



УДК 582.276:519.863 (262.5)

А. М. Лях, канд. биол. наук, н. с., Ю. В. Брянцева, канд. биол. наук, ст. н. с.

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина

ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ТРЁХ ВИДОВ ДИНОФИТОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ РОДА *NEOCERATIUM* (DINOPHYCEAE)

Новые геометрические модели использованы для расчётов объёмов и площадей поверхностей клеток трёх видов динофитовых водорослей рода *Neoceratium*: *N. furca*, *N. fusus*, *N. tripos*. Данные о размерах клеток получены во время мониторинга за состоянием фитопланктона в прибрежье Севастополя (2008 – 2010 гг.). Модели учитывают уплощённость панцирей клеток рассматриваемых видов и более точно имитируют строение гипотеки *C. furca* и *C. fusus*. Для использования моделей необходимо выполнить 10–13 измерений каждой клетки. Обоснована возможность сокращения количества необходимых промеров до 2 – 6. Предложена оптимизированная схема измерений, при которой погрешность результатов не превышает 8 – 26 % (для объёмов) и 9 – 17 % (для площадей поверхностей).

Ключевые слова: *Neoceratium*, геометрические модели, размеры, объёмы, площади поверхностей клеток

Род *Neoceratium* F. Gomez, D. Moreira & P. Lopez-Garcia выделен из рода *Ceratium* Schrank и включает только морские виды [17]. Наряду с *Protoperidinium*, это – один из самых широко распространённых родов динофитовых Мирового океана [21]. Для Чёрного моря известно 34 вида и 43 разновидности этого рода [7, 16, 20, 23]. Для акватории у берегов Севастополя только в одном источнике [10] упоминается 11 видов и 2 разновидности, в остальных [5, 6, 8] – 4 вида этого рода: *N. fusus* (Ehr.) F. Gomez, D. Moreira & P. Lopez-Garcia, *N. furca* (Ehr.) F. Gomez, D. Moreira & P. Lopez-Garcia, *N. tripos* (O. F. Mull.) F. Gomez, D. Moreira & P. Lopez-Garcia и *N. extensum* (Gourret) F. Gomez, D. Moreira & P. Lopez-Garcia. В наших исследованиях последний вид не встречен. Первые три указанных вида широко распространены по всему Чёрному морю и встречаются на протяжении всего года. Они являются светящимися видами [1, 13]. Численность этих микроводорослей невелика по сравнению с другими таксонами, но благодаря своим относительно крупным размерам, в периоды интенсивного развития они вносят значимый вклад в биомассу фитопланктона, а также в суммарный потенциал поля биолюминесценции, мощность которого зависит от площади поверхности клеток, что и обусловило повышенное внимание к исследованию этих видов при

проведении биофизического мониторинга фитопланктона в акватории г. Севастополя [9].

Виды рода *Neoceratium* имеют сложную форму панциря, поэтому оценка объёмов и поверхностей их клеток методом геометрического подобия приводит к затруднениям, связанным как с необходимостью подбора комбинаций геометрических фигур, точно аппроксимирующих форму панциря, так и с необходимостью выполнения большого количества измерений каждой клетки. Предложенные в ряде работ [18, 19, 22, 24] геометрические модели либо недостаточно близки к реальной форме клеток, либо не учитывают уплощённость панциря динофитовых водорослей, неверно воспроизводя форму последних. Предложенные в [12, 22] уравнения регрессии позволяют рассчитать объёмы клеток по значениям 1–3 размеров. Однако площади поверхностей клеток при помощи данных уравнений найти невозможно, и уплощённая форма панцирей динофитовых здесь также игнорируется. В [11] в формулах для вычисления объёмов учтена уплощённость панцирей *N. furca* и *N. tripos*, но не приведены уравнения для оценки площадей поверхностей микроводорослей, а рекомендуемые для видов данного рода геометрические тела неточно воспроизводят их форму. Комбинация геометрических фигур в [3] учитывает уплощённость панцирей динофитовых,

но недостаточно точно имитирует форму панцирей *N. furca* и *N. fusus*. В работе [4] упоминается только один вид *N. tripos*.

