

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
НА ДИССЕРТАЦИОННУЮ РАБОТУ
КУЛИЗИНА ПАВЛА ВЛАДИМИРОВИЧА
«СОСТАВ, СТРУКТУРА И СУКЦЕССИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ВОДОТОКОВ ЮГА
ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ В ПРЕДЕЛАХ ВОДОСБОРА СРЕДНЕЙ ВОЛГИ»,
ПРЕДСТАВЛЕННУЮ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1.5.15. – Экология (БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)**

Работа П.В. Кулизина посвящена анализу видового состава, таксономической и экологической структуры фитопланктонных сообществ в разнотипных лотических экосистемах, а также выявлению закономерностей их изменения в результате влияния природных факторов и антропогенного воздействия на основе обобщения многолетних наблюдений.

Актуальность исследований П.В. Кулизина обусловлена необходимостью решения одной из фундаментальных задач водной экологии, направленной на выявление закономерностей динамики состава и структурной организации планктонных сообществ разнотипных водных объектов. Большинство исследований фитопланктонных сообществ водотоков направлено на выявление видового состава водорослей и количественных показателей и не рассматривают проблемы структурной организации, сукцессии, экологии сообществ и отдельных видов. Альгологические исследования фитопланктона рек также чаще всего ограничены короткими сроками наблюдений, либо исследованиями в течение нескольких сезонов, число работ, ориентированных на выявление сукцессии в многолетнем аспекте с учетом влияния экологических факторов, определяющих эти процессы, незначительно. Диссертационная работа П.В. Кулизина направлена на выявление закономерностей динамики состава и структурной организации фитопланктона на основе анализа многолетних рядов наблюдений с учетом сезонной динамики и экологических факторов, что и определяет актуальность исследований.

Актуальность исследований определяется и тем, что рамках диссертационной работы П.В. Кулизиным проведено изучение фитопланктонных сообществ в притоках р. Волги – одной из главных водных артерий Российской Федерации, имеющей важное хозяйственное значение и испытывающей сильнейшее антропогенное воздействие. Исследованные реки имеют статус слабо трансформированных или трансформированных в устьевых участках. Многолетние наблюдения за фитопланктона таких водотоков позволяют на основе альгоиндикации охарактеризовать их экологическое состояние, провести оценку качества вод и организовать биологический мониторинг водной среды в условиях изменения климата и роста антропогенной нагрузки.

Необходимо отметить, что флористические и экологические исследования водорослей фитопланктона речных экосистем южной тайги, проведенные П.В. Кулизиным, являются важной составной частью инвентаризации разнообразия водорослей пресноводных водоемов различных регионов России.

Постановка проблем в рассматриваемой работе представляется интересной и, несомненно, актуальной.

Научная новизна. Впервые на основе длительных стационарных и маршрутных исследований морфологически различных притоков Чебоксарского водохранилища охарактеризован таксономический состав фитопланктона рек Ветлуга, Керженец и Вишня. Впервые выявлено 29 видов новых как для флоры региона, так и для России, а также потенциально новый для науки вид, на основе применения электронной микроскопии (СЭМ, ТЭМ) и молекуллярно-генетических методов из трудно идентифицируемых групп водорослей (центрические диатомовые, золотистые и криптофитовые). С применением молекуллярно-генетических методов (scRNA-seq) выявлено и подтверждено присутствие в

водотоках бассейна р. Волга шести инвазийных видов водорослей. Впервые на основе метагеномного анализа выявлен богатый флористический состав фитопланктона, исследуемых водотоков, установлено соотношение основных таксономических групп в формировании пропорций альгофлоры. Впервые получены данные о биомассе, сезонной динамике и пространственном распределении фитопланктона р. Ветлуга. Проведен сравнительный таксономический и эколого-географический анализ материалов по фитопланктону исследованных водотоков в период с 1970-х (Охапкин, 1997) до 2020-х гг. В ходе сукцессии фитопланктона установлены изменения размерной структуры альгоценозов исследованных рек в многолетнем аспекте. Выявлено постоянство диатомово-зеленого доминирующего комплекса в формировании разнообразия и структуры фитопланкtonных сообществ, при усилении развития мелкоклеточных форм (центрических диатомей, цианопрокариот) на фоне проявления инвазионных процессов на современном этапе функционирования водотоков. Впервые проведена оценка экологического состояния исследованных водотоков с использованием функциональной классификации фитопланктона и сравнение стандартных методов оценки сапробности с методами, принятыми в рамках Водной Рамочной Директивы ЕС.

