

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт общей и экспериментальной биологии  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИОЭБ СО РАН)  
Сахьяновой М.ул., 6 Улан-Удэ г., 670047  
Тел.: 8(3012)434211, факс 8(3012)433034;  
E-mail: [ioeb@biol.bscnet.ru](mailto:ioeb@biol.bscnet.ru)  
ОКПО 03533369 ОГРН 1020300902511  
ИНН/КПП 0323039326/032301001

«Утверждаю»

Директор ФГБУН Институт  
общей и экспериментальной  
биологии СО РАН

д.б.н., проф. Л. Л. Убугунов

02.10.2019 № 15535/ -01-451

На № \_\_\_\_\_



2019 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации

о научно-практической ценности диссертации

Андреевой Дианы Валерьевны «Индикационная роль сульфатредуцирующих бактерий в оценке экологического состояния реки Амур», представленной на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.08 – экология (биологические науки)

**Актуальность темы исследования.** Диссертационная работа Д.В. Андреевой посвящена оценке экологического состояния р. Амур с использованием в качестве индикаторов группы сульфатредуцирующих бактерий, которые занимают важное место в цепи биогеохимических процессов, происходящих в воде и донных отложениях. Кроме того, были исследованы микробные сообщества, которые развиваются на границе раздела фаз «лед-вода», в особом биотопе с резко отличающимися от водной толщи условиями среды. Целью исследования было определение особенностей функционирования сульфатредуцирующих бактерий в основных компонентах водной экосистемы р. Амур и выявление

индикационной роли бактерий этой группы в оценке экологического состояния экосистемы. Важность своевременного экологического мониторинга и оценки состояния экосистемы р. Амур обусловлена ее особым трансграничным положением, зарегулированностью, наличием крупных промышленных центров и высокой антропогенной нагрузкой, большим количеством разнообразных поллютантов, поступающих с крупными притоками. Кроме того, высокую актуальность работе придают исследования, проведенные во время и после наводнения 2013 г., создавшего сложно прогнозируемую экологическую ситуацию. Отсутствие стабильного гидрологического режима, широкая амплитуда колебаний параметров могли быть причиной смены доминирующих групп микроорганизмов в составе микробных сообществ воды и осадков. Увеличение доли аллохтонного вещества способствовало увеличению скорости и величины потока энергии через бактериопланктон, возрастанию доли фотоавтотрофного звена и, как следствие, увеличению продукции экосистемы, увеличению трофности и снижению разнообразия биоты. Также негативное влияние затопления состоит в резком ухудшении санитарно-эпидемиологической обстановки и изменении качества поверхностных вод.

**Новизна исследования.** Впервые на обширном материале показаны особенности распространения сульфатредуцирующих бактерий в воде, донных отложениях и льдах реки Амур в разные периоды его гидрологического режима (до наводнения, в период наводнения и после). Предложен специальный коэффициент  $R(H_2S)$  для определения экологического риска образования сероводорода в зонах аккумуляции взвешенных веществ с высоким содержанием органических соединений. Этот коэффициент позволяет определить направленность процессов в трансформации и деструкции органических веществ при интенсивном эвтрофировании водных экосистем. Пионерными являются работы по изучению пространственно-временной структуры сульфидогенного сообщества в зависимости от содержания органического вещества и тяжелых

металлов в период ледостава. Показано, что в результате деятельности сульфатредуцирующих бактерий формируются условия для процессов метилирования ртути во льдах.

**Значимость результатов для науки и практики.** Рассматриваемая работа вносит существенный вклад в познание экологической роли процесса сульфатредукции для водных экосистем. Полученные результаты обладают научной ценностью: значительно расширяют и углубляют современные представления об индикационной роли и метаболическом потенциале сульфатредуцирующих бактерий в пресных водоемах, в условиях раздела фаз «лед-вода», их роли в биогеохимических процессах в условиях эвтрофирования водных экосистем. Сульфатредуцирующие бактерии могут быть предложены в качестве биоиндикаторов экологического состояния, полученные в работе результаты могут быть использованы при оценке современных экологических рисков, последствия и прогноза природных и антропогенных преобразований.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.** Д.В. Андреевой получены новые данные о распространении сульфатредуцирующих бактерий в различных экологических зонах р. Амур, в районах наиболее сильного антропогенного вмешательства. Автор, в целом, корректно применяет научную терминологию, последовательно и логично освещает структуру исследования. Достоверность защищаемых положений, результатов и выводов подтверждена большим объемом материала, опирается на статистическую обработку данных и не вызывает сомнений.

