

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора биологических наук,  
профессора Дрюккер В.В. на диссертационную работу Андреевой Дианы  
Валерьевны «Индикационная роль сульфатредуцирующих бактерий в оценке  
экологического состояния реки Амур», представленную на соискание  
ученой степени кандидата биологических наук  
по специальности 03.02.08 – Экология (биологические науки)

**Актуальность темы исследования.** Диссертационная работа Д.В. Андреевой посвящена мало изученной проблеме по исследованию особенностей многолетнего функционирования сульфатредуцирующих бактерий в различных компонентах водной экосистемы: вода, донные отложения, лед для индикации и оценки экологического состояния р. Амур, включая часто повторяющиеся в последние годы периоды катастрофических наводнений.

**Река Амур** входит в число **10-ти крупнейших рек мира**, имея значительную протяженность, большую площадь водосбора и существенную водность. Река относится к **сложной трансграничной водной экосистеме**, бассейн которой расположен на территориях четырех государств: Российской Федерации (1002 тыс. км<sup>2</sup>), Китая (820 тыс. км<sup>2</sup>), Монголии (32 тыс. км<sup>2</sup>) и Северной Кореи (около 5 км<sup>2</sup>). На двух крупных левобережных притоках сооружены Зейская и Бурейская ГЭС, в бассейне самого крупного притока – р. Сунгари введен в строй комплекс гидротехнических сооружений, включающий водохранилища различного назначения, а так же целлюлозно-бумажные, химические и нефтеперерабатывающие предприятия. Такое интенсивное хозяйственное освоение больших территорий в бассейне р. Амур оказывает значительное влияние на формирование водного стока, прохождение паводков и как следствие – на качество вод этой мощной реки. В последнее время в среднем и нижнем течении этой крупной речной системы стали чаще наблюдаться катастрофические наводнения, вызываемые различными причинами и сопровождающиеся значительным экономическим и людским ущербом в этом регионе. Поставленная цель в данной диссертационной работе направлена на **решение фундаментальных задач**, связанных с оценкой роли сульфатредуцирующих бактерий в формировании сероводородных зон на различных участках реки, установлением резистентности бентосных сульфатредуцирующих бактерий к тяжелым металлам в зонах влияния крупных притоков, особенностям динамики численности этих бактерий при изменении гидрологического режима в

периоды наводнения, влияния органических веществ на пространственное распределение сульфатредуцирующих бактерий во льдах реки, определением резистентности этих бактерий к ртутному загрязнению в период ледостава. Поскольку в результате активизации процессов сульфатредукции в водных экосистемах мира ухудшается санитарно-экологическая обстановка, исследование участия сульфатредуцирующих бактерий в биогеохимических процессах **чрезвычайно актуально**, а результаты подобного комплексного одновременного изучения воды, донных отложений и льда в различные сезоны года позволяют **прогнозировать изменение в экологической ситуации** р. Амур и его бассейна.

**Научная новизна исследования.** Основные результаты исследований диссертанта являются новыми и оригинальными, **теоретическая значимость** которых заключается, прежде всего в том, что полученные автором данные вносят определенный вклад в развитие экологии как науки, поскольку для выявления риска образования сероводорода в зонах аккумуляции взвешенных веществ с высоким содержанием органических соединений, **впервые предложен метод расчета коэффициента риска**, который позволяет определить направленность ведущих биогеохимических процессов в трансформации и деструкции органических веществ в контактной зоне вода-дно при участии сульфатредуцирующих, а так же аммонифицирующих бактерий. Автором **установлены факторы среды**, влияющие на численность и распределение сульфатредуцирующих микроорганизмов. **Впервые** исследована пространственно-временная динамика распределения этих бактерий во льдах р. Амур, отражающая содержание в них органических веществ. Показано, что существуют пролонгированные риски поступления метилртути в прибрежные акватории Дальневосточных морей во время весеннего ледохода. Выполненные исследования **имеют и большое практическое значение**: предлагается использовать сульфатредуцирующие бактерии из воды, донных отложений и льда в качестве биоиндикаторов экологического состояния р. Амур; рекомендуется численность и активность сульфатредуцирующих бактерий использовать для прогнозирования формирования локальных сероводородных зон; проводить оценки загрязнения компонентов экосистемы р. Амур тяжелыми металлами и риска метилирования ртути; контролировать периодичность технологических сбросов воды из Зейского и Бурейского водохранилищ, как поставщиков детрита.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 133 страницах машинописного текста, включает: Введение, Обзор литературы – Глава 1, Объекты и методы исследования – Глава 2, Собственные исследования –

Главы 3, 4, 5, Выводы, Список литературы, состоящий из 245 наименований, из которых 127 на русском языке, 118 на английском языке. В работе содержится 19 таблиц и 26 рисунков. Автореферат диссертации отражает основное содержание проведенных научных исследований, содержание автореферата совпадает с содержанием диссертации.