В настоящей работе предложены новые геометрические модели трёх видов динофитовых рода *Neoceratium*: *N. furca*, *N. fusus* и *N. tripos*, которые позволяют учесть уплощённость панцирей и более правильно воспроизвести форму микроводорослей, а также более точно определить значения их объёмов и поверхностей. Для использования этих моделей необходимо измерить клетки в 10–13 местах, что является достаточно трудоёмкой процедурой, поэтому цель работы заключалась в уменьшении количества необходимых измерений и определении погрешности результатов, полученных по сокращённому набору размеров.

Материал и методы. Материалом для исследований послужили данные о размерах представителей динофитовых водорослей рода *Neoceratium*: *N. furca*, *N. fusus* и *N. tripos*, полученные во время мониторинга фитопланктона побережья Севастополя. Пробы фитопланктона собирали ежемесячно с ноября 2008 по сентябрь 2010 гг. (за исключением декабря 2009 и февраля 2010 гг.) в двух милях от берега на траверзе б. Камышовая. Пробы собраны 5-литровым батометром с приповерхностного горизонта и слоя максимальной интенсивности биолюминесценции (МИБ), положение которого определяли предварительным зондированием толщи воды прибором «Salpa-M» по методике [14]. Слой МИБ залегал на глубинах от 3 до 45 м в зависимости от сезона года: в холодный период года в условиях гомотермии и отсутствия сезонного термоклина он располагался в верхнем квазиоднородном слое, в период плотностной стратификации – в слое термоклина или под ним.

Перед микроскопической обработкой проб впервые была использована модифицированная методика, описанная в [2]. Морскую воду объёмом 2–4 л сгущали до 2 мл, пропуская через сито с диаметром ячеек 35 мкм. Весь полученный концентрат фиксировали раствором Люголя и просматривали под световым микроскопом при увеличении $\times 200$ в камере Нажотта объёмом 0.74 мл. Все встреченные клетки рода *Neoceratium* были сфотографированы. Дальнейшие измерения клеток выполнены по цифровым фотографиям в программе ImageJ. Такой способ измерений позволил нивелировать погрешности измерений, связанные с особенностями зрения обработчика, и сохранить цифровой материал

для повторного использования. Схема измерений клеток каждого вида показана на рис. 1, А–С.

Полученные матрицы размеров микроводорослей подвергли предварительной обработке. Из матриц были удалены записи о клетках, у которых значения не менее трёх размеров относили к выбросам – величинам, удалённым от верхней или нижней квартили размерного ряда на величину, превышающую полуторное расстояние между этими квартилями [15]. Затем была осуществлена проверка правильности порядка следования размеров: длина левой стороны гипотезы и левого рога представителей *N. furca* должна была быть не менее соответствующих размеров правой части ($L_7 \geq L_{13}$; $L_{10} \geq L_{11}$); длина левого рога *N. tripos* должна была быть не менее длины правого рога ($L_8 \geq L_{10}$), а ширина тела этих клеток должна была быть не менее длины тела ($B_5 \geq L_6$). Если какая-либо пара размеров не удовлетворяла данным критериям, выполнялся взаимный обмен значений размеров этой пары. Данная процедура не влияла на величины объёмов и поверхностей клеток, тогда как выполнение этих условий важно для корректного применения приводимых формул.

Для вычисления объёмов и площадей поверхностей клеток рода *Neoceratium* были разработаны геометрические модели, состоящие из совокупности эллиптических тел и трёхмерных форм, последние воспроизводили строение нижней части тела клеток *N. furca* и *N. fusus*. В геометрических моделях учитывали толщину клеток, которую определяли путем умножения специфичного для каждого вида поправочного коэффициента, отображающего степень уплощения панциря, на ширину клеток [3] (табл. 1).