Сделанные автором выводы обоснованы, соответствуют поставленным целям и задачам, следуют из содержания диссертационной работы. Материалы диссертационной работы опубликованы в 33 печатных работах, 4 из них – в журналах из перечня ВАК. Результаты представлены на Всероссийских и международных конференциях и симпозиумах. Количество публикаций соответствует требованиям ВАК для кандидатских диссертаций.

**Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению.** Диссертация Д.В. Андреевой построена по традиционной схеме и состоит из списка сокращений, введения, 5 глав, выводов и списка литературы. Работа изложена на 133 страницах, содержит 26 рисунков и 19 таблиц. Список литературы репрезентативен, включает 245 источник. Работа логично структурирована, грамотно изложена.

Введение включает описание актуальности темы исследования, научной новизны, теоретической и практической значимости работы, апробации проведенного исследования на конференциях и в печати. Также во введении обозначены цель и задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту.

Обзор литературы в главе 1 достаточно информативен, охватывает разноплановые исследования по экологии и функциональным особенностям сульфатредуцирующих бактерий. Обобщена информация по изучению генетических, эволюционных и биохимических аспектов метилирования ртути. Проанализированы результаты исследований по геохимическому фону и загрязнению бассейна р.Амур тяжелыми металлами, росту содержания ртути в воде р.Амур в отдельные сезоны.

Глава 2 посвящена описанию объектов и методов исследования и включает описание метода отбора проб и характеристику исследованных образцов из различных экологических зон р. Амур. Дана достаточно подробная характеристика района исследований, определены районы наиболее сильного антропогенного вмешательства – в зоне крупных притоков Зeya, Бурея, Сунгари и в промышленных узлах городов Хабаровск, Амурск и Комсомольск-на-Амуре. Представлены методы спектрофотометрических и микробиологических исследований, а также методы статистической обработки результатов.

Полученные результаты представлены в главах 3, 4, и 5. Распространению сульфатредуцирующих бактерий в воде р. Амур в 2012-2014 гг. посвящена глава 3. В ней подробно исследована динамика и

особенности распределения сульфатредуцирующих бактерий в различные периоды изменения гидрологического режима, в том числе во время и после крупного наводнения, на четырех створах в пределах Среднего Амура. Глава 4 представляет результаты анализа пространственного распределения и динамики развития сульфатредуцирующих бактерий в донных микробных сообществах. Глава 5 посвящена мало изученным биогеохимические процессам с участием сульфатредуцирующих бактерий, происходящих в толще речного льда. Было изучено пространственное распределение сульфатредуцирующих бактерий в реке Амур в период ледостава после катастрофического наводнения в 2013 году. Сульфатредуцирующие бактерии, являясь ключевыми микроорганизмами, участвующие в процессах метилирования ртути в период ледостава, могут повышать риски накопления тяжелых металлов во льду и воде реки Амур. Очевидным достоинством работы является значительный объем данных по распределению растворенных и ароматических органических веществ в разных слоях льда по профилю р. Амур в разные годы исследований, включая период после наводнения, представленный в Главе 5. Это позволило определить степень влияния серьезного нарушения гидрологического режима и поступления большого количества аллохтонного органического вещества.

Несмотря на очевидную актуальность проведенных исследований и их экологическую значимость, возникло несколько принципиальных вопросов и замечаний:

- 1) На какой среде проводили учет численности сульфатредуцирующих бактерий при проведении микробиологических исследований? Как указано в диссертации (Глава 2. Объекты и методы исследования, стр. 35) и в автореферате (стр. 6) сульфатредуцирующие бактерии выращивали на среде Морриса (Горленко и др., 1977; Методы..., 1983). Для выявления и учета культивируемых сульфатредуцирующих бактерий рекомендуются среды Баар (Kluuver and Baars 1932), Старки (Starkey, 1938), Постгейта (Postgate, 1984), Видделя (Widdel, Bak, 1992) в различных их модификациях.

