

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу **Павловой Ольги Николаевны** «Микробные сообщества осадочных отложений озера Байкал в районах разгрузки углеводов» на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 1.5.11. – Микробиология

Актуальность темы диссертации

Необходимость изучения углеводов (УВ) в природных средах имеет как теоретическую, так и практическую значимость. В теоретическом плане УВ, как постоянные компоненты органического вещества (ОВ) участвуют в глобальном цикле углерода, одного из наиболее сложных элементов в геохимии и их изучение необходимо для понимания условий образования нефти и оценкой их роли в природных флюидных потоках. Практическая значимость обусловлена поисками и разведкой углеводородного сырья. Преобразования ОВ в осадочной толще в УВ нефтяного ряда происходит при деятельности микроорганизмов. Поэтому изучение разнообразия, метаболизм и роль микроорганизмов осадочных отложений оз. Байкал в районах разгрузки нефте- и газонасыщенных флюидов в процессах образования и окисления УВ (т.е. основная цель представленной диссертационной работы), имеет в настоящее время несомненную актуальность. При этом 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. Полученные в работе данные содержат новые знания о разнообразии, метаболизме и функциональной роли микроорганизмов осадочной толщи в районах разгрузки УВ в процессах их трансформации.

В диссертации экспериментально показано образование углеводородных газов (метана и этана) в процессе анаэробной деградации нефти. Установлено, что степень биодегradации УВ нефти достигает 65% в психрофильных условиях и 89% в термофильных. Выявлены основные участники окисления нефти в донных осадках оз. Байкал. Впервые показано, что реконструированные геномы бактерий и архей содержат функциональные гены активации УВ из-за анаэробного гидроксирования, присоединения фумарата и деароматизации, а также гены, катализирующие метаболизм промежуточных ароматических соединений и отвечающие за синтрофные превращения УВ.

Структура и основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, основной части, включающей 7 глав, заключения и выводов, изложенных на 285 страницах, включая 89 рисунков, 13 таблиц, списка цитируемой литературы, который состоит из 871 наименования, из них только 144 на русском, а 727 – на английском языках

Во Введении обоснована актуальность исследования, кратко изложено состояние вопроса. Особое внимание было уделено исследованию районов естественных нефтепроявлений, где с использованием методов высокопроизводительного секвенирования был изучен состав микробных сообществ донных осадков (ДО) и битумных построек, сформулированы цели и задачи, а также положения, вынесенные на защиту, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость, вклад автора в проведенные исследования и апробация работы.

В первой главе приведены подробные литературные данные (63 стр. текста с 16 рисунками) об осадочной толще морских ДО, как среды обитания микроорганизмов, их объемов, факторах, влияющих на жизнь в глубинных слоях, источниках энергии и метаболизме, разнообразии прокариот. Приведена информация о распространении и таксономическом разнообразии термофильных микроорганизмов в холодноводных экосистемах. Установлено, что жизнь в глубинной биосфере не ограничена верхним пределом температуры ниже 120°C. Геологические процессы, связанные с субдукцией, оказывают значительное влияние на микробную жизнь в глубоких горячих отложениях. Изложены сведения о роли прокариот глубинных экосистем в процессах образования и окисления УВ. Показано, что состав микробных сообществ морских ДО определяется их окислительно-восстановительными условиями и донорами электронов, доступных в осадке. Несмотря на то, что текст с рисунками занимает 51 стр., в предисловие к главе 4 обсуждаются литературные данные по образованию нефти. Кроме того в литературном обзоре описана осадочная толща оз. Байкал в местах углеводородной разгрузки (11 стр. текста с рисунками). При этом наряду с литературными ссылками прошлого века (в частности Гинзбург-Карагичева, 1926; 1932 или Lipman, 1931) приводится множество литературных данных начала XXI века и даже 2025 г. В заключении приводятся обобщающие сведения о результатах, полученных в рамках данного исследования

Во второй главе описаны районы, в которых проводили исследования. На карте-схеме показаны их особенности: грязевые вулканы, нефте-метановые сипы, наряду с фоновыми участками; дана краткая характеристика ДО, в которых отбирали пробы. Наряду с районами, в которых проводили натурные исследования, описаны районы, в которых отбирали пробы для модельных экспериментов по биodeградации нефти в анаэробных условиях; определено филогенетическое разнообразие микробных сообществ

в природных осадках и аннотации геномов из метагеномных массивов; описаны условия получения анаэробных термофильных накопительных культур и чистых культур штаммов.