Теоретическая значимость работы. Результаты работы развиваются представления о таксономическом разнообразии пресноводного фитопланктона разнотипных водных объектов России. Существенно дополняют представления об особенностях состава и структуры водорослей планктонных сообществ слабо трансформированных южно-таежных рек бассейна Средней Волги. Особую ценность представляет составленный автором список видов обследованных водотоков. Полученные данные дополняют сведения по экологии, ценологии и флористике пресноводных видов водорослей, сукцессии фитопланктона в южно- boreальных лотических экосистемах в сезонном и межгодовом аспектах.

Расширены представления о распространении чужеродных видов в бассейне р. Волги, что дополнит знания о развитии инвазионных процессов в условиях климатических изменений.

Практическая значимость работы, рекомендации по использованию результатов. Собранный и обработанный материал пополнил коллекционные фонды Института биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского и может быть использован специалистами, работающими в области изучения региональных альгофлор, систематики, экологии и генетики. Список видов, приведенный в работе, со сведениями об экологии и географическом распространении исследованных видов является ценным материалом для составления конспекта флоры бассейна Средней Волги и Нижегородской области. Полученные результаты будут востребованы для проведения комплексного биомониторинга рек Волжского бассейна, при составлении прогнозов изменения состава и структуры сообществ фитопланктона под влиянием изменения климата и антропогенного пресса. Результаты работы также могут быть использованы для проведения санитарно-биологического анализа качества речных вод исследованных водотоков, разработки мероприятий по их охране, и принятии управлеченческих решений по борьбе с распространением инвазийных видов в Волжском бассейне.

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе при чтении курсов «Основы альгологии и микологии», «Экология водорослей и грибов», «Биологические инвазии и их последствия», «Диатомовый анализ» в Институте биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Материалы диссертации могут быть также рекомендованы для использования при чтении спецкурсов по альгологии, систематике низших растений, экологии, гидробиологии на биологических факультетах в высших учебных заведениях Российской Федерации.

Краткая характеристика основного содержания диссертации. Цель диссертационной работы П.В. Кулизина - выявление на основе многолетних исследований основных тенденций изменения состава и структуры фитопланктона различных по

протяженности южно-таежных левобережных волжских притоков (рр. Ветлуга, Керженец и Вишня) и оценка его современного состояния.

Работа выполнена на базе кафедры ботаники и зоологии Института биологии и биомедицины федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», под руководством ведущего в России специалиста по изучению пресноводных фитопланктона сообществ, д.б.н. Охапкина Александра Геннадьевича.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения, выводов, списка цитируемой литературы и приложения. Работа изложена на 209 страницах, содержит 27 таблиц, 46 рисунков. В приложениях на 41 странице представлен иллюстративный и табличный материал, аннотированный список видов фитопланктона, а также список опубликованных работ.

В первой главе диссертации дан подробный обзор исследований состава и структуры фитопланктона равнинных рек бореальной зоны и проблемы их изучения. Рассмотрены особенности формирования фитопланктона сообществ Северной Америки, Евразии, Фенноскандии, Сибири и Европейской части России. На основе анализа литературных данных показано, что особенности видового состава речного фитопланктона обусловлены различным геоморфологическим строением территорий водосборов, составом слагающих пород, степенью залесенности, заболоченности, озерности и уровнем антропогенного воздействия. Анализ литературы по исследованиям фитопланктона сообществ водоемов Средней Волги позволил сделать диссертанту заключение, что речной фитопланктон в этом регионе и его продукционные возможности недостаточно полно изучены.

