



УТВЕРЖДАЮ

И.о. генерального директора КарНЦ РАН

Ю.В. Заика

25 » 04 2023 г.

### ОТЗЫВ

Института водных проблем Севера – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Федерального исследовательского центра  
«Карельский научный центр Российской академии наук»  
(ИВПС КарНЦ РАН)

о диссертационной работе Ивана Владимировича Семадени  
«СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ  
ФИТОПЛАНКТОНА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ГОДЫ С РАЗНЫМИ  
ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата биологических наук по  
специальности 1.5.16 – Гидробиология

Рецензируемая диссертация И.В. Семадени посвящена анализу пространственно-временного распределения концентрации хлорофилла цианобактерий, диатомовых и зеленых водорослей, а также фотосинтетической активности фитопланктона на акватории Рыбинского водохранилища в 2017-2022 годы с разными гидроклиматическими условиями. Рыбинское водохранилище играет большую роль в экономической жизни северо-западного региона России. Оно является источником питьевой воды для населения, северная часть водохранилища имеет высокую рыбохозяйственную ценность. Водоем служит приемником коммунально-бытовых и промышленных сточных вод предприятий Череповецкого промышленного узла (около 550 млн. м<sup>3</sup> в год), а также сельскохозяйственных стоков с прилегающих территорий (Ложкина и др., 2020). Высокая антропогенная нагрузка привела к эвтрофированию Рыбинского водохранилища. Серьезные изменения в водоеме, которые отмечаются с 1980-х годов, связаны с перестройкой в альгоценозах, а именно, с доминированием цианобактерий при одновременном возрастании количественных показателей развития фитопланктона (Корнева, 2015; Структура..., 2018). В последние десятилетия эвтрофирование усилилось в связи с потеплением климата. Ухудшение экологической ситуации в последние годы определяет необходимость тщательного мониторинга современного состояния Рыбинского водохранилища. В связи с этим, актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

Диссертационная работа И.В. Семадени изложена на 114 страницах, состоит из введения, шести глав, выводов и списка использованных источников литературы (всего 188, в том числе – 104 иностранных), содержит 27 рисунков и 22 таблицы. Во введении автором доказана актуальность выбранной темы, представлены цель и задачи диссертации, обоснована научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследований, раскрыты защищаемые положения и личный вклад автора в выполнение работы.

**Первая глава** диссертации является литературным обзором, посвященным анализу роли пигментов фитопланктона в процессах фотосинтеза органических соединений и методам определения фотосинтетических пигментов, в том числе, флуоресцентной



диагностике хлорофилла, экспрессному методу, получившему в настоящее время широкое распространение для целей биомониторинга водных экосистем. Один из разделов первой главы посвящен более чем полувековой истории продукционных исследований фитопланктона Рыбинского водохранилища, проанализированы сукцессии фитопланктона, связанные с образованием водохранилища, эвтрофированием и потеплением климата.

Во **второй главе** диссертации автором представлено подробное описание сбора материала и характеристика методов оценки содержания хлорофилла и фотосинтетической активности фитопланктона Рыбинского водохранилища. За период 2017–2022 гг. И.В. Семадени выполнен большой объем работ: им собрано и проанализировано около 800 проб воды. Сезонные исследования проведены с мая по октябрь 2017–2020 гг. и 2022 году на шести стандартных многолетних станциях. Анализ пространственной изменчивости показателей продуктивности фитопланктона выполнен в июле–августе 2018–2022 гг. на основе исследований на 47 станциях, охватывающих всю акваторию водохранилища. Для определения концентрации хлорофилла *a* у представителей основных систематических групп пресноводного фитопланктона (цианопрокариот, диатомовых и зеленых водорослей) И.В. Семадени был использован высокочувствительный флуоресцентный метод, показавший хорошую сходимость результатов со стандартным спектрофотометрическим методом (SCOR-UNESCO, 1966). Для оценки фотосинтетической активности водорослей был применен коэффициент фотосинтетической активности (КФА). Для оценки точности используемого метода определена случайная погрешность флуоресцентных характеристик. При статистическом анализе данных автором применен широкий спектр методов их обработки - регрессионный, дисперсионный, корреляционный анализ, метод главных компонент. Для оценки различий между двумя независимыми выборками использованы методы непараметрической статистики. Детальная сетка станций, намеченная с учетом изрезанности береговой линии Рыбинского водохранилища, позволила автору при работе с геоинформационными системами наглядно и точно представить полученную информацию в виде карт распределения показателей продуктивности фитопланктона на акватории водоема. Во второй главе представлены ссылки на открытые источники, содержащие данные по индексу северо-атлантического колебания (NAO), числам Вольфа, температуре воздуха в районе исследований, осадкам, направлению и скорости ветра, облачности и др.). Эти показатели были изучены как возможные факторы, влияющие на динамику хлорофилла, что позволило выявить закономерности изменения продуктивности Рыбинского водохранилища.