Во «**Введении**» автор обосновывает актуальность работы, формулирует цель, задачи исследований, защищаемые положения, научную новизну и практическую значимость. Здесь же указаны: апробация работы, имеющиеся публикации по ней, структура и объем диссертации, личный вклад в выполненную работу.

**Глава 1** представляет собой обзор литературы по теме диссертационного исследования, изложенный на 17 страницах хорошим стилем и легко воспринимается. В главе обобщены и представлены сведения об истории открытия и изучения сульфатредуцирующих бактерий, экологическом значении процесса сульфатредукции для водных экосистем, филогенетическом разнообразии этих бактерий – приведена современная филогенетическая дендрограмма, построенная на основании анализа полных последовательностей гена 16 рРНК известных СРБ (Muyzer, Stams, 2008). Рассмотрен вопрос о аэротолерантности сульфатредуцирующих бактерий, а так же о распространении их в окружающей среде по экологическим нишам. Завершается данная глава разделом о сульфатредуцирующих бактериях – метиляторах ртути, в котором автор показал широкое распространение ртутного загрязнения в водных объектах, почвах, подземных водах, зоне многолетней мерзлоты, а так же описываются конкретные бактерии, которые играют важную роль в метилировании ртути, в том числе и сульфатредуцирующие, которые способны развиваться при температурах близких к 0°C. Андреева Д.В. рассматривает результаты ранее проведенных исследований различных авторов и по ртутному загрязнению экосистемы р. Амур. Таким образом, всестороннее обсуждение темы диссертационной работы свидетельствует о хорошем знании автором соответствующей мировой литературы.

**Глава 2** посвящена объектам и методам исследования (с. 27-39). В ней подробно описаны основные современные методические приемы, которые автор работы использовал для решения поставленной цели и задач: выяснение гидрологических особенностей р. Амур и его основных притоков; определены периоды и схемы отбора проб воды, донных отложений и льда; подробно изложены микробиологические методики с указанием конкретного состава питательных сред, использованных для выращивания различных групп микроорганизмов - приведена таблица; указаны методы изучения

потенциальной активности микробных комплексов, органического вещества, токсичных элементов (ртуть, свинец, кадмий), ароматических соединений, массовой концентрации сероводорода и др. Для достоверности получаемых результатов все эксперименты проводились в трехкратной повторности с использованием соответствующих контролей. Всего проанализировано 84 пробы воды, 136 проб донных отложений и 110 проб льда, выполнено около 750 микробиологических и около 500 спектрофотометрических определений. Полученные результаты обработаны современными статистическими методами.

**В Главе 3** (с. 40-51) Андреева Д.В. приводит собственные результаты изучения особенностей распределения сульфатредуцирующих и других групп бактерий (результаты обработаны статистически) в воде р. Амур на фоне содержания растворенного органического вещества до наводнения в 2012 г., в период катастрофического наводнения 2013 года и в послепаводковый период 2014 г. Автором установлена закономерная связь между микробиологическими показателями и гидрологическим режимом, когда при повышении уровня воды в р. Амур происходило увеличение численности сульфатредуцирующих бактерий (СРБ) на всех исследованных створах. Увеличение численности СРБ было связано с поступлением органических веществ различного генезиса. В послепаводковый период отмечались существенные изменения численности и структуры микробных сообществ СРБ, участвующих в биогеохимических процессах разложения растворенных органических веществ. Результаты микробиологических исследований объясняют особенности распределения органических веществ в реке в районе г. Хабаровск: вдоль левого берега распространяются гумифицированные органические вещества, поступающие при зимних сбросах воды из Зейского и Бурейского водохранилищ, а вдоль правого берега распространяются воды, загрязненные органическими веществами антропогенного стока из р. Сунгари.

**Глава 4** (с. 52-72) посвящена изучению численности и активности бентосных сульфатредуцирующих бактерий р. Амур. Андреевой Д.В. установлено, что высокая численность и активность индикаторных групп бентосных микроорганизмов (КГБ, СРБ, АМБ, НБ, ДНБ), участвующих в трансформации органических веществ в донных отложениях, определяется влиянием комплекса абиотических и биотических факторов: местообитанием микробценозов, гидрологическим режимом, гидрохимическим составом водной среды, наличием зон аккумуляции тяжелых металлов. Максимальная численность и активность роста бентосных СРБ и культивируемых гетеротрофных бактерий установлена в донных отложениях ниже впадения р.