Во второй главе содержится подробная информация об использованных автором материалах и методах исследования. Для подготовки диссертационной работы собран обширный фактический материал на 9 стационарных и 15 дополнительных станциях. Обработаны пробы, собранные за 50-летний период (1970-2021 гг.). Проанализировано 296 количественных и качественных проб фитопланктона, а также для анализа были использованы архивные данные по исследуемым водотокам (161 проба). Идентификация водорослей проведена с использованием световой и электронной микроскопии (СЭМ, ТЭМ) и молекулярно-генетических методов. Определение видов выполнено с привлечением крупных зарубежных и отечественных современных таксономических сводок. Анализ таксономической структуры фитопланктона проводился методами, принятыми в сравнительной флористике. Для оценки ценотической структуры фитопланктона использованы индексы разнообразия. Качество воды исследуемых водоемов оценивалось с помощью общепринятых индексов сапробности Пантле и Букк в модификации Сладечека (Sladecek, 1973). Выделение функциональных групп и расчет индексов Q и EQR выполнено с использованием классификации Рейнольдса (1988, 2002), с модификациями Борикса. Для изучения связи абиотических факторов среды и показателей развития фитопланктона использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена и регрессионный анализ. Применен также анализ главных компонент. Дендрограммы иерархической кластеризации выполнены с использованием метода средней связи (Якимов и др., 2016). Выполнена статистическая обработка результатов с применением программ STATISTICA 12, и в среде R.

Во третьей главе П.В. Кулизин приводит описание физико-географических характеристик района исследований и расположении изученных рек Ветлуга, Керженец и Вишня. Обсуждает особенности гидрохимического состава вод рек юга таёжной зоны. Делает вывод, что гидрологический и гидрохимический режим исследованных рек отражает особенности территории водосбора, что определяет специфику состава и структуры альгоценозов.

Результаты исследований обобщены П.В. Кулизиным в пяти последующих главах диссертации.

В четвертой главе дан анализ флористического состава и эколого-географическая характеристика альгофлоры исследованных рек. Автором выявлено 812 видов (901 таксон,

включая номенклатурный тип вида), принадлежащих к 254 родам, 8 отделам. Показано, что основу флоры формируют представители отделов: Bacillariophyta, Chlorophyta, Euglenophyta и Ochrophyta. Проведено сравнение таксономического состава фитопланктона исследованных рек, наибольшее число видов выявлено для крупного водотока (р. Керженец). Выделены общие для всех рек и специфические виды. Применение электронной микроскопии позволило выявить 30 видов из класса Chrysophyceae, порядков Synurales и Paraphysomonadales. *Mallomonas jubata*, *Mallomonas retifera* и *Lepidochromonas poteriophora* впервые отмечены на территории России. Выявлен представитель рода *Mallomonas* потенциально новый для науки вид.

Дополнены прибавления о видовом разнообразии планктонных сообществ на основе метагеномных исследований. В результате в реках Ветлуга и Керженец выявлено 944 «условных таксономических единиц» из 7 отделов, показано преобладание представителей Chlorophyta (38% от общего числа таксономических единиц), Ochrophyta (35%), Bacillariophyta (9%), Dinophyta (8%), Cryptophyta (5%). Что подтвердило результаты, полученные с помощью классических подходов. Приведены результаты экологического анализа: показано преобладание в фитопланктонных сообществах планктонных видов, по отношению к солености - олигогалобов-индифферентов, по отношению к pH вод – индифферентов. По отношению к показателям сапробности воды выявлено преобладание β-мезосапробов. Отмечено, что за пятьдесят лет наблюдений состав альгофлор отдельных водотоков поменялся более чем наполовину.

В пятой главе, самой большой по объему, обсуждаются результаты изучения структурных показателей фитопланктона исследованных рек. Охарактеризованы сезонные и многолетние количественные показатели развития фитопланктона исследованных водотоков в безледный период. На основе показателей биомассы фитопланктона оценено изменение трофического статуса рек в многолетней динамике. Продемонстрировано, что для рек Ветлуга и Керженец за годы наблюдений он изменился с олиготрофно-слабомезотрофного уровня на мезотрофный, в р. Вишне развитие фитопланктона соответствовало уровню олиготрофных вод. На основании анализа избыточности (RDA) показано, что значимое влияние изменения фитопланктона могут объяснять изменение в водной среде температуры, содержания минерального азота, прозрачности, содержания кремния и углекислого газа. Также выполнен анализ состава и динамики доминирующих комплексов фитопланктона исследованных рек. В доминирующий комплекс включено 95 таксонов, отмечено преобладание функциональные группы фитопланктона при абсолютном доминировании диатомеи *Melosira varians*. Выполнена оценка некоторых показателей видовой структуры фитопланктона исследованных рек. На основе анализа индексов видового разнообразия фитопланктона показано, что в исследованных речных экосистемах наблюдалось формирование насыщенных видами сообществ, характеризующихся средним уровнем продуктивности, высокими эквитабельностью и индексом видового разнообразия при незначительных показателях доминирования. Отмечено, что выявленные закономерности могут быть индикаторами повышения трофического статуса водотоков и потепления климата.

