

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ КЛЕТОК НА СЕЗОННУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СКОРОСТИ РОСТА ФИТОПЛАНКТОНА ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ЧЁРНОГО МОРЯ

Л. В. Стельмах

Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, РФ,  
lustelm@mail.ru

На основе исследований, выполненных в прибрежных поверхностных водах Чёрного моря (в районе Севастополя и Южного берега Крыма) в 2006–2010 гг., проанализирована сезонная изменчивость “истинной” удельной скорости роста фитопланктона, которая определялась с помощью метода разведения проб. Показано, что при оптимальных для роста фитопланктона световых условиях средний объем его клеток был ключевым параметром, отвечающим за основную долю этой изменчивости.

*Ключевые слова:* фитопланктон, удельная скорость роста, Чёрное море

Исследования на культурах отдельных видов морских планктонных водорослей показали, что в пределах одной таксономической группы по мере увеличения размеров клеток максимальная удельная скорость роста водорослей снижается [1–4]. Эти зависимости получены при оптимальных условиях среды преимущественно для диатомовых водорослей [1, 2, 3, 4] и гораздо реже для динофитовых [2, 4]. Как известно, в Чёрном море основную биомассу фитопланктона создают различные виды диатомовых и динофитовых, у которых объем клеток различается приблизительно на три порядка. С большой долей вероятности можно предположить, что удельная скорость роста черноморского фитопланктона зависит не только от факторов среды, прежде всего таких как свет, температура и биогенные вещества, но и от размерной структуры фитопланктона.

Цель настоящей работы заключалась в том, чтобы на основе исследований, выполненных в прибрежных поверхностных водах Чёрного моря, выявить влияние размеров клеток фитопланктона на сезонную изменчивость его удельной скорости роста.

**Материалы и методы.** Экспериментальные исследования были выполнены на трех станциях в прибрежных водах Чёрного моря в районе Севастополя в 2006–2010 гг. Кроме того, работы проводили на двух станциях, расположенных в б. Голубая у поселка Кацивели, а также на двух станциях, находившихся в б. Ласпи. Пробы воды объемом 14–15 л отбирали в поверхностном слое (0–1 м) один раз в месяц в утренние часы (8–11 ч). Определение скорости роста фитопланктона осуществляли с помощью метода разведения проб [5]. Основное преимущество состоит в том, что метод позволяет определить “истинную” удельную скорость роста всего фитопланктона и скорость его потребления микрозоопланктоном в одной и той же пробе по суточному приросту хлорофилла *a* в экспериментальных сосудах. Схема экспериментов и расчетов подробно изложена нами ранее [6]. Концентрацию хлорофилла *a* определяли флуориметрическим методом в соответствии с международным протоколом [7]. Калибровку флуориметра выполняли с использованием чистого хлорофилла *a* (Sigma Chemical Co).

Для определения доминирующих в планктоне видов водорослей, относящихся к нано- и микрофитопланктону, пробы воды объемом 2–3 л сгущали в воронке обратной фильтрации на нуклеопоровых фильтрах с диаметром пор 1 мкм. Численность и линейные размеры водорослей определяли в капле объемом 0.1 мл в 3–5 повторностях под

световым микроскопом ZEISS Primo Star. Средний объем клеток для отдельных таксономических групп определяли как отношение объема всех клеток к их численности.

**Результаты и обсуждение.** Исследования, выполненные в прибрежных водах Чёрного моря в районе Севастополя и Южного берега Крыма, показали, что суточная удельная скорость роста фитопланктона в поверхностном слое (0–1 м) подвержена четко выраженной сезонной изменчивости. Ее характер и амплитуда в разные годы были неодинаковы. Этот показатель изменялся в течение года на различных станциях от  $0.10 - 0.20$  сутки<sup>-1</sup> до  $0.80 - 2.75$  сутки<sup>-1</sup>. Внутригодовая динамика удельной скорости роста и ее максимальные величины зависели не только от условий среды, но и от таксономического состава и размерной структуры водорослей. Показано, что доминирование по биомассе диатомовых водорослей в нано- и микрофитопланктоне исследованных вод на протяжении большей части 2006–2007 гг. привело к возникновению двух максимумов удельной скорости роста. Как видно на примере исследований в Севастопольской бухте, первый максимум наблюдался в конце весны, второй – в начале осени (рис. 1).

