

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
НА ДИССЕРТАЦИЮ ТИКУШЕВОЙ ЛЮДМИЛЫ НИКОЛАЕВНЫ
«ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОДОРОСЛЕВЫХ СООБЩЕСТВ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО
ГАЗОПРОВОДА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ И БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКАЯ ТУНДРА)»,
ПРЕДСТАВЛЕННУЮ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1.5.15. Экология (биологические науки)**

Актуальность темы. Арктические экосистемы России, обеспечивая экономическую независимость нашей страны, испытывают колossalную антропогенную нагрузку в результате добычи природных ископаемых. Освоение месторождений нефти и газа, создание инфраструктуры переработки и транспортировки углеводородного сырья зачастую приводят к полному уничтожению природных ландшафтов. В силу труднодоступности региона для исследований в области биологического разнообразия, его инвентаризации и охраны, а также в связи с все возрастающей скоростью промышленного освоения региона, которое иногда начинается прежде, чем будут получены сведения о структуре тех или иных тундровых экосистем, актуальность диссертационной работы Людмилы Николаевны Тикушевой не вызывает сомнений. Комплексные исследования водоемов и водотоков Большеземельской тундры и Полярного Урала, направленные на изучение структуры альгоценозов, а также путей их трансформации в результате строительства и эксплуатации магистрального газопровода «Ямал-Центр», имеют большое значение для разработки теоретических и практических основ экологического нормирования и мониторинга легкоуязвимых высокогорных и тундровых гидробиоценозов в целом.

Научная новизна и практическая значимость работы. Автором диссертационной работы впервые получены сведения о таксономической, эколого-географической структуре альгоценозов водных объектов Полярного Урала и Большеземельской тундры в пределах бассейна р. Кара, находящегося в зоне антропогенного влияния магистрального газопровода. Определены химические показатели водной среды и донных отложений, а также основные загрязнители природных вод данных тундровых водоемов. Составлен аннотированный список водорослей как фоновых, так и подверженных антропогенному воздействию водных объектов этого малоизученного и труднодоступного района Субарктики. Полученные автором данные о таксономическом составе водорослей, их распространении и экологии могут быть использованы для составления сводок о региональной альгофлоре и определителей. Была разработана программа экологического мониторинга водных объектов в зоне влияния магистрального газопровода. Были предложены рекомендации для создания новой особо охраняемой природной территории Республики Коми в бассейне реки Силова-Яха. Результаты проведенных исследований также легли в основу лекционных и практических курсов по экологическому мониторингу и оценке воздействия хозяйственной деятельности человека на окружающую среду, которые проводятся на кафедре экологии ФГБОУ ВВО Сыктывкарского государственного университета им. Питирима Сорокина. Результаты, полученные Людмилой Николаевной в ходе выполнения диссертационной работы, значительно расширяют сведения о

биологическом разнообразии и структуре альгоценозов, подвергающихся антропогенному воздействию в результате строительства и эксплуатации магистрального газопровода.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Все полученные результаты и сформулированные выводы являются обоснованными, анализ первичного материала, полученного на 5 реках и 9 озерах бассейна р. Кара в течение трех лет исследований, проведен с использованием современных статистических методов.

Краткая характеристика основного содержания диссертации. Работа изложена на 140 страницах, содержит введение, 5 глав, заключение, выводы, иллюстрирована 31 рисунком, данные представлены в 12 таблицах и 7 приложениях. Список литературы включает 292 источника, в том числе 83 на иностранных языках.

В главе 1 рассматриваются история и результаты альгологических исследований водоемов Большеземельской тундры и Полярного Урала, начиная с 30-х годов XX века и до настоящего времени. Автором приведены данные по гидрохимии водных объектов этого района Арктики, на основе которых он выделяет особенности химического состава поверхностных вод водоемов горных и тундровых пресноводных экосистем, рассматривает изменение химических показателей в их водах при различных видах и уровнях антропогенного воздействия, а также определяет фоновые значения различных веществ в воде. На основе анализа литературных данных Л.Н. Тикушева приводит примеры реакции альгоценозов водоемов на изменение условий среды в результате антропогенного пресса различного генезиса, а также выделяет диагностические признаки альгоценозов фоновых и импактных водоемов.

