

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2019, 29(4): 440–445

<https://doi.org/10.15407/alg29.04.440>

СТЕПАНЬЯН О.В.

Федеральный исследовательский центр, Южный научный центр РАН,
пр. Чехова 41, Ростов-на-Дону 344006, Россия
step@ssc-ras.ru

СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА ФОТОСИНТЕЗА, ДЫХАНИЯ И ПРОДУКЦИИ *FUCUS VESICULOSUS* L. В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

Изучена суточная динамика фотосинтеза, дыхания и продукции бурой водоросли *Fucus vesiculosus*, массово встречающейся на литорали в южной части Баренцева моря. В работе использованы данные, полученные в августе 2002 г., в июле 2011 г. и апреле 2013 г. на биологической станции, расположенной в губе Зеленецкой. Для исследований были отобраны небольшие (2–3 см) талломы водорослей, не обросшие эпифитами и беспозвоночными. Показано, что динамика фотосинтеза и дыхания водоросли в течение суток зависит от освещенности (количества фотосинтетически активной радиации). Максимальные значения освещенности (1,56 мг O₂/г·ч) и дыхания (1,39 мг O₂/г·ч) отмечены в летний период. Максимальные показатели суточной продукции наблюдались в апреле (0,24 мг С/г·ч) и августе (0,44 мг С/г·ч).

Ключевые слова: *Fucus vesiculosus*, Баренцево море, фотосинтез, дыхание

Введение

Определение продуктивности макроводорослей арктических морей необходимо для понимания функционирования морских экосистем. В последние годы с использованием кислородного метода Винклера исследованы сезонная и годовая продуктивность макрофитов Баренцева и Белого морей (Кузнецов, Шошина, 2003; Бергер, 2009; Шошина и др., 2016). Была изучена суточная динамика фотосинтеза, дыхания, фотоингибирования и флуоресценции водорослей различных систематических групп Северного моря (Huppertz et al., 1990; Hanelt, 1996; Figueroa et al., 1997). В лаборатории альгологии ММБИ КНЦ РАН проведены комплексные исследования влияния интенсивности, фотопериода и спектрального состава освещения на морфофизиологические параметры водорослей, находящихся на разной стадии онтогенетического развития (Тропин, Макаров, 2004; Воскобойников и др., 2006; Макаров и др., 2006, 2012; Макаров, Воскобойников, 2017). В то же время данные о суточной динамике фотосинтеза и дыхания водорослей Баренцева моря отсутствуют. Исследование особенностей суточного процесса фотосинтеза водорослей позволяет определить первич-

© Степаньян О.В., 2019

ную продукции, в т.ч. степень воздействия нефтяных разливов на популяции макроводорослей (Степаньян, Воскобойников, 2006; Степаньян, 2008, 2014), т.к. значения функциональных показателей могут значительно отличаться в течение суток, что существенно влияет на продукционные характеристики сообществ водорослей.

На сегодня отсутствуют современные данные о годовой динамике продукции макроводорослей северных морей (Бергер, 2009). Отчасти это связано с трудоемкостью измерений фотосинтеза и продукции в условиях Арктики и необходимостью постоянного присутствия исследователей на научной станции. Нет и данных по освещенности и фотосинтетически активной радиации (ФАР), которые значительно влияют на показатели фотосинтеза в течение суток, а существующих данных недостаточно (Тиховской, 1960).

Цель данной работы – исследование суточной динамики фотосинтеза и дыхания бурой водоросли *Fucus vesiculosus* L., доминирующей на северной литорали в весенний и летний периоды.

Материалы и методы

В работе использованы данные, полученные в августе 2002 г., в июле 2011 г. и апреле 2013 г. на биологической станции Мурманского морского биологического института Кольского НЦ РАН, расположенной в губе Зеленецкой (69°07' с.ш., 36°05' в.д.). Для исследований была выбрана бурая водоросль *F. vesiculosus*, массово встречающаяся на литорали в южной части Баренцева моря. В экспериментах использовали небольшие (2–3 см) талломы водорослей (возраст 1+), не обросшие эпифитами и беспозвоночными, осторожно срезанные с субстрата так, чтобы не повредить таллом. Для обеспечения функционального состояния водорослей, их в течение 2 сут адаптировали к условиям, в которых будет проходить эксперимент, затем помещали в склянки с притертыми пробками и экспонировали в течение суток в ванной на литорали. Часть склянок заворачивали в черную непрозрачную пленку, часть – служила контролем, без водорослей. Измеряли температуру воды (в экспериментальной ванной, поддерживая ее постоянной, равной 8 °С) и освещенность (спектрорадиометр-пиранометр LI-Cor, модель LI-185A, USA). После экспонирования склянок определяли кислород в воде по методу Винклера, в трех аналитических повторностях (Винберг, 1960). Затем сырую и сухую биомассу водорослей взвешивали с точностью до 1 мг. Высушивали водоросли при температуре 105 °С. Величину чистого фотосинтеза рассчитывали по разнице между значениями валового фотосинтеза и дыхания.

