

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию
на соискание ученой степени кандидата биологических наук
Бадмадашиева Доржи Владимировича
на тему: «Разнообразие и экология анаэробных прокариот в
осадках Кандалакшского залива Белого моря»
по специальности 1.5.11. Микробиология**

Актуальность темы диссертации

Морские прокариоты являются наиболее эволюционно разнообразными организмами в биосфере и имеют важное значение для здоровья нашей планеты. Они ответственны за примерно половину мировой первичной продукции, управляют ключевыми биогеохимическими циклами (углерода, азота фосфора, серы, железа) и влияют на климат. Микробные сообщества характеризуются широким таксономическим и метаболическим разнообразием и могут подвергаться быстрой эволюционной адаптации в ответ на изменения окружающей среды. Тем не менее, получение знаний о глубоководных бактериях и археях серьезно затруднены невозможностью культивирования и моделирования условий *in situ*. Достижения в технологиях секвенирования и биоинформационного анализа позволили устранить этот барьер и значительно расширили возможности изучения разнообразия и метаболической активности морских микроорганизмов. Реконструкция бактериальных и архейных геномов на основе метагеномов позволяет глубже понять экологию и эволюцию морских микробиомов и раскрывает адаптивные признаки прокариот, закодированных в их геномах. Благодаря профилированию численности бактериальных и архейных MAG выявляются биогеографические закономерности микробиомов в глобальном масштабе. Представленная диссертационная работа Д.В. Бадмадашиева посвящена актуальному и важному вопросу фундаментальной микробиологии: оценке разнообразия морских прокариотных сообществ,

осуществляющих, микробные процессы в глубинных слоях морской экосистемы, их экологии и метаболическом потенциале.

Научная новизна исследований

Диссертационная работа имеет научную новизну, подтверждаемую принципиально новыми сведениями о разнообразии прокариот донных отложений Кандалакшского залива Белого моря с использованием современных молекулярно-биологических, биоинформатических и геохимических методов. Впервые проведено сравнительное исследование вертикальной стратификации прокариотных сообществ из экологически различных участков, которые отличаются условиями осадконакопления и содержанием органического вещества. Установлено сходство и отличие микробного сообщества по составу и структуре в зависимости от экологических условий. Выявлены закономерности распределения ключевых микробных таксонов в донных отложениях и оценен их потенциал в трансформации органического вещества.

Теоретическая значимость

На основании профилирования по гену 16S рРНК и метагенома прокариотного сообщества донных осадков Кандалакшского залива Белого моря выявлены особенности таксономического и метаболического разнообразия микробиома в зависимости от глубины залегания и рельефа морского дна. Полученные результаты существенно расширяют представления о структуре прокариотных сообществ и роли прокариот в биогеохимических циклах в морских экосистемах и дополняют существующие данные по микробной экологии морей.

Практическая значимость

Молекулярно-биологический и биоинформатический анализ прокариотных сообществ донных отложений Кандалакшского залива Белого моря и обогащенных на полисахаридах анаэробных накопительных культур показывает многообещающий потенциал изучения биосинтетического разнообразия морских прокариот и представляют ценные знания для

целенаправленного поиска анаэробных прокариот-продуцентов для биотехнологий.