В разделе физико-химические методы исследования подробно описано как выделяли и определяли УВ (алканы и полициклические ароматические углеводороды – ПАУ), углеводородные газы, биоПАВы, нитраты, нитрита и сульфаты, сероводород, анализ состава жирных кислот у чистых культур микроорганизмов, из водной толщи и ДО. Микроскопические исследования микроорганизмов изучали с помощью методов трансмиссионной, сканирующей электронной и световой микроскопии. Описаны методы исследования термофильных микроорганизмов в донных осадках оз. Байкал, изучение филогенетического разнообразия прокариот в горячих источниках, получение чистых культур термофильных бактерий.

В разделе методов исследования процессов образования УВ в осадочной толще оз. Байкал описано, как изучали: трансформацию ОВ в термобарических условиях; состав и распределение УВ мальтеновой части; образование углеводородных газов; процессы окисления нефти в аэробных и анаэробных условиях; оценивали: наличие клеточно-связанных биоПАВ и их эмульгирующую активность, биосурфактантов, гликолипидов. Исследования ДНК из донных осадков изучали на молекулярном уровне, включая методы биоинформатического анализа, определение состава микробных сообществ, секвенирование и сборку полных геномов микроорганизмов. Для анализа генома *Thermaerobacter* PB12/4term, проведена визуализация полученных результатов. Все данные, полученные с помощью молекулярно-биологических методов, депонированы в NCBI GenBank и описаны в статьях О.Н. Павловой с соавторами.

Глава третья содержит описание термофильных бактерий в низкотемпературных ДО оз. Байкал в районах разгрузки УВ. Обнаружен доминирующий в анаэробных накопительных культурах представитель аэробного рода *Thermaerobacter*. Это позволило предположить, что микроорганизмы, выявленные в ДО оз. Байкал, обладают фенотипическими свойствами, отличными от таковых у ранее описанных. Геномный анализ первой факультативно-литотрофной, термофильной бактерии *Thermaerobacter* sp. PB12/4term показал, что оптимальный ее рост наблюдался при 60°C, тогда как при 45°C или 85°C рост не происходил. Штамм PB12/4term является нейтрофилом в области роста при pH 5.0–8.0 (оптимум pH 7.0). Идентифицировано 98 псевдогенов и 5 кластеров регулярно расположенных коротких палиндромных повторов (CRISPR). Для большинства генов, кодирующих белки (84.7%), определена предполагаемая функция, остальные аннотированы как гипотетические белки. Подобно представителям рода *Thermaerobacter*,