Табл. 1 Объём обработанного материала и значения коэффициентов, необходимых для определения толщины клеток

Table 1 Volume of analyzed material and values of coefficients used for cells breadth calculation

Вид	Количество измеренных клеток	Количество измерений каждой клетки	Коэффициент для определения толщины клеток
<i>N. furca</i>	204	13	2/3
<i>N. fusus</i>	310	10	2/3
<i>N. tripos</i>	238	10	1/2

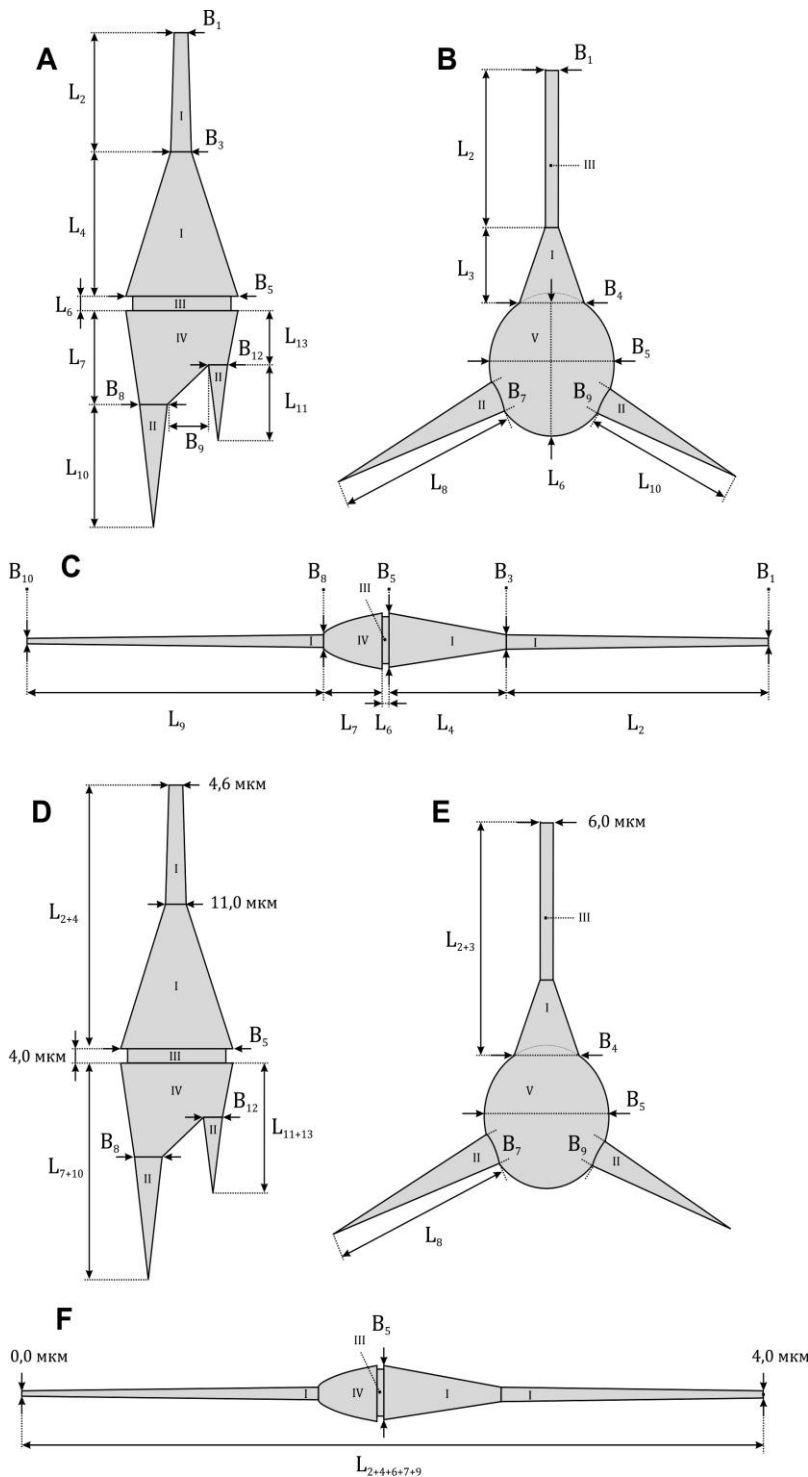


Рис. 1 Исходная (А – С) и оптимизированная (D – F) схемы измерений *Neoceratium furca* (A, D), *N. tripos* (B, E), *N. fusus* (C, F). Латинскими цифрами обозначены: I – усечённый эллиптический конус; II – эллиптический конус; III – эллиптический цилиндр; IV – трёхмерная геометрическая модель; V – эллипсоид.

Fig. 1 Original (A–C) and optimized (D – F) schemes for measurements of *Neoceratium* cells: *N. furca* (A, D), *N. tripos* (B, E), *N. fusus* (C, F). Latin letters indicate: I – elliptic cone frustum; II – elliptic cone; III – elliptic cylinder; IV – 3D-model; V – ellipsoid.

Оптимизацию количества измерений выполняли следующим образом: по значениям коэффициентов корреляции Спирмана (r) определяли степень взаимосвязи размеров друг с другом и на основе выявленных высоких достоверных зависимостей ($r \geq 0.6$; $p < 0.05$) определяли линейные регрессионные уравнения, связывающие одни размеры с другими. Расчёты были выполнены в программе Statistica. Таким же образом были построены регрессионные уравнения зависимости значений объёмов и поверхностей от размеров