В **третьей главе** И.В. Семадени выполнен анализ климатических условий, а также изменений термического и гидрологического режима Рыбинского водохранилища за период 2017-2022 гг. Эти годы, при сравнении с многолетними данными, в целом характеризовались как теплые и относились к многоводному периоду цикла общей увлажненности. Тем не менее, в погодных и гидрологических условиях отдельных лет автором выявлены различия по таким показателям как температура воздуха, направление ветра и количество штилей, сумма осадков и объем притока. Показано, что наиболее теплым был 2018 г., в то время как 2017 и 2019 годы отнесены к наиболее холодным за период исследования; 2017 и 2020 гг. классифицированы как наиболее многоводные и дождливые. В третьей главе обсуждаются данные по основным физико-химическим характеристикам воды Рыбинского водохранилища – цветность, прозрачность, электропроводность, указывается на повышенное содержание биогенных веществ, которые не лимитируют развитие фитопланктона.

**Четвертая глава** диссертации посвящена анализу сезонной и межгодовой динамики хлорофилла *a* в планктоне Рыбинского водохранилища. Автором доказано влияние погодных условий в разные годы наблюдений на сроки наступления и продолжительность подъемов в сезонной динамике хлорофилла, на соотношение



весеннего и летнего максимумов, на трофический статус водохранилища и устойчивость сообщества фитопланктона. В прохладном 2019 году преобладал весенний максимум в сезонном цикле хлорофилла, в то время как в 2018 и 2022 годах с высоким прогревом воды и штилевой погодой преобладал летний максимум. В 2017 и 2020 годах, которые характеризовались повышенным объемом притока, большим количеством осадков и высоким уровнем воды, был зафиксирован мезотрофный статус водохранилища. В более теплые и сухие годы трофический статус водохранилища был оценен как умеренно эвтрофный (2018 и 2019 годы) и как эвтрофный (2022 год). Представленные в диссертации результаты имеют большое значение для оценки состояния экосистемы Рыбинского водохранилища в условиях выраженного потепления климата.

При изучении содержания хлорофилла трех основных отделов фитопланктона автором доказано, что основной вклад в суммарное содержание хлорофилла Рыбинского водохранилища вносили диатомовые водоросли и цианопрокариоты. Этот вывод хорошо согласуется с результатами более ранних таксономических исследований (Корнева, 2015), согласно которым состав фитопланктона водохранилища характеризуется как диатомово-синезеленый. Весьма интересные результаты о соотношении хлорофилла разных отделов водорослей получены И.В. Семадени при сравнении различающихся по погодным условиям лет. Автором доказано доминирование хлорофилла цианопрокариот в теплые 2018, 2020 и 2022 годы, в то время как диатомовые водоросли определяли наибольший вклад в суммарный хлорофилл в холодный 2017 год.

Анализ многофакторного воздействия на содержание хлорофилла позволил И.В. Семадени получить результаты, имеющие теоретическую значимость для понимания механизмов реагирования водных экосистем на потепление климата. С применением методов многомерной статистики (метод главных компонент и множественный регрессионный анализ) автором выявлены важнейшие факторы (коэффициент фотосинтетической активности фитопланктона, температура воды, цветность, температура воздуха и скорость ветра) оказывающие первостепенное влияние на распределение хлорофилла в Рыбинском водохранилище. Представлено уравнение множественной регрессии, которое позволяет рассчитать количество хлорофилла по основным факторам.

В пятой главе автором выявлены закономерности горизонтального и вертикального распределения хлорофилла в период максимального прогрева воды в Рыбинском водохранилище. Рассмотрен целый комплекс факторов – погодные условия, сложная морфометрия и гидрологический режим водохранилища, которые определяют пространственную неоднородность показателей фитопланктона. Автором доказано, что в летний период 2018–2022 гг. гидрометеорологические условия (температура воздуха, скорость ветра) достоверно различались. С межгодовой динамикой температуры воздуха и ветровыми воздействиями связаны количество хлорофилла и неоднородность его распределения по акватории водохранилища. Отмечено, что ветровое воздействие при скоростях выше 2 м/с определяет горизонтальное смещение водорослей по направлению доминирующих ветров. Более высокие скорости ветра приводят к равномерному распределению хлорофилла в центральной части водохранилища. Вертикальное распределение хлорофилла в Рыбинском водохранилище определялось погодными условиями, составом фитопланктона и физиологическими особенностями водорослей. Хлорофилл цианопрокариот, которые характеризуются положительной плавучестью, в наибольших концентрациях отмечался в фотическом слое. Для диатомовых водорослей с отрицательной плавучестью характерно более равномерное распределение в толще воды.