новый штамм имеет респираторный тип метаболизма с использованием кислорода и способен к органогетеротрофному росту с сахарами, пептидами и белками. Установлено, что отличительная особенность штамма PB12/4term от других представителей рода *Thermaerobacter* является его способность к факультативно-литоавтотрофному росту. В результате представлена схема метаболизма *Thermaerobacter* sp. PB12/4term, реконструированная на основе геномных данных. При этом выявлены все ферменты обратного окислительного цикла трикарбоновых кислот. Геном PB12/4term содержит большинство генов, кодирующих восстановительный цитратный цикл (цикл Арнона-Бьюкенена). В связи с тем, что в геноме отсутствуют гены, кодирующие ключевые ферменты этого цикла – цитратлиазу АТФ/цитрил-КоА синтетазу и цитрил-КоА лиазу, восстановительный цитратный цикл не может осуществляться в этом организме. Факультативно-литотрофный рост штамма PB12/4term может обеспечиваться наличием генов, кодирующих гидрогеназы, формиадегидрогеназу, формамидазу, цистеиновые десульфуразы, тиосульфат сульфуртрансферазу/роданазу, тиосульфатдегидрогеназу (хинон), сульфид:хинон-оксидоредуктазу, дегидрогеназу монооксид углерода и др. O₂. Установлено различие между геномами *Thermaerobacter* sp. PB12/4term и *T. marianensis* DSM 12885, *T. subterraneus* DSM 13965, *Thermaerobacter* sp. FW80, которое заключается в отсутствии генов, кодирующих гидрогеназы, и генов посттрансляционной экспрессии/образования/созревания гидрогеназ, которые образуют кластер размером 12 Кб. Однако эти гены присутствуют у *Thermaerobacter* sp003242195 (геном, собранный из метагенома зоокомпоста), который находится в одном кластере с культивируемыми бактериями рода *Thermaerobacter*. Термофильный оптимум роста этого штамма – 55–60°C, с верхней границей – 80°C, нижней – 46°C, при pH 5.0 и 8.6 рост отсутствовал. Отмечено, что физиолого-биохимические свойства изолята PB15/Grf7geo не отличаются от свойств типового штамма этого рода, выделенного из почвы Египта, где температура может составлять 28–40°C. В сообществах ДО выявлено большее разнообразие микроорганизмов, способных к росту в термофильных условиях в горячих источниках. Проведенные исследования показали, что как в горячих источниках, так и в ДО обнаруживаются последовательности термофильных прокариот, имеющих одинаковую таксономическую принадлежность. При этом оказалось, что кластеры термофильных микробные популяции в ДО и в горячих источниках совпадают. Как показали исследования, в горячих источниках в основном выявлены аспорогенные микроорганизмы, которые погибают, попадая в воду оз. Байкал, что подтверждается их отсутствием в местах впадения источников в озеро. Установлено, что в оз. Байкал существует механизм такой же, как в Мировом океане, в процессе которого

микроорганизмы из глубинной осадочной толщи выносятся на поверхность вместе с потоками газонасыщенных флюидов, пассивно разносятся течениями, оседают в ДО, где сохраняются в течение многих лет.

В четвертой главе описываются результаты оценки роли микробных сообществ осадочной толщи оз. Байкал в процессах преобразования ОВ при образовании углеводородных маркеров нефти в условиях протокатагенеза, которые не изучались ранее.

Автором изучено преобразование ОВ микробным сообществом ДО метанового сипа Голоустное. Экспериментальную инкубацию проводили в камере высокого давления (КВД) в течение 11 месяцев. Установлено, что в составе алканов поле эксперимента уменьшается величина СРІ (отношение нечетных к четным алканам в высокомолекулярной области). Кроме того в осадке идентифицирован ретен – полиарен, образование которого осуществляется микробами при деструкции биомассы диатомовых водорослей, что **подтверждено впервые**.

Изучение ДО газогидратного района Посольская Банка (инкубация в КВД 17 мес.) показало рост УВ (с 22.8 до 29.3%) на фоне снижения асфальтово-смолистых компонентов (с 77.2 до 70.7%).

В ДО г/в Хобой при инкубации 7 мес. изменения в составе ОВ оказались значительно ниже (всего 16%) по сравнению с ДО м/с Посольская Банка (41%), включая ретен, перилен и серосодержащие соединения (дибензотиофены и их метилзамещенные гомологи) относительно *n*-алканов, а также образование моноароматических стероидов. При этом происходило доминирование *S*- над *R*-изомерами в гомогипанах. В результате при воспроизведении условий, характерных для зоны генерации УВ, в серии экспериментов установлена способность микробных сообществ осуществлять трансформацию ОВ. Изменчивость геохимических условий ДО оказывают влияние на состав микробных сообществ и, как следствие, на степень преобразованности ОВ и на соединения, образующихся в результате его деструкции в термобарических условиях. После эксперимента в ДО грязевого вулкана, вмещающих грязевулканическую брекчию, преобладали представители термофильных таксонов (*Deinococcus-Thermus*, *Bacillota* и др.), которые могли поступить в подповерхностные осадки в составе газонасыщенного материала с глубин в несколько километров.

Пятая глава посвящена анаэробным процессам биodeградации нефти микробными сообществами ДО в районах природных нефтепроявлений. Эксперименты с анаэробными накопительными культурами, обогащенными гидрокарбонат- и сульфат-ионами, в течение одного года выявило различную степень трансформации *n*-алканов и ПАУ.

