



УДК 582.272:577.127(262.5)

ВЛИЯНИЕ ИНСОЛЯЦИИ НА ДИНАМИКУ СОДЕРЖАНИЯ ФУКОКСАНТИНА В БУРЫХ ВОДОРОСЛЯХ РОДА *CYSTOSEIRA* С. AGARDH (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

© 2018 г. В. И. Рябушко¹, Е. В. Гуреева¹, М. А. Гуреев^{2,3}, М. В. Нехорошев¹

¹Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

²Первый московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Москва, Россия

³Санкт-Петербургский государственный технологический институт, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: rabushko2006@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.08.2018; после доработки 28.09.2018;
принята к публикации 18.12.2018; опубликована онлайн 28.12.2018.

Фотосинтетически активная радиация играет важную роль в регулировании жизнедеятельности морских макрофитов, поэтому задача определения зависимости концентрации фукоксантина (Фк) у бурых водорослей рода *Cystoseira* от энергии светового потока представляется актуальной. Талломы *C. barbata* и *C. crinita* отбирали с глубины от 0,5 до 1,0 м в условно чистом районе Южного берега Крыма (пгт Форос) и в акватории с умеренной антропогенной нагрузкой (г. Севастополь, б. Карантинная). Годовая динамика содержания Фк у макрофитов имеет хорошо выраженные периоды максимума и минимума. Пик концентрации Фк приходится на осенне-зимний период. Минимальные значения пигмента отмечены при максимальной освещённости в весенне-летний период. Моделирование зависимости содержания фукоксантина у бурых водорослей рода *Cystoseira* от интенсивности общего светового потока с помощью полиномиальной аппроксимации позволило установить, что данный процесс хорошо описывается биквадратным уравнением с высоким коэффициентом детерминации.

Ключевые слова: бурые водоросли рода *Cystoseira*, фукоксантин, энергия светового потока, Чёрное море

Фукоксантин (далее — Фк), являясь основным каротиноидом бурых водорослей, обладает высокой биологической активностью, в том числе антиоксидантными, противораковыми и антидиабетическими свойствами [7, 13]. Фк в бурых водорослях входит в состав светособирающего комплекса, где вместе с хлорофиллами *a* и *c* образует фукоксантин — хлф *a/c* пигмент-белковые комплексы, которые, объединяясь друг с другом, формируют супрамолекулярные структуры [11, 12]. Фк выступает в роли сенсibilизатора этих структур, что облегчает перенос энергии на белок-белковый комплекс. Полагают, что Фк — наиболее изменчивый компонент светособирающего комплекса бурых водорослей [8]. В результате многочисленных исследований по изучению факторов, влияющих на фотосинтетическую активность и пигментный состав бурых водорослей из разных мест обитания, выявлено, что основными являются освещённость, спектральный состав света, температура и стадия роста водорослей [2, 9, 14, 20, 21]. Обнаружено также, что при избыточном освещении в присутствии кислорода каротиноиды ксантофилловых циклов предохраняют хлорофиллы и липиды фотосинтетических мембран от фотодеструкции [1].

Бурые водоросли рода *Cystoseira* — массовые виды макрофитов в прибрежье Чёрного моря и перспективные источники получения Фк, поэтому важно определить факторы внешней среды, от которых зависит содержание биологически ценных веществ в талломах, включая Фк. Особое влияние