Содержание диссертации

Диссертация содержит введение, обзор литературы, объекты и методы исследования, экспериментальную часть – результаты и их обсуждение (4 главы), заключение, выводы и список использованной литературы. В целом диссертация включает 127 страниц, в число которых входят основной текст, 18 рисунков и 6 таблиц, а также библиографический список использованной литературы. Список литературы включает 215 источников, из которых 15 – русскоязычные, а 200 – на иностранном языке. Обзор литературы занимает 16 страниц, в котором достаточно подробно рассмотрены публикации, посвященные исследованиям разнообразия, активности, экологии анаэробных прокариотных сообществ в морских донных осадках, состава органического вещества (как лабильных, так и труднодоступных). Показано, что генетическая гибкость морских прокариот обеспечивает им преимущество адаптироваться к широкому спектру экологических условий в условиях донных отложений. Отмечается, что потенциал этих сообществ к трансформации устойчивых соединений играет ключевую роль в цикле углерода осадков и в поддержании метаболизма прокариотных сообществ глубинных горизонтов морских отложений. Отдельный раздел посвящен сообществам микроорганизмов газонасыщенных отложений, которые представляют собой уникальные биогеохимические системы, где высокие концентрации метана и сульфатов формируют специализированные прокариотные сообщества. Завершает обзор раздел «Сообщества микроорганизмов Белого моря», в котором проанализированы ранее проведенные микробиологические исследования. Автор отмечает, что по сравнению с другими морями арктического региона прокариотные сообщества донных отложений Белого моря описаны крайне скудно: в основном они посвящены изучению микробных процессов (сульфатредукция и метаногенез), протекающих в донных отложениях литоральной и

глубоководной части, и разнообразия прокариотного сообщества водной толщи Белого моря и их активности на терминальных этапах деструкции органического вещества.

Обзор литературы логически приводит к цели представленной диссертационной работы: целью работы было изучение разнообразия и экологии анаэробных прокариот в донных отложениях Кандалакшского залива Белого моря. Цель достигается решением 4 четко поставленных последовательных задач, включающих этапы оценки таксономического разнообразия прокариотных сообществ донных отложений, установления закономерностей стратификации микробного сообщества, оценкой его метаболического потенциала и выявление популяций прокариот, участвующих в деструкции органического вещества.

В ходе выполнения диссертационной работы Д.В. Бадмадашиев проводил полевые и экспериментальные исследования, включавшие этапы от отбора проб до молекулярно-генетических, биформационных анализов, а также проведение экспериментальных исследований в лаборатории. Разнообразие примененных и использованных диссертантом методов свидетельствует о высоком уровне подготовленности Д.В. Бадмадашиева как микробиолога. Основной научный материал, представленный диссертантом, обширен (главы 3-4). В главе 4 представлены литологическая и геохимическая характеристика образцов проб (всего 124) и результаты исследования таксономического и метаболического разнообразия молекулярно-генетическими методами. Следует отметить, что исследуемые образцы донных отложений были отобраны из различных зон Кандалакшского залива, которые отличались условиями среды (глубоководные, мелководные, зоны «газовых шапок», литораль), что являлось определяющим при выявлении закономерностей распространения доминирующих популяций прокариот. Метагеномные анализ природных образцов и обогащенных накопительных культур показал способность прокариотного сообщества к деструкции как лабильного, так и труднодоступного органического вещества и их

метаболитов, их участии в биогеохимических циклах углерода, серы и азота в анаэробных условиях. В главе 5 приведено обсуждение результатов, основными положениями которого являются, что:

- Вертикальная стратификация прокариотных сообществ донных отложений в Кандалакшском заливе отражает значительные изменения условий среды и зависит от глубины залегания горизонта в толще осадка. Граница смены сообществ располагается между 10 и 30 см нпмд для фоновых, 70 см – для газонасыщенных отложений. Повышенное разнообразие и специализация некоторых таксонов в глубинных слоях подчеркивают сложность экологических ниш, поддерживающих активность сообществ в условиях ограниченного субстратного питания.

- Разнообразие и структура прокариотных сообществ газонасыщенных донных отложений Кандалакшского залива связаны с благоприятными условиями осадконакопления (особенностями рельефа дна) и повышенным содержанием органического вещества. Природное сообщество характеризуется присутствием представителей таксонов *Sandaracinaceae*, 67-14 (*Solirubrobacterales*), *Bathyarchaeia*, *Hyphomicrobiaceae* и *Anaerolineales*. Обнаруженные генные кластеры указывают на способность к деградации ароматических соединений, а также широкого спектра растительных полисахаридов.