Анаэробное окисление УВ микробным сообществом ДО района естественного нефтепроявления, расположенного у устья р. Б. Зеленовская в термофильных условиях установило, что высокая степень биodeградации нефти обусловлена углеводородокисляющей активностью микробных сообществ в анаэробных условиях в глубинных ДО, где расчетная температура составляет ~60–70°C. Концентрация ΣПАУ в присутствии сульфат- и гидрокарбонат-ионов в накопительных культурах, содержащих подповерхностный образец, по истечении эксперимента составила 0.03–0.035 мг, в глубинных – 0.04–0.045 мг, в сравнении с контрольными накопительными культурами (0.26 мг).

В более длительно существующем районе р. Б. Зеленовская (нефтепроявление известно с XVIII века) нефть имеет продолжительный путь прохождения от источника генерации и длительно накапливается в ДО, где происходит активная анаэробная биodeградация как *n*-алканов, так и ПАУ, вероятнее всего, в термофильных условиях. О длительном пути нефти от источника и о ее накоплении свидетельствует содержание перилена в битуме, концентрации которого на два порядка величины выше, чем в нефти из района нефтепроявления Горевой Утес. Биodeградация нефти накопительными культурами сопровождалась образованием метана.

Для определения функциональной роли прокариот в процессах биodeградации нефти проведена аннотация геномов из метагеномных массивов данных (MAG) трех образцов ДО района нефтепроявления у р. Б. Зеленовская. Анализ геномных данных, полученных из образца ДО, соответствующего глубине керна 10 см (БЗ_10), позволил реконструировать 31 MAG, из образцов кернов с глубины 100 см (БЗ_100) – 156 MAG и 180 см (БЗ_180) – 80 MAG, принадлежащих домену *Archaea* и аннотированных из метагеномов БЗ_100 и БЗ_180, наибольшее количество генов, связанных с путями деградации промежуточных продуктов окисления углеводов, было выявлено в реконструированных геномах *Bathyarchaeia*. Метагеномный анализ микробных сообществ ДО, отобранных на разной глубине в районе природного нефтепроявления, показал наличие генов, ответственных за деградацию УВ. Гены аэробного окисления *n*-алканов и ПАУ в метагеномах глубинных осадках либо не встречались, либо встречались с минимальной частотой. В метагеноме подповерхностного образца преобладали гены, участвующие в активации ПАУ посредством кислорода независимого гидроксирования, в глубинных генах (присоединения фумарата к ароматическим соединениям). Гены активации УВ путем деароматизации установлены со схожей частотой во всех метагеномах.

Шестая глава посвящена микробным сообществам ДО в районах разгрузки УВ. Установлено, что состав микробных сообществ ДО, ассоциированных с разгрузкой УВ, является схожим на уровне филумов, но различается на уровне семейств. Так, в поверхностных ДО нефте-метановых сипов бактерии, осуществляющие синтрофное окисление УВ с образованием метана при участии метаногенных архей, представлены семействами *Anaerolineaceae* (*Chloroflexota*) и *Syntrophaceae* (*Desulfobacterota*), а в глубинных – семействами *Dehalococcoidaceae* и *Smithellaceae*, что, вероятно, обусловлено различным компонентным составом УВ по глубине осадочной толщи. Основное различие в таксономическом составе микробных сообществ наблюдалось между подповерхностными и глубинными осадками, что обусловлено различиями в составе филума *Thermoproteota*, доля которого варьировала от 8 до 85% от выявленных последовательностей фрагментов гена 16S рПНК архей в различных типах геологических структур. В глубинных осадках районов разгрузки суммарная доля представителей порядка *Nitrososphaerales* не превышала 1%. В них доминировали представители класса *Bathyarchaeia*, чья доля составляла до 60% в нефте-метановых сипах и до 51% суммарно во всех образцах. Анализ микробных сообществ 75 образцов ДО оз. Байкал, отобранных как в фоновых районах, так и в зонах разгрузок газо- и нефтенасыщенных флюидов, показал, что возрастание доли метаногенных микроорганизмов происходит от фоновых осадков к осадкам нефте-метановых сипов. Наибольшая относительная численность метаногенных архей выявлена в богатых органическим веществом ДО нефте-метановых сипов Горевой Утес и Б. Зеленовская, где их доля превышала 20% даже в поверхностных слоях. При этом состав сообществ сходен с таковым в фоновых районах и грязевых вулканах. Выявление последовательностей микроорганизмов, имеющих ближайших гомологов из географически весьма отдаленных от оз. Байкал районов, обусловлено их вертикальной миграцией совместно с глубинными флюидами из зоны генерации УВ, либо из гидротерм, расположенных на глубине ~4–6 км. На рубеже миоцена и плиоцена, была сформировалась современная система срединно-океанических хребтов в Мировом океане.

