

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
“АЗОВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА”  
(ФГБНУ «АЗНИИРХ»)**



**СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  
ВОДНЫХ И НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

**Г. РОСТОВ-НА-ДОНУ  
26-29 ОКТЯБРЯ 2015 Г.**

**Ростов-на-Дону  
2015**

Ефимова Т.В., Чурилова Т.Я.

ФГБУН Институт морских биологических исследований

имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь

tatyana-iefimova@yandex.ru

## АДАПТАЦИЯ ДИНОФИТОВОЙ МИКРОВОДОРОСЛИ *PROROCENTRUM NANUM* К СВЕТУ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА

Фитопланктон в Черном море, как правило, существует в слое от 0 до ~ 70–90 м [2]. Фитопланктон верхнего слоя моря существует в световых условиях практически однородного распределения излучения в пределах видимого диапазона (от 400 до 700 нм). При увеличении глубины обитания происходит изменение спектра проникающей солнечной радиации [3]. Вода поглощает длинноволновую часть излучения, а окрашенное растворённое и взвешенное органическое вещество – коротковолновую часть. Вследствие этого на нижние слои эвфотической зоны Черного моря проникает сине-зелёный свет низкой интенсивности [4].

Исследования в области световой адаптации проводятся уже в течение многих десятилетий, однако большинство из них посвящено фотoadaptации водорослей к свету различной интенсивности. Меньше внимания уделено адаптации водорослей к свету различного спектрального состава (СРСС).

В настоящей работе с целью выявления особенностей хроматической адаптации микроводорослей исключали влияние плотности светового потока квантов на исследуемые показатели. Для этого световые условия в экспериментах предварительно уравнивали по количеству квантов, поглощенных пигментами клеток (ФИР), а не по интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР), падающей на объект исследования, в отличие от большинства ранних работ.

Цель работы – исследование адаптации динофитовой (класс *Dunorhysae*) микроводоросли *Prorocentrum nanum* к действию света различного спектрального состава.

### Материалы и методы

В лабораторных экспериментах использовали альгологически чистую культуру водоросли *Prorocentrum nanum*, выращенную в накопительном режиме культивирования на среде Гольдберга в модификации [1]. Эксперименты проводили в 4 фотобиореакторах, которые представляют собой плоскопараллельные кюветы из бесцветного стекла объёмом 1,2 л с рабочей толщиной 20 мм. В качестве источника света использовали лампы дневного света LIGHTSKY spiral 60 W. Цветные режимы освещения

создавали с помощью цветных светофильтров. Кюветы с культурой располагали по обе стороны от источника освещения на таких расстояниях, чтобы обеспечить одинаковое количество световых квантов, поглощаемых пигментами.

Оптические измерения проводили на двухлучевом регистрирующем спектрофотометре Specord UV-VIS (Carl Zeiss Jena, ГДР).

Концентрацию хлорофилла а (ХЛ а) определяли стандартным спектрофотометрическим методом [5]:

$$ХЛa = (11,85OD_{664} - 1,54OD_{647} - 0,08OD_{630}) \frac{V_{\text{экс}}}{V_{\text{пр}} L_k},$$

где OD – оптическая плотность экстрактов пигментов в 90% растворе ацетона на указанной длине волны с учётом поправки на неспецифическое поглощение на длине волны 750 нм;  $V_{\text{экс}}$  – объём ацетонового экстракта, мл;  $V_{\text{пр}}$  – объём профильтрованной культуры клеток, л;  $L_k$  – длина оптического пути кюветы, см.

Сумму каротиноидов (КР) определяли по уравнению [11]:

$$КР = (7,6(OD_{480} - 1,49OD_{510})) \frac{V_{\text{экс}}}{V_{\text{пр}} L_k}.$$

