

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

Диссертационная работа Хрептуговой Анны Николаевны посвящена актуальной и научно значимой проблеме современной экологической химии и биогеохимии Арктики — исследованию трансформации растворённого органического вещества в условиях климатического потепления и деградации многолетнемерзлых пород. Актуальность исследования определяется тем, что Арктический регион относится к числу наиболее чувствительных к современному изменению климата, которое сопровождается высвобождением значительных запасов древнего органического углерода и изменением путей его миграции в системе «суша – шельф – океан». Эти процессы имеют принципиальное значение для понимания функционирования арктических экосистем. В диссертации решены важные для экологии задачи, связанные с установлением закономерностей изменения молекулярного состава растворённого органического вещества под влиянием речного стока, деградации мерзлоты и эмиссии метана, а также предложены спектральные показатели, перспективные для его оперативного мониторинга. Существенным достоинством работы является восполнение дефицита данных по молекулярному составу РОВ морей Восточно-Сибирского шельфа.

Диссертационная работа Хрептуговой А.Н. построена традиционным образом, состоит из введения, трех глав, включающих аналитический обзор литературы, обсуждение результатов, включающее исследуемые подходы к анализу молекулярных и структурных характеристик растворенного

органического вещества, а также его спектральных свойств, экспериментальную часть, заключения, а также списка цитируемой литературы, списка сокращений и условных обозначений и приложений.

Литературный обзор диссертации выполнен на высоком научном уровне и включает необходимый и достаточный объём современных данных для обоснования направления исследования. В обзоре последовательно рассмотрены процессы молекулярной трансформации органического вещества в арктических экосистемах, влияние деградации мерзлоты и эмиссии метана на состав растворённого органического вещества, а также современные аналитические методы его изучения. Наряду с молекулярными методами значительное внимание уделено исследованию спектральных свойств РОВ, включая использование флуоресцентной спектроскопии и метода PARAFAC, позволяющего проводить деконволюцию трёхмерного массива спектральных данных и выделять индивидуальные флуорофорные компоненты. Автором обоснован важный научный пробел, связанный с недостаточной изученностью взаимосвязи молекулярных и спектральных характеристик РОВ с климатически значимыми процессами в Арктике.

Экспериментальная часть диссертации характеризуется высоким методическим уровнем, полнотой представленных методик и продуманной организацией исследования. В работе подробно описаны процедуры выделения, концентрирования и анализа растворённого органического вещества, а также комплекс современных физико-химических методов, использованных для изучения его спектральных, структурно-групповых и молекулярных характеристик. Существенным достоинством работы является применение современных подходов к обработке и интерпретации значительных массивов аналитических данных, включая их нормирование, многопараметрический статистический анализ и использование языка программирования Python для вычислительной обработки результатов. Такой подход существенно повышает надёжность анализа и подтверждает высокий уровень методической проработки диссертационного исследования.

В разделе **«Результаты и их обсуждение»** последовательно и убедительно представлены основные результаты диссертационного исследования. Автором дана комплексная характеристика РОВ морей арктического шельфа Российской Федерации, установлены пространственные закономерности изменения его спектральных и молекулярных свойств, впервые идентифицированы молекулярные сигнатуры деградации вечной мерзлоты и выявлены связи между составом РОВ и эмиссией метана. Существенную практическую значимость имеют разработанные подходы к выделению представительных образцов РОВ в препаративных количествах и построенные прогностические модели, связывающие молекулярные и спектральные характеристики органического вещества. Полученные результаты представляют несомненный интерес для задач экологического мониторинга и изучения цикла углерода в Арктике.

Достоверность результатов диссертационной работы не вызывает сомнений и обеспечивается использованием современных методов пробоотбора, пробоподготовки, инструментального анализа и статистической обработки данных. Молекулярный состав РОВ изучен с применением высокоинформативных методов МС-ИЦР ПФ и ЯМР-спектроскопии, а спектральные характеристики морской воды и образцов РОВ — методами спектрофотометрии и флуоресцентной спектроскопии. Надёжность полученных данных подтверждается высокой воспроизводимостью методик, точностью измерений и прослеживаемостью всех этапов исследования.

Научная и практическая значимость диссертационной работы не вызывают сомнений. Автор показал наличие уникального молекулярного пула РОВ шельфа АЗРФ, в составе которого преобладают консервативные молекулярные структуры - алициклические соединения, высоко замещенные карбоксильными группами. Автор установил корреляционную взаимосвязь между эмиссией метана и вкладом полифенольных соединений в

молекулярный состав придонного РОВ для регионов интенсивного выделения метана – моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря.

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 8 различных российских и международных научных конференциях. Представленные публикации в научных журналах и тезисы докладов на конференциях позволяют сделать вывод о том, что основные результаты работы знакомы научной общественности.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации. Достоверность и новизна выдвинутых научных положений, выводов и рекомендаций не вызывают сомнений.

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

- 1) Стр. 12 « $2+$ and Ni^{2+} as Com-pared to» - опечатка.
- 2) В фразе (стр. 29) «Рисунок 1.8. Гипотетическое исходное соединение для РОВ на основе результатов масс-спектрометрии с реакциями фрагментации стадий» используется некорректная терминология
- 3) Стр. 34 «Рисунок 1.14. Зависимость концентрации РОУ (DOC) от солёности в восточной части Арктического океана. Данные для реки Лена/море Лаптевых: белые точки [84], чёрные точки [85]. Данные для рек Обь и Енисей/Карское море: крестики [83].» Если для Лена/море Лаптевых приведено 2 группы точек, то почему для Обь и Енисей/Карское море только 1 группа?
- 4) Стр. 81 «Для исключения ненужных формул удалялись 13С-дубликаты и формулы, не соответствующие азотному правилу. Количество таких формул было незначительным (0-80)». Имелось ввиду изотопы? Тогда почему их мало? Должно же быть

практически равно числу учитываемых формул. Что относительно других изотопов: ^{15}N , ^{18}O , ^{34}S ?

- 5) Стр. 100 Рисунок 3.7. – подписи не читаемы.
- 6) Стр. 111 Рисунок 3.14 – используемые обозначения должны быть указаны в подписи к рисунку.
- 7) При анализе и сравнении масс-спектров РОВ не понятно, учитывалось только присутствие вещества с заданной молекулярной формулой или же интенсивность соответствующего пика?

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

Диссертация Хрептуговой Анны Николаевны является законченной научно-квалификационной работой, в которой решены задачи описания молекулярного состава РОВ арктического региона имеющие важное значение для экологии.

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,

доцент центра молекулярной и клеточной биологии автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий»

Костюкевич Юрий Иродионович

подпись

13.04.2026

Контактные данные:

Тел.: +7(906)- ; e-mail: y.kostyukevich@skoltech.ru

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

Адрес места работы: 121205, Москва, Большой бульвар д. 30, стр. 1; Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Сколковский институт науки и технологий», центр молекулярной и клеточной биологии.

Тел.: +7(906)- ; e-mail: y.kostyukevich@skoltech.ru

Подпись сотрудника Сколковского института науки и технологий д.х.н. Костюкевич Ю.И. удостоверяю:

И.О. ректора, секретарь Ученого Совета *подпись, печать* А.А. Сафонов