Глава 2 посвящена детальной характеристике района исследований. На основании многочисленных литературных источников дается описание природно-климатических условий Большеземельской тундры и Полярного Урала: геологическое строение и рельеф, климатические особенности, почвенно-растительный покров, гидрографическая характеристика водных объектов данной территории.

В главе 3 приводится описание материалов и методов исследования. Объектом исследования являлись альгоценозы 5 рек и 9 озер, расположенных в бассейне р. Кара. Водные объекты были выбраны таким образом, чтобы захватить фоновые участки и импактные водные объекты, находящиеся в зоне влияния инфраструктуры магистрального трубопровода. Учитывая удаленность и труднодоступность района исследования, автором в течение 3-х лет собрано и проанализировано достаточное количество альгологического материала, включающего пробы фитопланктона, фитобентоса, мета- и перифитона, а также проб воды и грунта для химического анализа. Методы сбора, анализа и статистической обработки результатов исследований свидетельствуют о высоких навыках диссертанта как исследователя и отвечают всем необходимым требованиям, необходимым для достижения поставленной цели и решения задач работы.

Замечания и вопросы к Главе 3. 1). На с. 42 диссертации приводятся длина и ширина некоторых из исследованных в 2012 г. водоемов без названия. Традиционно размеры водоема даются как площадь водного зеркала (км^2). Также автором не приведены некоторые важные морфометрические показатели – форма котловины, глубина (максимальная и средняя), объем водных масс и т.д., играющие значительную роль в развитии биоты водоема. 2). На с. 44 неудачное выражение «Для подсчета...камеры

Горяева, определение биомассы отдельных клеток водорослей измеряли, используя окуляр-микрометр, получали среднее значение параметров» – из описания осталось непонятным, как и в каких единицах проводили определение биомассы водорослей. 3). На с. 45 обилие водорослей оценивается в количестве индивидов в препарате или ряду препарата – что является счетной единицей (индивидуом) в данном случае – клетка, ценобий, нить? 4). На с. 50 не слишком понятная формулировка четвертого методического подхода, использованного при установлении экологического состояния водных объектов. Автор говорит о большом накопленном материале по гидрохимии и гидроэкологии, составе альгоценозов водоемов, однако остается неясным, у кого имеются и кем накоплены данные сведения – автором или другими исследователями.

В главе 4 подробно анализируются химические показатели проб воды и донных отложений исследованных водных объектов, находящихся в зоне влияния магистрального газопровода (водные объекты бассейна р. Кара), а также водоемы и водотоки Большеземельской тундры с традиционным природопользованием (оленеводство). На основании проведенных исследований убедительно показано, что небольшие лентические экосистемы наиболее подвержены влиянию загрязнений, чем большие или лотические системы. Отмечено, что водоемы и водотоки в зоне влияния газопровода пока сохраняют свои природные черты, однако наблюдается повышение концентраций в воде и накопление в донных отложениях нефтепродуктов и некоторых тяжелых металлов (Fe, Zn, Cu, Hg), попадающих в водоемы с выхлопными газами автотранспорта и при смыте поллютантов с территории водосбора. Данная рекомендация использовать естественные возвышения ландшафта как преграду от пылевого техногенного загрязнения. В некоторых случаях отмечено образование локальных геохимических аномалий по содержанию цинка и меди в зоне влияния автотрасс. Выявлена опасная тенденция к хроническому загрязнению донных отложений водных объектов в зоне антропогенного воздействия ртутью, мышьяком и некоторыми другими поллютантами.