на пигментный состав водорослей оказывает уровень инсоляции, зависящий от энергии светового потока, что сказывается, в частности, на содержании Фк в макрофитах [6]. В связи с вышеизложенным целью данной работы была оценка влияния уровня энергии светопотока на концентрацию фукоксантина — основного каротиноида бурых водорослей рода *Cystoseira*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Известно, что проникаемость морской воды для солнечной радиации сильно зависит от содержания в ней различных химических соединений, которые образуют плёнку на водной поверхности либо повышают мутность воды. При отсутствии загрязнителей и биологических объектов около 80 % фотосинтетически активной радиации (далее — ФАР) задерживается поверхностным метровым слоем воды [2]. Для выявления отклика влияния уровня ФАР на содержание Фк в бурых водорослях *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh 1820 и *C. crinita* Duby 1830 талломы отбирали ежемесячно в 2013–2014 гг. с глубины не более 1,0 м в районах с различным уровнем загрязнения: в условно чистой акватории Южного берега Крыма (пгт Форос) и в б. Карантинная г. Севастополя с умеренной антропогенной нагрузкой. Акватория бухты характеризуется повышенным содержанием меди и цинка в грунте, а также более высоким индексом эвтрофикации E-TRIX [17]. Талломы *C. barbata* и *C. crinita* разделяли на ствол и ветви первого порядка [5], ветви освобождали от видимых эпифитов, промывали дистиллированной водой, обсушивали фильтровальной бумагой и измельчали до частиц размером 8–15 мм. Для исследования годовой динамики концентрации Фк взяты ветви только возрастной группы от двух до трёх месяцев, что исключает влияние фактора роста на изменение содержания Фк. Концентрацию фукоксантина в навеске определяли с помощью препаративной тонкослойной хроматографии по описанной ранее методике [18]. В ходе исследования обработано 150 талломов *C. barbata* и 280 — *C. crinita*. Значения энергии светопотока для мест пробоотбора получены из данных спутникового мониторинга уровня инсоляции земной поверхности в 2013 г. [16]. Статистическая обработка данных выполнена с помощью дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием программного обеспечения OriginLab OriginPro 2015.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Годовая динамика концентрации фукоксантина в ветвях бурых водорослей рода *Cystoseira* имеет хорошо выраженные периоды максимума и минимума (рис. 1). В весенне-летний период при максимальной температуре и освещённости отмечены минимальные значения концентрации пигмента. Пик концентрации Фк приходится на осенне-зимний период с пониженным уровнем ФАР. В исследованных районах поверхностная температура воды зависит от уровня инсоляции и коррелирует с энергией светового потока. Известно, что температура воды оказывает меньшее влияние на фотосинтез бурых водорослей, чем энергия светового потока: например, при уменьшении температуры воды с 25 до 15 °С уровень фотосинтеза *Undaria pinnatifida* сократился лишь на 5 % [21]. В исследованиях с тем же видом водоросли при сезонном изменении температуры всего на 3 °С обнаружено снижение скорости фотосинтеза на 60 % [9]. Показано также, что сокращение видовой разнообразия бурых водорослей в высоких широтах в большей степени связано с длительным отсутствием освещения (полярная ночь), чем с понижением температуры [3]. Таким образом, уровень освещения оказывает более сильное влияние на концентрацию фотосинтетических пигментов макрофитов, чем температура среды обитания.

По мере снижения энергии общего светопотока отмечено постепенное увеличение уровня Фк в массе макрофита. Это может свидетельствовать о двойной функции пигмента: при низкой инсоляции он выступает в роли сенсориализатора светособирающего комплекса, а при высокой — в роли антиоксиданта, который модулирует защитные процессы, ассоциированные с подавлением фотоллиза в растениях [15].

