

Отзыв
официального оппонента к.б.н. Патовой Елены Николаевны на
диссертационную работу Смирновой Светланы Викторовны
«Цианопрокариоты водных объектов национального парка «Валдайский»
(Новгородская область)», представленную на соискание ученой степени
кандидата биологических наук по специальности 03.02.01 – «Ботаника»

Работа С.В. Смирновой посвящена анализу видового состава и распространения в разнотипных водоемах особо охраняемой природной территории Нижегородской области, важного функционального компонента водной альгофлоры - фототрофных микроорганизмов *Cyanoprokaryota/Cyanophyceae/Cyanobacteria* (*Cyanophyceae/Cyanobacteria*) в соответствии с положениями Международного кодекса номенклатуры водорослей, грибов и растений и Международного кода номенклатуры прокариот).

Актуальность исследований, проведенных С.В. Смирновой, обусловлена слабой изученностью цианопрокариот в водных биотопах Валдайской возвышенности – важного водораздела Восточно-Европейской равнины. Здесь сосредоточены водные объекты, оказывающие влияние на водосборы крупнейших рек европейской России. С целью сохранения редкого озерно-лесного комплекса Валдайской возвышенности создан Национальный парк «Валдайский» важным структурно-функциональным компонентом водоемов парка являются цианопрокариоты. Они влияют на качество воды и жизнь гидробионтов, участвуют в процессах круговорота органического вещества и биогенных элементов в водоемах, оказывают влияние на газовый режим водной толщи. Среди этой группы фототрофных организмов встречаются также виды способные продуцировать токсины, оказывающие негативное воздействие на гидробиоценозы. Кроме того, многие из цианопрокариот могут быть использованы в качестве индикаторов для оценки экологического состояния водоемов этой особо охраняемой природной территории. Для большинства регионов России до настоящего времени сведения о разнообразии этой группы споровых организмов во флористических сводках немногочисленны и ограничиваются сведениями в основном для планктонных сообществ, а также относительно хорошо изучены цианопрокариоты наземных экосистем северных и арктических регионов европейской России. Сведения по перифитонным и бентосным группам цианопрокариот немногочисленны, связано это с тем, что для таксономической идентификации представителей этой группы споровых организмов необходимо подробное изучение морфологических признаков, что требует особого подхода к отбору проб в природных условиях, систематического детального наблюдения за природными популяциями, и выделения штаммов. Также в настоящее время для изучения этой группы стали широко применять молекулярно-генетические подходы, что привело к пересмотру таксономического положения многих групп цианопрокариот, описанию большого числа новых родов и видов. В условиях роста антропогенной нагрузки на природные экосистемы и изменения климата к важным направлениям альгологических исследований относят выявление токсичных видов. Проведение таких наблюдений необходимо для понимания условий способствующих усилению процессов токсичного «цветения» водоемов. Важным направлением альгофлористических исследований является выявление редких видов водорослей, что необходимо для разработки мер по их охране, а также мест их обитания. Необходимо отметить, что флористические, систематические и экологические исследования цианопрокариот, проведенные С.В. Смирновой, являются важной составной частью инвентаризации разнообразия водорослей водоемов различных регионов России, постановка проблем в рассматриваемой работе представляется интересной и, несомненно, актуальной.

Целью диссертационной работы С.В. Смирновой было изучение флоры Cyanoprokaryota разнотипных водоемов национального парка «Валдайский». Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Ботаническом институте им. В.Л. Комарова Российской академии наук, под руководством ведущего специалиста по разнообразию и таксономии цианопрокариот Р.Н. Беляковой.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав, выводов, приложения, списка цитируемой литературы, включающего 378 источников, из которых 171 зарубежных. Работа изложена на 176 страницах, содержит 13 таблиц, 25 рисунков. В приложениях на 25 страницах приведено 89 микрофотографий видов и штаммов.

Две первые главы диссертационной работы представляют литературный обзор.

