

УДК 57.045

Рубрика 34.35.25

**ОЦЕНКА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ЧЕТЫРЕХ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ВОДОЕМОВ
ОКРЕСТНОСТЕЙ БЕЛОМОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ МГУ ПО
ПИГМЕНТНОМУ СОСТАВУ ВОДНЫХ ФОТОТРОФОВ**

**EVALUATION OF VARIABILITY OF FOUR MEROMICTIC WATER BODIES IN THE
VICINITY OF THE WHITE-SEA BIOLOGICAL STATION MSU BY PIGMENT
COMPOSITION OF AQUATIC PHOTOTROPHS**

Нагаева Анастасия Сергеевна¹, Галыш Анастасия Андреевна¹, Еланская Анна Сергеевна¹, Лабунская Елена Алексеевна¹, Быкова Екатерина Алексеевна¹, Краснова Елена Дмитриевна¹, Воронов Дмитрий Анатольевич²

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

² *Институт проблем передачи информации РАН, Москва*

Nagayeva Anastasia Sergeevna¹, Galysh Anastasia Andreevna¹, Elanskaya Anna Sergeevna¹, Labunskaya Elena Alekseevna¹, Bykova Ekaterina Alekseevna¹, Krasnova Elena Dmitrievna¹, Voronov Dmitry Anatolyevich²

¹ *Moscow State University M.V. Lomonosov, Moscow*

² *Institute for Information Transmission Problems RAS*

Введение

Береговая линия Белого моря на Карельском берегу извилиста и образует множество заливов, из которых в связи с послеледниковым поднятием суши могут образовываться отделяющиеся от моря водоемы [Краснова и др. 2016]. Опреснение поверхностного слоя и ослабление контакта с морем приводит к формированию меромиктического водоема, характеризующегося резкой вертикальной неоднородностью физико-химических характеристик, сохраняющейся длительное время [Краснова и др. 2021]. Вертикальная гидрологическая структура беломорских меромиктических водоемов представлена аэробной зоной со слоями разной солености – поверхностным опресненным слоем и более соленым нижним, хемоклином – зоной перехода от аэробных условий к анаэробным, обычно с высокой концентрацией фототрофов, и анаэробной зоной с морской реликтовой водой под хемоклином [Лабунская и др 2022]. Степень изоляции от моря определяется периодичностью поступления в них воды из моря. На начальной стадии в водоеме есть приливы и отливы, такие же, как в море, впоследствии их амплитуда уменьшается, потом периодичность забросов сокращается до одного раза в лунный месяц при сизигии, потом еще реже – лишь эпизодически при нагонных явлениях. При дальнейшем подъеме водоем оказывается в полной изоляции от моря. После заброса большого количества воды из моря стратификация в водоеме нарушается, после чего устанавливается *de novo*. Кроме того, в каждом водоеме наблюдаются сезонные изменения гидрологических характеристик и сезонная сукцессия фототрофного звена экосистемы. Интересной задачей является оценка их межгодовой вариабельности в водоемах, находящихся на разных стадиях изоляции. Фотосинтетические пигменты, обнаруженные в пробах из разных слоев водоема, косвенно отражают состав фототрофного сообщества [Краснова и др. 2021] и, следовательно, могут служить экспресс-оценкой его изменчивости. В данной работе

мы оцениваем изменчивость сообществ фототрофов в зоне хемоклина по вариабельности состава пигментов в ацетоновых экстрактах, полученных из воды разных водоемов в течение нескольких лет.

Материалы и методика

Объекты и отбор проб

Для анализа были выбраны четыре водоема в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ им. Н.А. Перцова (ББС МГУ): тектонический желоб в морской бухте Биофильтров, соленая лагуна на Зеленом мысе и меромиктические озера с пресным поверхностным слоем воды (миксолимнионом) Еловое и Трехцветное. Пробы отбирали в июле 2023 г. Данные за 2018-2022 гг получили из работ студенческих групп кафедры физиологии растений, выполненных в ходе летней полевой беломорской практики в предыдущие годы (Лунина и др, 2019; Коношенкова и др., 2022; Лабунская и др, 2022, Янковский и др., 2022). Пробы воды отбирали в зоне редокс-перехода (хемоклине), где располагалась прослойка окрашенной воды с массовым развитием фототрофных микроорганизмов. Отбор проб проводили при помощи погружного насоса.