Сунгари. Влияние стока этого крупного притока р. Амур распространяется вдоль правого берега до гг. Хабаровск, Амурск, Комсомольск-на-Амуре, что вызывает экологический риск образования сероводородных зон на всем этом участке реки. Здесь установлены максимальные значения коэффициентов риска  $R(H_2S)$  – от 4.2 до 6.8. Методом биоиндикации установлено загрязнение донных отложений р. Амур тяжелыми металлами (ртуть, кадмий, свинец). Индикаторные группы бентосных микроорганизмов, участвующие в круговороте цикла серы и азота, оказались максимально адаптированы к ртутному загрязнению в 1 ПДК (0.0005 мг/л) в зоне влияния стока р. Сунгари и в районе г. Хабаровск. Бентосные аммонифицирующие и СРБ проявили максимальную устойчивость к концентрации ионов кадмия (0.001 мг/л) и свинца (1.0 г/л) в зоне влияния стока рек Зея и Бурея.

**В Главе 5** (с. 73-100) рассмотрены результаты изучения пространственного распределения сульфатредуцирующих бактерий в период ледостава на р. Амур. Автор совершенно справедливо указывает, что внутриводоемные процессы, происходящие зимой, во многом определяются функционированием биологических комплексов в контактной зоне вода-лед. Однако, наименее изученными являются биохимические процессы, происходящие в толще речного льда, который может выступать аккумулятором токсических веществ. На основании тщательно проведенного изучения содержания органических веществ в воде и толще (разных слоях) льда р. Амур, сульфатредуцирующих и культивируемых гетеротрофных бактерий, а так же содержания ртути во льдах автор отмечает не только устойчивость к использованным в исследованиях концентрациям ртути, но и некоторое стимулирование роста микроорганизмов по сравнению с контролем. Автор высказывает предположение, что выявленная устойчивость сульфатредуцирующих бактерий обусловлена их адаптацией к ртутному загрязнению донных отложений и включением этих микроорганизмов в толщу льда в составе детрита при сбросах водных масс из водохранилищ.

Диссертация заканчивается пятью обоснованными выводами по выполненной работе, которые дают основание полагать, что **сульфатредуцирующие бактерии могут быть использованы для оценок экологического состояния водных экосистем при комплексном мониторинге их.**

**Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.** Работа Андреевой Д.В. выполнена на высоком научно-методическом уровне. Поставленные задачи диссертант решала с использованием адекватных, информативных современных методов исследования. Кроме **натурных**

исследований были поставлены экспериментальные работы. Полученные результаты документированы таблицами и рисунками и обработаны статистически, что не вызывает сомнения в их достоверности. На основе анализа полученных результатов Андреева Д.В. обосновала основные выводы и положения, которые отражают содержание диссертационной работы и соответствуют поставленным задачам. Представленная диссертация имеет большое научно-практическое значение в области экологии и характеризует автора как квалифицированного специалиста, способного грамотно формулировать цели исследований, успешно решать поставленные задачи и анализировать полученные результаты.

По материалам диссертации автором опубликовано 33 печатных работы, из них 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, результаты доложены на многочисленных Международных и Российских научных конференциях. Все это указывает, что личный вклад в выполненную работу Андреевой Д.В. очень высокий.

**Выполненная работа диссертанта нова, интересна, содержательна, но при оценке ее возникли замечания и вопросы, относящиеся в большей степени к оформлению работы:**

в диссертации –

1. хотя по существу - это экологическая работа, но выполнена на микроорганизмах, и потому в «Обзоре литературы» необходимо было коротко осветить современную общую классификацию микроорганизмов и положение в ней сульфатредуцирующих бактерий, притом, что имеется раздел «История открытия и изучения сульфатредуцирующих бактерий»;

2. на стр. 8 в разделе «Структура и объем работы» написано, что в диссертации имеется «Заключение», однако его в тексте нет?

3. на стр. 10 имеется ссылка на авторов Майер и Кон, но в Списке литературы их нет?

4. на стр. 12 сделана ссылка на Grossi et al., 2007, но в Списке литературы этой работы нет?

5. на стр. 16 сделана ссылка на Тимофееву, 1991, но в Списке Литературы ее нет?

6. на стр. 36 в разделе «Объекты исследования» написано: «II створ – 3 км Среднего Амура». Как это понимать?

в автореферате –

7. на рис. 2, 7 и 9 сложно разобраться в обозначениях столбцов.

Сделанные замечания не снижают научной ценности и результатов выполненной диссертационной работы. Принципиальных замечаний по работе нет.