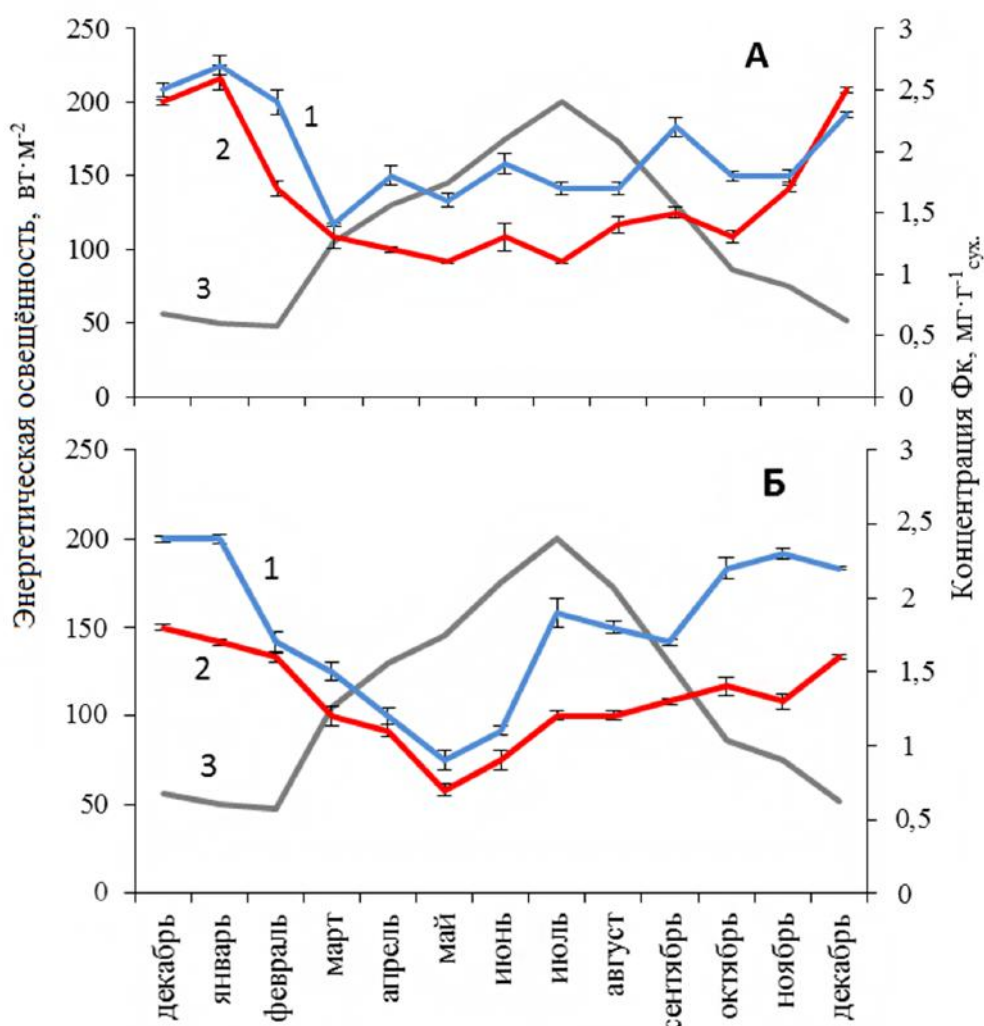


Рис. 1. Годовая динамика концентрации фукоксантина (среднее значение \pm SD) в бурых водорослях *Cystoseira barbata* (1) и *C. crinita* (2) из б. Карантинная (А) и акватории пгт Форос (Б); энергия светового потока (3) [16]

Fig. 1. Fucoxanthin concentration annual dynamics (average value \pm SD) in brown algae *Cystoseira barbata* (1) and *C. crinita* (2) from Karantinnaya Bay (A) and Foros area (B); the energy of the light flow (3) [16]

В связи с большим количеством пиковых показателей концентрации фукоксантина для исследуемых видов *Cystoseira* и параметров энергии светового потока данные были нормализованы с помощью программы OriginPro. С ростом модальностей в области высоких значений энергии светового потока проведена процедура сглаживания по алгоритму Савицкого — Голея для устранения «шума» при построении функциональной зависимости [19]. Моделирование уравнения зависимости проведено полиномиальной аппроксимацией, реализованной с помощью алгоритмов машины Тьюринга в среде программы OriginPro [4]. В итоге для обеих кривых получена биквадратная зависимость, описываемая уравнением типа:

$$Y = a + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4, \quad (1)$$

где Y — концентрации фукоксантина, $\text{мг} \cdot \text{г}^{-1} \text{сух}$;

x — энергия светового потока, $\text{вт} \cdot \text{м}^{-2}$;

a — константа;

b_1 – b_4 — коэффициенты уравнения (табл. 1).