Получение спектров поглощения ацетоновых экстрактов

Пробы воды центрифугировали при 2500 g 10 минут, удаляли супернатант, добавляли к осадку новую порцию пробы и повторяли процедуру. Количество циклов центрифугирования зависело от плотности микроорганизмов в пробе. Из осадка экстрагировали пигменты 90% ацетоном. Спектры поглощения получали при помощи спектрофотометра Solar PV 1251 в диапазоне 380 - 800 нм.

Математическая обработка спектров поглощения

По спектрам определяли максимумы поглощения пигментов. Для уточнения положения максимумов получали вторую производную каждого спектра. Анализ спектров проводили в программе GraphPad Prism 8 [Haas et al., 2018; Gloe et al., 1975; Britton et al., 2004]. Результаты обработки спектров вносили в таблицы с длинами волн и числами, характеризующими пики. Наличие пика при определенной длине волны маркировали как 2, плеча – 1, отсутствие пика или плеча – 0. Последовательность длин волн разбивали условно на 4 равных по количеству возможных пиков диапазона: 400 – 460, 461 – 500, 501 – 615, 616 – 775. Для оценки межгодовой вариабельности использовали модифицированную меру Иверсена: количество совпадений в одном диапазоне, отнесенное к общему количеству пиков в диапазоне. Если совпадение было частичным (пик и плечо), его вклад уменьшали в 2 раза. Полученное значение можно использовать как показатель межгодовой стабильности водоема.

Результаты и обсуждение

На рисунках 1-4 представлены спектры поглощения ацетоновых экстрактов в зоне хемоклина озер Трехцветное, Еловое, бухты Биофильтров и лагуны на Зеленом Мысе в разные годы. Заметно, что в озерах Трехцветное и Еловое сообщества фототрофов в хемоклине обладают наибольшей стабильностью. В таблице 1 даны значения модифицированной меры Иверсена для указанных водоемов за разные годы и их среднее арифметическое для каждого водоема. Оценка межгодовой вариабельности водоемов подтвердила, что наиболее стабильными являются озера Трехцветное и Еловое: по мере Иверсена они примерно в 1,5 раза стабильнее, чем сообщество фототрофов в хемоклине бухты Биофильтров и лагуны на Зеленом Мысе. Это согласуется с представлениями об изоляционном ряде этих водоемов. Трехцветное - озеро, практически не претерпевающее забросы морской воды и перемешивание, имеющее

полностью пресный аэробный слой. Еловое озеро по степени изоляции близко к оз. Трехцветное. Тектонический желоб в бухте Биофильтров представляет собой начальную стадию формирования меромиктического водоема, однако является полностью морским. Вариабельность пигментного состава в его хемоклине несколько ниже, по сравнению с соленой лагуной на Зеленом Мысе (табл. 1). Значения вариабельности в этих водоемах близки.

