

УДК 535.343, 57.084

**КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ БАКТЕРИОХЛОРОФИЛЛА
В СЛОЯХ ВОДЫ С ЗЕЛеныМИ СЕРНЫМИ БАКТЕРИЯМИ**

А. А. Жильцова¹, О. А. Филиппова¹, Е. Д. Краснова¹, Д. А. Воронов², С. В. Пацаева¹

¹ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия,
aa.zhiltsova@physics.msu.ru, e_d_krasnova@mail.ru

² Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН, Москва, Россия,
d.a.voronov@gmail.com

Ключевые слова: спектры поглощения, бактериохлорофилл, зеленые серные бактерии, стратифицированные водоемы, Белое море

**QUANTITATIVE MEASUREMENT OF BACTERIOCHLOROPHYLL
IN WATER LAYERS WITH GREEN SULFUR BACTERIA**

A. A. Zhiltsova¹, O. A. Filippova¹, E. D. Krasnova¹, D. A. Voronov², S. V. Patsaeva¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, aa.zhiltsova@physics.msu.ru, e_d_krasnova@mail.ru

² Institute for Information Transmission Problems RAS, Moscow, Russia, d.a.voronov@gmail.com

Keywords: absorption spectra, bacteriochlorophyll, green sulfur bacteria, stratified reservoirs, White Sea

Концентрацию бактериохлорофилла (Бхл), как правило, измеряют по спектрам поглощения экстрактов с предварительным концентрированием зеленых серных бактерий (ЗСБ) на фильтрах [Емельянцева и др., 2020]. В работе рассмотрены проблемы выбора растворителя, используемого для экстрагирования. Приведены примеры распределения Бхл по глубине в оз. Трехцветное.

Объекты и методы.

В ходе экспедиций в марте и сентябре 2021 г. были отобраны пробы воды с разной глубины из оз. Трехцветного (Кандалакшский залив Белого моря). Отбор проб производился многошприцевым пробоотборником с шагом по глубине 2,5 см, начиная с глубины 2 м. Экстрагирование Бхл проводили как для проб воды без предварительного концентрирования (для количественного определения Бхл в слоях воды), так и для бактерий, осажженных на фильтрах (для обоснования выбора растворителя). Для получения экстрактов без предварительного концентрирования микроорганизмов к 1 мл пробы природной

воды с ЗСБ добавляли 4 мл смеси ацетона с этанолом (7:2). После спектры поглощения экстрактов измеряли с помощью спектрофотометра Solar PB 2201 в кювете с длиной оптического пути 1 см. Расчет концентрации производился по спектрам поглощения экстрактов в соответствии с законом Бугера — Ламберта — Бера [Емельянцева и др., 2020].

Обоснование выбора растворителя для экстрагирования Бхл.

В качестве растворителя для экстракции Бхл принято использовать раствор ацетон-метанола в пропорции 7 к 2 [Zuber, Cogdell, 1995; Overmann, Tilzer, 1989]. Целью исследования являлся поиск менее вредного соединения, способного заменить по своим свойствам метанол при экстрагировании образцов природной воды с Бхл. В качестве образца воды с ЗСБ использовали воду с глубины 2 м из оз. Трехцветное. Через каждый фильтр (0,22А — ацетат-целлюлозный фильтр с диаметром пор 0,22 мкм; 0,45А — ацетат-целлюлозный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм; 0,22N — нейлоновый фильтр с диаметром пор 0,22 мкм; 0,45N — нейлоновый фильтр с диаметром пор 0,45 мкм) пропускали 50 мл природной воды, затем высушенный фильтр с осажденными бактериями разрезали на 4 части, каждую из которых помещали в растворы ацетон-этанола (7:2), ацетон-метанола (7:2), чистого этанола и ацетона (рис. 1).