Таблица 1. Показатели коэффициентов уравнения (1); a — варьируемая константа; b_1 – b_4 — поправочные коэффициенты; r^2 — коэффициент детерминации

Table 1. Values of coefficients for the equation (1); a – constant; b_1 – b_4 – correction coefficients; r^2 – determination coefficient

Коэффициент	<i>Cystoseira crinita</i>		<i>Cystoseira barbata</i>	
	Значение	Ошибка	Значение	Ошибка
акватория пгт Форос				
a	0,55	0,01	–1,01	0,02
b_1	0,04	$3,82 \cdot 10^{-4}$	0,12	$7,21 \cdot 10^{-4}$
b_2	$-6,32 \cdot 10^{-4}$	$5,11 \cdot 10^{-6}$	–0,001	$9,65 \cdot 10^{-6}$
b_3	$3,04 \cdot 10^{-6}$	$2,88 \cdot 10^{-8}$	$6,49 \cdot 10^{-6}$	$5,42 \cdot 10^{-8}$
b_4	$-4,71 \cdot 10^{-9}$	$5,78 \cdot 10^{-11}$	$-8,68 \cdot 10^{-9}$	$1,09 \cdot 10^{-10}$
r^2	0,99		0,99	
бухта Карантинная				
a	1,91	0,01	3,16	$3,26 \cdot 10^{-15}$
b_1	0,02	$5,44 \cdot 10^{-4}$	–0,02	$1,24 \cdot 10^{-16}$
b_2	$-5,43 \cdot 10^{-4}$	$7,28 \cdot 10^{-6}$	$2,31 \cdot 10^{-5}$	$1,66 \cdot 10^{-18}$
b_3	$3,39 \cdot 10^{-6}$	$4,09 \cdot 10^{-8}$	$7,03 \cdot 10^{-7}$	$9,32 \cdot 10^{-21}$
b_4	$-6,80 \cdot 10^{-9}$	$8,23 \cdot 10^{-11}$	$-2,54 \cdot 10^{-9}$	$1,87 \cdot 10^{-23}$
r^2	0,99		0,99	

Высокие коэффициенты детерминации r^2 показывают, что уравнение (1) очень хорошо описывает функциональную зависимость. По результатам полиномиального анализа построены графики, иллюстрирующие динамику концентрации фукоксантина в ветвях цистозеры в зависимости от уровня энергии светопотока. Для уточнения функциональных зависимостей применён алгоритм сглаживания, использующий разложение в ряд Фурье, что позволило нормализовать узкие высокие пики в моделируемых функциях. Затем на основе полученных функций промоделированы соответствующие зависимости, описывающие динамику концентрации фукоксантина в водорослях (рис. 2).

Применение смешанного алгоритма генерации функциональных зависимостей привело к разделению построенных кривых по наличию экстремумов функции. Так, для концентраций фукоксантина в водорослях из акватории пгт Форос характерно наличие двух выраженных экстремумов с большим разделением по оси X (рис. 2). Для *C. crinita* и *C. barbata* из б. Карантинная отмечено сглаживание экстремумов функции. Выявленные различия свидетельствуют о том, что на динамику концентрации фукоксантина влияет не только энергия освещённости, но и различные физико-химические факторы в местах отбора проб (прогрев воды, течение, наличие волнения и т. д.).

Анализ построенных усреднённых зависимостей показал, что биквадратная функция обладает лучшей детерминируемостью и позволяет охватить максимумы, сглаживаемые при использовании кубического уравнения. Установлено, что зависимость концентрации Фк от энергии светового потока оптимально описывается именно биквадратной функцией. Вероятно, коэффициенты промоделированных функций показывают наличие параметров, предположительно соответствующих внешним абиотическим факторам, которые вызывают варьирование построенных графических зависимостей. Роль влияния внешних факторов на процессы генерации Фк в бурых водорослях может быть оценена по значимости коэффициентов, приведённых в табл. 1. Таким образом, коэффициенты полученных уравнений могут быть применимы для описания влияния природных (сезонных) и антропогенных факторов на модуляцию синтеза фукоксантина.

