

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА *a*, УГЛЕРОДА И АЗОТА У НЕКОТОРЫХ ВИДОВ *DINOPHYTA*

Работа посвящена изучению влияния интенсивности освещения на содержание хлорофилла *a* (хл. *a*), углерода, азота и объем клеток у динофитовых водорослей. Для исследований были использованы шесть видов альгологически чистых культур *Dinophyta*: *Prorocentrum cordatum* Ostf. Dodge, *P. micans* Ehrenb., *P. pusillum* (Schiller) Dodge & Bibby, *Gyrodinium fissum* (Lev.) Kof. et Sw., *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeb. и *Heterocapsa triquetra* (Ehrenb.) Stein. Водоросли выращивали на среде *f/2* при температуре 19–22 °С и пяти различных интенсивностях непрерывного искусственного освещения в диапазоне ФАР 10–344 мкЭ·м⁻²·с⁻¹, в экспоненциальной фазе роста. С увеличением интенсивности освещения наблюдалось снижение содержания хл. *a* в расчете на клетку и на единицу углерода у *G. fissum* и *H. triquetra* в 2 раза и у *P. micans* и *P. pusillum* почти в 5 раз. У большинства видов соотношение С/Ν возрастало в 1,2–1,4 раза. Для каждой исследованной интенсивности света выявлена высокая степень зависимости внутриклеточного содержания хл. *a*, органического углерода и азота от объема клетки. На основе собственных результатов получено уравнение, позволяющее рассчитать по объему клеток динофитовых водорослей содержащееся в них количество углерода.

Ключевые слова: динофитовые водоросли, хлорофилл *a*, атомарное соотношение органического углерода к азоту, объём клетки.

Введение

Свет – один из основных факторов среды, определяющий первичную продукцию водных экосистем. Поскольку в условиях комплексного действия факторов среды на фитопланктон трудно определить влияние каждого из них, такие исследования выполняют в экспериментах с культурами микроводорослей в стандартных условиях, при которых переменным можно задавать лишь один исследуемый фактор.

Адаптация водорослей к воздействию света проявляется в изменении концентрации пигментов в их клетках, и прежде всего хлорофилла *a*. При изменении условий освещения помимо концентрации пигментов в клетках водорослей могут изменяться содержание органического углерода, азота, а также объем клеток. Большая часть исследований посвящена *Bacillariophyta*, менее изучены *Dinophyta*. При этом исследовали ограниченное количество видов (Финенко, 1976;

Берсенева, 1978; Чурилова, 1992; Шоман, Акимов, 2013; Nielsen, 1992, 1996; Finenko et al., 2003).

Цель данной работы – определить влияние интенсивности освещения на указанные показатели *Dinophyta* Черного моря.

Материалы и методы

Для исследований использовали шесть видов альгологически чистых культур динофитовых водорослей: *Prorocentrum pusillum* (Schiller, 1928), *P. cordatum* (Ostenfeld, 1901), *Heterocapsa triquetra* (Ehrenberg, 1840), *P. micans* (Ehrenberg, 1833), *Scrippsiella trochoidea* (Stein, 1883) и *Gyrodinium fissum* (Levander, 1894) из коллекции отдела экологической физиологии водорослей ИНБЮМ (Севастополь). Средний объем клеток разных видов составлял 44–15000 мкм³. Культуры выращивали на среде *f/2* (Guillard, Ryther, 1962) при температуре 19–22 °С. Световые условия создавали с помощью люминисцентных ламп PHILIPS TL RS 20W/54-765. Источник света находился снизу емкостей с водорослями на расстоянии 5–70 см для обеспечения пяти различных интенсивностей непрерывного искусственного освещения в диапазоне ФАР 10–344 мкЭ·м⁻²·с⁻¹. Для выращивания водорослей использовали стеклянные конические колбы объемом 1 л, заполненные культурами наполовину. В течение эксперимента водоросли поддерживали в экспоненциальной фазе роста, предварительно адаптировав к световым и температурным условиям эксперимента. Адаптация считалась завершенной, когда водоросли осуществляли два клеточных деления (Берсенева и др., 1978).