клеток. Значения морфохарактеристик, полученные по упрощённым наборам размеров и уравнениям регрессии, сопоставляли с исходными; между ними определяли относительные различия, выраженные в процентах, которые служили мерой погрешности выполненных расчётов. Вычисления объёмов и площадей поверхностей геометрических моделей выполняли в разработанной нами программе GShaper Dino.

Результаты и обсуждение.

Neoceratium furca. На основе анализа вариабельности значений размеров клеток *N. furca* три размера – ширина верхней (B_1) и средней (B_3) частей верхнего рога и высота поперечной

борозды (L_6) – были приняты равными значениям медиан: соответственно 4.6, 11.0 и 4.0 мкм. Дальнейший анализ выявил статистически достоверные взаимосвязи между высотой верхней части тела клетки (L_{2+4}) и высотой

верхней части верхнего рога (L_2), $r = 0.90$; большей высотой нижней части клетки (L_{7+10}) и высотой большего нижнего рога (L_{10}), $r = 0.95$; меньшей высотой нижней части клетки (L_{11+13}) и высотой меньшего нижнего рога (L_{11}), $r = 0.90$; суммарной шириной низа тела клетки (B_{8+9+12}) и максимальной шириной клетки, из-

меренной по краю поперечной борозды (B_5), $r = 0.84$. На основе данных взаимосвязей были построены линейные уравнения регрессии, связывающие указанные размеры (табл. 2) и определены диапазоны изменения погрешностей данных оценок (табл. 3).

Табл. 2 Уравнения для оптимизации измерений представителей рода *Neoceratium*
Table 2 Equation for optimization of *Neoceratium* cells measurements