2) Несмотря на большой объем исследуемых проб воды, льда и донных осадков (суммарно 330 пробы), в работе, к сожалению, не представлена их физико-химическая характеристика (температура, рН, окислительно-восстановительный потенциал, содержание кислорода, сульфатов и другие важные для функционирования микробных сообществ экологические характеристики местообитаний). Это затрудняет восприятие работы, не способствует полному обсуждению полученных результатов и приводит к нескольким вопросам, связанным с пониманием активностей микробиологических процессов.

3) В литературном обзоре, в главе, посвященной экологическому значению процесса сульфатредукции для водных экосистем, говорится о необходимости реального знания растворенных форм сероводорода и определяющего влияния рН на это соотношение (стр. 15). Проводились ли автором подобные исследования значения рН среды в формировании структуры пула растворенных форм сероводорода?

4) Многочисленные исследования по распространению и интенсивности процесса бактериального восстановления сульфатов демонстрируют, что интенсивность процесса в водных экосистемах с различной трофностью зависит от наличия сульфата и количества присутствующего органического вещества (Widdel, 1988; Capone & Kiene, 1988; Sinke et al., 1992 и др.). Разумеется, существуют значительные сезонные колебания в скорости восстановления сульфатов на терминальном этапах деструкции ОВ, что было продемонстрировано на различных водных экосистемах (Sinke et al., 1992; Holmer and Storkholm, 2001; Vokal-Nemec et al., 2006). Сезонные изменения контролировались колебаниями первичной продуктивности и скорости седиментации, а также температуры и наличия сульфатов.

В данном исследовании проведена оценка содержания органического вещества и сероводорода, в то же время не представлены данные по содержанию сульфатов в воде и осадках в местах отбора проб. Данные представленные в таблице 12 отражают содержание сульфатов в воде р.

Амур в различные года и сезоны, однако неясно, как эти данные соотносятся с исследуемыми участками и временем отбора проб в настоящем исследовании. Численность и активность бентосных микробных сообществ оценивалась в пробах августа 2007 г. и июля 2009 г. Результаты по определению численности СРБ могут служить надежными идентификаторами активности процесса сульфатредукции лишь в совокупности с данными химических анализов по содержанию сульфатов и других субстратов для процесса сульфатредукции, либо по оценке скорости образования сероводорода. Т. е. получается, что основные выводы по активности процесса сульфатредукции были сделаны лишь на основании численности СРБ, без использования надежных методов оценки интенсивности процесса. Содержание  $H_2S$  в местах индикации не отражает его происхождение, и не может служить надежным индикатором активного процесса сульфатредукции.

5) В качестве индикаторных показателей для оценки функционирования микробных сообществ были использованы численность и активность микробных комплексов. На рис. 8, 10 и 12 представлены результаты определения активности бентосных микробных комплексов, выраженные через определение оптической плотности при 600 нм. Каким образом все же определялась активность микроорганизмов, ведь определение ОП при 600 нм отражает лишь рост, т. е. накопление биомассы бактерий на определенных субстратах? Как можно подтвердить утилизацию субстратов без оценки изменения концентрации субстратов или же продуктов метаболизма? Что выступало контролем в данном эксперименте? В работе Инкиной (1984), на которую ссылается автор, оценка активности микробного комплекса бактериопланктона основывалась на оценке коэффициента гетеротрофной активности, который устанавливается по отношению количества кислорода, поглощенного бактериями за 24 ч в склянке с добавлением субстрата, к количеству кислорода, поглощенного за этот же срок в контрольной склянке.

б) На наш взгляд, было уместно использовать современные молекулярно-генетические методы для исследований микробного разнообразия сульфидогенного сообщества. При отсутствии сведений об интенсивности процесса сульфатредукции результаты о присутствии и разнообразии группы сульфатредуцирующих бактерий или функциональных генов могли бы подтвердить их участие в биогеохимических процессах в местообитании.