Спектры коэффициентов поглощения света пигментами фитопланктона измеряли по стандартной методике «количественного определения на увлажненных фильтрах» [9]. Пробы фильтровали через стекловолоконные фильтры (Whatman GF/F) при вакууме не более 0,2 атм. Оптическую плотность собранной на фильтре взвеси ( $OD_{\text{фр}}(\lambda)$ ) определяли на увлажнённых средой фильтрах. Спектры поглощения света детритом в пробе ( $OD_{\text{дт}}(\lambda)$ ) получены после обработки фильтров метанолом [6]. Для пересчёта  $OD_{\text{фр}}(\lambda)$  и  $OD_{\text{дт}}(\lambda)$  в значения оптической плотности взвеси ( $OD_p(\lambda)$ ) и детрита ( $OD_d(\lambda)$ ) в суспензии использовано уравнение [8]. Далее эти данные были использованы в расчёте коэффициентов поглощения света взвесью

$$a_p(\lambda) = 2,3 OD_p(\lambda) / l_g, \text{ м}^{-1},$$

детритом

$$a_d(\lambda) = 2,3 OD_d(\lambda) / l_g, \text{ м}^{-1},$$

и фитопланктоном

$$a_{\text{ph}}(\lambda) = a_p(\lambda) - a_d(\lambda), \text{ м}^{-1},$$

где 2,3 – коэффициент для перехода от десятичного логарифма к натуральному;  $l_g$  – геометрическая длина пути, м.

Затем проведена нормировка на содержание ХЛ а ( $a_{\text{ph/chl}}(\lambda)$ ,  $\text{м}^2 / \text{мг ХЛ а}$ ).

Спектрально-специфический коэффициент поглощения света пигментами клеток, нормированный на содержание ХЛ а, который учитывает как спектральный состав света, так и спектральные характеристики поглоще-

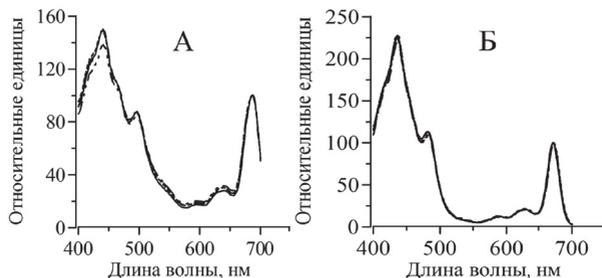
ния света пигментами клеток, был рассчитан согласно [10]:

$$a_{ph/chl}^* = \frac{\int_{400}^{700} a_{ph/chl}(\lambda) PAR(\lambda) d\lambda}{\int_{400}^{700} PAR(\lambda) d\lambda}$$

Содержание органического углерода (С) и азота (N) в клетках определяли методом газо-адсорбционного хроматографического анализа на CHN-1 [7]. Содержание N и С в навеске водорослей рассчитывали по разнице их содержания в высушенных фильтрах с навеской, и в пустых фильтрах по калибровочным кривым.

### Результаты и обсуждение

Формы спектров поглощения света пигментами в 90 % ацетоновом экстракте у динофитовой *P. papum* не отличались при адаптации к CPCC (рис. 1). Соответствующие отношения коэффициентов поглощения света пигментами на длинах волн 440 и 664 нм для культуры, адаптированной к CPCC составили  $2,3 \pm 0,1$ . Неизменная форма спектров поглощения света пигментами свидетельствует о постоянстве относительного содержания основных фотосинтетических и вспомогательных пигментов в клетках. Величина весового отношения суммы КР к ХЛ а была постоянна и составляла  $0,50 \pm 0,05$ . На основании этого можно сделать вывод об отсутствии выраженной комплементарной хроматической адаптации у *P. papum*, которая состоит в адаптивном увеличении количества пигментов, комплементарных по специфической полосе поглощения спектральному составу света в среде. На основании этого можно заключить, что в нижней части зоны фотосинтеза, куда проникает преимущественно сине-зелёный свет, в клетках этого вида динофлагеллят не происходит адаптивного изменения относительного состава вспомогательных пигментов, направленного на увеличение эффективности поглощения света.



**Рисунок 1. Нормированные по пику поглощения ХЛ а спектры:**

А – коэффициентов поглощения света живыми клетками, Б – поглощения света пигментами в ацетоновом экстракте (— белый, --- красный, - · - · синий, · · · · зелёный)

Изменение величины весового отношения органического С к ХЛ а в клетках (С/ХЛ а) является структурным показателем, отражающим адап-

тивную реакцию водорослей на факторы среды (интенсивность света, температуру, биогенные элементы). Величина отношения С/ХЛ а у динофитовой *P. papum*, адаптированной к СРСС, варьировала незначительно и составила  $29 \pm 3$ , что говорит об отсутствии влияния света с различными спектральными характеристиками на величину отношения С/ХЛ а у исследованных видов водорослей при условии одинакового количества поглощённых квантов.