Шестая глава посвящена изучению физиологического состояния водорослей по величине коэффициента фотосинтетической активности (КФА). Автором доказано, что КФА является хорошим индикатором сезонных изменений в состоянии альгоценозов: коэффициент увеличивается в период весеннего развития диатомовых водорослей и летнего доминирования цианобактерий и снижается – во время осеннего отмирания



фитопланктона. Показано, что КФА отражает изменение состояния фитопланктона в зависимости от глубины. В верхнем слое воды фотосинтетическая активность фитопланктона была наибольшей и отражала его нормальное состояние. При смене погодных условий в 2020 и 2022 годах выявлены значимые различия в показателях фотосинтетической активности фитопланктона в разных биотопах – на глубоководных русловых и мелководных прибрежных станциях. Весьма эффективным оказался примененный автором градиентный анализ, который показал, что при увеличении концентрации суммарного хлорофилла происходит нелинейный рост КФА. Автор показал, что более высокие величины КФА наблюдаются при доминировании комплекса диатомовых и зеленых водорослей.

Диссертационная работа завершается **выводами**, которые соответствуют цели и поставленным задачам, логично следуют из содержания работы, подтверждаются результатами статистического и научного анализа.

Диссертационная работа И.В. Семадени соответствует области исследования специальности 1.5.16 – Гидробиология: «Влияние факторов водной среды на гидробионтов и на их биологические характеристики разного уровня (генетические, биохимические, морфологические, физиологические, онтогенетические)».

Представленные в диссертации результаты вносят вклад в изучение пространственно-временных закономерностей функционирования пресноводного фитопланктона. Данные, полученные для крупного равнинного водохранилища, пополняют теоретические представления о механизме реагирования водных сообществ на многофакторное внешнее воздействие. Актуальность работы заключается в необходимости изучения современного состояния и изменения экосистем Волжских водохранилищ, важных водоресурсных источников европейской части России, в условиях потепления климата и эвтрофирования. Перспективным для мониторинговых работ на значительной акватории представляется использованный автором экспрессный флуоресцентный метод оценки хлорофилла, который дает представление не только о трофии, но и структуре первичных продуцентов. Впервые в Волжских водохранилищах для оценки физиологического состояния фитопланктона был использован коэффициент фотосинтетической активности, который может быть применен в биомониторинге как экспрессный индикатор нормы и стрессовых условий существования фитопланктона.

Автореферат в полной мере соответствует содержанию диссертации. В нем обоснованы актуальность работы, научная новизна, теоретическое значение, практическая значимость, положения, выносимые на защиту, кратко изложены результаты работы, представленные в 6 главах, выводы и список опубликованных работ.

По теме диссертации автором опубликовано 9 работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК и включенных в международные базы Web of Science и Scopus.

#### *Вопросы по результатам исследований:*

1. В диссертации на стр. 25 указывается, что "Фитопланктон водохранилища не испытывает дефицита биогенных веществ". Однако автор не приводит реальные концентрации соединений фосфора и азота, что затрудняет понимание причин, по которым автор выделил гидроклиматические факторы как главные для функционирования планктона.

2. На стр. 45 приведены результаты применения метода главных компонент, которые показывают, что более 66% изменчивости хлорофилла содержат три главные компоненты. Не вполне ясно, как удалось выявить связь факторов среды с хлорофиллом, если в анализ методом главных компонент хлорофилл не включали, что видно из таблицы 4.5?

3. На стр. 45 приводится уравнение множественной регрессии, показывающее связь хлорофилла с выделенными автором главнейшими факторами среды. Это важный результат. Однако автор не указывает объем выборки и когда она была получена (годы).



Хотя это очень важная информация, необходимая для подтверждения достоверности полученного уравнения.

4. На стр. 78 (раздел 6.2. Распределение КФА в толще воды) указывается единая величина фотического слоя 0–2 м для разных станций и всех сезонов. Но прозрачность меняется на разных станциях и в разные сезоны от 0,8 до 2-х м (в диссертации это указывается на стр. 26, табл. 3.2). Соответственно, будет меняться и фотический слой. На рисунке 6.6 (стр. 82) фотический слой явно больше, чем 2 метра. Весьма перспективным представляется более подробно изучить вертикальное распределение КФА в связи с реальной прозрачностью и глубиной фотического слоя.