**Заключение.** Представленная диссертационная работа Андреевой Д.В. является самостоятельным, законченным квалификационным исследованием, представляющим научный интерес, полученные результаты являются новыми, оригинальными. В целом работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842 и принятых к нему дополнений от 21 апреля 2016 г., № 335, а также квалификационным требованиям Высшей Аттестационной Комиссии РФ. Считаю, что автор диссертации, Андреева Диана Валерьевна, заслуживает присуждения искомой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.08 – экология.

**Официальный оппонент:**

**Дрюккер Валентин Валерьянович**, профессор, доктор биологических наук по специальности 03.02.08 – экология, главный научный сотрудник лаборатории водной микробиологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук.

Адрес: Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278,  
Тел. (3952) 42-54-15, электронная почта: [drucker@lin.irk.ru](mailto:drucker@lin.irk.ru)

17.09.2019 г.

Подпись профессора, доктора биологических наук Дрюккер Валентина Валерьяновича заверяю.

Ученый секретарь ЛИН СО РАН, к.б.н.



Н.В. Максимова

Сведения об официальном оппоненте  
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).

Фамилия, Имя, Отчество официального оппонента	Дрюккер Валентин Валерьянович
Ученая степень, наименование научной специальности и отрасли науки, по которым защищена диссертация; ученое звание (при наличии)	Доктор биологических наук, 03.02.08 – Экология, профессор
Полное и сокращенное наименование организации в соответствии с Уставом, являющейся основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения РАН (ЛИН СО РАН)
Структурное подразделение, должность	Лаборатория водной микробиологии, главный научный сотрудник
Почтовый индекс, адрес организации	664033, г. Иркутск, 33, ул. Улан-Баторская, 3
Веб-сайт	<a href="http://www.lin.irk.ru">http://www.lin.irk.ru</a>
Телефон	8(3952) 426-504
Адрес электронной почты	<a href="mailto:info@lin.irk.ru">info@lin.irk.ru</a>
Список основных публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	1.Sugiyama Y., P.G. Hatcher, R.L. Sleighter, T. Suzuki, C. Wada, T. Kumagai, O. Mitamura, T. Katano, Sh. Nakano, Y. Tanaka, <b>V.V. Drucker</b> , V.A. Fialkov, M. Sugiyama. Developing an understanding of dissolved organic matter dynamics in the giant Lake Baikal by ultrahigh resolution mass spectrometry // Limnology.- 2014.- V. 15.- №2.- P. 127-139. DOI: 10.1007/s10201-014-0424-5. 2.Краснопеев А.Ю., Букшук Н.А., Потапов С.А., Дамдинсурэн Н., Ханаев И.В., <b>Дрюккер В.В.</b> , Белых

	<p>О.И. Генетическое разнообразие бактериальных сообществ, ассоциированных с больными губками озера Байкал // Известия ИГУ. Серия «Биология. Экология».- 2016.- Т. 16.- С. 3-14.</p> <p>3.Штыкова Ю.Р., <b>Дрюккер В.В.</b>, Сороковикова Е.Г., Жученко Н.А., Зименс Е.А., Белых О.И. Санитарно-микробиологический и токсикологический мониторинг озера Байкал. Часть 1: Акватория Малого моря в 2016 г. // Системы контроля окружающей среды.- 2018.- №11(31).- С. 110-114.</p> <p>4.Belykh O.I., <b>Drucker V.V.</b> Microbiological studies of Lake Baikal in Limnological Institute: past and present // Limnology and Freshwater Biology.- 2018.- №1.- P. 18-27. DOI: 10.31951/2658-3518-2018-A-1-18.</p> <p>5.Mochizuki A., T. Murata, K. Hosoda, T. Katano, Y. Tanaka, T. Mimura, O. Mitamura, S. Nakano, Y. Okazaki, Y. Sugiyama, Y. Satoh, Y. Watanabe, A. Dulma, C. Ayushsuren, D. Ganchimeg, <b>V.V. Drucker</b>, V.A. Fialkov, M. Sugiyama. Distributions and geochemical behaviors of oxyanion-forming trace elements and uranium in the Hovsgol-Baikal-Yenisei water system of Mongolia and Russia // J. Of Geochemical Exploration.- 2018.- V. 188.- P. 123-136. DOI: 10.1016/j.gesplo.2018.01.009.</p> <p>6.Shtykova Yu. R., Suslova M. Yu., <b>Drucker V.V.</b>, Belykh O.I. Microbiological water quality of Lake Baikal: a review // Limnology and Freshwater Biology.- 2019.- №2.- P. 210-217. DOI: 10.31951/2658-3518-2019-A-2-210.</p>
--	--

Верно.

Ученый секретарь ЛИН СО РАН, к.б.н.

«05» июля 2019 г.



*Handwritten signature in blue ink.*

Максимова Н.В.