В шестой главе П.В. Кулизиным приведены результаты изучения пространственного распределения фитопланктона по продольному профилю реки р. Ветлуги. В результате убедительно показано, что разнообразие фитопланктона исследуемой реки возрастет от истока к среднему течению, и снижается в устье реки. Отмечена неоднородность состава и распределения водорослей в русле водотока. В верховье реки выявлено обогащение водной толщи бентосными и эпифитными видами водорослей, в устье отмечено повышение количественных показателей развития фитопланктона, смена видового состава и доминирующих комплексов.

Седьмая глава содержит сведения об инвазийных видах водорослей в фитопланктоне исследованных рек. Для выявления таких видов использованы молекулярные и классические подходы, что позволило П.В. Кулизину выявить в фитопланктоне 6 инвазийных видов: *Unruhdinium kevei*, *Plagiotropis lepidoptera* var. *proboscidea*, *Thalassiosira faurii*, *T. incerta*,

Skeletonema subsalsum и *Gonyostomum semen*. Результаты исследования диссертанта подтверждают активность процессов экспансии данных видов водорослей не только в акватории волжских водохранилищ, но и в притоках р. Волги. Данные о развитии *P. lepidoptera* var. *proboscidea* представляют собой первые находки в водоемах бассейна р. Волги.

В заключительной, восьмой главе дана оценка качества воды исследуемых рек на основе различных подходов. Выявлено, что использование индексов сапробности, сообщества Q и показатель экологического качества EQR в ряде случаев не соответствовали друг другу и результатам гидрохимического анализа. Применение комплексного подхода на основе разных индексов позволило П.В. Кулизину получить более подробную информацию о качестве вод исследованных рек. Степень органического загрязнения (сапробности) вод исследованных рек соответствовала уровню умеренно загрязненных вод III класса качества.

Приложения содержат рисунки с филогенетическими древами для трех видов золотистых водорослей, таблицы с показателями индексов сапробности исследованных рек в многолетней динамике и список видов фитопланктона исследованных рек.

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

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

Замечания и вопросы по содержанию диссертации.

1. Для анализа фитопланктонных сообществ были использованы многолетние сборы, в методической части (стр. 40) не отмечено как были зафиксированы пробы. Хорошо известно, что разные способы фиксации материала и длительные сроки хранения проб приводят к потере части видов и групп водорослей за счет разрушения мелких и нежных форм. Учитывался ли этот фактор при проведении обработки архивных сборов и в анализе полученных результатов?

2. Расширение спектра изученных таксономических групп, применение новых подходов включая электронную микроскопию позволили диссидентанту выявить значительное число новых для района исследований трудноопределенных видов. При построении временных рядов в многолетнем интервале изменения таксономического состава фитопланктонных сообществ сделана ли поправка на то, что эти виды ранее просто не могли быть обнаружены или определены вследствие недоступности идентификационных ключей и электронных микроскопов?

3. В 3 главе (Физико-географическая характеристика района исследований, стр. 52-61) довольно подробно охарактеризованы особенности исследованных водотоков. Дан анализ рельефа, гидрологии, изменения гидрохимических параметров за 40-летний период наблюдений. А как изменилась антропогенная нагрузка на ландшафты водосборных территорий?

4. Одна из задач исследования - охарактеризовать видовой состав фитопланктона водотоков и провести его эколого-географический анализ. Такой анализ выполнен (стр. 77, табл. 4.8 диссертационной работы), но сведения об эколого-географической характеристике исследованных сообществ фитопланктона, к сожалению, не представлены в выводах в автореферате (стр. 21). В таблице 4.8 (стр. 77-78) дана общая эколого-географическая характеристика фитопланктонных сообществ исследованных водотоков. Считаю, что необходимо было проанализировать изменение соотношения разных экологических и географических групп фитопланктона во временной динамике, что дополнило бы представления о структурных изменениях фитопланктона в условиях изменения факторов среды.