В первой главе диссертации дан подробный обзор положения цианопрокариот в системе органического мира. Также рассмотрены результаты изучения флоры цианопрокариот Новгородской области, процессов «цветения» воды при их участии и токсических свойствах этой группы организмов. Для анализа и обсуждения полученных данных С.В. Смирновой привлечены многочисленные литературные источники. На основе проведенного анализа показано, что видовое разнообразие цианопрокариот в водоемах Новгородской области до начала исследований автора было слабо изучено (выявлено всего 17 планктонных видов). Проанализированы причины и частота возникновения процессов «цветения» воды и выделены наиболее часто отмечаемые для северных водоемов токсины цианопрокариот. Во второй главе приведено описание физико-географических характеристик района исследований. Дана характеристика охранной зоны национального парка «Валдайский», особенностей климата, геологии и гидрографии исследуемой территории.

В третьей главе содержится подробная информация об использованных автором материалах и методах исследования. Для подготовки диссертационной работы собран обширный фактический материал в 230 разнотипных водоемах. Проанализировано 892 пробы. Определение цианопрокариот проведено с использованием светового микроскопа на основе классических морфологических подходов, широко применяемых в альгологии при изучении таксономического разнообразия. Определение цианопрокариот проведено с привлечением крупных зарубежных и отечественных таксономических сводок, а также современных статей по данной группе. Сравнение видового состава выполнено с привлечением методов, применяемых в сравнительной флористике, с использованием коэффициента Сёрнсена и метода главных компонент. Для оценки потенциальной токсичности цианопрокариот были применены молекулярно-генетические методы, изучены фрагменты генов ферментов, отвечающих за синтез микроцистинов. Идентификация токсинов выполнена методами жидкостной хроматографии.

Результаты исследований обобщены С.В. Смирновой в четырех последующих главах диссертации. В четвертой главе приведен конспект флоры цианопрокариот водных объектов национального парка «Валдайский», включающий 254 вида. Особую ценность представляют сведения по морфологии, распространению и обилию видов, а также сведения об их экологических и географических характеристиках. Научный интерес представляют выполненные автором микрофотографии (представлено 76 видов и 13 штаммов) которые дополняют описание морфологических особенностей исследованных видов, а также цветные макрофотографии процессов «цветения» вод в разнотипных водоемах.

В пятой главе автором выполнен анализ флоры цианопрокариот водоемов национального парка «Валдайский». Всего в водоёмах и болотах парка обнаружено 254 вида и 4 внутривидовых таксона цианопрокариот, принадлежащих к трём подклассам, 6 порядкам, 29 семействам и 69 родам. 175 видов выявлены впервые для Новгородской области, 29 видов впервые для территории России. Автором показано, что в таксономической структуре преобладают представители семейства *Leptolyngbyaceae* (30

видов), *Nostocaceae* (29 видов), *Oscillatoriaceae* (25 видов). К ведущим родам отнесены *Leptolyngbya* (22 вида), *Cylindrospermum* (11 видов), *Anabaena*, *Calothrix*, *Pseudanabaena* и *Dolichospermum* (по 10 видов), а также *Oscillatoria* и *Phormidium* (по 9). Выявлены особенности исследованной флоры в сравнении с флорами цианопрокариот прилегающих к ООПТ регионов (Новгородская, Ленинградская и Псковская области) относительно хорошо изученных в отношении водорослей и близких по географическому положению и климату. Показано, относительное сходство флор цианопрокариот национального парка «Валдайский» со сравниваемыми флорами цианопрокариот по основным показателям и по коэффициенту Сёрнсена. Полученные автором результаты указывают на хорошую изученность цианопрокариот национального парка и стабильные условия для развития этой группы микроорганизмов в исследованных водоемах. Автором выделены комплексы доминантов, а также отмечены редкие виды цианопрокариот. С.В. Смирновой из исследуемых водоемов описаны два новых для науки вида рода *Stichosiphon*: *Stichosiphon longus* S.V.Smirnova et Beljakova, *Stichosiphon tener* S.V.Smirnova et Beljakova, и еще один вид *Stichosiphon* sp. находится в стадии описания. Для данных видов в диссертации приведена подробная морфологическая и экологическая характеристика, рисунки и микрофотографии. Автором выполнен эколого-географический анализ исследуемой флоры. Показано, что в водоемах парка преобладают по приуроченности к местообитанию бентосные виды, по отношению к солёности воды - обитатели пресных вод, по отношению к кислотности среды – индифференты, что типично для альгофлор северных континентальных пресноводных водных объектов. Географический анализ, выполненный автором, показал, как и следовало ожидать, преобладание космополитных и субкосмополитных видов. Также, следует отметить важность находки в водоемах национального парка двух адвентивных, потенциально токсичных видов цианопрокариот (*Aphanizomenon yezoense*, *Cuspidothrix issatschenkoi*). Проведен анализ распределения видового разнообразия цианопрокариот в пяти разных типах водных объектов в разных условиях рН - фактора, оказывающего значимое влияние на распределение цианопрокариот в разнотипных водоемах.