Концентрацию хл. *a* измеряли флюориметрическим методом (Юнев, Берсенева, 1986). Содержание органического углерода и азота в клетках водорослей определяли на CHN-анализаторе (Grasshoff et al., 1983). Данные методики более подробно были описаны нами ранее (Мансурова, 2013).

Линейные размеры клеток определяли с помощью светового микроскопа ZEISS Primo Star в 20 повторностях при ×100. *Dinophyta* обладают жгутиками и активно двигаются, что затрудняет их измерение. Поэтому клетки фиксировали 0,2 %-ным раствором формалина и сразу же измеряли. Объем клеток рассчитывали по формулам, приведенным в литературе (Брянцева и др., 2005), основываясь на принципе геометрического подобия.

Пробы отбирали один раз в сутки в двух повторностях двое суток подряд. Для оценки статистических параметров использовали пакет Grapher 7.0.

Результаты

С увеличением интенсивности освещения от 10 до 344 мкЭ·м⁻²·с⁻¹ содержание хл. *a* в расчете на клетку закономерно снижалось у всех исследованных видов водорослей (см. таблицу). Наибольшая скорость

снижения для большинства из них наблюдалась в диапазоне от 10–17 до 50–69 мкЭ·м⁻²·с⁻¹. С увеличением интенсивности освещения этот процесс замедлялся. Во всем световом диапазоне содержание хл. *a* в клетках уменьшалось у разных видов водорослей неодинаково: у *G. fissum* и *H. triquetra* приблизительно в 2 раза, у *P. cordatum* и *S. trochoidea* – в 3 раза, тогда как у *P. micans* и *P. pusillum* – в 5 раз. Концентрация хл. *a*, нормированная по углероду, изменялась аналогично для большинства видов.

Различия отмечены и в величине соотношения хл. *a*/C. Значения данного параметра при минимальном освещении были наименьшими у *H. triquetra*, *P. micans* и *S. trochoidea* и в 4–5,5 раз ниже, чем при этих же условиях ($4,2 \cdot 10^{-2}$) у *P. pusillum*. Однако при максимальной интенсивности света эти различия сокращались в 2–3 раза. Для остальных видов величины отношения хлорофилла *a* к органическому углероду имели промежуточные значения.

С увеличением интенсивности освещения до 50–69 мкЭ·м⁻²·с⁻¹ внутриклеточное содержание углерода и азота для большинства видов водорослей уменьшалось на 10–30 %. Исключение составила *S. trochoidea*, у которой снижались данные показатели на 35–50% во всем световом диапазоне и *P. pusillum*, у которого, наоборот, содержание углерода и азота в клетках изменялось слабо. Атомарное отношение органического углерода к азоту у большинства исследованных водорослей увеличивалось в 1,2–1,4 раза. Лишь у *P. pusillum* эта величина изменялась незначительно.

Как видно из таблицы, для всех видов, кроме *P. micans*, клетки при небольшой интенсивности освещения были мельче, чем при высокой. Объем их составлял 50–75 % максимального значения.

Таким образом, в пределах одной таксономической группы разные виды водорослей неодинаково реагировали на изменение интенсивности освещения.

Для каждой исследованной интенсивности света выявлена высокая степень зависимости внутриклеточного содержания хлорофилла *a*, органического углерода и азота от объема клетки (рис. 1, *a*, *в*, *д*).

При низкой интенсивности освещения до 50–69 мкЭ·м⁻²·с⁻¹ полученные уравнения, отражающие зависимость удельного содержания хл. *a* от объема, различались, тогда как при высокой интенсивности были почти одинаковы (рис. 1, *a*, *б*). Представленные выше зависимости показывают, что в исследованном световом диапазоне содержание хлорофилла *a*, нормированное по клеточному объему, у мелких водорослей было выше, чем у крупных.

При всех интенсивностях света, кроме минимальной, коэффициенты для уравнений зависимости внутриклеточной концентрации углерода и азота от объема клеток были близкими, поэтому их можно представить в виде общей зависимости (рис. 1, *в*, *д*).