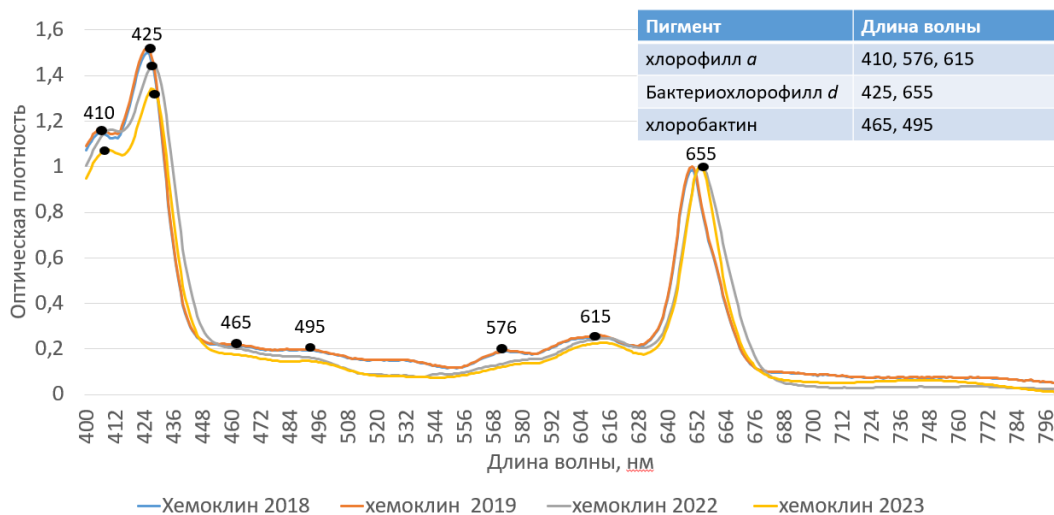


Рис 1. Спектры поглощения света ацетоновыми экстрактами из окрашенного слоя воды в хемоклине озера Трехцветное в 2018- 2023 гг.

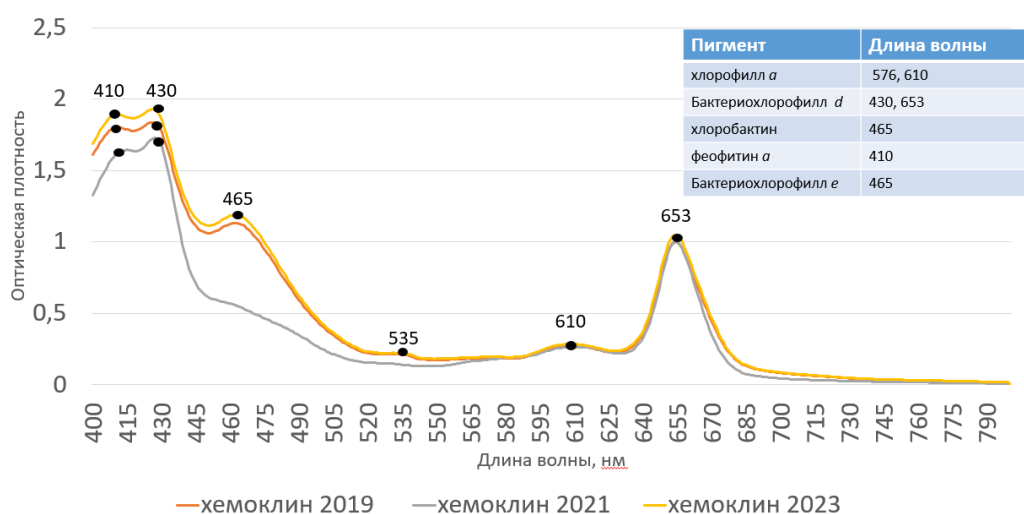


Рис 2. Спектры поглощения света ацетоновыми экстрактами из окрашенного слоя воды в хемоклине озера Еловое за 2019 – 2023 гг.