В шестой главе рассмотрены проблемы охраны водорослей и включения цианопрокариот в региональные Красные книги. Проанализировано состояние этой группы спорных в региональных красных книгах и красной книге России, а также в красных списках ряда зарубежных стран. На основании проведенных исследований три вида цианопрокариот уже включены автором (в соавторстве с Р.Н. Беляковой) в Красную книгу Новгородской области, и четыре вида рекомендованы для включения в следующее ее издание.

В заключительной, седьмой главе С.В. Смирновой обсуждаются проблемы «цветения» воды в озерах национального парка «Валдайский» и результаты оценки потенциальной токсигенности и токсичности цианопрокариот. За период исследований было зарегистрировано массовое развитие цианопрокариот в 23 озёрах. Выделен комплекс возбудителей «цветения»: *Dolichospermum lemmermannii*, *D. planctonicum*, *Microcystis aeruginosa*, *M. wesenbergii*, *Aphanizomenon flexuosum*, *A. yezoense*. ПЦР-анализ биомассы планктонных водорослей оз. Короцкое и штаммов цианопрокариот, выделенных из озёр Короцкое и Плотишно, выявил наличие у них генов оперона микроцистин-синтазы. Анализ экстракта биомассы планктонных водорослей озера Короцкое показал наличие трёх структурных вариантов микроцистинов: LR, LW, LF. Проведенные исследования позволили сделать вывод о потенциальной опасности «цветений» воды в исследованных озерах.

Выводы соответствуют поставленным целям и задачам, обоснованы представленным в диссертационной работе материалом, полностью отражают полученные результаты и соответствуют положениям, выносимым на защиту.

Научная новизна. Впервые проведена инвентаризация цианопрокариот водных объектов национального парка «Валдайский», существенно дополнен список

цианопрокариот Новгородской области. В ходе работы составлен конспект флоры цианопрокариот водных объектов национального парка, включающий 254 вида и 4 внутривидовых таксона цианопрокариот, относящихся к 69 родам 29 семействам 6 порядкам и трём подклассам. Впервые для Новгородской области обнаружено 175 видов цианопрокариот, и 29 видов было впервые отмечено для России. Описано три новых для науки вида рода *Stichosiphon*. Обоснована необходимость охраны видов *Fortiea rugulosa* и *Snowella arachnoidea* на региональном уровне. Впервые для водоемов Новгородской области в биомассе планктонных цианопрокариот обнаружены гены оперона микроцистин-синтазы и выявлено наличие трёх структурных вариантов микроцистинов. В планктоне озера Короцкое методом жидкостной хроматографии высокого разрешения выявлено наличие микроцистинов.

Теоретическая значимость работы. Результаты работы развивают представления о таксономическом разнообразии цианопрокариот разнотипных водных объектов России. Особую ценность в таксономическом плане представляет составленный автором конспект флоры цианопрокариот водных объектов национального парка «Валдайский». Описано три новых для науки вида цианопрокариот. Расширены представления о распространении редких для России и редких в мировом масштабе таксонов. Получены первые сведения о токсичности цианопрокариот в водоемах Новгородской области.