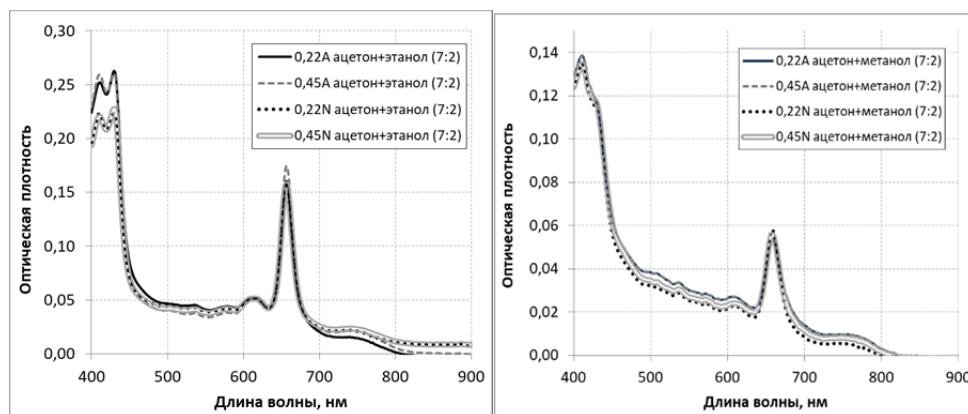


Рис. 1. Спектры поглощения экстрактов Бхл *d* в растворах

Fig. 1. Absorption spectra of BChl *d* extracts in the solutions

Было установлено, что длинноволновая полоса поглощения Бхл (с максимумом в районе 655 нм) одинакова по форме и величине оптической плотности для всех растворов, где растворителем является ацетон-этанол (7:2) и ацетон-метанол (7:2).

Количественное измерение Бхл.

Спектры поглощения экстрактов, приготовленных из проб природной воды, имели две основные полосы поглощения в коротковолновой и длинноволновой областях спектра (соответствующие поглощению света молекулами Бхл *d* и каротиноидами) (рис. 2, слева). Оптическая плотность на длине волны 655 нм была использована для расчета концентрации Бхл (рис. 2, справа).

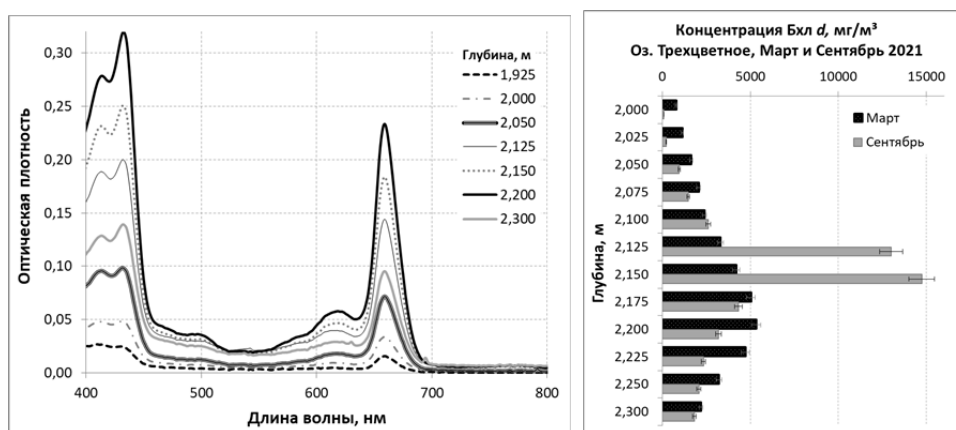


Рис. 2. Спектры поглощения экстрактов образцов природной воды из оз. Трехцветное, отобранных в марте 2021 г. (слева); концентрация Бхл *d* в озере в разные сезоны (справа)

Fig. 2. Absorption spectra of extracts of the samples of natural water from the lake Trekhtzvetnoe, selected in March 2021 (left); Distribution of BChl *d* concentration in different seasons (right)

Основные результаты и выводы.

Ярко-выраженные абсорбционные свойства Бхл в растворе ацетон-этанола (7:2) позволяют использовать данный растворитель в исследованиях наравне с более токсичным растворителем (ацетон-метанолом (7:2)) без потери в точности оценки концентрации пигмента. Переход к менее токсичному растворителю обеспечивает большее удобство и безопасность процедуры экстрагирования. Проведенный спектральный анализ дал возможность установить поднятие максимума концентрации Бхл в верхние слои водоема в сентябре 2021 г. по сравнению с мартом того же года, а также зафиксировать резкое увеличение концентрации Бхл в середине слоя (на глубине 2,125 и 2,150 м оно возросло в 3,5—4 раза). Сопоставление полученных данных с гидрохимическими параметрами воды в водоеме, а также с геологическими

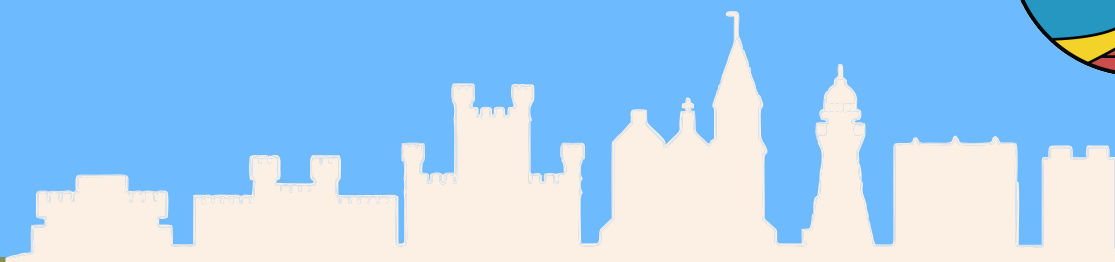
данными поможет в дальнейшем облегчить мониторинг состояния прибрежных меромиктических водоемов.

