

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук

Хрептуговой Анны Николаевны

на тему: **«Молекулярный состав растворенного органического вещества**

как экологический маркер для мониторинга воздействия потепления

климата на моря российской Арктики»

по специальности 1.5.15. Экология

Диссертационное исследование посвящено актуальной проблеме экологической химии и биогеохимии Арктики — трансформации растворённого органического вещества в условиях ускоряющегося потепления климата и деградации вечной мерзлоты. Эти процессы связаны с высвобождением древнего органического углерода и изменением путей его миграции в системе «суша – шельф», что имеет принципиальное значение для понимания функционирования арктических экосистем и цикла углерода.

Актуальность работы определяется как высокой экологической значимостью исследуемых процессов, так и выраженным дефицитом молекулярных данных по восточному сектору арктического шельфа Российской Федерации, наиболее чувствительному к изменению климата. Полученные в диссертации результаты расширяют фундаментальные представления о биогеохимическом цикле углерода в Арктике и одновременно создают научную основу для разработки подходов к молекулярному мониторингу состояния арктических морских экосистем.

Диссертационная работа Хрептуговой А.Н. построена традиционным образом, состоит из введения, трех глав, включающих аналитический обзор литературы, экспериментальную часть, обсуждение результатов, включающее изучение молекулярного состава растворенного органического вещества, его спектральных свойств и установления их взаимосвязей с климатическими процессами, происходящими в регионе, заключения, а также

списка цитируемой литературы, списка сокращений и условных обозначений и приложения.

Литературный обзор диссертации содержит необходимый и достаточный объём сведений для обоснования целей и задач исследования. В нём последовательно рассмотрены современные представления о молекулярной трансформации органического вещества в арктических экосистемах, роли деградации мерзлоты и эмиссии метана в изменении состава растворённого органического вещества, а также аналитические подходы к его исследованию. Особое значение имеет проведённый анализ возможностей высокоразрешающей масс-спектрометрии, ЯМР-спектроскопии и спектральных методов для молекулярного мониторинга органического вещества и изменения его спектральных свойств. На основании литературных данных автором обоснован сохраняющийся научный пробел — отсутствие систематических исследований, связывающих молекулярный состав растворённого органического вещества с ключевыми экосистемными процессами в Арктике и параметрами глобальных моделей цикла углерода.

Экспериментальная часть диссертационной работы отличается полнотой, логичностью изложения и высоким методическим уровнем. Автором подробно описаны все основные этапы пробоподготовки, выделения и анализа растворённого органического вещества, включая судовые и лабораторные методики, исследования спектральных свойств образцов методами спектрофотометрии и флуоресцентной спектроскопии, структурно-группового состава методом ЯМР спектроскопии на ядрах ^{13}C и ^1H и молекулярного состава методом масс-спектрометрии ионного циклотронного резонанса с преобразованием Фурье. Отдельного внимания заслуживает включение разделов, посвящённых нормированию массивов молекулярных и спектральных данных, а также применению современных методов статистической обработки. Использование совокупности независимых и взаимодополняющих физико-химических методов обеспечивает **высокую**

степень достоверности и обоснованности полученных в диссертации результатов.

Раздел «**Результаты и их обсуждение**» построен логично, последовательно и в полной мере отражает решение поставленных в диссертации задач. В работе дана комплексная характеристика исследуемого региона арктического шельфа Российской Федерации, сформированы представительные выборки образцов, изучены спектральные свойства растворённого органического вещества морской воды, а также впервые для ряда районов получены детальные данные о его молекулярном составе с использованием современных высокоразрешающих физико-химических методов. Автором показаны пространственные особенности распределения спектральных и молекулярных характеристик РОВ, выявлены общие и уникальные молекулярные сигнатуры для исследованных морей, а также установлены взаимосвязи между молекулярным составом РОВ и интенсивностью эмиссии парниковых газов в арктическом шельфе.

Особую ценность представляет то, что в диссертации не только получены новые фундаментальные данные о молекулярной организации РОВ в морях АЗРФ, но и реализован методический подход к выделению его представительных образцов в препаративных количествах, пригодных для дальнейшего молекулярного анализа. Практическая значимость работы определяется установлением корреляционно-регрессионных взаимосвязей между молекулярными дескрипторами и спектральными характеристиками, что создаёт основу для разработки экспрессных и более доступных подходов к молекулярному мониторингу органического вещества в арктических экосистемах. Полученные результаты имеют существенное значение для экологического мониторинга, изучения биогеохимического цикла углерода и повышения информативности прогностических климатических моделей.