Содержание хл. *a*, углерода, азота, а также объем клеток *Dinophyta* при различной интенсивности освещения

<i>I</i> , МКЭ·м ⁻² ·с ⁻¹	Хл. <i>a</i>	C	N	Хл. <i>a</i> /C ·10 ⁻²	C/N	Объем клетки, МКМ ³
	ПГ·кл ⁻¹					
<i>Prorocentrum pusillum</i>						(·10 ²)
10	0,45 ± 0,10	9,4 ± 0,1	1,6 ± 0,2	4,2 ± 1,3	7,1 ± 0,8	0,40 ± 0,03
29	0,39 ± 0,13	10,1 ± 0,6	1,8 ± 0,2	4,4 ± 0,7	6,7 ± 0,3	0,37 ± 0,06
62	0,22 ± 0,05	10,5 ± 0,9	1,9 ± 0,4	2,1 ± 0,3	6,6 ± 0,6	0,51 ± 0,03
129	0,11 ± 0,03	10,4 ± 0,9	1,7 ± 0,5	1,0 ± 0,2	7,2 ± 1,3	0,53 ± 0,01
237	0,09 ± 0,01	10,0 ± 0,3	1,7 ± 0,1	0,86±0,1	6,9 ± 0,3	0,40 ± 0,01
<i>P. cordatum</i>						(·10 ³)
17	4,9 ± 0,2	244 ± 49	61 ± 13	2,0 ± 0,5	4,7 ± 0,3	1,28 ± 0,40
34	3,6 ± 0,3	226 ± 11	56 ± 6	1,6 ± 0,6	4,7 ± 0,2	1,72 ± 0,14
69	2,7 ± 0,4	225 ± 20	47 ± 7	1,2 ± 0,5	5,6 ± 0,4	1,73 ± 0,45
172	1,8 ± 0,6	265 ± 11	49 ± 8	0,68 ± 0,2	6,4 ± 0,9	2,00 ± 0,07
344	2,0 ± 0,5	208 ± 25	41 ± 10	0,93±0,2	5,8 ± 0,4	1,68 ± 0,15
<i>Heterocapsa triquetra</i>						(·10 ³)
14	7,6 ± 2,1	798 ± 201	196 ± 15	1,0±0,52	4,7 ± 0,8	1,51 ± 0,40
24	7,7 ± 0,1	817 ± 129	196 ± 20	0,95±0,15	4,8 ± 0,4	2,20 ± 0,82
55	4,5 ± 0,5	765 ± 32	163 ± 9	0,59±0,01	5,5 ± 0,2	3,04 ± 0,81
138	3,3 ± 0,1	730 ± 65	142 ± 3	0,45±0,01	6,0 ± 0,6	2,55 ± 0,81
249	3,3 ± 0,1	759 ± 204	150 ± 0,3	0,46±0,01	5,9 ± 1,3	2,50 ± 0,88
<i>Prorocentrum micans</i>						(·10 ³)
15	19,5 ± 3,1	2401 ± 290	—	0,80±0,11	—	5,72 ± 0,94
26	9,4 ± 1,9	1709 ± 97	—	0,55±0,14	—	4,57 ± 1,18
58	6,4 ± 2,0	1607 ± 92	—	0,40±0,15	—	5,20 ± 1,52
120	3,9 ± 1,2	1674 ± 159	—	0,24±0,09	—	5,23 ± 1,32
292	5,0 ± 1,8	1911 ± 87	—	0,26±0,08	—	3,84 ± 1,35
<i>Scrippsiella trochoidea</i>						(·10 ³)
14	4,4 ± 0,7	576 ± 185	123 ± 10	0,76±0,04	6,7 ± 0,1	4,42 ± 1,04
26	3,8 ± 0,3	638 ± 47	87 ± 9	0,60±0,06	8,5 ± 0,6	7,43 ± 2,29
55	3,0 ± 0,1	635 ± 53	93 ± 5	0,48±0,04	8,0 ± 0,7	6,78 ± 2,47
138	2,3 ± 0,1	486 ± 30	78 ± 4	0,46±0,04	7,3 ± 0,4	5,92 ± 2,60
284	1,4 ± 0,1	402 ± 10	55 ± 5	0,34±0,03	8,5 ± 0,2	4,99 ± 1,86
<i>Gyrodinium fissum</i>						(·10 ⁴)
13	34,7 ± 4,5	1804 ± 129	277 ± 18	1,9±0,4	7,7 ± 0,9	1,27 ± 0,07
22	35,8 ± 9,2	1383 ± 194	215 ± 17	2,6±0,3	7,6 ± 0,6	1,19 ± 0,33
50	26,4 ± 2,2	1427 ± 49	204 ± 45	1,9±0,2	8,3 ± 0,6	1,35 ± 0,32
120	15,6 ± 2,9	1988 ± 132	262 ± 72	0,80±0,2	9,3 ± 1,3	1,86 ± 0,08
292	15,5 ± 1,0	1890 ± 346	270 ± 78	0,83±0,1	8,5 ± 1,2	1,93± 0,57