Отмеченные замечания не отражаются на общей положительной характеристике представленной диссертационной работы. Диссертация Андреевой Дианы Валерьевны является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлены научно обоснованные решения актуальной задачи, имеющей важное значение для развития экологического мониторинга экосистемы р. Амур, формированию прогнозных состояний в период наводнений и оценке влияния тяжелых металлов на состояние экосистемы реки и функционирование микробных сообществ различных экологических зон.

**Соответствие автореферата основным положениям диссертации.** Содержание автореферата полностью отражает основные положения диссертации.

**Подтверждения опубликованных основных результатов исследования в научной печати.** Содержание диссертации в достаточной мере отражено в 33 печатных работах: 4 экспериментальных статьях и 29 тезисах и материалах международных, всероссийских и региональных конференций.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленном о порядке присуждения научных степеней.**

Диссертационная работа Андреевой Дианы Валерьевны «Индикационная роль сульфатредуцирующих бактерий в оценке экологического состояния реки Амур» по актуальности, новизне и значимости в полной мере отвечает требованиям, изложенным в п. 9 «Положения о порядке присуждении ученых

степеней», утвержденного правительством Российской Федерации 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.08 – экология (биологические науки)

Отзыв на диссертацию Д.В. Андреевой обсужден и одобрен на заседании лаборатории микробиологии ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН (Протокол № 9 от 20 сентября 2019 г.).  
Сведения об организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения Российской академии наук» (ИОЭБ СО РАН). Адрес: 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6.  
Тел. (3012)43-42-41, факс (3012)43-30-34, e-mail: ioeb@biol.bscnet.ru.

Заведующий лабораторией  
микробиологии

ФГБУН ИОЭБ СО РАН,  
кандидат биологических наук

  
Бархутова Дарима Дондоковна

Научный сотрудник  
лаборатории микробиологии  
ФГБУН ИОЭБ СО РАН,  
кандидат биологических наук



Зайцева Светлана Викторовна

Подпись заверяю  
ученый секретарь  
ФГБУН ИОЭБ СО РАН,  
кандидат биологических наук



Козырева Людмила Павловна

Сведения о ведущей организации  
по диссертационной работе Андреевой Дианы Валерьевны на тему  
«Индикационная роль сульфатредуцирующих бактерий в оценке экологического  
состояния реки Амур», представленной на соискание ученой степени кандидата  
биологических наук по специальности 03.02.08 - экология (биологические науки)

1. Полное наименование и сокращенное наименование организации в соответствии с уставом:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИОЭБ СО РАН)

2. Почтовый адрес: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,  
телефон (3012)434211; 434575, факс (3012) 433034  
адрес электронной почты: [ioeb@biol.bsnet.ru](mailto:ioeb@biol.bsnet.ru)  
адрес официального сайта в сети «Интернет»: <http://www.igeb.ru>

3. Составителя отзыва:

Бархутова Дарима Дондоковна, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией микробиологии ФГБУН ИОЭБ СО РАН;

Зайцева Светлана Викторовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории микробиологии ФГБУН ИОЭБ СО РАН

4. Список основных публикаций работников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых журналах за последние 5 лет:

