

Чеканов К.А., Краснова Е.Д.

(Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: chekanov@mail.bio.msu.ru)

Характеристики фотосинтетического аппарата криптофитовых жгутиконосцев *Rhodomonas* sp. из хемоклина стратифицированной лагуны на Зеленом мысе (Белое море, Кандалакшский залив)

Chekanov K.A., Krasnova E.D.

(Biological Faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow)

Characteristics of the photosynthetic apparatus of cryptophyte flagellates *Rhodomonas* sp. from the chemocline of a stratified lagoon at the cape Zeleny (White Sea, Kandalaksha Bay)

Ключевые слова: Белое море, меромиктические водоемы, *Rhodomonas*, нефотохимическое тушение, фотосинтез

С помощью импульсно-модулированного флуориметра FluorPen FP 100 исследованы параметры кинетики флуоресценции хлорофилла «a» жгутиконосцев *Rhodomonas* sp. (Ruegnomonadales, Cryptophyta) из хемоклина лагуны на Зеленом мысе в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ.

На побережье Белого моря из-за изрезанности береговой линии, неровного рельефа дна и продолжающегося послеледникового поднятия берега образовалось множество лагун и соленых озер, в разной степени изолированных от Белого моря [1]. В хемоклине таких водоемов в летнее время нередко наблюдается цветение, и даже гиперцветение, криптофитовых жгутиконосцев, которые образуют над редокс-переходом ярко окрашенный красный слой толщиной 10–20 см [2]. Зона их обитания характеризуется: 1) соленостью, близкой к морской и относительным постоянством физико-химических характеристик среды обитания, по сравнению с вышележащей водной массой и с морем; 2) крайне слабой освещенностью; 3) соседством с сероводородной водной массой, из которой некоторое количество сероводорода диффундирует вверх и там окисляется; 4) диффузионным подтоком биогенных веществ из сероводородной зоны, где их концентрация очень велика, и 5) соседством со слоем аноксигенных фототрофных бактерий, расположенным чуть ниже криптофитового слоя в анаэробной части хемоклина, которые за счет газовых пузырьков в заметном количестве всплывают вверх и становятся доступными для миксотрофов. Фикобиллины, входящие в состав фотосинтетического аппарата криптофитовых водорослей, обладают повышенной чувствительностью к свету в зеленой области спектра и позволяют им улавливать слабый свет в глубине воды. Данная работа

посвящена изучению параметров кинетики флуоресценции хлорофилла «а» жгутиконосцев *Rhodomonas* sp. (Pruenomonadales, Cryptophyta) из хемоклина лагуны на Зеленом мысе в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ с помощью импульсно-модулированного флуориметра FluorPen FP 100 (PSI Instruments, Чехия).

Методы

Пробы из слоя с высокой численностью клеток криптофитовых водорослей *Rhodomonas* sp. (более 80% от биомассы всего фитопланктона), отобранные в лагуне на Зеленом мысе, инкубировали в течение 4 часов на свету («световые» клетки) и в темноте («темновые» клетки) при температуре +4°C, и при тех же условиях – с добавлением разбавителя фотосинтетической электрон-транспортной цепи и фосфорилирования АТФ 50 мМ сульфатом аммония. В разных вариантах опытов использовали белый свет, красный и зеленый с интенсивностью, близкой естественным условиям в горизонте обитания криптофитовых водорослей (150-200 Лк). Кроме того, для оценки скорости перестройки фотосинтетического аппарата, пробы затемняли на разное время: от 0,5 часа до 4 часов с шагом 30 минут. В каждом варианте опыта в трех повторностях клетки подвергали темновой адаптации в течение 5 минут и регистрировали индукционные кривые флуоресценции хлорофилла «а».

Результаты

1) Как «темновые», так и «световые» клетки обладали функционирующим фотосинтетическим аппаратом и сравнительно высокими значениями нормированной переменной флуоресценции, что свидетельствует о потенциальной способности к утилизации поглощенной энергии света. Однако «темновые» клетки в отличие от «световых» не были способны к активации нефотохимического тушения возбужденных состояний хлорофилла в ответ на актиничный свет, что было определено по кинетике параметра NPQ Штерна-Фольмера при действии на клетки яркого синего света (480 нм, 800 мкмоль/м²/с).

2) В опытах с освещением светом в разных диапазонах выяснилось, что клетки *Rhodomonas* sp. одинаково реагируют на белый и зеленый свет и иначе – на красный. Действие на клетки *Rhodomonas* sp. зеленого света приводило к активации нефотохимического тушения (как и в случае белого света). Однако адаптация клеток к красному свету не приводила к индукции тушения (аналогично «темновым» клеткам). На основании полученных данных можно сделать предположение о том, что клетки *Rhodomonas* sp. не способны реагировать на красный свет вследствие особенностей их естественной среды обитания. Верхние слои озера поглощают свет из красной и инфракрасной области спектра, а голубую и зеленую пропускают.

3) Добавка соли аммония во всех вариантах освещения приводила к подавлению нефотохимического тушения.

4) В эксперименте с разной продолжительностью затемнения было определено, что утрата способности к активации регулируемого нефотохимического тушения возбужденных состояний хлорофилла в ответ на актиничный свет происходит после 2,5 часов содержания в темноте.

