

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Павловой Ольги Николаевны
«Микробные сообщества осадочных отложений озера Байкал в районах
разгрузки углеводородов», представленной на соискание учёной степени
доктора биологических наук по специальности 1.5.11 – Микробиология

Морские и пресноводные донные осадки являются огромным резервуаром органического углерода, населенным разнообразными микробными сообществами. Находящиеся в них микроорганизмы играют ключевую роль в реминерализации органического вещества, круговороте питательных веществ и передаче энергии в осадочной толще. Их метаболическая активность оказывает значительное влияние на глобальные биогеохимические циклы углерода, азота, серы и других соединений. По мере накопления отложений в течение геологического времени формируется глубинная биосфера.

Озеро Байкал, расположенное в зоне активного рифта, характеризуется разгрузкой минерализованных газосодержащих флюидов, естественными выходами нефти и залежами газовых гидратов. Совместно с потоками глубинных флюидов, насыщенных углеводородами и другими соединениями, в верхние слои осадка могут поступать представители глубинных микробных сообществ.

Термофильные микробные сообщества глубинных слоев осадков в районах разгрузки углеводородов остаются «темной материей». Микроорганизмы в этих районах могут обладать метаболизмами, нехарактерными для типовых видов, осуществлять преобразование органического вещества в термобарических условиях, вносить значительный вклад в процессы анаэробного окисления нефти и образования углеводородов в донных осадках оз. Байкал, мирового хранилища пресной воды. Первостепенное значение имеет изучение того, что происходит с нефтью на дне, в водной толще и на поверхности озера, а также отклика микробных сообществ на происходящие изменения. Изучение этих процессов является **важным и актуальным**.

Цель работы – изучить разнообразие, метаболизм и роль микроорганизмов осадочных отложений оз. Байкал в районах разгрузки нефте- и газонасыщенных флюидов в процессах образования и окисления углеводородов.

В связи с поставленной целью сформулированы следующие задачи:

1. Провести поиск термофильных прокариот в донных осадках и установить источник их поступления, оценить таксономическое разнообразие; изучить метаболизм чистых культур термофильных микроорганизмов.

2. В экспериментальных условиях, характерных для тектонически активной зоны озера Байкал (80°C, 5 МПа), оценить способность микробных сообществ донных осадков осуществлять трансформацию органического вещества с образованием компонентов нефти.

3. На основе экспериментальных и геномных данных определить функциональную роль микробных сообществ в анаэробных процессах биodeградации нефти (в психрофильных и термофильных условиях).

4. Оценить углеводородокисляющую активность микробных сообществ в аэробных условиях, в том числе наличие генов аэробного окисления н-алканов и способность к синтезу поверхностно-активных веществ, с выявлением штаммов, перспективных для биотехнологических целей.

5. Оценить разнообразие микробных сообществ донных осадков, ассоциированных с разгрузкой углеводородов.

Научная новизна и теоретическая значимость работы. Впервые подтверждено присутствие жизнеспособных термофильных микроорганизмов в низкотемпературных (+4°C) осадках оз. Байкал в районах разгрузки углеводородов. Выделены и охарактеризованы чистые культуры термофильных факультативно-анаэробных бактерий рода *Thermaerobacter* sp. PB12/4term (VKM B-3151) и рода *Thermicanus* sp. (PB15/Grf7geo). Штамм *Thermaerobacter* sp. обладает нехарактерным для типовых видов метаболизмом, изолят *Thermicanus* sp. может быть отнесен к новому виду этого рода. Поступление термофильных микроорганизмов осуществляется с потоками флюидов из глубинной осадочной толщи.

Впервые, при воспроизведении условий, характерных для зоны генерации углеводородов Байкала (80°C, 5 МПа), экспериментально установлена способность микробных сообществ осуществлять преобразование органического вещества с продукцией дибензотиофенов, три- и моноароматических стероидов, ретена и гаммацерена. Участие микроорганизмов в образовании ретена предполагалось и ранее, но экспериментально подтверждено впервые.

Впервые оценена функциональная активность микробных сообществ в процессах анаэробного окисления нефти в психрофильных и термофильных условиях. Экспериментально показано образование углеводородных газов (метана и этана) в процессе анаэробной деградации нефти.

В результате многолетних исследований в районах естественных нефтепроявлений в оз. Байкал в чистую культуру получено более 100 деструкторов нефти, обладающих генами аэробного окисления н-алканов и образующих поверхностно-активные вещества. Впервые с использованием штамма *Rhodococcus erythropolis* предложено применение биостимуляторов роста углеводородокисляющих бактерий в 2–16 раз при низкой положительной температуре (+10°C).

Полученные в работе данные дают новые знания о разнообразии, метаболизме и функциональной роли микроорганизмов осадочной толщи в районах разгрузки углеводородов в процессах их окисления и образования.