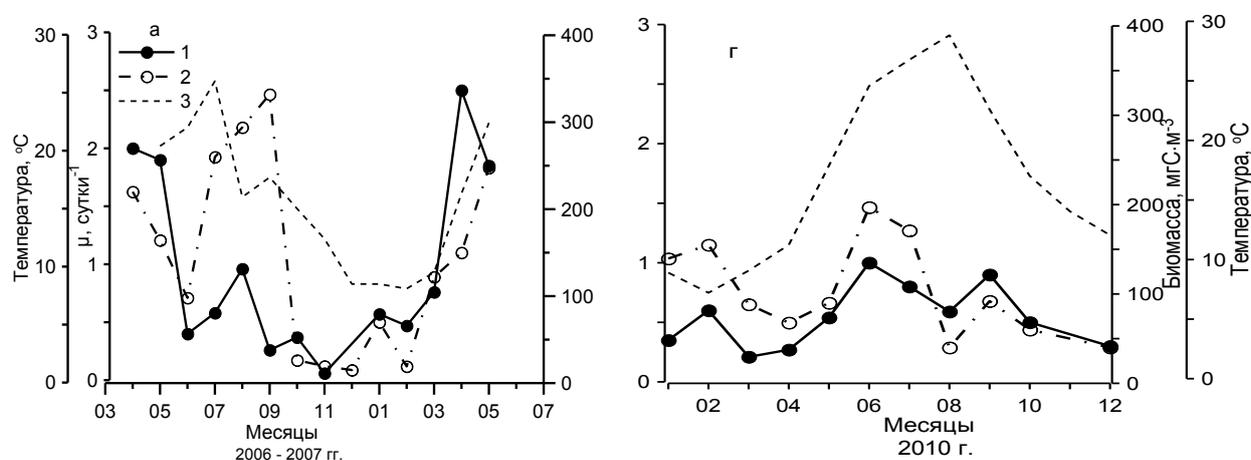


Рис. 1 Сезонная динамика удельной скорости роста фитопланктона (1), его биомассы (2) и температуры воды (3) в поверхностных водах (0 – 1 м) б. Севастопольская в 2006–2007 и 2010 гг.

В течение большей части 2010 г. на фоне доминирования динофитовых водорослей в нано- и микрофитопланктоне отмечено три максимума скорости роста. Первый максимум был выявлен в феврале – апреле. Второй и третий максимумы наблюдались в различные месяцы, в период с мая по сентябрь. Обобщение данных, полученных на всех станциях, показало, что среднегодовое значение удельной скорости роста в случае доминирования диатомовых водорослей составило  $1.00 \pm 0.52$  сутки<sup>-1</sup>, тогда как преобладание динофитовых водорослей в течение большей части года приводило к снижению ее среднегодовой величины до  $0.60 \pm 0.25$  сутки<sup>-1</sup>.

Сопоставление полученных нами экспериментально величин начала светового насыщения роста фитопланктона ( $I_k$ ) со значениями интенсивности солнечной радиации, при которых осуществлялся его рост в течение года, позволило заключить, что в исследованных водах свет не лимитировал роста фитопланктона.

Как показано ранее [4], в исследованных прибрежных водах в условиях совместного влияния абиотических факторов среды между удельной скоростью роста фитопланктона и содержанием биогенных веществ в воде корреляция не выявлена. Высокие и низкие величины скорости роста наблюдались на фоне большой вариабельности содержания биогенных веществ в воде. Это подтверждает существующее мнение о том,

что данный функциональный параметр зависит от внутриклеточного содержания питательных веществ, которое часто отличается от их содержания в воде.

Для холодного (с ноября по апрель) и теплого (с мая по октябрь) периодов года получены зависимости с достаточно высокими коэффициентами детерминации, показавшие постепенное снижение удельной скорости роста фитопланктона по мере увеличения среднего (средневзвешенного) объема клеток фитопланктона от 150 до 8000–10000 мкм<sup>3</sup> (рис. 2). Следовательно, закономерности, отражающие зависимость скорости роста от объема клеток, выявленные в экспериментах на отдельных видах микроводорослей, наблюдаются и для фитопланктона.

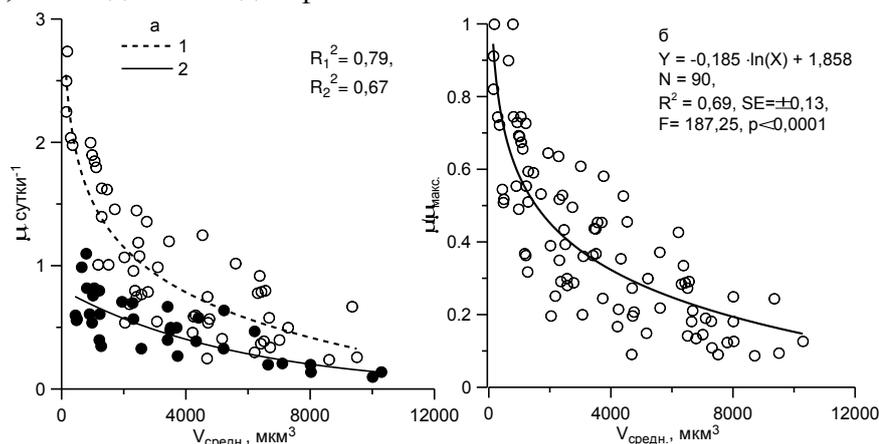


Рис. 2 Зависимость удельной скорости роста фитопланктона ( $\mu$ ) от среднего объема его клеток ( $V_{\text{средн.}}$ ) для поверхностного слоя прибрежных вод Чёрного моря в теплый (1) и холодный (2) периоды года (а). Зависимость нормированных значений скорости роста ( $\mu/\mu_{\text{макс.}}$ ) от среднего объема клеток фитопланктона для всего года (б)