Результаты и обсуждение

Максимальные значения фотосинтеза *F. vesiculosus* отмечены в августе в дневное время – 1,56 мг O₂/г·ч (рисунок, а). Динамика фотосинтеза

водоросли изменялась одинаково в течение суток в различные сезоны года и определялась суточной динамикой поступающей ФАР. В ночное время, даже в летний период (июль), когда световой день длился почти сутки, фотосинтез фактически прекращался (см. рисунок, а). Аналогичное явление отмечено в августе и апреле, когда происходила смена дня и ночи и значения ФАР в ночное время приближались к нулю (см. таблицу).

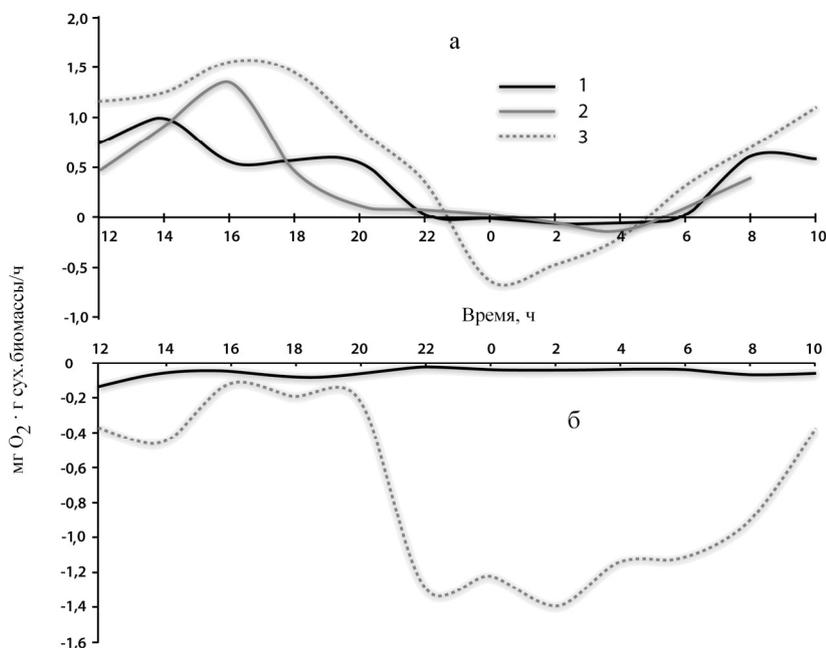


Рисунок. Суточная динамика фотосинтеза (а) и дыхания (б) *Fucus vesiculosus* в апреле (1), июле (2) и августе (3)

Таблица

Суточная динамика фотосинтетически активной радиации (ФАР)

Время, ч	ФАР, Вт/м ²		
	Апрель	Июль	Август
12:00	800	160	57
14:00	650	—	256,5
16:00	400	145	175
18:00	400	195	85,5
20:00	250	15	26,7
22:00	1,5	—	—
00:00	0	10	0,1
02:00	0	—	0
04:00	0	7	0
06:00	3	—	0,2
08:00	55	75	12
10:00	55	—	27

В суточной динамике дыхания выявлены другие закономерности. В апреле дыхание *F. vesiculosus* было равномерным и изменялось от 0,03 до 0,14 мг O₂/г·ч, в августе оно резко усиливалось в ночной период с 20:00 до 8:00 ч с максимальным значением 1,39 мг O₂/г·ч (см. рисунок, б). Такие изменения в позднелетний период могут быть обусловлены усилением метаболических процессов, связанных с переработкой накопленного за световой день органического вещества и интенсификацией подготовки многолетней водоросли к зимнему периоду (Воскобойников и др., 2006). Из литературных источников известно, что значения фотосинтеза и темновой фиксации CO₂ литоральных макроводорослей Баренцева моря в условиях полярной ночи значительно ниже, чем в летний период (Быков, 2003; Тропин, Макаров, 2004). Максимальные показатели суточной продукции наблюдались в апреле (0,24 мг С/г·ч) и августе (0,44 мг С/г·ч).