Практическая значимость работы, рекомендации по использованию результатов. Собранный и обработанный материал пополнил коллекционные фонды Альгологического гербария Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (LE) и может быть использован специалистами, работающими в области изучения региональных альгофлор, систематики, экологии и генетики. Аннотированный список, приведенный в работе, со сведениями о морфологии (с микрофотографиями), экологии, географическом распространении исследованных видов является ценным материалом для составления конспекта флоры Новгородской области и кадастра споровых растений особо охраняемой природной территории – национального парка «Валдайский». Выявлены редкие виды цианопрокариот, нуждающиеся в охране. Результаты исследования использованы при написании Красной книги Новгородской области. Обнаружение в планктоне озёр парка потенциально токсигенных штаммов и токсинов микроцистинов в биомассе планктонных водорослей может быть использовано для проведения санитарно-биологического анализа качества вод «цветущих» водоёмов национального парка «Валдайский». Материалы диссертации могут быть рекомендованы для использования при чтении спецкурсов по альгологии, систематике низших растений, экологии, гидробиологии на биологических факультетах в высших учебных заведениях.

Автореферат диссертации в полной мере отражает все основные положения работы и соответствует ее содержанию.

Замечания и вопросы.

1. Автором выявлено 29 новых видов для территории Российской Федерации. Для анализа привлечено относительно много обобщающих монографических работ и научных статей. Несмотря на это, считаю, что автором не достаточно полно проанализирована литература по распространению этой группы на территории России. Например, в список литературы (стр. 148-176) не включены обобщающие работы по разнообразию водорослей и цианопрокариот для ряда регионов России: Псковская обл. (Афони́на, 2016); Карелия и Мурманская обл. (Штина и др., 1981; Комулайнен, 1996; Шаров, 2002; Комулайнен и др. 2008); Большеземельская тундра (Гецен и др., 1994; Трифонова, Петрова, 1994); Полярный Урал (Биоразнообразие экосистем Полярного Урала, 2007), Южный Урал (Снитько, 2009); Республика Башкирия и Алтай (Шкундина, 1993, 1999 и др.), Западная Сибирь (Науменко, 1991, 1992, 1994 и др.; Сафонова, Ермолаев, 1983, 1990) и многие другие. Не привлечена база данных по биоразнообразию цианопрокариот <http://www.krabg.ru/cyanopro>, где обобщены сведения по разнообразию и распространению цианопрокариот в арктических регионах. Поэтому, с большой вероятностью можно ожидать, что при более подробном

анализе публикаций, содержащих флористические списки, число видов новых для России, отмеченных автором, может быть значительно ниже.

2. Для анализа флоры цианопрокариот национального парка «Валдайский» логично взяты результаты обследования флор цианопрокариот близлежащих регионов (Ленинградской, Псковской, Новгородской областей) в основном это работы по изучению фитопланктонных сообществ крупных озер и водотоков, часто испытывающих сильный антропогенный пресс (перечень работ приведен на стр. 81). Полезно было бы сравнить полученные сведения с результатами обследования этой группы на особо охраняемых природных территориях северных регионов России, где изучены разные экологические группы цианопрокариот, включая заповедники и национальные парки Карелии (Комулайнен и др., 2006), Мурманской области (Давыдов, 2010; Шалыгин, 2012; Шалыгин, Давыдов, 2014), Республики Коми (Патова, 2005; Патова и др., 2010, 2016). Можно было привлечь данные материалы для анализа, что позволило бы более объективно продемонстрировать значение и роль цианопрокариот в формировании альгофлор особо охраняемых территорий в не затронутых антропогенной деятельностью природных комплексах.

3. С.В. Смироновой (в соавторстве с научным руководителем к.б.н. Р.Н. Беляковой) описаны три новых вида цианопрокариот из рода *Stichosiphon*. В настоящее время при выделении новых видов цианопрокариот используют полифазный подход с описанием морфологии, экологии видов, а также молекулярно-генетических данных. К сожалению, при описании новых видов автор ограничился только описанием морфологии и экологии, впервые описанных видов, что в дальнейшем может вызвать трудности с валидацией данных видов международным научным сообществом.

4. Рассмотрены вопросы дифференциации водных объектов (озера, ручьи, ключи, и т.д.) в зависимости от распределения в них цианопрокариот. В качестве основного фактора, рассмотрена кислотность среды, с чем связан выбор именно этого показателя в качестве основного? Известно, что на распределение цианопрокариот по разным типам водоемов оказывают значимое влияние минерализация вод, состав основных ионов и концентрация в воде основных биогенных элементов, в первую очередь соединений фосфора и азота. К сожалению, эти гидрохимические показатели не были изучены. Хотя такие сведения были бы важным дополнением для понимания экологии видов (особенно редких и токсичных), а также дополнили бы представления о факторах оказывающих решающее влияние на возникновение процессов «цветения» водоемов и продуцирования токсинов.