Глава 5 имеет наибольший объем диссертации и подразделена на пять подглав. В первой из них приводится таксономический, географический и экологический анализ водорослевых сообществ водных объектов исследованного района Арктики. Автором установлен состав ведущих семейств и родов флоры водорослей, отмечено значительное варьирование видового богатства и состава доминантных комплексов водорослей в исследованных водоемах и водотоках. Отмечено невысокое таксономическое сходство (по коэффициенту Серенсена) альгоценозов водоемов и водотоков между собой, но группировка их в кластеры по типу водных объектов – лотических и лимнических экосистем, а также выделение в отдельную группу озер, испытывающих влияние объектов магистрального газопровода. В эколого-географическом плане во флоре отмечено преобладание космополитов, экологически лабильных видов, способных обитать в широком диапазоне факторов окружающей среды. Отмечены интересные находки редких и занесенных в Красную книгу Республики Коми видов, а также даны рекомендации для включения в нее *Chaetophora tuberculosa* (Roth) C. Agardh.

Во второй подглаве приводятся показатели биологического разнообразия альгоценозов объектов исследования.

В третьей подглаве обсуждаются изменения таксономической структуры альгоценозов в условиях строительства и эксплуатации объектов газопровода. К наиболее

выраженным из них в условиях антропогенного загрязнения автором отнесены следующие: уменьшение видового богатства в целом, выпадение видов одного отдела и появление видов другого; снижение числа специализированных видов из отдела Streptophyta в озерах, в реках возможно и уменьшение, и, наоборот, увеличение числа видов этого отдела при возрастании загрязнения; появление в структуре альгоценозов в импактных водоемах представителей отдела Euglenophyta; увеличение доли мелкоклеточных видов. Различия в видовой структуре водорослей фоновых и импактных водных объектов подтверждаются результатами проведенного канонического анализа соответствий (CCA). С помощью парного корреляционного анализа выявлены связи видового богатства разных отделов водорослей с различными гидрохимическими показателями исследованных водоемов. Как результат применения множественного линейного регрессионного анализа были представлены модели взаимосвязи числа видов Cyanoprokaryota и Chlorophyta как лидирующими по видовому богатству в исследованных водоемах с химическими показателями воды.

В четвертой подглаве автор дает оценку экологического состояния водоемов с использованием индикаторных групп водорослей. Л.Н. Тикушевой был обобщен большой массив литературных данных о структуре и функционировании водорослевых сообществ арктических водных экосистем и на основе него для водных объектов Большеземельской тундры и Полярного Урала был составлен перечень водорослей-индикаторов. На основе собственных исследований для каждого изученного водного объекта бассейна р. Кара в зоне влияния газопровода составлена обобщающая сводка, представленная в блок-схеме на с. 106, в которой приводятся химические показатели среды обитания водорослей, вид и степень антропогенного воздействия, и, как следствие, признаки трансформации водорослевого ценоза данной водной экосистемы. Автором также проанализировано изменение числа видов различных индикаторных групп сапробности среды при антропогенном воздействии на исследованные водоемы, приводятся сравнения импактной и фоновой зон по индикаторным группам сапробности. Отмечается преобладание в альгофлоре исследованного района β - и о- α -мезосапробов. Для импактных участков рек Кара и Б. Лядгей отмечается увеличение доли о- α -мезосапробов и уменьшение числа видов-индикаторов чистых вод. Обратная ситуация отмечена для р. Нярма, где на фоновом участке преобладают виды-индикаторы более высокой степени сапробности, чем на импактном. В связи с этим возникает вопрос, как можно объяснить данный факт?

В пятой подглаве обсуждаются адаптационные механизмы, прогноз изменений альгоценозов в зоне влияния магистрального газопровода и подходы к организации экологического мониторинга. Людмилой Николаевной отмечается, что в настоящее время в зоне влияния магистрального газопровода необратимых нарушений в водных экосистемах не выявлено, однако присутствуют признаки их антропогенного эвтрофирования и токсического загрязнения. Полученные автором данные по содержанию тяжелых металлов в воде и донных отложениях обследованных водных объектов уже подтвердили прогноз о достижении системами критических нагрузок по этому показателю к 2015 г. Также существует опасность аэroteхногенного загрязнения водных экосистем соединениями азота и серы в зоне воздействия газокомпрессорных станций газопроводов. В связи с этим автором отмечается необходимость организации производственного экологического мониторинга водных объектов на импактных территориях. На основе проведенных исследований диссертантом составлен прогностический список изменений в водных экосистемах при дальнейшем возрастании загрязнения и, что особенно ценно, составлена

программа экологического мониторинга водных объектов в зоне влияния магистрального газопровода «Бованенково-Ухта».