Примечание. Экспериментальные измерения исследуемых показателей осуществляли один раз в сутки в двух повторностях двое суток подряд. В таблице представлены средние за двое суток значения всех параметров и их стандартные отклонения.

- ○ 10-17 мкЭ·м⁻²·с⁻¹; $Y_1 = 0.030 \cdot X_1^{0.723}$; $R^2 = 0.92$
- ● 22-34 мкЭ·м⁻²·с⁻¹; $Y_2 = 0.029 \cdot X_2^{0.684}$; $R^2 = 0.86$
- □ 50-69 мкЭ·м⁻²·с⁻¹; $Y_3 = 0.009 \cdot X_3^{0.773}$; $R^2 = 0.91$
- ◆ ◆ 120-172 мкЭ·м⁻²·с⁻¹; $Y_4 = 0.004 \cdot X_4^{0.813}$; $R^2 = 0.96$
- + + 237-344 мкЭ·м⁻²·с⁻¹; $Y_5 = 0.004 \cdot X_5^{0.817}$; $R^2 = 0.93$

- $Y_1 = 0.030 \cdot X_1^{-0.277}$; $R^2 = 0.64$
- $Y_2 = 0.029 \cdot X_2^{-0.316}$; $R^2 = 0.58$
- $Y_3 = 0.009 \cdot X_3^{-0.227}$; $R^2 = 0.46$
- $Y_4 = 0.004 \cdot X_4^{-0.187}$; $R^2 = 0.55$
- $Y_5 = 0.004 \cdot X_5^{-0.183}$; $R^2 = 0.38$