В седьмой главе рассматривается углеводородокисляющая активность микробных сообществ водной толщи и ДО в аэробных условиях. Здесь описано разнообразие культивируемых углеводородокисляющих микроорганизмов, наличие генов аэробного окисления *n*-алканов и способность к синтезу поверхностно-активных веществ. Детекция генов окисления *n*-алканов (*alkB*) у чистых культур аэробных углеводородокисляющих микроорганизмов посредством ПЦР-амплификации с тремя группами специфичных праймеров показала, что большая часть исследованных штаммов (76%) содержала *alk* гены III группы, ответственные за деградацию широкого спектра *n*-алканов. У 10%

штаммов выявлены *alk*-гены I группы. *Alk*-гены II группы выявлены у представителей рода *Acinetobacter* sp. При изучении влияния стимуляторов роста (протатранов) на штаммы микроорганизмов, изолированные из оз. Байкал, обладающие способностью к синтезу биоПАВ и углеводородокисляющей активностью было установлено, что наблюдаются различия в степени влияния протатранов 1–3 (различающихся формулой) на рост двух штаммов микроорганизмов, отличающихся по физиолого-биохимическим свойствам. Полученные результаты показали перспективность исследований протатранов в качестве эффективных биостимуляторов роста, развития и активности бактерий-нефтедеструкторов. Преимуществом синтетических биостимуляторов 1–3 является их низкая стоимость, растворимость в воде, устойчивость при хранении, нетоксичность и эффективность в низких концентрациях

Выводы в автореферате и диссертации соответствуют задачам исследования.

Научная новизна диссертационной работы:

Впервые подтверждено присутствие жизнеспособных термофильных микроорганизмов в низкотемпературных (+4°C) осадках оз. Байкал в районах разгрузки УВ. 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. Доказано, что поступление термофильных микроорганизмов осуществляется с потоками флюидов из глубинной осадочной толщи.

Впервые, при воспроизведении условий, характерных для зоны генерации УВ (80°C, 5 МПа), в серии экспериментов с ДО оз. Байкал установлена способность микробных сообществ осуществлять преобразование ОВ (биомассы диатомовых водорослей) с образованием ретена, дибензотиофенов, три- и моноароматических стероидов, и гаммацерепа.

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. Установлено, что степень биodeградации УВ нефти достигает 65% в психрофильных условиях и 89% в термофильных. Выявлены основные участники окисления нефти в ДО оз. Байкал. Впервые показано, что реконструированные геномы бактерий и архей содержат функциональные гены активации УВ путем анаэробного гидроксирования, присоединения фумарата и деароматизации, а также гены, катализирующие метаболизм промежуточных ароматических соединений и

отвечающие за синтрофные превращения УВ. При этом происходит рост УВ (с 22.8 до 29.3%) на фоне снижения асфальто-смолистых компонентов (с 77.2 до 70.7%). Необходимо отметить, что при трансформации мазута после аварийного разлива в декабре 2025 г. в районе Керченского пролива, на пляжах Анапы в хлороформленном битумоиде из песчано-мазутной смеси с течением времени (через 2.5 месяца после разлива) уменьшалось количество УВ, в том числе и н-алканов относительно увеличения асфальто-смолистых компонентов. Полученные в работе данные дают новые знания о разнообразии, метаболизме и функциональной роли микроорганизмов осадочной толщи в районах разгрузки УВ в процессах их окисления и образования.