*Технические замечания:*

1. Оформление таблиц и рисунков, в том числе, их названий, зачастую неполное. Остается догадываться, за какой период приведены данные, для какого слоя воды, среднее значение или медиана указаны в таблице. Иногда остается неизвестным объем выборки, не приведены уровни значимости различий показателей и т.д.

2. В диссертации встречаются немногочисленные опечатки, например, в названии статистического анализа: "метод Краскера-Уоллиса". На самом деле - метод Краскела-Уоллиса.

3. На стр. 58 (рисунок 5.1) и стр. 69 (рисунок 5.4) требуются дополнительные пояснения в тексте диссертации и в подрисуночной подписи. Что такое выбросы, что такое блоки?

Указанные замечания не имеют принципиального характера, не снижают качества и высокой научной значимости рассматриваемого диссертационного исследования.

В целом диссертация *Ивана Владимировича Семадени* представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на большом фактическом материале. Диссертация посвящена решению научной проблемы – выявлению особенностей пространственной и временной динамики показателей развития и продуктивности фитопланктона водохранилищ при изменении гидроклиматических условий. Диссертационная работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК, написана хорошим литературным языком, легко читается, наглядно иллюстрирована рисунками и таблицами.

По актуальности, научной новизне, методическому уровню, объему исследований, теоретическому и практическому значению, объему и уровню публикаций работа соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», принятых Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., ее автор, Иван Владимирович Семадени, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.16. – Гидробиология.

Отзыв ведущей организации подготовлен доктором биологических наук, руководителем лаборатории гидробиологии ИВПС КарНЦ РАН Калининкой Натальей Михайловной и кандидатом биологических наук, старшим научным сотрудником лаборатории гидробиологии ИВПС КарНЦ РАН Текановой Еленой Валентиновной, рассмотрен и утвержден на заседании Ученого совета ИВПС КарНЦ РАН (протокол № 4 от 25 апреля 2023 г.).

Руководитель лаборатории гидробиологии, ведущий научный сотрудник  
Института водных проблем Севера  
Федерального исследовательского центра  
«Карельский научный центр РАН», доктор биологических наук

Наталья Михайловна Калининка

Институт водных проблем Севера – обособленное подразделение



Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр  
Российской академии наук» (КарНЦ РАН)  
185030 Республика Карелия, г. Петрозаводск, просп. А. Невского, 50  
телефон: 8(8142) 57-65-20  
Веб-сайт: <http://water.krc.karelia.ru/>  
e-mail: [cerioda@mail.ru](mailto:cerioda@mail.ru)

Старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии  
Института водных проблем Севера  
Федерального исследовательского центра  
«Карельский научный центр РАН», кандидат биологических наук

Елена Валентиновна Теканова

Институт водных проблем Севера – обособленное подразделение  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр  
Российской академии наук» (КарНЦ РАН)  
185030 Республика Карелия, г. Петрозаводск, просп. А. Невского, 50  
телефон: 8(8142) 57-65-20  
Веб-сайт: <http://water.krc.karelia.ru/>  
e-mail: [etekanova@mail.ru](mailto:etekanova@mail.ru)

Подписи Н.М. Калинкиной и Е.В. Текановой заверяю

Дата 25.04.2023



В диссертационный совет 24.1.034.01  
при Федеральном государственном  
бюджетном учреждении науки  
Институте биологии внутренних вод им.  
И. Д. Папанина Российской академии  
наук

## СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертации

*Семадени Ивана Владимировича*

**"Содержание хлорофилла и фотосинтетическая  
активность фитопланктона Рыбинского  
водохранилища в годы с разными  
гидроклиматическими условиями "**,

представленной на соискание ученой степени кандидата биологических наук по  
специальности 1.5.16 – Гидробиология

Полное наименование организации в соответствии с Уставом	Институт водных проблем Севера - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук»
Сокращенное наименование организации в соответствии с Уставом	ИВПС КарНЦ РАН
Руководитель организации	Назарова Лариса Евгеньевна, кандидат географических наук, директор ИВПС КарНЦ РАН
Почтовый индекс, адрес организации	185030 г. Петрозаводск, пр. А.Невского, 50
Телефон	+7 (814-2) 57-63-81
Адрес электронной почты	nwpi.karelia@yandex.ru
Веб-сайт	<a href="http://water.krc.karelia.ru/">http://water.krc.karelia.ru/</a>
Сведения о составителях отзыва	Калинкина Наталия Михайловна, доктор биологических наук, руководитель лаборатории гидробиологии, ведущий научный сотрудник ИВПС, обособленного подразделения КарНЦ РАН Тел.: + 7 (8142) 57-65-20 Адрес эл. почты: <a href="mailto:serioda@mail.ru">serioda@mail.ru</a> Теканова Елена Валентиновна, кандидат биологических наук, старший научный