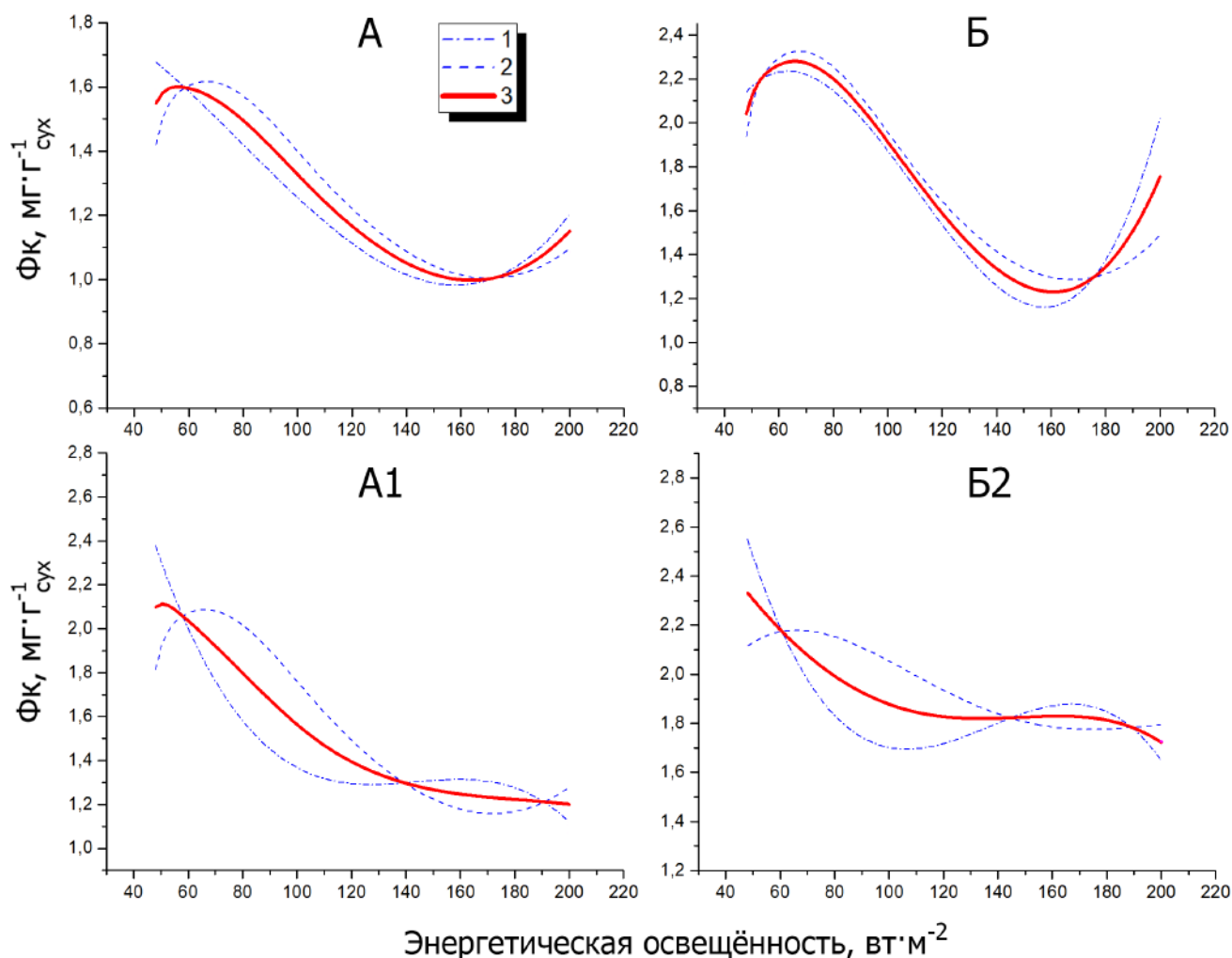


Рис. 2. Полиномиальная интерполяция ряда данных, сглаженных: по алгоритму Савицкого — Голея (1), методом быстрого преобразования Фурье (2); усреднённая функция (3) для показателей концентрации фукоксантина в бурых водорослях *Cystoseira crinita* (А, А1) и *C. barbata* (Б, Б2) в зависимости от уровня освещённости. А, Б — макрофиты из акватории пгт Форос, А1, Б2 — из б. Карантинная