5. В конспекте флоры (стр. 36-75) отсутствуют сведения о субстратной приуроченности перифитонных и бентосных видов, такая информация существенно дополнила бы представления об экологии исследованных видов цианопрокариот.

6. Определена только одна группа токсинов – микроцистины, в работе нет объяснения (стр. 34-35, 141-144), чем был обусловлен выбор именно этой группы и почему не были обследованы другие гены и токсины цианопрокариот?

7. Согласно табл. 12 (стр. 138) «цветение» воды в исследованных водоемах национального парка вызывают в основном виды родов *Dolichospermum*, *Aphanizomenon* и *Microcystis*, а потенциальная токсигенность определена у штаммов, относящихся к родам *Aphanothece* и *Geitlerinema* (табл. 13, стр. 141, прил. 18, 19). Виды этих родов не отмечены в списке видов доминантов и субдоминантов (табл. 12), вызывающих «цветение» воды. Насколько корректно, в таком случае, заключение об опасности вод озер парка?

8 Отмечено «цветение» токсичных видов в 23 водоемах национального парка, но, не дана оценка уровня токсичности цианопрокариот - при какой концентрации токсинов в водной среде возможно негативное воздействие на здоровье людей?

9. Хотелось бы также получить от автора аргументированные комментарии по поводу включения микроскопических видов цианопрокариот в Красную книгу Нижегородской

области, на сколько это целесообразно для практического использования, так как их идентификация возможна только узкими специалистами, а также к настоящему времени, как отмечает сам автор, довольно слабо изучено распространение рекомендуемых к охране видов.

Заключение. Анализ текста диссертационной работы показывает, что цель и задачи, поставленные автором, выполнены в полном объеме. С.В. Смирновой методически правильно собран и обработан значительный объем проб исследованной группы фототрофных организмов. Исследования выполнены с использованием современных таксономических и флористических подходов и проанализированы с привлечением отечественных и зарубежных публикаций. Достоверность выводов не вызывает сомнений. Диссертационная работа является существенным вкладом в развитие альгологических исследований, направленных на изучение разнообразия цианопрокариот одного из северных регионов России. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достоверны и обоснованы новым научным материалом. Указанные замечания не уменьшают ценности работы. Результаты исследований, представленные в диссертации, отражены в 16 научных публикациях, из них 5 статей в рецензируемых журналах, в том числе 3 из них опубликованы в журналах, включенных в «Перечень научных изданий и журналов, рекомендуемых ВАК Министерства образования и науки РФ». Количество публикаций достаточно для присуждения искомой ученой степени. Материалы диссертации апробированы на 8 российских и международных научных конференциях. Автореферат отражает содержание рукописи диссертации.

Диссертационная работа «Цианопрокариоты водных объектов национального парка «Валдайский» (Новгородская область)», по новизне, актуальности, объему выполненных исследований и практической значимости, достоверности полученных результатов является законченным научно-квалификационным исследованием и соответствует критериям пункта 9, установленным «Положением о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, а её автор – Смирнова Светлана Викторовна, заслуживает присуждения искомой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.01 — «Ботаника».

Патова Елена Николаевна, кандидат биологических наук
(по специальности 03.02.01 «Ботаника»),
доцент, ведущий научный сотрудник,
с возложением обязанностей руководителя группы геоботаники и сравнительной
флористики Отдела флоры и растительности Севера
Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
e-mail: patova@ib.komisc.ru
телефон: 8(8212)216488

Почтовый адрес организации: 167982, Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Россия
факс: 8(8212)240163,
e-mail: directorat@ib.komisc.ru

| | |
|---|-----------------|
| Подпись (и) <i>С.Н. Патова</i> | заверяю, |
| Ведущий документооборот Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» | |
| <i>О.И. Заболоцкая</i> | |
| <i>«10» октября</i> | 20 <i>21</i> г. |