Вид	Измеряемые размеры	Рассчитываемые размеры	Уравнения
<i>N. furca</i>	L_{2+4}	L_2	$L_2 = 0.754 \cdot L_{2+4} - 22.958$
		L_4	$L_4 = L_{2+4} - L_2$
	L_{7+10}	L_{10}	$L_{10} = 0.955 \cdot L_{7+10} - 24.468$
		L_7	$L_7 = L_{7+10} - L_{10}$
	L_{11+13}	L_{11}	$L_{11} = 0.898 \cdot L_{11+13} - 12.654$
		L_{13}	$L_{13} = L_{11+13} - L_{11}$
	B_5	B_{8+9+12}	$B_{8+9+12} = 0.726 \cdot B_5 + 5.378$
	B_8, B_{12}	B_9	$B_9 = B_{8+9+12} - B_8 - B_{12}$
		B_1	$B_1 = 4.6$
		B_3	$B_3 = 11.0$
	L_6	$L_6 = 4.0$	
<i>N. tripos</i>		B_1	$B_1 = 6.0$
	B_5	L_6	$L_6 = 0.791 \cdot B_5 + 24.571 (r^2=0.52)$
	L_8	L_{10}	$L_{10} = 0.844 \cdot L_8 - 12.631 (r^2=0.74)$
	L_{2+3}	L_2	$L_2 = 0.697 \cdot L_{2+3} - 6.361 (r^2=0.49)$
		L_3	$L_3 = L_{2+3} - L_2$
<i>N. fusus</i>		B_1	$B_1 = 4.0$
		B_{10}	$B_{10} = 0.0$
	B_5	B_3	$B_3 = 0.340 \cdot B_5$
		B_8	$B_8 = 0.387 \cdot B_5$
	$L = L_{2+4+6+7+9}$	L_2	$L_2 = 0.337 \cdot L$
		L_4	$L_4 = 0.145 \cdot L$
		L_6	$L_6 = 0.010 \cdot L$
		L_7	$L_7 = 0.054 \cdot L$
		L_9	$L_9 = 0.454 \cdot L$

Примечание: обозначения размеров клеток показаны на рис. 1.

Обнаружены достоверные корреляции между исходными значения объёмов и поверхностей и тремя размерами клеток: шириной поперечной борозды (B_5 ; $r_{об.} = 0.93$, $r_{пов.} = 0.75$); шириной основания левого (B_8 ; $r_{об.} = 0.65$, $r_{пов.} = 0.58$) и правого рогов (B_{12} ; $r_{об.} = 0.67$,

$r_{пов.} = 0.60$). Построены уравнения регрессии, связывающие объёмы (V , мкм^3) и поверхности (A , мкм^2) клеток с этими размерами (1), и найдены погрешности оценок, полученных с помощью этих уравнений (табл. 3).

$$\begin{aligned} V &= 1597.6 \cdot B_5 + 535.8 \cdot B_8 + 766.4 \cdot B_{12} - 39134.8, \\ A &= 154.7 \cdot B_5 + 106.1 \cdot B_8 + 158.7 \cdot B_{12} + 495.9. \end{aligned} \quad (1)$$

Табл. 3 Погрешности оценок объёмов и поверхностей клеток рода *Neoceratium*
Table 3 Errors of estimation *Neoceratium* cells volumes and surface areas

Вид	Погрешности оценок, найденных по оптимизированному набору размеров		Погрешности оценок, найденных по уравнениям регрессии (1)–(3)	
	$\Delta V, \%$	$\Delta A, \%$	$\Delta V, \%$	$\Delta A, \%$
<i>N. furca</i>	-15.3 – 21.2	-11.3 – 12.5	-16.5 – 24.3	-16.4 – 24.1
<i>N. tripos</i>	-8.9 – 8.1	-11.4 – 9.8	-10.8 – 10.4	-15.4 – 21.0
<i>N. fusus</i>	-26.4 – 24.6	-17.8 – 15.8	-39.2 – 28.8	-16.5 – 17.9

Примечание: указан диапазон изменения (5-й и 95-й перцентили) относительных погрешностей оценок объёмов (ΔV) и площадей поверхности (ΔA) клеток.

Neoceratium tripos. На основе анализа вариабельности значений размеров представителей вида *N. tripos* ширина верхнего рога (B_1) была приравнена к значению медианы: 6.0 мкм. Определены высокие значимые статистические зависимости между длиной (B_5) и шириной тела клетки (L_6), $r = 0.69$; длинами большего (L_8) и меньшего рогов (L_{10}), $r = 0.83$; общей длиной верхнего рога (L_{2+3}) и длиной его цилиндрического навершия (L_2), $r = 0.62$. Построены линейные уравнения регрессии, связывающие эти размеры (табл. 2) и опреде-

лены диапазоны изменения погрешностей данных оценок (табл. 3).