5. На стр. 70 автор пишет «Сравнение соотношений крупных таксономических групп (отделов), полученных на основе морфологического и молекулярно-генетического

подходов, позволило продемонстрировать их определенное соответствие ($\chi^2=13.9$, при $p=0.05$), на грани возможности данного статистического подхода». Полученное значение критерия хи-квадрат скорее говорит о несоответствии результатов, полученных двумя методами. Но, замечание относится не к недоработке автора, а в целом к фундаментальной проблеме альгологии - на современном этапе развития метагеномных исследований результаты морфологического и генетического подходов дают разные результаты.

6. В RDA анализ (рис. 5.1.3, стр. 86) возможно было бы интересно включить в качестве климатических факторов не только температурные показатели, но и годовое количество осадков, которое оказывает влияние и на гидрологический и гидрохимический режим рек.

7. На рис. 6.1. (стр. 127) приведено уравнение регрессии между числом таксонов и номером станции. Это не совсем корректно, т.к. сам по себе номер станции не количественная величина и не может являться предиктором для регрессионных моделей. Логичнее было бы взять расстояние между станцией и истоком (или устьем) реки.

8. Не совсем понятно, почему на рис. 6.2 (стр. 128) диаграмма сходства видового состава фитопланктона строится на основе коэффициента Сёренсена, а на рис. 6.3 (б) (стр. 130) – на основе Евклидового расстояния? В целом, корректнее было бы использовать везде один индекс.

9. Небольшой комментарий по терминологии. Автор в тексте пишет «достоверно». Это подразумевает что наблюдаемые зависимости точно существуют. На самом деле все статистические критерии могут лишь сказать о вероятности какого-либо события. Корректнее было бы писать «значимо» на определенном уровне значимости (например, $p<0.05$).

10. Учитывая, что диссертант обобщил многолетний материал, на основе полученных данных работу можно было бы дополнить прогнозом развития фитопланктонных сообществ при разных сценариях направленности климатических флюктуаций и изменения степени антропогенной нагрузки на экосистемы рек района исследования.

Заключение. Анализ текста диссертационной работы показывает, что цель и задачи, поставленные автором, выполнены в полном объеме. П.В. Кулизыным методически правильно собран и обработан значительный объем проб фитопланктона. Исследования выполнены с использованием классических и современных подходов широко применяемых в альгологических и гидробиологических исследованиях фитопланктонных сообществ, для анализа результатов привлечена статистическая обработка. Полученные результаты проанализированы с привлечением отечественных и зарубежных публикаций. Достоверность выводов не вызывает сомнений. Диссертационная работа является существенным вкладом в развитие альгологических исследований, направленных на познание закономерностей формирования состава, структуры и динамики фитопланктонных сообществ речных экосистем южно-таежной зоны России в условиях климатических изменений и роста антропогенной нагрузки. 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 23 научных публикациях, из них 1 – коллективная монография, 5 статей в журналах, входящих в международные реферативные базы данных и систем цитирования, 2 статьи 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 17 российских и международных научных конференциях. Автореферат отражает содержание рукописи диссертации.

Диссертационная работа «Состав, структура и сукцессия фитопланктона водотоков юга таежной зоны в пределах водосбора Средней Волги» по новизне, актуальности, объему выполненных исследований и практической значимости, достоверности полученных результатов является законченным научно-квалификационным исследованием и

соответствует критериям пп. 9-11, 13, 14, установленным «Положением о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, а её автор – Кулизин Павел Владимирович, заслуживает присуждения искомой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15. Экология (биологические науки).

Официальный оппонент

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,

Институт биологии Федеральный исследовательский центр

«Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»

e-mail: patova@ib.komisc.ru

телефон: 8(8212)216488

31 марта 2023 г.

Dans l'

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>Е.Н. Малобоев</i>
заверена	
<p>Ведущий документовед 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"</p> <p><i>Ю.Л. Заболоцкая</i></p> <p>«31» марта 2023.</p>	