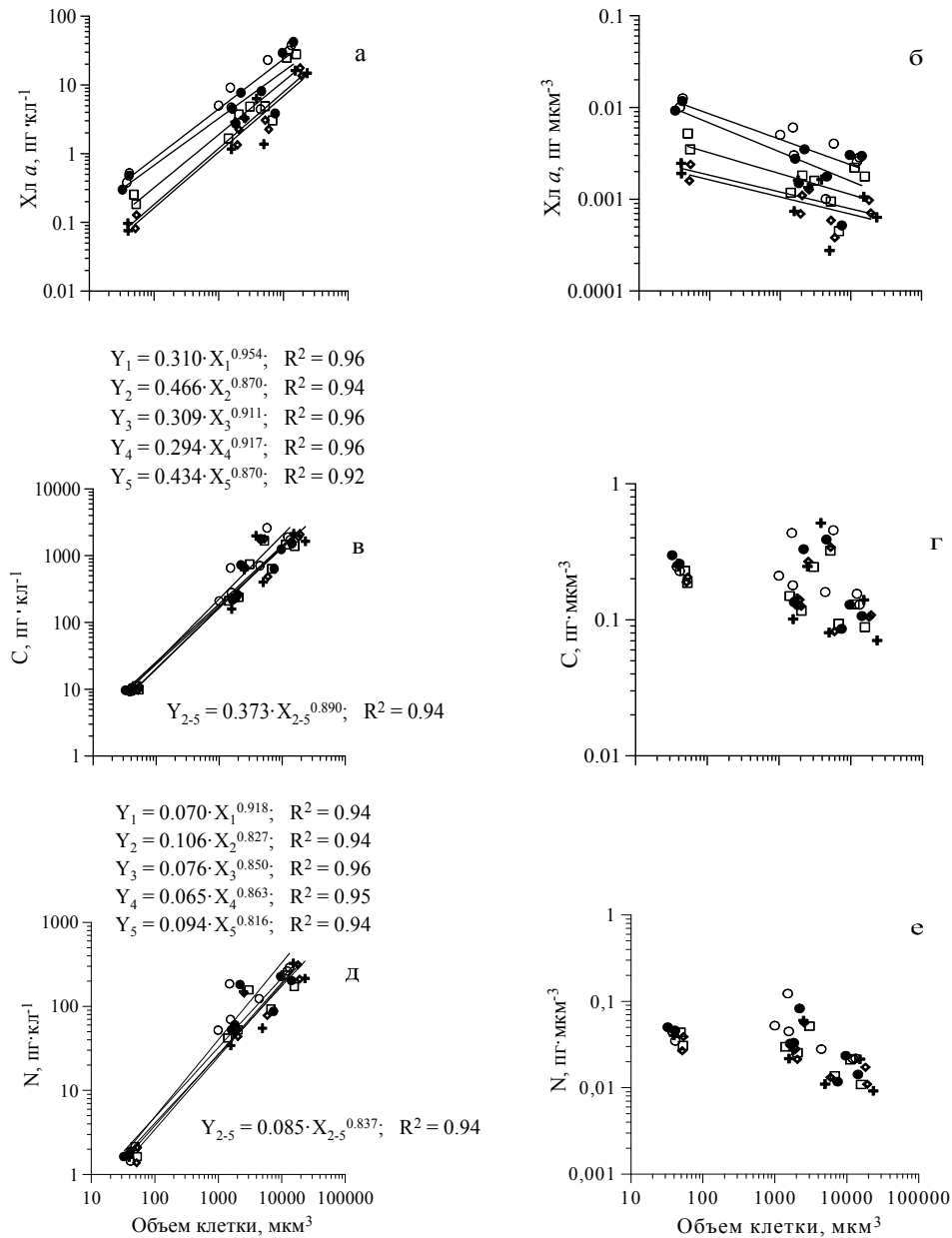


Рис. 1. Содержание хлорофилла *a* в расчете на клетку (*a*) и единицу объема (*б*), содержание органического углерода (*в*, *г*) и азота (*д*, *е*) как функция клеточного объема для шести видов *Dinophyta*

Из рис. 1, *г*, *е* видно, что в диапазоне клеточного объема водорослей 1000–10000 мкм³ удельное содержание азота и углерода снижается по мере увеличения объема. Однако большой разброс точек не позволяет построить достоверные зависимости.

Обсуждение

С увеличением интенсивности освещения шести видов *Dinophyta* содержание хлорофилла *a* в расчете на клетку и единицу органического углерода уменьшается. Однако степень снижения у разных представителей *Dinophyta* была разной.

Из литературных данных (Finenko et al., 2003) следует, что при одинаковых условиях средние значения соотношения хл. *a*/C для отдельных таксономических групп увеличиваются в следующем порядке: *Chlorophyceae* > *Bacillariophyceae*, *Prochlorococcus* > *Prymnesiophyceae* > *Cyanophyceae* > *Dinophyceae*. То есть для динофитовых водорослей в большинстве случаев характерны самые низкие значения соотношения хл. *a*/C. Полученные нами величины данного параметра при слабом освещении (10–29 мкЭ·м⁻²·с⁻¹) для *S. trochoidea*, *P. micans* и *H. triquetra* подтверждают эту закономерность. Они не превышали 0,76·10⁻²–1,0·10⁻², что в несколько раз меньше, чем известные значения соотношения хл. *a*/C, характерные для *Bacillariophyta*. Так, в сходных экспериментальных условиях Гейдером было получено соотношение хл. *a*/C для диатомеи *Thalassiosira pseudonana*, приблизительно равное 20, что соответствует соотношению хл. *a*/C 5·10⁻² (Geider, 1984). В наших исследованиях максимальные значения данного параметра при низкой интенсивности освещения отмечены у *P. pusillum* – 4,2·10⁻²–4,4·10⁻², что приближалось к величинам, характерным для *Bacillariophyta*.

Наши исследования показали, что у изученных видов при повышении интенсивности освещения величина соотношения C/N также повышалась, что согласуется с ранее опубликованными данными. Согласно литературным данным (Чурилова, 1992), при температуре 18–20 °C и режиме освещения свет:темнота 12:12 ч у двух видов *Dinophyta* и одного вида *Bacillariophyta* повышение уровня ФАР приводило к возрастанию соотношения C/N в 1,2–1,5 раза.