Практическая значимость работы. Выделенная чистая культура, отнесенная к роду *Thermaerobacter* sp. PB12/4term, депонирована во Всероссийской коллекции микроорганизмов (VKM В-3151) и доступна для научной общественности как объект для дальнейших исследований. Непосредственное биотехнологическое применение могут найти протатраны в качестве биостимуляторов роста углеводородокисляющих бактерий *Rhodococcus erythropolis*. Изобретение (Патент РФ № 2694593) может быть использовано при разработке ускоренных и экологически безопасных методов очистки и восстановления объектов окружающей среды, загрязненных нефтью или нефтепродуктами в микроконцентрациях и при низких положительных температурах, характерных для почв северных

регионов, а также вод арктических морей и озера Байкал. Полученные штаммы углеводородокисляющих микроорганизмов, образующие биосурфактанты, могут быть использованы для создания биопрепаратов для биоремедиации нефтезагрязненных объектов. Полученные знания об образовании биомаркеров нефти в донных осадках, в частности ретена, используемых при описании палеоклимата, позволят более корректно интерпретировать процессы, происходившие в далеком прошлом.

Защищаемые положения:

1. В низкотемпературных осадках озера Байкал, ассоциированных с разгрузкой углеводородов, выявлены жизнеспособные термофильные микроорганизмы. Полученные факультативно-анаэробные термофильные изоляты либо обладают нехарактерным для типовых видов метаболизмом, либо могут быть отнесены к новым видам.

2. Поступление термофильных микроорганизмов осуществляется с потоками газо- и нефтенасыщенных флюидов из зоны генерации углеводородов. Как и в Мировом океане, в оз. Байкал действует механизм геологической микробной петли жизнеспособных прокариот, циркулирующих из глубинной биосферы и обратно в нее. Поступающие флюиды влияют на структуру микробных сообществ и обуславливают значительную долю представителей «редкой биосферы» в осадочной толще.

3. В условиях, характерных для зоны генерации углеводородов (80°C, 5 МПа), микробные сообщества донных осадков осуществляют преобразование органического вещества (биомассы диатомовых водорослей) с образованием биомаркеров нефти (ретена и гаммацерена), дибензотиофенов, три- и моноароматических стероидов.

4. Постоянство площади нефтяного высачивания в двух районах нефтепроявлений оз. Байкал обусловлено деятельностью микроорганизмов, в геномах которых присутствуют функциональные гены, вовлеченные в аэробный и анаэробный катаболизм углеводородов, и обладающих способностью к синтезу биосурфактантов.

О достоверности результатов работы свидетельствует значительный объем выполненных исследований в повторяющихся экспериментах,

обоснованных законами и положениями биологии, молекулярной биологии и химии с применением современных методов культивирования микроорганизмов и молекулярно-биологических технологий, адекватных методов биоинформатического и статистического анализа полученных данных, автоматизированным учетом и оценкой результатов.

Материалы, изложенные в диссертации, представлены и обсуждены на множестве международных и российских конференциях и симпозиумах.

Основные результаты исследований отражены в 65 печатных работах, в том числе 29 публикациях в периодических изданиях из перечня ведущих рецензируемых научных журналов, утвержденных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Методические аспекты работы, результаты экспериментальных и теоретических исследований подробно изложены во введении, семи главах, заключении и выводах диссертации, которые написаны ясным языком и к которым **нет принципиальных замечаний**.

Вместе с тем, по автореферату имеется несколько замечаний.

1. В автореферате нет списка цитированной литературы, без которого найти некоторые упомянутые в тексте ссылки крайне сложно.
2. В некоторых рисунках (например, 8, 15) слишком мелкие подписи к обозначениям на графиках.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. В работе чётко поставлены и решены основные задачи исследований, сделанные выводы отражают суть проведенной работы.

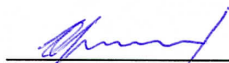
Таким образом, диссертационная работа Павловой Ольги Николаевны «Микробные сообщества осадочных отложений озера Байкал в районах разгрузки углеводородов» обладает высокой актуальностью, научной новизной, практической значимостью и достоверностью, результаты исследований внедрены в практику. Она отвечает требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, установленным в пп. 9 – 14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. с изменениями и дополнениями в редакции № 62 от 25.01.2024),

предъявляемым к докторским диссертациям, заслуживает положительной оценки, а ее автор – Павлова О.Н., безусловно, присуждения ученой степени доктора биологических наук по специальности 1.5.11 – Микробиология.

Я, Сафатов Александр Сергеевич, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанные с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела О.Н. Павловой.

Сафатов Александр Сергеевич,
доктор технических наук, заведующий отделом биофизики и экологических исследований,
Федерального бюджетного учреждения науки «Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора

«18» 09 2025 г.



Сафатов А.С.

Почтовый адрес: 630559, р.п. Кольцово, Новосибирская область, Россия,
ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора,

Телефон: +7(383) 363-47-00; +79139272690, E-mail: safatov@vector.nsc.ru.

Подпись Сафатова А.С. заверяю.

И.о. ученого секретаря ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора
кандидат биологических наук

«18» 09 2025 г.



Прыткова О.В.