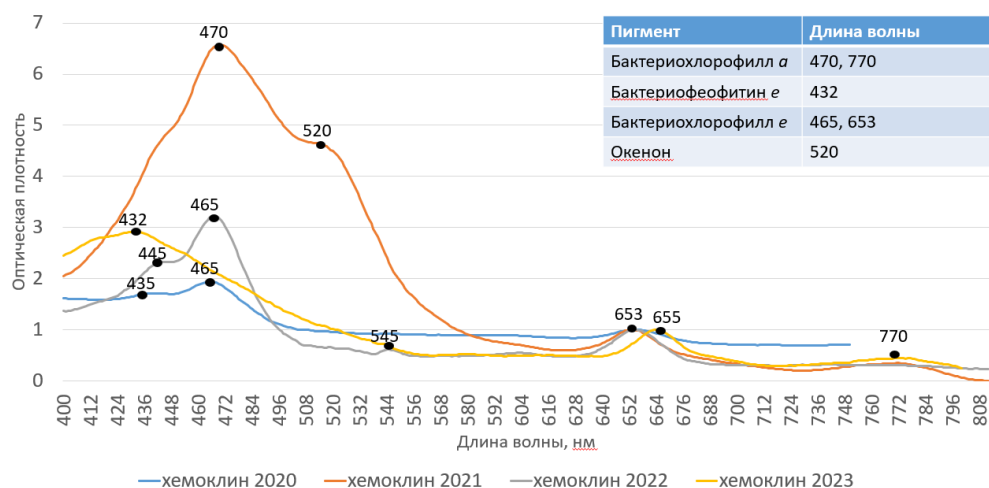


Рис 3. Спектры поглощения света ацетоновыми экстрактами из окрашенного слоя воды в хемоклине бухты Биофилтров за 2020 – 2023 гг.

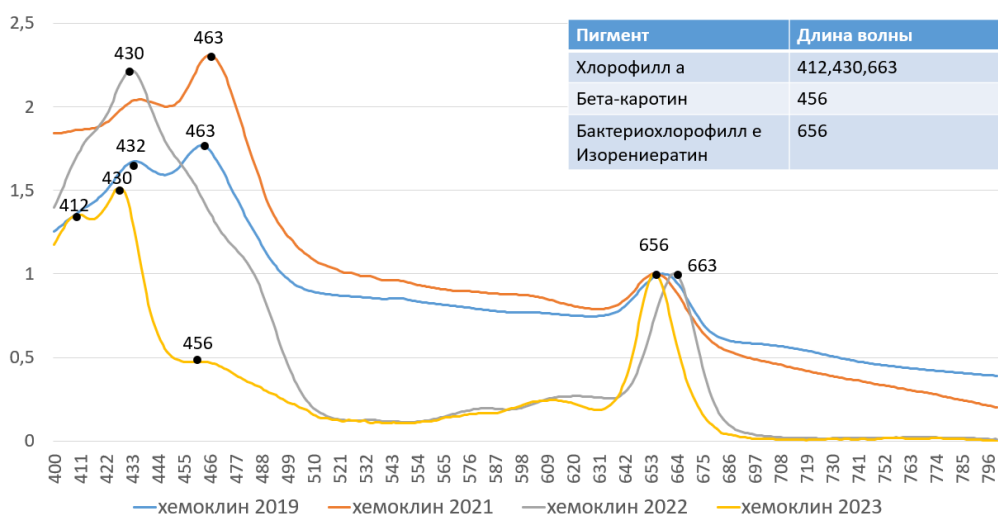


Рисунок 4. Спектры поглощения света ацетоновыми экстрактами из окрашенного слоя воды в хемоклине лагуны на Зеленом Мысе за 2019 – 2022 гг.

Таблица 1. Сравнение степени variability водоемов

Годы	2018 и 2019	2019 и 2022	2022 и 2023	среднее арифметическое % совпадений	степень variability
Трехцветное					
Доля совпадений	87,50	50,00	100,00	79,17	20,83
Еловое					
Годы	2019 и 2021	2021 и 2023			
Доля совпадений	75,00	66,67		70,83	29,17
Биофилтры					
Годы	2020 и 2021	2021 и 2022	2022 и 2023		

Доля совпадений	68,42	42,11	57,89	56,14	43,86
Зеленый Мыс					
Годы	2019 и 2021	2021 и 2022	2022 и 2023		
Доля совпадений	69,2307692	46,1538462	33,3333333	49,57	50,43

Заключение

Описанные четыре водоема, находящиеся на различных стадиях изоляции от моря, различаются по составу и межгодовой вариабельности фотосинтетических пигментов. По изменчивости пигментного состава их можно расположить в ряд в порядке уменьшения стабильности: озеро Трехцветное, озеро Еловое, бухта Биофильтров, лагуна на Зеленом Мысе.