Обнаружены достоверные корреляционные зависимости между значениями объёмов и поверхностей клеток и двумя размерами: шириной (B_5 ; $r_{об.} = 0.91$, $r_{пов.} = 0.72$) и высотой тела клетки (L_6 ; $r_{об.} = 0.85$, $r_{пов.} = 0.74$). Построены уравнения регрессии, связывающие объёмы и поверхности с этими размерами (2). Найдены погрешности оценок объёмов и поверхностей при помощи данных уравнений (табл. 3).

$$\begin{aligned} V &= 3768.0 \cdot B_5 + 2214.0 \cdot B_6 - 314488.0, \\ A &= 267.2 \cdot B_5 + 293.0 \cdot B_6 - 20460.1. \end{aligned} \quad (2)$$

Neoceratium fusus. На основе анализа вариабельности значений размеров клеток *N. fusus* два размера – ширина верхней части верхнего рога (B_1) и ширина нижней части нижнего рога (B_{10}) – были зафиксированы и приняты равными значениям медиан: соответственно 4.0 и 0.0 мкм. Между остальными размерами клеток высоких статистически достоверных корреляционных связей обнаружено не было, поэтому вместо уравнений регрессии были использованы коэффициенты пропорциональности, связывающие общую длину (L) и наибольшую ширину (B_5) клеток с размерами остальных частей (табл. 2). Использование этих уравнений для определения недостающих раз-

меров клеток, подстановка полученных значений в расчётную модель и сравнение полученных результатов позволило определить погрешности проведенных расчётов (табл. 3).

Обнаружено, что значения объёмов и поверхностей клеток достоверно коррелировали с тремя размерами: наибольшей шириной (B_5 ; $r_{об.} = 0.90$, $r_{пов.} = 0.84$), шириной основания нижнего рога (B_8 ; $r_{об.} = 0.82$, $r_{пов.} = 0.82$) и высотой верхней части клетки (L_{2+4} ; $r_{об.} = 0.79$, $r_{пов.} = 0.88$). Построены уравнения регрессии (3), связывающие объёмы и поверхности с этими размерами, и рассчитаны погрешности полученных оценок (табл. 3).

$$\begin{aligned} V &= 1912.2 \cdot B_5 + 2122.0 \cdot B_8 + 63.0 \cdot L_{2+4} - 57025.7, \\ A &= 294.3 \cdot B_5 + 604.2 \cdot B_8 + 30.1 \cdot L_{2+4} - 9317.1. \end{aligned} \quad (3)$$

Заключение. Проведённые исследования показали, что количество измерений пред-

ставителей рассмотренных видов можно существенно сократить до двух (*N. fusus*) и шести

(*N. tripos*, *N. furca*) промеров каждой клетки. При этом погрешности оценок объёмов и площадей поверхностей клеток не будут превышать соответственно 8 – 26 и 9 – 17 % (табл. 3). При определении значений объёмов и поверхностей по уравнениям регрессии (1)–(3) предельные величины полученных погрешностей будут заметно больше: 11 – 39 и 18 – 24 %, что нужно учитывать при выполнении расчётов.

На основании проведенного анализа мы рекомендуем использовать упрощённые схемы измерений представителей динофитовых рода *Neoceratium*, показанные на рис. 1, D–F. С этой целью по значениям измеренных размеров клеток при помощи формул (табл. 2) следует найти величины недостающих размеров и, подставив их в модель, определить объёмы и площади поверхностей клеток. Для получения бо-

лее точных значений морфохарактеристик, необходимых, например, при исследованиях морфометрической пластичности клеток на различных стадиях жизненного цикла, можно использовать модели с полным набором измерений (рис. 1, A–C).