Исследования показали, что СРСС не влиял на величину отношения содержания С к N (в среднем  $5,4 \pm 0,5$ ). Этот показатель отражает относительное содержание в клетках белков, являющихся азотсодержащими соединениями. Следовательно, полученные результаты позволяют сделать вывод о постоянстве направленности биосинтеза в клетках *P. papum* в условиях различного спектрального освещения.

Удельные (нормированные на содержание ХЛ а) коэффициенты поглощения света живыми клетками на длинах волн 440 и 678 нм ( $a_{\text{ph/chl}}(\lambda)$ , м<sup>2</sup>/мг ХЛ а), соответствующих максимумам спектра, и величина их соотношения ( $a_{\text{ph}}(440)/a_{\text{ph}}(678)$ ) являются основными характеристиками спектров коэффициентов поглощения света пигментами водорослей. У культуры *P. papum*, адаптированной к разным спектральным условиям освещения, величины удельных коэффициентов поглощения света  $a_{\text{ph/chl}}$  на длинах волн 678 и 440 нм варьировали незначительно ( $0,015 \pm 0,002$  и  $0,022 \pm 0,002$  м<sup>2</sup>/мг ХЛ а, соответственно). В результате отношения удельных коэффициентов поглощения света  $a_{\text{ph/chl}}$  на длинах волн 440 и 678 нм для белого, красного, синего и зелёного вариантов световой адаптации не менялись и составили в среднем  $1,5 \pm 0,1$ . Средний по спектру коэффициент поглощения света  $a_{\text{ph/chl}}$  был практически одинаков ( $0,009 \pm 0,001$  м<sup>2</sup>/мг ХЛ а), что свидетельствует о неизменности формы спектра (см. рис. 1).

Как результат комплементарной хроматической адаптации водорослей на действие СРСС следовало бы ожидать изменение в составе пигментов, что приводит к увеличению светопоглощающей способности клеток. Однако в настоящих исследованиях не отмечено изменения относительного содержания пигментов в клетках водорослей. И, так как поглощение света в видимом диапазоне обусловлено основным пигментом ХЛ а и вспомогательными пигментами КР, то и поглощение света клетками не изменилось.

Спектрально-специфический коэффициент поглощения света ( $a_{\text{ph/chl}}^*$ ), значительно различался для культур, адаптированных к белому, синему и красному свету. Наибольшие значения этого показателя наблюдались на синем свету ( $0,015 \pm 0,002$  м<sup>2</sup>/мг ХЛ а), а наименьшие – на красном ( $0,005 \pm 0,001$  м<sup>2</sup>/мг ХЛ а). При адаптации к белому и зелёному свету значения коэффициента совпадали ( $0,008 \pm 0,001$  м<sup>2</sup>/мг ХЛ а). Значительная вариабельность данного интегрального показателя обусловлена только разным спектральным составом света, поскольку ранее было показано, что

спектральные характеристики клеток не менялись.

### Выводы

Адаптация динофитовой *P. nanum* к СРСС не сопровождалась изменением структурных показателей (концентрации ХЛ а в клетках (С/Хл); соотношения С/Н; и пигментного состава) и светопоглощающих свойств клеток.

Отсутствие хроматической адаптации, которая направлена на повышение эффективности поглощения и использования на фотосинтез доступного в среде света определенного качества, позволяет предположить, что для роста динофитовых водорослей вида *P. nanum* наиболее благоприятны условия поверхностного слоя моря.

Авторы признательны зав. отделом экологической физиологии водорослей, д.б.н., проф. З.З. Финенко за руководство и определение стратегии исследований, н.с. А.И. Акимову за методическую помощь, О.А. Галатоновой за предоставленную для работ культуру водорослей *P. Nanum* и Кожемяке А. Б. за определение содержания N и C в клетках.