У мелких водорослей содержание хлорофилла *a*, нормированное на единицу объема, было выше, чем у крупных. Эта закономерность выражена в большей степени при слабом освещении. Из полученных уравнений зависимости удельного содержания хлорофилла *a* от объема клеток водорослей следует, что при увеличении среднего объема клеток в 340 раз удельное содержание хлорофилла *a* снижается при низкой интенсивности освещения примерно в 6 раз, при высокой – в 3 раза.

Выявленная нами связь внутриклеточного содержания углерода и азота с объемом клеток у динофитовых водорослей подтверждает полученные ранее зависимости для этой группы водорослей (Павловская, Кондратьева, 1981; Strathmann, 1967; Menden-Deuer, Lessard, 2000).

Для исследованных нами видов содержание углерода на клетку по клеточным объемам было вычислено по нашему уравнению (см. рис. 1) и уравнениям для *Dinophyta*, полученным другими авторами на основании экспериментальных данных (Павловская, Кондратьева, 1981; Strathmann, 1967; Menden-Deuer, Lessard, 2000). Как видно из рис. 2, наша кривая занимает промежуточное положение между кривыми Стретманна (Strathmann, 1967) и Менден-Дауэра (Menden-Deuer, Lessard, 2000) и наиболее близка к зависимости, полученной Павловской Т.В. и Кондратьевой Т.М. (1981) для семи черноморских динофитовых и одной зеленой водоросли.

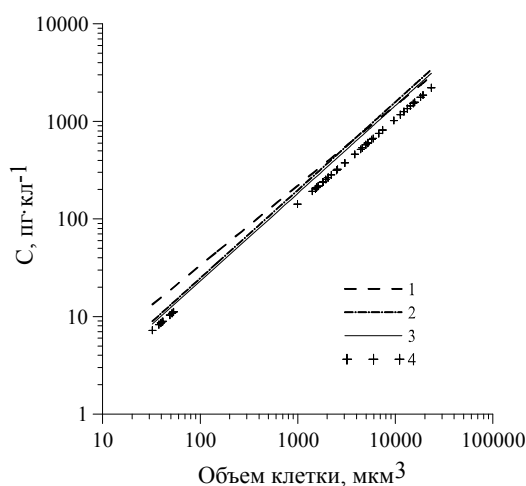


Рис. 2. Внутриклеточное содержание органического углерода как функция клеточного объема, рассчитанное на основании оригинальных (3) и литературных данных для *Dinophyta*: 1 – Menden-Deuer, Lessard, 2000; 2 – Павловская, Кондратьева, 1981; 4 – Strathmann, 1967

Таким образом, полученное нами уравнение (рис. 1) позволяет рассчитать по объему клеток *Dinophyta* содержащееся в них количество углерода как в лабораторных, так и в природных условиях.

Выводы

При увеличении интенсивности освещения от 10 до 344 мкЭ·м⁻²·с⁻¹ у исследованных видов *Dinophyta* наблюдается снижение содержания хл. *a* в расчете на клетку и на единицу углерода. Степень этого снижения у различных видов разная: у *Gyrodinium fissum* и *Heterocapsa triquetra* от 2 раз, у *Prorocentrum micans* и *P. pusillum* – до 5 раз. Максимальная изменчивость концентрации хлорофилла *a* у последних позволяет предположить наличие у них высокой степени пластичности фотосинтетического аппарата к изменению световых условий по сравнению с остальными исследованными видами. Наименьшие значения соотношения хл. *a*/C при небольшой интенсивности

освещения ($0,76 \cdot 10^{-2}$ – $1,0 \cdot 10^{-2}$) отмечены у *Scrippsiella trochoidea*, *P. micans* и *H. triquetra*, наибольшие ($4,2 \cdot 10^{-2}$ – $4,4 \cdot 10^{-2}$) – у *P. pusillum*. При высокой интенсивности освещения эти различия сокращались в 2–3 раза. У большинства видов (*G. fissum*, *H. triquetra*, *S. trochoidea* и *Prorocentrum cordatum*) с увеличением интенсивности освещения соотношение С/Ν возрастало в 1,2–1,4 раза. На основании собственных результатов получено уравнение, позволяющее по объему клеток *Dinophyta* рассчитать содержащееся в них количество углерода.