Выводы

Результаты исследования динамики фотосинтеза и дыхания *Fucus vesiculosus* Баренцева моря в течение суток в различные сезоны года показали, что суточная динамика фотосинтеза и дыхания водорослей зависит от освещенности (количества фотосинтетически активной радиации) и имеет максимальные значения (1,56 мг O₂/г·ч) летом в дневное время. Наибольшие значения дыхания (1,39 мг O₂/г·ч) также отмечены в летний период.

Исследования выполнены в рамках темы № АААА-А18-118122790121-5 и проекта РФФИ 18-29-05078. Выражаем благодарность к.б.н. И.В. Рыжик за предоставленные данные исследований в весенний период, д.б.н. Г.М. Воскобойникову и д.б.н. М.В. Макарову за помощь при проведении полевых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бергер В.Я. 2009. Продукция бурых водорослей *Ascophyllum nodosum* и *Fucus vesiculosus* в Белом море. *Биол. моря*. 35(5): 369–371.
- Быков О.Д. 2003. Фотосинтез и темновая фиксация CO₂ литоральных макроводорослей Баренцева моря в условиях полярной ночи. *Бот. журн.* 88(12): 68–73.
- Винберг Г.Г. 1960. *Первичная продукция водоемов*. Минск: БелГУ. 328 с.
- Воскобойников Г.М., Макаров М.В., Рыжик И.В. 2006. Изменения в составе фотосинтетических пигментов и структуре клеток у бурых водорослей *Fucus vesiculosus* L. и *F. serratus* L. из Баренцева моря при длительном нахождении в темноте. *Биол. моря*. 32(1): 26–33.
- Кузнецов Л.Л., Шошина Е.В. 2003. *Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики)*. Апатиты: КНЦ РАН. 308 с.
- Макаров М.В., Воскобойников Г.М. 2017. Влияние освещения и температуры на макроводоросли Баренцева моря. *Вопросы современ. альгологии*. 3(15). URL: <http://algology.ru/1183>. [accessed 17.12.2017].

- Макаров М.В., Рыжик И.В., Воскобойников Г.М. 2012. Влияние глубины произрастания на морфофункциональные показатели *Fucus vesiculosus* L. Баренцева моря. *Альгология*. 22(4): 345–360.
- Макаров М.В., Рыжик И.В., Воскобойников Г.М., Матишов Г.Г. 2006. Дифференциация пластины *Laminaria saccharina* (L.) Lamour как приспособление к длительному отсутствию освещения. *Докл. АН*. 409(2): 710–711.
- Степаньян О.В. 2008. Влияние сырой нефти на основные функциональные параметры макроводорослей Баренцева моря. *Биол. моря*. 34(2): 144–147.
- Степаньян О.В. 2014. Воздействие нефтяной пленки на фотосинтез бурых водорослей Баренцева моря. *Бот. журн.* 99(10): 1095–1100.
- Степаньян О.В., Воскобойников Г.М. 2006. Влияние нефти и нефтепродуктов на морфофункциональные особенности морских макроводорослей. *Биол. моря*. 32(4): 241–248.
- Тиховская З.П. 1960. Последствие температуры на фотосинтез, дыхание и продуктивность *Fucus vesiculosus* L. в Баренцевом море. *Бот. журн.* 45(8): 1147–1160.
- Тропин И.В., Макаров М.В. 2004. Оценка состояния фотосинтетического аппарата фукоидов Баренцева моря после завершения полярной ночи. *Альгология*. 4(4): 393–404.
- Шошина Е.В., Капков В.И., Беленикина О.А. 2016. Экологические факторы, регулирующие рост макроводорослей в сообществах арктических морей. *Вестн. МГТУ*. 19(1–2): 334–344.
- Hanelt D. 1996. Photoinhibition of photosynthesis in marine macroalgae. *Sci. Mar.* 60(1): 243–248.
- Huppertz K., Hanelt D., Nultsch W. 1990. Photoinhibition of photosynthesis in the marine alga *Fucus serratus* as studied in field experiments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 66: 175–180.
- Figueroa F.L., Salles S., Aguilera J., Jiménez C., Mercado J., Viñegla B., Flores-Moya A., Altamirano M. 1997. Effects of solar radiation on photoinhibition and pigmentation in the red alga *Porphyra leucosticta*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 151: 81–90.