- В накопительных культурах из донных отложений, обогащенных различными полисахаридными субстратами, преобладают представители *Bacteroidota*, *Clostridia* и *Vibrionaceae*, обладающие метаболическим потенциалом к деструкции широкого спектра органического вещества как морского, так и наземного происхождения.

- Функциональный потенциал лабораторно обогащенных комплексов в значительной степени отражает ключевые метаболические процессы, характерные для естественных условий в донных отложениях Кандалакшского залива.

Эти данные весьма существенны для формирования представлений о разнообразии и экологии прокариотных сообществ Кандалакшского залива Белого моря и их роли в биогеохимических циклах в анаэробных условиях. Степень обоснованности положений, выносимых Д.В. Бадмадашиевым на защиту и научная значимость диссертационной работы не вызывает сомнений. Полученные диссертантом результаты обогащают водную микробиологию сведениями о разнообразии, экологии, метаболическом потенциале морских прокариот.

Разделы «Заключение» и «Выводы» содержат все необходимые и достаточные сведения. Сделанные автором выводы обоснованы, соответствуют поставленным целям и задачам, следуют из содержания диссертационной работы. Материалы диссертационной работы изложены в 3 печатных работах и опубликованы в международных рецензируемых изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В. Ломоносова. Полученные результаты представлены на Всероссийских конференциях и конгрессах. Выводы диссертации соответствуют поставленным задачам исследования. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Диссертация изложена ясным и логичным языком.

При изучении текста диссертации возникли следующие вопросы:

- 1) Каким образом усреднялись образцы проб из 10-см слоя донных отложений для профилирования прокариотного сообщества по гену 16S рРНК и метагеномного анализа?
- 2) «Для обогащения сообществ анаэробными прокариотами – деструкторами биополимеров использовали метод накопительных культур..... культуры инкубировали в анаэробных условиях в течение 30 суток» (с. 31). Каким образом определялись сроки культивирования?
- 3) «Представители прокариотных сообществ, выявленные в накопительных культурах, практически отсутствуют в природных донных сообществах» (с. 95). Все же в каких количествах они встречались в природных сообществах?

Может быть они относятся к редким субсообществам (менее 0,05%)? Известно, что такие сообщества могут играть более важную роль в деградации органического вещества (Jousset et al., 2017; Zhang et al., 2018). Как правило, доминирующие таксоны демонстрируют сильную адаптацию к окружающей среде, но редкие таксоны становятся доминирующими при подходящих условиях окружающей среды (Kurm et al., 2019).

Вышеизложенные замечания не снижают ценности представленной работы.

Заключение

По актуальности, научной новизне, заявленным научным положениям и практической значимости результатов диссертационная работа Д.В. Бадмадашиева на тему: «Разнообразие и экология анаэробных прокариот в осадках Кандалакшского залива Белого моря» является завершенной, целостной и законченной, научно-квалификационной работой. Соискатель изложил основные научные результаты диссертации в научных статьях, регистрируемых в международных рецензируемых изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В. Ломоносова. Личный вклад соискателя отмечен во всех разделах представленной работы. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.5.11. Микробиология (по биологическим 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, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Бадмадашиев Доржи Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.11. Микробиология.

Официальный оппонент:

Кандидат биологических наук,
Заведующий лабораторией микробиологии
ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
(ИОЭБ СО РАН)
Бархутова Дарима Дондоковна

19.11.2025 г.

Контактные данные:

тел.: 7(901) 434-211, e-mail: darima_

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

03.00.16 - Экология

Адрес места работы:

670047, Республика Бурятия г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6,
ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
лаборатория микробиологии

Тел.: +7 (3012)434211, +7(3012)434902; e-mail: ioeb@biol.bscnet.ru

Подпись сотрудника ИОЭБ СО РАН

Даримы Дондоковны Бархутовой удостоверяю:

Ученый секретарь, к.б.н.

Л.П. Козырева

19.11.2025 г