Fig. 2. Polynomial interpolation of data, smoothed according to Savitzky – Golay (1) and by fast Fourier transform (2); fucoxanthin level averaged function (3) in brown algae *Cystoseira crinita* (А, А1) and *C. barbata* (Б, Б2), depending on the level of illumination. А, Б – samples from Foros area, А1, Б2 – from Karantinnaya Bay

Известно, что аккумуляция Фк в бурых водорослях является одним из способов поддержания нативной жизнедеятельности макрофита в стрессовых условиях [10]. Так, показатели содержания Фк и хлорофиллов *a* и *c* были выше в зимний и весенний периоды, чем в летний, и у молодых, и у старых спорофитов *U. pinnatifida* [9]. В *Cystoseira hakodatensis* и *Sargassum confusum* концентрация Фк достигала максимальных значений также в январе и марте при минимальных освещённости и температуре воды [20]. В многолетних исследованиях М.В. Макарова показано, что фотосинтетический аппарат бурых водорослей Баренцева моря адаптируется к интенсивности и спектральному составу освещения [2]. Размер ксантосомы зависит от изменения интенсивности освещения, однако адаптация происходит в основном за счёт снижения или увеличения общего содержания фотосинтетических пигментов. При этом отмечают следующие сезонные изменения фотосинтетического аппарата: в осенне-зимний (ноябрь — декабрь) и весенний (март — апрель) периоды наблюдаются накопление фотосинтетических пигментов и увеличение размеров ксантосом. Осенью данный

процесс связан с адаптацией фотосинтетического аппарата к низкой интенсивности освещения, а весной — с необходимостью энергетического обеспечения процессов активного роста. Аналогично: описанный подход хорошо объясняет характер изменений содержания фукоксантина у бурых водорослей рода *Cystoseira* в течение годового цикла. Таким образом, корреляция фотосинтетической активности бурых водорослей с энергией светового потока может быть одной из причин сезонных изменений концентрации пигмента.

Заключение. Годовая динамика содержания фукоксантина у бурых водорослей рода *Cystoseira* имеет хорошо выраженные периоды максимума и минимума. Пик концентрации Фк приходится на осенне-зимний период. Минимальные значения пигмента отмечены в весенне-летний период при максимальной освещённости. В динамике изменения концентрации Фк у цистозеры наблюдается снижение уровня пигмента синхронно с ростом интенсивности общего светового потока. Разнонаправленный характер этих пиков может свидетельствовать об отрицательной регуляторной связи интенсивности светопотока и процесса снижения концентрации фукоксантина у бурых водорослей. Моделирование зависимости содержания Фк у бурых водорослей рода *Cystoseira* от энергии светового потока с помощью полиномиальной аппроксимации позволило установить, что данный процесс хорошо описывается биквадратным уравнением с высоким коэффициентом детерминации. При этом инкременты биквадратного уравнения показывают наличие внешних переменных величин, оказывающих влияние на рассматриваемый процесс. Таким образом, разработанный подход может быть использован для лабораторных биотехнологических экспериментов с автотрофами в средах с возможностью контролирования внешних параметров, с целью определения условий, оптимальных для поддержания высокого уровня биосинтеза фукоксантина и других каротиноидов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (№ гос. регистрации АААА-А18-118021350003-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ладыгин В. Г., Ширшикова Г. Н. Современные представления о функциональной роли каротиноидов в хлоропластах эукариот // *Журнал общей биологии*. 2006. Т. 67, № 3. С. 163–189. [Ladyygin V. G., Shirshikova G. N. The current concepts of functional role of carotenoids in the eukaryotic chloroplasts. *Zhurnal obshhei biologii*, 2006, vol. 67, no. 3, pp. 163–189. (in Russ.)].
2. Макаров М. В. Адаптация светособирающего комплекса бурой водоросли *Fucus vesiculosus* L. Баренцева моря к условиям освещения // *Доклады Академии наук*. 2012. Т. 442, № 6. С. 845–849. [Makarov M. V. Adaptatsiya svetosobirayushchego kompleksa buroi vodorosli *Fucus vesiculosus* L. Barentseva morya k usloviyam osveshcheniya. *Doklady Akademii nauk*, 2012, vol. 442, no. 6, pp. 845–849. (in Russ.)].
3. Макаров М. В., Воскобойников Г. М. Влияние освещения и температуры на макроводоросли Баренцева моря // *Вопросы современной альгологии*. 2017. № 3 (15). URL: <http://algology.ru/1183>. [Makarov M. V., Voskoboinikov G. M. Influence of light and temperature on Barents Sea seaweed. *Voprosy sovremennoy al'gologii*, 2017, no. 3 (15). URL: <http://algology.ru/1183>. (in Russ.)].
4. Нефедов В. Н., Осипова В. А. *Курс дискретной математики*. Москва : МАИ, 1992. 260 с. [Nefedov V. N., Osipova V. A. *Kurs diskretnoi matematiki*. Moscow: MAI, 1992, 260 p. (in Russ.)].
5. Празукин А. В. Феноменологическое описание роста ветвей *Cystoseira barbata* как основа периодизации их онтогенеза // *Экология моря*. 1983. Вып. 15. С. 49–58. [Prazukin A. V. A phenomenological description of *Cystoseira barbata* branches growth as a basis of their ontogeny division into periods. *Ekologiya morya*, 1983, iss. 15, pp. 49–58. (in Russ.)].
6. Титлянов Э. А., Колмаков П. В., Лелеткин В. А.,