Благодарности

Авторы благодарят руководство Беломорской биологической станции МГУ за возможность проведения исследований на базе биологической станции, а также использования научного оборудования и флота ББС МГУ; и ученицу 8 "А" класса школы 218 г. Москвы Горбоносову Надежду Вячеславовну за существенный вклад в разработку метода оценки вариативности исследуемых объектов.

Список литературы

1. Коношенкова А. О., Аминов Н. С., Анисина А., Майборода А. Д., Лабунская Е. А., Воронов Д. А., Краснова Е. Д.. Анализ пигментного состава фитопланктона стратифицированных водоемов окрестностей ББС МГУ им. Н. А. Перцова. Труды X Международной научно-практической конференции Морские исследования и образование (MARESEDU-2021) Том II – III, volume 2, стр 276–280, ООО ПолиПРЕСС Тверь, 2022.
2. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л., Шапоренко С.И. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота — изменения на фоне трансгрессии берегов. Труды Беломорской биостанции МГУ. Т. 12. Москва: Т-во научных изданий КМК – 2016 – С. 211–241.
3. Краснова Е.Д., Воронов Д.А. ВЛИЯНИЕ ХЕМОКЛИНА НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЗООПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНЫХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ВОДОЕМАХ, ОТДЕЛИВШИХСЯ ОТ БЕЛОГО МОРЯ Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)» Том II – III 327 с.: [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2021,
4. Лабунская Е. А., Аверчева О. В., Чеканов К. А., Воронов Д. А., Краснова Е. Д.. Спектрофотометрический анализ пигментного состава фототрофных организмов зоны хемоклина меромиктических водоемов окрестностей Беломорской биологической станции МГУ., XXIX Береговая конференция: натурные и теоретические исследования — в практику берегопользования, стр. 444–446, Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, Калининград, 2022.

5. Лунина О. Н., Жильцова А. А., Емельянцев П. С., Саввичев А. С., Пацаева С. В.. Количественное определение бактериохлорофиллов d и e в экстрактах при совместном присутствии зелено- и коричневоокрашенных зеленых серобактерий в образцах природной воды. Микробиология, стр 88 – 6, 2019.



**XII Международная научно-практическая конференция
«Морские исследования и образование»
MARESEDU-2023**

**XII International conference
«Marine Research and Education»
MARESEDU-2023**

**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ /
CONFERENCE PROCEEDINGS
Том III (IV) / Volume III (IV)**

**23-27 октября 2023 г.
г. Москва**



УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

Т78

Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» Том III (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2024, 666 с.:

ISBN 978-5-6049290-6-3

ISBN 978-5-6051693-0-7 (т. 3)

Сборник «Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из четырех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям технической программы конференции: океанология, гидрология, морская геология, гидрографические и геофизические исследования на акваториях, морские ландшафты морская биология, морские млекопитающие, рациональное природопользование и подводное культурное наследие. Помимо основных секций на конференции были представлены: пленарная сессия, посвященная 70-летию кафедры океанологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и 85-летию ББС МГУ имени Н.А. Перцова, секция научно-популярных фильмов и круглые столы: «Современные авиационные исследования объектов биологического разнообразия. Практика и перспективы развития» и «Применение искусственного интеллекта для изучения биологических объектов».

Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, шельфовых морей и крупнейших озер, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, проблемы освоения ресурсов континентального шельфа, достижения науки в области морской геологии, современные подходы к исследованиям обширных акваторий дистанционными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организацию и проведение комплексных экспедиционных исследований, преподавание «морских дисциплин», вопросы организации полевых практик студентов.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский
пр-т, д. 7, пом. II polypress@yandex.ru

Все права на издание принадлежат
ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова», 2024
© ООО «ПолиПРЕСС»