Поступила 11.03.2019

Подписала в печать Г.Г. Миничева

REFERENCES

- Berger V.Y. 2009. Production of fucoïd brown algae *Ascophyllum nodosum* and *Fucus vesiculosus* in the White Sea. *Rus. J. Mar. Biol.* 35(5): 413–415.
- Bykov O.D. 2003. Photosynthesis and dark CO₂ fixation of littoral macroalgae of the Barents Sea under polar night conditions. *Bot. J.* 88(12): 68–73.
- Figueroa F.L., Salles S., Aguilera J., Jiménez C., Mercado J., Viñegla B., Flores-Moya A., Altamirano M. 1997. Effects of solar radiation on photoinhibition and pigmentation in the red alga *Porphyra leucosticta*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 151: 81–90.
- Hanelt D. 1996. Photoinhibition of photosynthesis in marine macroalgae. *Sci. Mar.* 60(1): 243–248.
- Huppertz K., Hanelt D., Nultsch W. 1990. Photoinhibition of photosynthesis in the marine alga *Fucus serratus* as studied in field experiments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 66: 175–180.
- Kuznetsov L.L., Shoshina E.V. 2003. *Phytocenoses of the Barents Sea (physiological and structural characteristics)*. Apatity: KNS RAS. 308 p. [Rus.]

- Makarov M.V., Voskoboynikov G.M. 2017. Influence of light and temperature on macroalgae of the Barents Sea. *Quest. Modern Algol.* 3(15). <http://algology.ru/1183>. [accessed 17.12.2017]
- Makarov M.V., Ryzhik I.V., Voskoboynikov G.M. 2012. The influence of depth of cultivation on the morphological and functional indicators of *Fucus vesiculosus* L. in the Barents Sea. *Algologia.* 22(4): 345–360.
- Makarov M.V., Ryzhik I.V., Voskoboynikov G.M., Matishov G.G. 2006. Differentiation of *Laminaria saccharina* (L.) Lamour. plate as an adaptation to prolonged lack of illumination. *Rep. Acad. Sci.* 409(2): 710–711.
- Stepanyan O.V. 2008. Influence of crude oil on the main functional parameters of macroalgae of the Barents Sea. *Rus. J. Mar. Biol.* 34(2): 131–134.
- Stepanyan O.V. 2014. Effect of oil film on photosynthesis of brown algae of the Barents Sea. *Bot. J.* 99(10): 1095–1100.
- Stepanyan O.V., Voskoboynikov G.M. 2006. Influence of oil and oil products on morpho-functional features of marine macroalgae. *Rus. J. Mar. Biol.* 32(4): 32–39.
- Shoshina E.V., Kapkov V.I., Belenikina O.A. 2016. Environmental factors regulating the growth of macroalgae communities in the Arctic Seas. *Bull. MGTU.* 19(1–2): 334–344.
- Tikhovskaya Z.P. 1960. The aftereffect of temperature on photosynthesis, respiration and productivity of *Fucus vesiculosus* L. in the Barents Sea. *Bot. J.* 45(8): 1147–1160.
- Tropin I.V., Makarov M.V. 2004. Assessment of the photosynthetic apparatus of the Barents Sea fucoids after the polar night. *Algologia.* 4(4): 393–404.
- Vinberg G.G. 1960. *Primary production of reservoirs*. Minsk: BSU. 328 p. [Rus.]
- Voskoboynikov G.M., Makarov M.V., Ryzhik I.V. 2006. Changes in the composition of photosynthetic pigments and cell structure in brown algae *Fucus vesiculosus* L. and *F. serratus* L. from the Barents Sea during prolonged exposure to darkness. *Rus. J. Mar. Biol.* 32(1): 20–27.

Algologia. 2019, 29(4): 440–445

<https://doi.org/10.15407/alg29.04.440>

Stepanyan O.V.

Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the RAS,
41 Chekhov Str., Rostov-on-Don 344006, Russia

DAILY DYNAMICS OF PHOTOSYNTHESIS, RESPIRATION AND PRODUCTION OF *FUCUS VESICULOSUS* L. IN THE BARENTS SEA

The diurnal dynamics of photosynthesis, respiration, and production of brown alga *Fucus vesiculosus* abundantly occurring in the littoral of the southern part of the Barents Sea, was studied. Materials for the study were collected in August 2002, July 2011, and April 2013 at a biological station located in Zelenetskaya Bay of the Barents Sea. Small (2–3 cm long) fouling-free thalli without epiphytes and invertebrates were selected for research. It was shown that the dynamics of photosynthesis and respiration of algae during the day depends on illumination (the amount of photosynthetically active radiation). The maximum values of illumination (1.56 mg O₂/g·h) and respiration (1.39 mg O₂/g·h) were noted in the summer. The maximum daily production was observed in April (0.24 mg C/g·h) and August (0.44 mg C/g·h).

Key words: *Fucus vesiculosus*, Barents Sea, photosynthesis, respiration