- Воскобойников Г. М. Новый тип адаптации водных растений к свету // *Биология моря*. 1987. № 2. С. 48–57. [Titlyanov E. A., Kolmakov P. V., Leletkin V. A., Voskoboinikov G. M. Novyi tip adaptatsii vodnykh rastenii k svetu. *Biologiya morya*, 1987, no. 2, pp. 48–57. (in Russ.)].
7. Airanthi M. K. W.-A., Hosokawa M., Miyashita K. J. Comparative antioxidant activity of edible Japanese brown seaweeds. *Journal of Food Science*, 2011, vol. 76, iss. 1, pp. 104–111. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01915.x>.
 8. Anderson J. M., Barrett J. Chlorophyll-protein complexes of brown algae: P700 reaction centre and light-harvesting complexes. *Ciba Foundation Symposium*, 1978, vol. 61, pp. 81–104.
 9. Campbell S. J., Bite J. S., Burrige T. R. Seasonal patterns in the photosynthetic capacity, tissue pigment and nutrient content of different developmental stages of *Undaria pinnatifida* (Phaeophyta: Laminariales) in Port Phillip Bay, South-Eastern Australia. *Botanica Marina*, 1999, vol. 42, iss. 3, pp. 231–241. <https://doi.org/10.1515/BOT.1999.027>.
 10. Eonseon J., Polle J. E. W., Lee H. K., Hyun S. M., Chang M. Xanthophylls in microalgae: from biosynthesis to biotechnological mass production and application. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2003, vol. 13, iss. 2, pp. 165–174.
 11. Katoh T., Mimuro M., Takaichi S. Light-harvesting particles isolated from a brown alga, *Dictyota dichotoma*: A supramolecular assembly of fucoxanthin-chlorophyll-protein complexes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*, 1989, vol. 976, iss. 2–3, pp. 233–240. [https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(89\)80235-X](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(89)80235-X).
 12. Katoh T., Tanaka A., Mimuro M. Xanthosomes: Supramolecular assemblies of xanthophyll-chlorophyll *a/c* protein complexes. *Methods in Enzymology*, 1993, vol. 214, pp. 402–412. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(93\)14084-V](https://doi.org/10.1016/0076-6879(93)14084-V).
 13. Miyashita K., Nishikawa S., Beppu F., Tsukui A., Hosokawa M. The allenic carotenoid fucoxanthin, a novel marine nutraceutical from brown seaweeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, vol. 91, iss. 7, pp. 1166–1174. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4353>.
 14. Nomura M., Kamogawa H., Susanto E., Kawagoe C., Yasui H., Saga N., Hosokawa M., Miyashita K. Seasonal variations of total lipids, fatty acid composition, and fucoxanthin contents of *Sargassum horneri* (Turner) and *Cystoseira hakodatensis* (Yendo) from the northern seashore of Japan. *Journal of Applied Phycology*, 2013, vol. 25, iss. 4, pp. 1159–1169. <https://doi.org/10.1007/s10811-012-9934-x>.
 15. Piovan A., Seraglia R., Bresin B., Caniato R., Filippini R. Fucoxanthin from *Undaria pinnatifida*: Photostability and coextractive effects. *Molecules*, 2013, vol. 18, iss. 6, pp. 6298–6310. <https://doi.org/10.3390/molecules18066298>.
 16. Pfeifroth U., Kothe S., Müller R., Trentmann J., Hollmann R., Fuchs P., Werscheck M. *Surface Radiation Data Set – Heliosat (SARAH)*. Satellite Application Facility on Climate Monitoring, 2017, Edition 2. https://doi.org/10.5676/EUM_SAF_CM/SARAH/V002.
 17. Ryabushko V. I., Prazukin A. V., Gureeva E. V., Bobko N. I., Kovrigina N. G., Nekhoroshev M. V. Fucoxanthin and heavy metals in brown algae of genus *Cystoseira* C. Agardh from water areas with different anthropogenic influences (Black Sea) // *Morskoj biologicheskij zhurnal*, 2017, vol. 2, no. 2, pp. 70–79. <https://doi.org/10.21072/mbj.2017.02.2.07>.
 18. Ryabushko V., Prazukin A., Popova E., Nekhoroshev M. Fucoxanthin of the brown alga *Cystoseira barbata* (Stackh.) C. Agardh from the Black Sea. *Journal of Black Sea / Mediterranean Environment*, 2014, vol. 20, no. 2, pp. 108–113.
 19. Savitzky A., Golay M. J. E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Analytical Chemistry*, 1964, vol. 36, iss. 8, pp. 1627–1639. <https://doi.org/10.1021/ac60214a047>.
 20. Terasaki M., Hirose A., Narayan B., Baba Y., Kawagoe C., Yasui H., Miyashita K. Evaluation of recoverable functional lipid components of several brown seaweeds (Phaeophyta) from Japan with special reference to fucoxanthin and fuco-sterol contents. *Journal of Phycology*, 2009, vol. 45, iss. 4, pp. 974–980. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2009.00706.x>.
 21. Wu C. Y., Wen Z., Peng Z., Zhang J. A preliminary comparative study of the productivity of three economic seaweeds. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1984, vol. 2, pp. 97–101.