Достоверность результатов и обоснованность Выводов

Исследования районов оз. Байкал, ассоциированных с разгрузкой УВ, были проведены с привлечением современных методов анализов и обработки результатов. Для анализа использовали современное аналитическое оборудование в центре коллективного пользования физико-химического ультрамикрoанализа ЛИН СО РАН. При этом применяли наиболее распространенные в современной органической геохимии методы, в частности метод хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС). Статистическая обработка результатов, включала кластеризацию последовательностей в операционные таксономические единицы, которую осуществляли с использованием баз данных (в частности база SILVA) и программных пакетов. Результаты, приведенные в диссертации, опубликованы в журналах, имеющий высокий рейтинг, в том числе ДАН, Микробиология, Геология и геофизика, Geomicrobiol. J. и др. Во многих статьях Павлова О.Н. – первый автор.

Практическая значимость, полученных результатов

Выделенная и описанная в работе 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 углеводородоокисляющих бактерий *Rhodococcus erythropolis*. Изобретение 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 оз. Байкал (Патент на изобретение №2694593, 2019).

Полученные штаммы углеводородоокисляющих 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.

Замечания по диссертационной работе:

1. **Общее замечание** – отсутствие Выводов после каждой главы, содержащей основные результаты. Если бы они существовали, то не нужно было бы делать **Заключение** в конце диссертации.
2. Нельзя согласиться с защищаемым положением №4: «Постоянство площади нефтяного высачивания в двух районах нефтепроявлений оз. Байкал обусловлено деятельностью микроорганизмов...», так как действие микроорганизмов возникает из-за геологического строения этих районов.
3. В главе 4 неправильно комментируют изменение величины CPI (отношение нечетных к четным алканам в высокомолекулярной области), считая, что ее уменьшение вызвано преобразованием УВ в осадке. Наоборот, при преобразовании УВ происходит рост наиболее устойчивых, нечетных высокомолекулярных алканов, что должно увеличивать величину CPI. ГХ-МС анализ позволяет вычислять другие маркеры в составе алканов, для определения их происхождения и трансформации. В частности отношение низко/высокомолекулярные гомологи – L/H, которое уменьшается при трансформации УВ, так как происходит разложение низкомолекулярных, наименее устойчивых алканов. Неправильная фраза: «В составе фенантронов отмечается также наличие ретена». Фенантрен и ретен – это разные полиарены.
4. Главу 1.4., литературного обзора про оз. Байкал (особенно разделы про метановые сипы и природные нефтепроявления) лучше частично перенести в другие главы, так как много ссылок на работы автора диссертации.
5. Автор отмечает, что изменение поведения как микроорганизмов, так и УВ связано с окислительно-восстановительной обстановкой в осадке, но не приводит величину Eh, что необходимо при интерпретации данных.
6. В тексте диссертации заметна некоторая небрежность. В частности, Введение и глава 1 в диссертации начинаются с одной и той же фразы: «Морские и пресноводные осадки – крупнейший резервуар органического углерода ...». Введенная аббревиатура не используется, лучше было бы вывести аббревиатуру отдельно (например, в начало диссертации), чтобы можно было бы к ней возвращаться при прочтении текста.

Заключение, выводы по работе

Диссертация Павловой Ольги Николаевны «Микробные сообщества осадочных отложений озера Байкал в районах разгрузки углеводов» на соискание ученой степени **доктора** биологических наук по специальности 1.5.11. Микробиология является завершенной, целостной и законченной научно-квалифицированной работой, которую можно рекомендовать в печать в виде монографии. Диссертация соответствует требованиям пп. 9-11, 13-14 «Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями на 16.10.2024 г.), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора биологических наук по специальности 1.5.11. Микробиология.

Я, Немировская Инна Абрамовна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,

Немировская Инна Абрамовна

Доктор геолого-минералогических наук,
Главный научный сотрудник
Аналитической лаборатории
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки

Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук
Нахимовский проспект, д. 36, Москва, 117997

Тел. +79104508460

e-mail: nemir@ocean.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена докторская диссертация: 04.00.10 Геология океанов и морей

22 сентября 2025 г.

Подпись Немировской И.А. заверяю:



Зав. канцелярией ИО РАН