Предлагаемые исходные (рис. 1, A–C) и оптимизированные (рис. 1, D–F) модели легли в основу программы GShaper Dino, которая позволяет выполнять автоматический расчёт объёмов и площадей поверхностей клеток рода *Neoceratium* по заданным размерам.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам отдела биофизической экологии В. В. Мельникову и М. И. Силакову (ИнБЮМ НАНУ) за помощь в сборе материала и А. А. Жуковой (БГУ) за ценные советы и замечания.

1. Битюков Э. П., Евстигнеев П. В., Токарев Ю. Н. Светящиеся DINOFLAGELLATA Чёрного моря и влияние на них антропогенных факторов // Гидробиол. журн. – 1993. – 29, № 4. – С. 27 – 34.
2. Брянцева Ю. В., Силаков М. И., Лях А. М., Георгиева Е. Ю. Использование новых методик обработки данных по фитопланктону при проведении биофизического мониторинга // Рибне господарство України. – 2009. – 63, № 4. – С. 26 – 27
3. Брянцева Ю. В., Лях А. М., Сергеева А. В. Расчёт объёмов и площадей поверхности одноклеточных водорослей Чёрного моря. – Севастополь, 2005. – 25 с. (Препринт / НАН Украины, Институт Биологии Южных морей).
4. Лях А. М., Брянцева Ю. В. Формулы для вычисления объёмов и поверхностей микроводорослей, находящихся в коллекции ИнБЮМ // Микроводоросли Чёрного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования / Под ред. Ю. Н. Токарева, З. З. Финенко, Н. В. Шадрина. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – С. 281 – 290.
5. Манжос Л. А. Фитопланктон в прибрежных акваториях Севастополя в 2006–2007 гг. // Рибне господарство України. – 2009. – № 4 (63) – С. 8 – 12.
6. Морозова-Водяницкая Н. В. Фитопланктон Чёрного моря. Ч. 1. // Тр. Севастоп. биол. ст. – 1948. – VI. – С. 39 – 172.
7. Нестерова Д. А., Теренько Л. М., Теренько Г. В. Список видов фитопланктона // Северо-западная часть Чёрного моря: биология и экология. – Киев: Наук. думка, 2006. – С. 557 – 576.
8. Поликарпов И. Г., Сабурова М. А., Манжос Л. А. и др. Биологическое разнообразие микропланктона прибрежной зоны Чёрного моря в районе Севастополя (2001–2003 гг.) // Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (черноморский сектор) / Под ред. Еремеева В.Н., Гаевской А.В. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – С. 16 – 42.
9. Серикова И. М., Брянцева Ю. В., Токарев Ю. Н. и др. Особенности сезонной динамики поля биолюминесценции и биомассы светящихся динофлагеллят у Севастополя (2008–2009 гг.) // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. – 2010. – 44, № 3. – С. 230 – 234.
10. Сеничева М. И. Видовое разнообразие, сезонная и межгодовая изменчивость микроводорослей в планктоне у берегов Крыма // Микроводоросли Чёрного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования / Под ред. Ю. Н. Токарева, З. З. Финенко, Н. В. Шадрина. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – С. 5 – 17.
11. Сеничкина Л. Г. Фитопланктон северо-западной части Чёрного моря // Сезонные изменения черноморского планктона. – М.: Наука, 1983. – С. 55 – 65.
12. Суханова И. Н., Цейтлин В. Б. Оценка объёмов клеток рода *Neoceratium* // Океанология. – 1993. – 33, № 4. – С. 623 – 626.

