) и метилгидразина (МГ), а также для определения продуктов трансформации НДМГ в почвах. Получены новые данные о компонентном составе продуктов трансформации в различных типах почв, обнаружены десятки новых, ранее не описанных в литературе как продукты трансформации, химических соединений.

Надежность и достоверность полученных результатов исследований обеспечена применением различных современных методов аналитической химии.

Практическая значимость результатов работы.

Можно отметить практическую значимость диссертационного исследования. Соискателем разработан комплекс методик определения НДМГ и продуктов его трансформации, проведен скрининг азотсодержащих продуктов трансформации в различных типах почв для совершенствования системы экологического мониторинга ракетно-космической деятельности.

Объем и структура диссертационной работы.

Диссертация Попова М.С. имеет традиционную структуру и включает введение, обзор литературы, экспериментальную часть, общие выводы и список

используемых источников, состоящий из 183 наименований. Работа содержит 26 рисунков и 35 таблиц, что облегчает понимание и анализ полученных результатов.

Во **введении** приведены обоснование актуальности выбранной тематики исследования, изложены положения, выносимые на защиту и составляющие научную новизну, теоретическую и практическую значимость. Кратко охарактеризована методология проведенного исследования, структура диссертации, апробация полученных результатов.

В **обзоре литературы**, включающем 5 разделов, рассмотрены и систематизированы общие сведения о свойствах компонентов ракетного топлива на основе гидразинов. Проанализированы данные трансформации алкилгидразинов в объектах окружающей среды. Основное внимание уделено способам пробоподготовки объектов окружающей среды к анализу, подверженных загрязнению НДМГ. Описаны методы идентификации продуктов трансформации НДМГ. Показана перспективность прямой термодесорбции аналитов из почв как эффективного и экологичного метода пробоподготовки.

В **экспериментальной части** описаны объекты, материалы, реактивы, методы и методики проводимых исследований. Можно отметить хорошо спланированные экспериментальные исследования с методической точки зрения. Соискателем предложены подходы к аналитическому термодесорбционному извлечению широкого круга азотсодержащих продуктов трансформации НДМГ различных классов из почв различных типов. Также представлены результаты целевого определения 15 аналитов и нецелевого скрининга продуктов трансформации НДМГ в реальных и модельных образцах почв.

Апробация работы.

Отдельно отмечу, что диссертационная работа Попова М.С. прошла **надежную апробацию**. Основные результаты представлены и обсуждены на всероссийских и международных конференциях. По материалам диссертации опубликованы 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых в Web of Science и Scopus и входящих в белый список научных журналов РЦНИ, а также 8 тезисов докладов конференций.

Соответствие диссертационной работы заявленной научной специальности.

Диссертационная работа Попова Марка Сергеевича по научной концепции, содержанию и результатам реализованной области исследований соответствует пунктам 2,5,7 и 13 паспорта научной специальности 1.4.2 – Аналитическая химия (химические науки).

Соответствие содержания автореферата основным положениям и выводам диссертационной работы.

Автореферат по структуре, содержанию и оформлению соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней. Текст, иллюстрации, заключение автореферата соответствуют полностью материалам, изложенным в диссертации.

Замечания по диссертационной работе.

Характеризуя диссертацию Попова Марка Сергеевича необходимо отметить, что она представляет собой завершённую квалификационную научную работу. Достоверность полученных соискателем результатов не вызывает сомнений. Вместе с тем, к работе имеются замечания, требующие пояснений, но принципиально не влияющие на общую положительную оценку:

1. Хотелось бы получить разъяснение по возможности деградации аналитов в ходе жидкостной экстракции под давлением. Проводились ли исследования, посвященные изучению возможной деградации аналитов?

2. Хотелось уточнить, происходит ли разложение НДМГ под действием микробиологической среды торфяных (болотных) почв? Если да, каким образом это учитывается в экомониторинге?

3. При оценке правильности предложенных методик анализа в диссертации отсутствует информация о количестве анализируемых контрольных образцов, выполненных в течение одного и разные дни.

4. Стр. 130, на рис. 25 и в таблице 27 не совпадают времена удерживания некоторых аналитов, а пик ДМГМК на хроматограмме вовсе отсутствует.

5. На стр. 69 соискатель отмечает, что получен экстракт около 15 мл после проведения двух циклов экстракции в экстракционной ячейке из нержавеющей

стали емкостью 5 мл. Хотелось бы прояснения, каким образом проводилась данная процедура и как можно получить за 2 цикла 15 мл экстракта.

6. Почему-то перечень определяемых аналитов, приведенных в таблице 8 отличается от названия веществ, приведенных в названии таблицы.

7. На представленных на стр. 89 хроматограммах отсутствуют характеристики осей. Из подрисуночной подписи не понятно, какая хроматограмма снята при 0 и 10% влажности песчаной почвы.

6. Представленная на рис. 12 подрисуночная подпись не совсем понята.

7. На стр. 62 соискатель указывает, что использовал стеклянные трубки длиной 3.5 дюйма. Насколько уместно использовать данные единицы измерения?

8. Имеются замечания стилистического характера:

встречаются опечатки: стр. 16, 20, 62, 65, 71, 75, 78, 83, 110, 120 и 133; слова «хромато-масс-...» и «хроматомасс-...» чередуются по тексту; наблюдается по тексту чередование русскоязычных и англоязычных названий «HPLC-MS/MS...» (стр. 34, 78); хотелось бы понять, что такое «...электрод сравнения из хлорида серебра...» (стр. 69) и «...экстрагированная по точным массам хроматограмма...» на стр. 130; на стр. 96 и 119 – отсутствует текст.

Заключение.

Сделанные замечания незначительно влияют на научную значимость и основные практические результаты диссертационной работы. Диссертационная работа Попова Марка Сергеевича на тему «Скрининг и определение азотсодержащих компонентов ракетного топлива и их метаболитов в почвах методами термодесорбционной газовой хроматографии - масс-спектрометрии», представленная на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.2 – аналитическая химия, является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение научной задачи - разработки комплекса методик определения НДМГ и продуктов его трансформации, а также скрининга азотсодержащих продуктов трансформации в различных типах почв для совершенствования системы экологического мониторинга ракетно-космической деятельности.

По объему и качеству проделанной теоретической и экспериментальной работы, уровню обсуждения полученных результатов диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (в ред. Постановлений Правительства РФ от 11.09.2021 №1539), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Попов Марк Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.2 – аналитическая химия.

канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры
аналитической химии
федерального государственного
бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования
"Кубанский государственный университет"

Азарян Алиса Андреевна

350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,
Тел.: +7(861) 219-95-72,
e-mail: alisa_azaryan@mail.ru

« 8 » декабря 2025 г.

Подпись А.А. Азарян заверяю
Ученый секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО «Кубанский
университет»



Касьянова Е.М.