Автор выражает глубокую благодарность Кожемяке А.Б. за определение содержания органического углерода и азота на СНН-анализаторе, а также Галатоновой О.А. и Солоницыной О.Р. за предоставление культур водорослей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Берсенева Г.П. Функциональная адаптация фотосинтетической системы морских планктонных водорослей к условиям освещения: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1978. – 24 с.
- Берсенева Г.П., Сергеева А.М., Финенко З.З. Адаптация морских планктонных водорослей к свету // Океанология. – 1978. – 18(2). – С. 298–306.
- Брянцева Ю.В., Лях А.М., Сергеева А.В. Расчет объемов и площадей поверхности одноклеточных водорослей Черного моря. – Севастополь: Препр. ИнБЮМ НАН Украины, 2005. – 25 с.
- Мансурова И.М. Влияние света на удельную скорость роста динофитовых водорослей Черного моря // Мор. экол. журн. – 2013. – 4. – С. 73–78.
- Павловская Т.В., Кондратьева Т.М. Зависимость содержания органического углерода от объема клеток массовых видов фитопланктона Черного моря // Океанология. – 1981. – 21(3). – С. 523–528.
- Финенко З.З. Эколого-физиологические основы первичной продукции в море: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Москва, 1976. – 46 с.
- Чурилова Т.Я. Адаптация морских планктонных водорослей к низким интенсивностям света: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1992. – 22 с.
- Шоман Н. Ю., Акимов А.И. Влияние фотоадаптации на удельную скорость роста и соотношение органического углерода к хлорофиллу *a* у диатомовой водоросли *Rhaeodactylum tricornutum* // Мор. экол. журн. – 2013. – 4. – С. 97–103.
- Юнев О.А., Берсенева Г.П. Флюориметрический метод определения концентрации хлорофилла «а» и феофитина «а» в фитопланктоне // Гидробиол. журн. – 1986. – 2(2). – С. 89–95.
- Finenko Z.Z., Hoepffner N., Williams R., Piontkovski S.A. Phytoplankton carbon to chlorophyll a ratio: response to light, temperature and nutrient limitation // Mar. Ecol. J. – 2003. – 2(2). – P. 40–64.
- Geider R.J. Light and nutrient effects on microalgal physiology: Abstr. Ph.D. (Biol.) Thesis. – Nova Scotia (Canada), 1984.
- Grasshoff K., Ehrhardt M., Kremling K. Methods of seawater analysis. 2nd (ed). – Weinheim (Germany): Verlag Chem., 1983. – 419 p.

- Guillard R.R.L., Ryther J.H. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran // *Can. J. Microbiol.* – 1962. – **8**. – P. 229–239.
- Menden-Deuer S., Lessard E.J. Carbon to volume relationship for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton // *Limnol. Oceanogr.* – 2000. – **45**(3). – P. 569–579.
- Nielsen M.V. Irradiance and daylength effects on growth and chemical composition of *Gyrodinium aureolum* Hulburt in culture // *J. Plankt. Res.* – 1992. – **14**(6). – P. 811–820.
- Nielsen M.V. Growth and chemical composition of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium galatheanum* in relation to irradiance, temperature and salinity // *Mar. Ecol. Progr. Ser.* – 1996. – **136**(1). – P. 205–211.
- Strathmann R.R. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume // *Limnol. Oceanogr.* – 1967. – **12**. – P. 411–418.

Поступила 16 июля 2014 г.