13. Токарев Ю. Н. Основы биофизической экологии гидробионтов. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – 342 с.
14. Токарев Ю.Н., Битюков Э.П., Василенко В.И. и др. Биофизические методы гидробиологических исследований. Методика изучения биолюминесцентного потенциала пелагиали. Ч. I. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2002. – Вып. 2 (7). – С. 111 – 121.
15. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly detection: a survey // ACM Computer Surveys. – 2009. – **41**, № 3. – Article 15.
16. Gomez F., Boicenko L. An annotated checklist of dinoflagellates in the Black Sea // Hydrobiologia. – **517**, № 1 – 3. – P. 43 – 59.
17. Gomez F., Moreira D., Lopez-Garcia P. *Neoceratium* gen. nov., a new genus for all marine species currently assigned to *Neoceratium* (Dinophyceae) // Protist. – 2010. – **161**. – P. 35 – 54.
18. Hansen G. Biomasseberegninger // Plankton i de indre danske farvande. – Miljøministeriet: Havforskning fra Miljøsturelsen, 1992. – P. 20 – 34.
19. Hillebrand H., Dürselen C.-D., Kirschel D. et al. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae // J. Phycol. – 1999. – **35**. – P. 403 – 424.
20. Krakhmalnyy A. F., Panina Z. A., Krakhmalnyy M. A. *Dynophyta* // Algae of Ukraine: Diversity, Nomenclature, Taxonomy, Ecology and Geography / P. M. Tsarenko, S. P. Wasser, E. Nevo (ed.). – Liechtenstein: Gantner Verlag, 2006. – **1**. – P. 470 – 532.
21. Okolodkov Yu. B. *Neoceratium* Schrank (Dinophyceae) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico, with a key for identification // Acta Botanica Mexicana. – 2010. – **93**. – P. 41 – 101.
22. Olenina I., Hajdu S., Edler L. et al. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea // HELCOM Balt. Sea Environ. Proc. – 2006. – № 106. – 144 p.
23. Ozturk B. Black Sea Biological Diversity. – New York: United Nations Publication, 1998. – 144 pp. – (Black Sea Environmental Series. – **9**).
24. Sun J., Liu D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton // J. Plankton Res. – 2003. – **23**, № 11. – P. 1331 – 1346.

Поступила 15 сентября 2011 г.

Оптимізація вимірювань представників трьох видів дінофітових водоростей роду *Neoceratium* (Dinophyceae). А. М. Лях, Ю. В. Брянцева. Нові геометричні моделі використовували для розрахунку об'єму та площ поверхонь клітин трьох видів дінофітових водоростей роду *Neoceratium*: *N. furca*, *N. fusus*, *N. tripos*. Данні о розмірах клітин отримані під час моніторингу за станом фітопланктону в узбережжі Севастополя (2008 – 2010 гг.). Моделі враховують рівень сплюснення панцирів клітин і точніше імітують будову гіпотекі видів *C. furca* і *C. fusus*. Для використання моделей необхідно виконати від 10 до 13 вимірювань кожної клітини. На основі проведеного статистичного аналізу обґрунтована можливість скорочення кількості необхідних промерів до 2 – 6. Запропонована оптимізована схема вимірювань, при якій похибки результатів не перевищуватимуть 8 – 26 % (для об'ємів) і 9 – 17 % (для площ поверхонь).

Ключові слова: *Ceratium*, геометричні моделі, розміри, об'єми, площі поверхонь клітин

Optimization of the measurements of three *Neoceratium* (Dinophyceae) species. A. M. Lyakh, Yu. V. Bryantseva. New geometric models were used for calculating biovolumes and surface areas of three *Neoceratium* species: *N. furca*, *N. fusus*, *N. tripos*. Cell sizes was obtained during phytoplankton monitoring in 2008 – 2010 near Sevastopol shore (SW Crimea, Black Sea). Proposed models took into account cells theca breadth and more precisely approximates the shapes of *C. furca* and *C. fusus* hypotheca. To use the models from 10 till 13 cell's measurements were needed. Proposed optimization allow decreasing necessary measurement till 2 – 6. The errors of obtained results were not exceed 8 – 26 % (for biovolumes) and 9 – 17 % (for surface areas).

Key words: *Ceratium*, geometric models, cell dimensions, biovolumes, cell surface areas