### Список литературы

1. Кабанова Ю.Г. Органический фосфор, как источник питания фитопланктона: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1958. – 25 с.
2. Чурилова Т.Я., Джулай А.А., Суслин В.В. и др. Биооптические показатели вод глубоководной части Черного моря: параметризация поглощения света фитопланктоном в осенний и летний периоды // Сборник научных трудов «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа». 2014. Вып. 28. – С. 320–333.
3. Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Сосик Х.М. Спектральная модель подводной облученности в Черном море // Морской Гидрофизический журнал. 2009. No 6. – С. 33–46.
4. Churilova T., Suslin V., Rylkova O. et al. Spectral features of downwelling radiance and chromatic adaptation of phytoplankton in the Black // Proc. 6th – Int. conf. «Current Problems in Optics of Natural Waters». St. Petersburg. 2011. – P. 117–121.
5. Jeffrey S.W., Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and phytoplankton // Biochem. Physiol. Pflanzen. BPP. 1975. Vol. 167, No. 2. – P. 191–197.
6. Kishino M., Takahashi N., Okami N. et al. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea // Bulletin of marine Science. 1985. V. 37. – P. 634–642.
7. Methods of seawater analysis / ed. by Grasshoff K. et al. – 2, rev. Ans extended ed. – Weinheim; Deerfield Beach, Florida; Basel: Verlag Chemie, 1983. – 419 p.
8. Mitchell B.G. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT) // Ocean Optics X/R. Spinrad editor SPIE Bellingham, Washington, 1990. – P. 137–148.
9. Mitchell B.G., Kiefer D.A. Chlorophyll a specific absorption and fluorescence excitation spectra for light limited phytoplankton // Deep-Sea Res. 1988. Vol 35. N 5. – P. 639–663.
10. Morel A. Available, usable, and stored radiant energy in relation to marine photosynthesis // Deep-Sea Res. 1978. 25. – P. 673–688.
11. Strickland J.D., Parsons T.R. Pigment analysis: spectrophotometric determination

of chlorophylls and total carotenoids // Practical handbook of seawater analysis – 2nd ed. Bulletin 167. Fish. Res. Bd. Can, 1972.

*Жинжило В.А., Войкина А.В., Мазепина Т.А.*  
*Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону*  
i06993@yandex.ru

## СОДЕРЖАНИЕ ЖЕЛЕЗА В ДОННЫХ ОСАДКАХ РЕКИ МАНЫЧ

В настоящее время все больше уделяется внимания состоянию «малых» рек, значение которых в крупных и важных экосистемах оказывается подчас самым решающим. Не исключением является и река Маныч, служащая одним из основных притоков реки Дон. Экосистема реки Маныч во многом отличается от таковой реки Дон. Причин этого феномена несколько:

– отличен солевой состав, что обусловлено геологическим прошлым рек: общее солесодержание в реке Маныч больше аналогичного показателя реки Дон, преобладающими анионами в обеих реках являются сульфат- и хлорид-ионы, однако в воде реки Маныч доминируют хлорид-ионы, а из катионов в реке Дон преобладает кальций, а в реке Маныч – натрий и магний.

– по одной из версий реку Маныч можно рассматривать как некий проток, некогда соединявший реку Дон и древнее море, остатком которого считают Каспий, а следовательно русло Маныча несет некоторые особенности, связанные именно с этими факторами, из которых в настоящее время неоспоримыми являются следующие: подпочвенные слои русла Маныча сложены толстыми слоями, состоящими из остатков раковин моллюсков, а водоносные слои на глубине 15–17м являются сильно минерализованными.

Характерной особенностью Маныча является многочисленные речные заливы – лиманы, характеризующиеся небольшой глубиной и довольно мощными донными отложениями. Лиманы очень важны с точки зрения условий нерестилищ рыбы, а следовательно им следует уделять особенное внимание. Целью нашего исследования явилось изучение содержания железа в различных его формах в пеллоидных отложениях реки Маныч на небольших глубинах. Объектом исследования послужили донные отложения реки Маныч в точке исследования, расположенной в 150 метрах от впадения в реку Дон в районе станицы Манычская Багаевского района Ростовской области, координаты точки исследования: 47°13'57" с.ш. 40°14'25" в.д. Причиной выбора данной точки исследования явилось: а) близко расположенное место впадения реки Маныч в реку Дон, б) близкое расположение одного из крупных маныхских лиманов – Усть-Быстрянского лимана. Нами были отобраны со всеми необходимыми предосторожностями образцы отложений с глубины от поверхности водоема до грунта