Обсуждение

Криптофитовые водоросли обладают уникальным механизмом нефотохимического тушения, заключающимся в отсоединении светособирающих антенных комплексов от реакционных центров фотосистем и формированием хлорофилл а/с-комплексов, являющихся эффективными сайтами тушения [3]. Данный тип механизмов отличается высокой гибкостью в ответ на действие света и считается энергозависимым типом тушения, то есть регулируемым трансмембранным протонным градиентом тилакоидных мембран. Это подтверждается полным подавлением нефотохимического тушения у клеток родомоноса, инкубированных с разобщителем. Нулевые значения параметра NPQ у «темновых» клеток можно объяснить тем, что в них фотосинтетический аппарат исходно находится в «разобранном» состоянии (антенные комплексы отсоединены от реакционных центров). Это свидетельствует о существенных перестройках в клетках *Rhodomonas* sp. на уровне центрального метаболизма. По-видимому, предпочтительными становятся реакции диссимиляции, а не автотрофного усвоения углерода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 19-05-00377).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А. и др. 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. М.: Т-во научных изданий КМК Москва, 2016. С. 211–241.
2. Kaňa R., Kotabová E., Sobotka R., Prášil O. Non-photochemical quenching in cryptophyte alga *Rhodomonas salina* is located in chlorophyll a/c antennae // PLoS One. 2012. V. 7(1). e29700.

Using a pulse-modulated fluorometer FluorPen FP 100, the kinetics of chlorophyll “a” fluorescence of the flagellates *Rhodomonas* sp. (Pyrenomonadales, Cryptophyta) from the chemocline of the lagoon at the cape Zeleny in the vicinity of the White Sea Biological station of Moscow State University was studied.



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ
ИМ. П.П. ШИРШОВА РАН

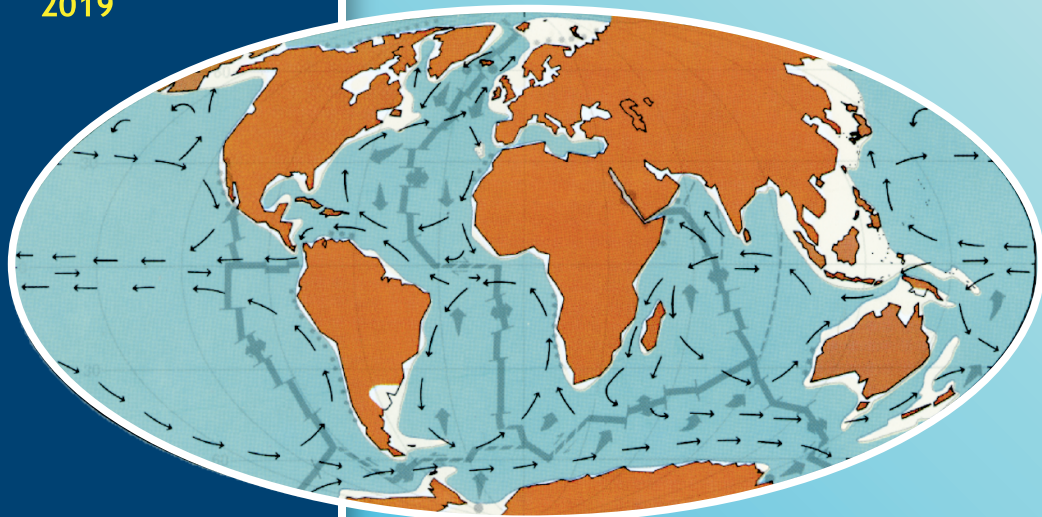


Материалы
XXIII
Международной
научной
конференции
(Школы)
по морской
геологии

ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Том III

Москва
2019



**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П.П. ШИРШОВА РАН**

**ГЕОЛОГИЯ
МОРЕЙ И ОКЕАНОВ**

**Материалы XXIII Международной научной конференции
(Школы) по морской геологии**

Москва, 18–22 ноября 2019 г.

Том III

**GEOLOGY
OF SEAS AND OCEANS**

**Proceedings of XXIII International Conference on Marine
Geology**

Moscow, November 18–22, 2019

Volume III

Москва / Moscow
ИО РАН / IO RAS
2019

ББК 26.221

Г35

УДК 551.35

DOI:10.29006/978-5-9901449-7-2.ICMG-2019-3

Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. – М.: ИО РАН, 2019. – 306 с. DOI:10.29006/978-5-9901449-7-2.ICMG-2019-3.

В настоящем издании представлены доклады морских геологов, геофизиков, геохимиков и других специалистов на XXII Международной научной конференции (Школе) по морской геологии, опубликованные в пяти томах.

В томе III рассмотрены проблемы изучения рассеянного осадочного вещества геосфер, а также исследований по проблемам «Система Белого моря» и «Система Каспийского и Аральского морей».

Ответственный редактор

Академик А.П. Лисицын

Редакторы к.г.-м.н. Н.В. Политова, к.г.-м.н. В.П. Шевченко

Geology of seas and oceans: Proceedings of XXII International Conference on Marine Geology. Vol. III. – Moscow: IO RAS, 2019. –306 pp. doi:10.29006/978-5-9901449-7-2.ICMG-2019-3.

The reports of marine geologists, geophysicists, geochemists and other specialists of marine science at XXII International Conference on Marine Geology in Moscow are published in five volumes.

Volume III includes reports devoted to the problems of investigations of dispersed sedimentary matter in geospheres, and the investigations on problems “White Sea system” and “Caspian and Aral seas system”.

Chief Editor

Academician A.P. Lisitzin

Editors Dr. N.V. Politova, Dr. V.P. Shevchenko

ISBN 978-5-9901449-7-2

ББК 26.221

© ИО РАН 2019