1. Зайцева С.В., Абидуева Е.Ю., Намсараев Б.Б., Лисин Ванг, Линху Ву. Микробное сообщество донных осадков солоноватого щелочного озера Белое (Забайкалье) // Микробиология. 2014. Т. 83. № 6. С.722-729.
2. Козырева Л.П., Егорова Д.В., Ананьина Л.Н., Плотникова Е.Г., Намсараев Б.Б. Микробное разнообразие целлюлозоразлагающего сообщества песчаного мата озера Зун-Торей (Южное Забайкалье) // Биология внутренних вод. 2014. № 2. С. 40-46.
3. Kozyreva L., Egorova D., Anan'ina L., Plotnikova E., Ariskina E., Prisyazhnaya N., Radnaeva L., Namsaraev B. *Belliella buryatensis* sp. nov., isolated from the Lake Solenoe (Buryatia, Russia) // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2015. V. 66(1). P.137-43.
4. Gaisin V., Kalashnikov A., Sukhacheva M., Namsaraev Z., Barhutova D., Gorlenko V., Kuznetsov B. Filamentous anoxygenic phototrophic bacteria from cyanobacterial mats of Alla hot springs (Barguzin Valley, Russia) // Extremophiles. 2015. V.19. P. 1067-1076.
5. Раднагуруева А.А., Лаврентьева Е.В., Будагаева В.Г., Бархутова Д.Д., Дунаевский Я. Е., Намсараев Б.Б. Органотрофные бактерии горячих источников Байкальской рифтовой зоны // Микробиология. 2016. Т. 85. № 3. С. 347-360.
6. Лаврентьева Е.В., Раднагуруева А.А., Банзаракцаева Т.Г., Базаров С.М., Бархутова Д.Д., Ульзетуева И.Д., Хахинов В.В., Чернявский М.К., Кабилов М.Р.

Филогенетический анализ микробного мата горячего источника Гарга (Байкальская рифтовая зона) и разнообразие природных пептидаз // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 8. С. 959-963.

7. Татаринев А.В., Яловик Л.И., Кашкак Е.С., Данилова Э.В., Хромова Е.А., Хахинов В.В., Намсараев Б.Б. Минералого-геохимические особенности бактериальных матов и травертинов термального источника Хойто-Гол (Восточные Саяны) // Геология и геофизика. 2017. Т.58. №1. С. 60-73.

8. Burganskaya E.I., Bryantseva I.A., Gaisin V.A., Grouzdev D.S., Rysina M.S., Barkhutova D.D., Baslerov R.V., Gorlenko V.M., Kuznetsov B.B. Benthic phototrophic community from Kiran soda lake, south eastern Siberia // Extremophiles. 2017. V. 22(2). P. 211-220.

9. Karnachuk O.V., Kadnikov V.V., Panova I.A., Mardanov A.V., Beletsky A.V., Danilova E.V., Avakyan M.R., Ravin N.V. Genome sequence of the copper resistant and acid-tolerant *Desulfosporosinus* sp. BG isolated from the tailings of a molybdenum-tungsten mine in the Transbaikal area. Genomics Data. 2017. 11. P. 106-108.

10. Lavrentyeva E.V., Radnagurueva A.A., Barkhutova D.D., Belkova N.L., Zaitseva S.V., Namsaraev Z.B., Gorlenko V.M., Namsaraev B.B. Bacterial diversity and functional activity of microbial communities in hot springs of the Baikal rift zone // Microbiology. 2018. V. 87, N. 2. P. 272–281.

11. Эрдынеева Е. Б., Раднагуруева А. А., Дунаевский Я. Е., Белькова Н. Л., Намсараев З.Б., Лаврентьева Е.В. Аминопептидазная активность галоалкалофильных бактерий рода *Halomonas*, выделенных из содово-соленых озер пустыни Бадаин Жаран // Микробиология. 2018. Т. 87. № 4. С. 538-548.

12. Зайцева С.В., Абидуева Е.Ю., Раднагуруева А.А., Базаров С.М., Бурюхаев С.П. Структура микробных сообществ в осадках щелочных озер Забайкалья с различной минерализацией / Микробиология. 2018. Т. 87. № 4. С. 1–11.

13. Намсараев З.Б., Горленко В.М., Бурюхаев С.П. Сукцессионные изменения микробного сообщества щелочного озера Хилганта в засушливый период // Микробиология. 2018. Т. 87. № 4. С. 458-464.

14. Tsydenova B.V., Dagurova O.P., Garankina V.P., Dambaev V.B., Matafonov D.V., Baturina O.A. Abundance and taxonomic composition of bacterioplankton in freshwater Lake Gusinoe (Buryatia) in the warm water zone of the Gusinoozerskaya thermal power plant // J. Sib. Fed. Univ. Biol. – 2018. – V. 11. - № 4. – P. 356-366.

Верно

Директор ФГБУН ИОЭБ СО РАН,  
д.б.н., профессор  
« 10 » сентября 2019 г.

М.П.



Убугунов Л.Л.