В результате температурных различий между теплым и холодным периодом в среднем на 12°C график функции, описывающий связь между удельной скоростью роста фитопланктона и средним объемом его клеток, для теплого периода проходит значительно выше относительно графика, полученного для холодного периода. Среднее значение удельной скорости роста фитопланктона в теплый период составило 1.15 сутки<sup>-1</sup>, а в холодный было в 2 раза ниже. Чтобы учесть влияние температуры на удельную скорость роста водорослей, все ее значения были нормированы относительно максимальных величин в пределах каждого из двух периодов. Изменчивость нормированных значений скорости роста фитопланктона ( $\mu/\mu_{\text{макс.}}$ ) от среднего объема его клеток была описана единой логарифмической функцией с высоким коэффициентом детерминации ( $R^2=0.69$ ). Эти результаты свидетельствуют о ведущей роли размеров клеток фитопланктона в сезонной вариабельности его удельной скорости роста в условиях, оптимальных по свету для развития водорослей. Дисперсия точек относительно линии регрессии обусловлена, вероятно, различиями в таксономической структуре фитопланктона, а также в содержании биогенных веществ в клетках водорослей.

На основе изложенного материала можно заключить, что в исследованных прибрежных водах Чёрного моря в условиях, при которых свет не лимитирует рост фитопланктона, средний объем его клеток вместе с температурой воды определяют основную долю изменчивости удельной скорости роста в течение года.

**Выводы.** На основе результатов, полученных для поверхностного слоя прибрежных вод, впервые для Чёрного моря показана важная роль размерной структуры

фитопланктона в регуляции сезонной изменчивости его удельной скорости роста. Выявленные эмпирические зависимости позволили заключить, что при оптимальных для роста фитопланктона световых условиях средний объем клеток суммарного нано- и микрофитопланктона и температура воды были ключевыми параметрами, отвечающими за основную долю сезонной изменчивости скорости роста, при определяющей роли объема клеток. Увеличение среднего объема клеток в фитопланктоне от 150 до 8000–10000 мкм<sup>3</sup> вызывало закономерное снижение нормированных значений удельной скорости роста ( $\mu/\mu_{\text{макс}}$ ) приблизительно в 4 – 5 раз.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00076 (“Альтернативный подход к оценке биомассы и скорости роста фитопланктона в Чёрном море с использованием спутниковых данных”).

1. Финенко З. З. *Эколого-физиологические основы первичной продукции в море*: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Москва, 1976. 46 с.
2. Vanse K. Cell volumes, maximal growth rates of unicellular algae and ciliates, and the role of ciliates in the marine pelagial // *Limnol. Oceanogr.* 1982. Vol. 27. P. 1059–1071.
3. Finkel Z. V. Light absorption and size scaling of light-limited metabolism in marine diatoms // *Limnol. Oceanogr.* 2001. Vol. 46. P. 86–94.
4. Стельмах Л. В., Куфтаркова Е. А., Акимов А. И., Бабич И. И., Кожемяка А. Б. Использование переменной флуоресценции хлорофилла *in vivo* для оценки функционального состояния фитопланктона // *Системы контроля окружающей среды*. 2010. Вып. 13. С. 263–268.
5. Landry M. R., Hassett R. P. Estimating the Grazing Impact of Marine Micro-Zooplankton // *Mar. Biol.* 1982. Vol. 67. P. 283–288.
6. Стельмах Л. В., Бабич И. И., Тугрул С., Мончева С., Стефанова К. Скорость роста фитопланктона и его выедание зоопланктоном в западной части Чёрного моря в осенний период // *Океанология*. 2009. Т. 49, №1. С. 90–100.
7. JGOFS Protocols. *Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) Core Measurements. Manual and Guides*. 1994. Vol. 29. 100 p.

## CELL SIZE EFFECT ON SEASONAL VARIABILITY OF PHYTOPLANKTON GROWTH RATE IN SURFACE COASTAL WATERS OF THE BLACK SEA

L. V. Stelmakh

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research, RAS, Sevastopol, RF,  
lustelm@mail.ru

On the basis of investigations carried out in coastal surface waters of the Black Sea (near Sevastopol and the Southern coast of Crimea) in 2006 - 2010, the seasonal variation of the "true" specific growth rate of phytoplankton was analyzed. Growth rate was determined using the sample dilution method. It is shown that under optimal for the growth of phytoplankton light conditions the average volume of its cells has been a key parameter responsible for the bulk of this variability.

*Keywords:* phytoplankton, specific growth rate, the Black Sea