Подписала в печать А.В. Лишук-Курейшевич

REFERENCES

- Berseneva G.P., *Funktsionalnaya adaptatsiya fotosinteticheskoy sistemy morskikh planktonnykh vodorosley k usloviyam osveshcheniya*, Avtoref. dis. kand. biol. nauk (*Functional adaptation of the photosynthetic system of marine planktonic algae to the light conditions*, Abstr. Ph.D.(Biol.) Thesis), Sevastopol, 1978, 24 p. (In Rus.)
- Berseneva G.P., Sergeeva A.M., and Finenko Z.Z., *Okeanologiya*, 1978, 18(2):298-306.
- Bryantseva Yu.V., Lyakh A.M., and Sergeeva A.V., *Raschet obyomov i ploshchadey poverkhnosti odnokletochnykh vodorosley Chornogo morya* (*Calculation of volume and surface area of unicellular algae of the Black Sea*), Prepr. InBYuM NAN Ukrainy, Sevastopol, 2005, 25 p. (In Rus.)
- Churilova T.Ya., *Adaptatsiya morskikh planktonnykh vodorosley k nizkim intensivnostyam sveta*, Avtoref. dis. kand. biol. nauk (*Adaptation of marine planktonic algae to the low light intensity*, Abstr. Ph.D. (Biol.) Thesis), Sevastopol, 1992, 22 p. (In Rus.)
- Finenko Z.Z., *Ekologo-fiziologicheskie osnovy pervichnoy produktcii v more*, Avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk (*Ecological and physiological bases of primary production in the sea*, Abstr. Dr. Sci. (Biol.) Thesis), Moscow, 1976, 46 p. (In Rus.)
- Finenko Z.Z., Hoepffner N., Williams R., and Piontkovski S.A., *Mar. Ecol. J.*, 2003, 2(2):40-64.
- Geider R.J., *Light and nutrient effects on microalgal physiology*, Abstr. Ph.D. (Biol.) Thesis), Nova Scotia (Canada), 1984.
- Grasshoff K., Ehrhardt M., and Kremling K., *Methods of seawater analysis*. 2nd ed., Verlag Chem., Weinheim, Germany, 1983, 419 p.
- Guillard R.R.L. and Ryther J.H., *Can. J. Microbiol.*, 1962, 8:229-239.
- Mansurova I.M., *Mor. ekol. zhurn.*, 2013, 4:73-78.
- Menden-Deuer S. and Lessard E.J., *Limnol. Oceanogr.*, 2000, 45(3):569-579.

- Nielsen M.V., *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 1996, 136(1):205-211.
Nielsen M.V., *J. Plankt. Res.*, 1992, 14(6):811-820.
Pavlovskaya T.V. and Kondratyeva T.M., *Okeanologiya*, 1981, 21(3):523-528.
Shoman N Yu. and Akimov A.I., *Mor. ekol. zhurn.*, 2013, 4:97-103.
Strathmann R.R., *Limnol. Oceanogr.*, 1967, 12:411-418.
Yuney O.A. and Berseneva G.P., *Gidrobiol. zhurn.*, 1986, 2(2):89-95.

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2016, 26(1):46-55

<http://dx.doi.org/10.15407/alg26.01.046>

I.M. Mansurova

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas,
2, Nakhimov Av., Sevastopol 299011, Crimea

EFFECT OF LIGHT INTENSITY ON THE CONTENT OF CHLOROPHYLL *A*,
CARBON AND NITROGEN IN SOME SPECIES OF *DINOPHYTA* FROM THE
BLACK SEA (CRIMEA)

Paper investigates the light effect on the content of chlorophyll *a*, carbon, nitrogen and the cell volume of dinoflagellates. Basic research in this area carried out on diatoms or on a limited number of dinoflagellates. Therefore research we carried out in this work was made on six dinoflagellates species: *Prorocentrum cordatum* Ostf. Dodge, *P. micans* Ehrenb., *P. pusillum* (Schiller) Dodge & Bibby, *Gyrodinium fissum* (Lev.) Kof. et Sw., *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeb. and *Heterocapsa triquetra* (Ehrenb.) Stein. Algae were grown in a medium f/2 at the temperature of 19–22 °C and five different intensities of continuous light in the range of PAR 10–344 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, microalgae were kept in the exponential growth phase. Decrease of chl. *a* per cell and per unit of carbon of 2 times for *G. fissum* and *H. triquetra* to 5 times for *P. micans* and *P. pusillum* was observed by increasing the light intensity. For most species the C/N ratio increased in 1.2–1.4 times. For each investigated light intensity a high degree of dependence of intracellular chl. *a*, organic carbon and nitrogen of the cell volume revealed. The equation based on our data was obtained that allowed us to calculate the content of carbon by volume of the dinoflagellate cells.

Key words: dinoflagellates, chlorophyll *a*, the atomic ratio of organic carbon to nitrogen, the cell volume.