Список литературы

Емельянцева П. С., Жильцова А. А. и др. Определение концентрации хлоросомных бактериохлорофиллов по спектрам поглощения клеток зеленых серных бактерий в пробах природной воды // ВМУ. Сер. 3: Физика, астрономия. 2020. № 2. С. 25—30.

Zuber H., Cogdell R. J. Structure and organization of purple bacterial antenna complexes // *Anoxygenic Photosynthetic Bacteria* / ed. by R. E. Blankenship, M. T. Madigan, C. E. Bauer. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1995. P. 315—348.

Overmann J., Tilzer M. M. Control of primary productivity and the significance of photosynthetic bacteria in a meromictic kettle lake Mittlerer Buchensee, West-Germany // *Aquatic Sciences*. 1989. Vol. 51. P. 261—278.



XXIX БЕРЕГОВАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ: НАТУРНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ – В ПРАКТИКУ БЕРЕГОПОЛЬЗОВАНИЯ

**Сборник материалов
Всероссийской конференции с международным участием**



2022

Калининград, 18-24 апреля

БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. ИММАНУИЛА КАНТА
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П. П. ШИРШОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
МУЗЕЙ МИРОВОГО ОКЕАНА
РАБОЧАЯ ГРУППА «МОРСКИЕ БЕРЕГА»



БАЛТИЙСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ИММАНУИЛА КАНТА



XXIX БЕРЕГОВАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ: НАТУРНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ — В ПРАКТИКУ БЕРЕГОПОЛЬЗОВАНИЯ

Сборник материалов
Всероссийской конференции с международным участием

Калининград
18—24 апреля 2022 года

Научное электронное издание

Калининград
Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта
2022

© БФУ им. И. Канта, 2022
ISBN 978-5-9971-0709-3

Редакционная коллегия

Б. В. Чубаренко, канд. физ.-мат. наук, Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук, Атлантическое отделение (главный редактор); *А. В. Белова*, канд. геогр. наук, Балтийский федеральный университет им. И. Канта; *П. Ф. Бровко*, д-р геогр. наук, Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук; *Г. Г. Гогоберидзе*, д-р экон. наук, Мурманский арктический государственный университет; *Ю. Н. Горячкин*, д-р геогр. наук, Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт Российской академии наук»; *Л. А. Жиндарев*, д-р геогр. наук, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова; *Р. Д. Косьян*, д-р геогр. наук, Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук, Южное отделение; *Е. Д. Краснова*, канд. биол. наук, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова; *С. Ю. Кузнецов*, д-р геогр. наук, Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук; *С. А. Огородов*, д-р геогр. наук, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова; *В. А. Пеллинен*, канд. геол.-минер. наук, Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук; *Е. А. Румянцева*, канд. физ.-мат. наук, Мурманский арктический государственный университет; *Д. В. Рябчук*, канд. геол.-минер. наук, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского; *В. В. Сивков*, канд. геол.-минер. наук, Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук, Атлантическое отделение; *И. П. Чубаренко*, д-р физ.-мат. наук, Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук, Атлантическое отделение

Рецензенты

В. В. Жмур, д-р физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. РАН, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет); *П. О. Завьялов*, д-р геогр. наук, профессор, чл.-корр. РАН, Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук

Технические редакторы

Н. В. Двоеглазова, *А. В. Килесо*, Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук, Атлантическое отделение

Оформление обложки и фото *Н. В. Двоеглазовой*

XXIX Береговая конференция: Натурные и теоретические исследования — в практику берегопользования : сб. матер. Всерос. конф. с междунар. участием / гл. ред. Б. В. Чубаренко [Электронный ресурс] : научное электронное издание. — Калининград : Издательство БФУ им. И. Канта, 2022. — 505 с.

Представленные материалы включают работы по динамике берегов и прилегающих акваторий, по воздействию на берега антропогенной и климатической составляющих, по применению методов натурного эксперимента, моделирования, дистанционного зондирования, геоинформационных технологий и районирования, а также материалы круглых столов.

Организаторами конференции были Рабочая группа «Морские берега» под научно-методическим руководством Секции океанологии, физики атмосферы и географии Отделения наук о Земле Российской академии наук (РГ «Морские берега»), Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Музей Мирового океана. Партнеры конференции: ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть» (Калининград), ООО «Балтийский институт экологии гидросферы» (Калининград).

© БФУ им. И. Канта, 2022
ISBN 978-5-9971-0709-3