INFLUENCE OF INSOLATION ON THE DYNAMICS OF FUcoxANTHIN CONTENT IN BROWN ALGAE OF THE GENUS *CYtOSEIRA* C. AGARDH (BLACK SEA)

V. I. Ryabushko¹, E. V. Gureeva¹, M. A. Gureev^{2,3}, M. V. Nekhoroshev¹

¹Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

²I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

³Saint-Petersburg State Institute of Technology, Saint-Petersburg, Russian Federation

E-mail: rabushko2006@yandex.ru

Photosynthetically active radiation plays an important role in regulating the vital activity of marine macrophytes; therefore, the problem of determining the dependence of fucoxanthin concentration (FC) in brown algae of genus *Cystoseira* on the energy of the light flux seems to be relevant. *C. barbata* and *C. crinita* samples were taken from depth of 0.5 to 1.0 m in the conventionally clean region of the Southern Coast of Crimea (Foros settlement) and in the water area with moderate anthropogenic load (Sevastopol, Karantinnaya Bay). The annual dynamics of the FC content in macrophytes has well-defined periods of maximum and minimum. Peak concentrations of FC are in the autumn-winter period. The minimum values of the pigment in the spring-summer period are marked at maximum illumination. The modeling of the dependence of the fucoxanthin content in brown algae of the genus *Cystoseira* on the intensity of the total light flow using polynomial approximation made it possible to establish that this process is well described by a biquadrate equation with a high determination coefficient.

Keywords: brown algae genus *Cystoseira*, fucoxanthin, energy of light flow, Black Sea