Научная и практическая значимость диссертационной работы не вызывает сомнений. Она определяется тем, что в работе впервые выполнено комплексное молекулярное и спектральное картирование растворённого

органического вещества шельфовых вод Арктики, установлены взаимосвязи между его молекулярным составом и оптическими характеристиками, а также выявлены закономерности, отражающие влияние речного стока, мерзлотных процессов и трансформации органического углерода. Практически значимым результатом является разработка метода выделения представительных образцов РОВ в граммовых количествах с использованием сорбента Bondesil PPL и создание прогностических моделей, позволяющих использовать спектральные параметры морской воды для оперативной оценки молекулярного состава органического вещества в морях арктического шельфа.

Достоверность и новизна выдвинутых научных положений, выводов и рекомендаций не вызывают сомнений.

По своему содержанию **диссертационная работа соответствует пунктам 2 и 6** паспорта специальности 1.5.15. Экология (химические науки). Работа отвечает пункту 2 в части, касающейся принципов и механизмов системного экологического мониторинга, поскольку в ней разработаны подходы к молекулярному и спектральному контролю состояния арктических морских экосистем. Пункту 6 диссертация соответствует в связи с развитием эколого-методических основ охраны и мониторинга прибрежных зон морей, включая оценку молекулярного состава растворённого органического вещества, который является индикатором изменения водных масс.

По материалам диссертационной работы опубликовано 5 статей в международных рецензируемых научных изданиях, индексируемых международными базами данных Web of Science и Scopus. Результаты работы были также апробированы на 6 различных российских и международных научных конференциях. Представленные публикации и тезисы докладов на конференциях позволяют сделать вывод о том, что основные результаты являются общедоступными для научной общественности.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

По работе имеется ряд замечаний и предложений, которые не снижают общее положительное впечатление от исследования:

1. Насколько потери гидрофильных компонентов РОВ при пробоподготовке, обусловленные селективностью ТФЭ-сорбента, могли повлиять на выявление корреляций между молекулярными характеристиками по данным МС-ИЦР ПФ и флуоресцентными свойствами образцов в разделе 3.3.1? Оценивал ли автор значимость этих потерь для основных выводов работы?
2. Недостаточно ясно обоснован выбор сорбента для препаративного выделения РОВ из морской воды. Почему в работе не были рассмотрены альтернативные сорбенты с иным механизмом удерживания, как оценивались потери неизвлекаемой фракции и не было ли целесообразно использовать комбинированные схемы экстракции с последовательным применением сорбентов разного типа?
3. На основании каких критериев в разделе 3.6. диссертационной работы автор оценивал наличие и надёжность корреляционной взаимосвязи для моделей? Насколько обоснован вывод о наличии устойчивой корреляции при значении $R^2=0,72$?
4. Возникает вопрос о степени информативности метода ЯМР в рамках выполненного исследования. Какой дополнительный, принципиально значимый объём информации этот метод дал по сравнению с другими использованными подходами, и насколько обосновано утверждение о его ключевой роли в работе?
5. Автору следует более тщательно унифицировать представление количественных данных, в частности проверить корректность округления и число значащих цифр в таблицах диссертации и автореферата. В ряде случаев, включая таблицу 4 автореферата, процентные значения и доверительные интервалы приведены с избыточной точностью, что требует редакционной корректировки.

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

Диссертация Хрептуговой Анны Николаевны представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой решены важные для экологии задачи по установлению закономерностей изменения молекулярного состава растворённого органического вещества в морях арктического шельфа России под влиянием речного стока, деградации мерзлоты, а также эмиссии метана. Существенным результатом работы является выявление связи между поступлением древнего органического углерода, его молекулярной спецификой и изменчивостью состава органического вещества в зонах влияния крупнейших сибирских рек. Кроме того, в диссертации обоснованы спектральные показатели, перспективные для оперативного мониторинга молекулярных изменений растворённого органического вещества.

Диссертация «Молекулярный состав растворенного органического вещества как экологический маркер для мониторинга воздействия потепления климата на моря российской Арктики» Хрептуговой Анны Николаевны отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.5.15. Экология (химические науки), 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 Хрептугова Анна Николаевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.5.15. Экология.

Официальный оппонент:

доктор химических наук,

профессор кафедры аналитической химии химического факультета
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный университет имени
М.В.Ломоносова»

Родин Игорь Александрович

подпись

15.04.2026 г.

Контактные данные:

Тел.: +7 (495) 939-44-16; e-mail: @yandex.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация: 02.00.02 - Аналитическая химия

Адрес места работы: 119991, г. Москва, Ленинские Горы, д. 1, стр. 3, ГСП-1;
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени
М.В.Ломоносова», Химический факультет.

Тел.: +7 (495) 939-44-16; e-mail: @yandex.ru

Личную подпись *Родин И.А.*

ЗАВЕРЯЮ: *подпись, печать*

Капустина Т.А.

Зам.Нач. отдела делопроизводства
химического факультета МГУ