Замечания к главе 5. 1). На с. 80 явная опечатка: в ссылке на статью С.Ф. Комулайнена (2012) для отдела *Streptophyta* дается его прежнее название (с ошибкой) – *Dinophyta*, которым он не был и быть не может. 2). На с. 81 говорится, что р. *Scenedesmus* наряду с родами *Cosmarium*, *Staurastrum* и *Closterium* относился ранее к сем. Desmidiaceae, что неверно. 3). На рис. 5.1.5., где изображен дендрит сходства видового состава альгоценозов обследованных водных объектов, не дано объяснение красного цвета маркеров (9з, 10з и 11з). 4). На рис. 5.1.11 неудачно выбран цвет обозначений точек отбора проб, они очень мелкие и не читаются. 5). В табл. 5.2.1 неверно указан символ индекса разнообразия Симпсона. Должно быть D (Ds), а не S. S – это число видов. 6). На с. 98, в первом абзаце неудачное выражение – «видовая доминантность». Здесь же, требует пояснения фраза «угнетение воспроизведения доминантов», что это? 7). В звездчатых диаграммах, например, для р. Нярмы, количество индикаторных видов в импактной зоне больше, чем число видов в табл. 2. 8). В таблице 5.5.1 на с. 131 (Программа экологического мониторинга) в столбце «приобретаемые факторы среды...» указана токсичность водной среды, приобретаемая за счет цианотоксинов цианобактерий, а в столбце «контролируемые показатели» контроль над концентрацией цианотоксинов в их перечне не значится. 9). Второму столбцу данной таблицы лучше было бы дать название «приобретаемые признаки среды...» а не «приобретаемые факторы...».

В *заключении* и *выводах* кратко отражены основные положения диссертационной работы, которые полностью соответствуют поставленным задачам. Содержание автореферата и опубликованные научные работы соответствует содержанию диссертации.

В семи *приложениях* представлены карты-схемы районов исследований, даны описания обследованных водных объектов, приведены список проб альгологического материала и данные количественного химического анализа проб поверхностной воды и донных отложений, представлен систематический список водорослей исследованных водных объектов с указанием их эколого-географических характеристик, иллюстративные материалы (фотографии некоторых водорослей), приведены результаты статистического анализа гидрохимических показателей с таксономическим разнообразием водорослей исследованных водоемов и водотоков.

Общее заключение. Диссертационная работа Л.Н. Тикушевой является законченным научным исследованием, в котором решены все задачи, а поставленную цель можно считать достигнутой. Проведенное исследование значительно расширяет наши представления о составе, функционировании и трансформации водных экосистем Арктики под воздействием хозяйственной деятельности человека, что крайне важно в связи с все возрастающей антропогенной нагрузкой в результате активного освоения Крайнего Севера. Автором даны ценные рекомендации по организации и проведению экологического мониторинга водных объектов на импактных территориях в зоне влияния магистрального газопровода.

Сделанные замечания носят скорее редакторский, дискуссионный или рекомендательный характер. Автором, несомненно, проделана большая работа, которая в

определенной степени является пионерной и вносит существенный вклад в развитие наших представлений об экологии водорослей Крайнего Севера.

Результаты диссертационной работы были представлены на многочисленных региональных, российских и международных научно-практических конференциях, изложены в 19 публикациях, включая три статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, одну статью в журнале из международных баз данных, а также в отдельных разделах трех коллективных монографий (в соавторстве).

Защищаемое диссертационное исследование полностью соответствует всем критериям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Людмила Николаевна Тикушева – заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15. Экология (биологические науки).

Официальный оппонент
к.б.н. (03.00.16 – экология),
доцент кафедры ботаники и зоологии
Института биологии и биомедицины
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского

603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23
startseva@bio.unn.ru
тел. 8(831)-462-32-03

Наталья Александровна Старцева
08.11.2022