сотрудник лаборатории гидробиологии ИВПС,  
обособленного подразделения КарНЦ РАН  
Тел.: + 7 (8142) 57-65-20  
Адрес эл. почты: etekanova@mail.ru

Список основных публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15):

1. **Калинкина Н.М., Теканова Е.В.** Зависимость концентрации хлорофилла *a* от содержания общего фосфора в водоемах с повышенной цветностью воды // Биология внутренних вод. 2022. № 5. С. 475-479.
2. Makarova E. M., **Tekanova E. V., Kalinkina N. M.** Bacterioplankton status in the Lososinka River (a tributary of Lake Onego) and water quality by microbiological indicators // Biology Bulletin. 2022. Vol. 49 № 10. P. 1996–2003.
3. **Теканова Е. В.,** Литвинова И. А. Деструкция органического вещества в Кондопожской губе Онежского озера при изменении антропогенной нагрузки // Водные ресурсы. 2022. Том 49. № 6. С. 719–727.
4. Perga M.E., Syarki M., Spangenberg J. E., Frossard V., Lyautey E., **Kalinkina N.,** Bouffard D. Fasting or feeding: Planktonic food web under lake ice // Freshwater Biology. 2021. V. 66. P. 570–581.
5. Смирнова В.С., **Теканова Е.В., Калинкина Н.М.,** Чернова Е.Н. Состояние фитопланктона в пятне "цветения" в озере Святозеро (бассейн Онежского озера, Россия) // Вода и экология: проблемы и решения. 2021. №1 (85). С. 50-60.
6. **Kalinkina N., Tekanova E.,** Korosov A., Zobkov M., Ryzhakov A. What is the extent of water brownification in Lake Onego, Russia? // Journal of Great Lakes Research. 2020. V. 46. P. 850–861
7. **Tekanova E.V., Kalinkina N.M.** Production characteristics of phytoplankton of the Vygozerskoe reservoir (Karelia) under the conditions of reoligotrophization of the ecosystem // Limnology and Freshwater Biology. 2020 (4). P. 699-700.
8. **Kalinkina N.M., Tekanova E.V.,** Ryzhakov A.V. Brownification and its consequences for the ecosystems of Lake Onego and Vygozerskoe reservoir under influence of climatic and anthropogenic factors // Limnology and Freshwater Biology. 2020 (4). P. 667-668.
9. Suarez E.L., Tiffay M.-T., **Kalinkina N.,** Tchekryzheva T., Sharov A., **Tekanova E.,** Syarki M., Zdorovenov R.E., Makarova E., Mantzouki E., Venail P., Ibelings B.W. Diurnal variation in the convection-driven vertical distribution of phytoplankton under ice and after ice-off in large Lake Onego (Russia) // Inland Waters. 2019. V. 9. №. 2. P. 193-204.
10. **Калинкина Н. М., Теканова Е. В.,** Сабылина А. В., Рыжаков, А. В. Изменения гидрохимического режима Онежского озера с начала 1990-х годов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019. №. 1. С. 62-72.
11. Filatov N.N., **Kalinkina N.M., Tekanova E.V.** Modern changes in the



- ecosystem of Lake Onego with climate warming // Limnology and Freshwater Biology. 2018. № 1. P. 15–17
12. **Теканова Е.В., Калинин Н.М.,** Кравченко И.Ю. Геохимические особенности функционирования биоты в водоемах Карелии // Известия РАН. Серия географическая. 2018. №1. С. 90-100.
13. **Kalinkina N. M., Polyakova T. N., Syarki M. T., Tekanova E. V.** Scientific Principles of Biomonitoring of Lake Onego // Doklady Earth Sciences. – Pleiades Publishing, 2018. V. 482. №. 1. P. 1185-1188.
14. **Теканова Е.В.** Современное состояние экосистемы озера Урозеро (Карелия) по продукционно-деструкционным показателям // Труды КарНЦ РАН. № 5. 2019. С. 83-89
15. **Теканова Е.В., Калинин Н.М.,** Здоровеннов Р.Э., Макарова. Е.М. Результаты исследования экосистемы Онежского озера в период летней стратификации по данным экспедиции 2017 г // Труды КарНЦ РАН. No 9. Сер. Лимнология. Океанология. 2018. С. 44-53.

Директор ИВПС КарНЦ РАН, к.г.н.



Л.Е. Назарова