

Е. Л. НЕВРОВА, А. М. ЛЯХ

### НОВЫЕ И РЕДКИЕ ДЛЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ВИДЫ ДОННЫХ ДИАТОМОВЫХ (BACILLARIOPHYTA) И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ БИОМАССЫ С ПОМОЩЬЮ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Подтверждено обнаружение двух новых для Черного моря видов донных диатомовых: *Hantzschia marina* (Donkin) Grunow и *Amphora spectabilis* Gregory, и двух редких видов, отмеченных в Черном море ранее только в конце XIX века: *Pinnularia trevelyana* (Donkin) Rabenhorst и *Toxonidea insignis* Donkin. С помощью метода трехмерного геометрического моделирования и метода подобных фигур определены объемы и площади поверхности, и рассчитана биомасса этих видов на 1 м<sup>2</sup> дна. Показано, что форма клетки *H. marina* хорошо аппроксимируется эллиптическим цилиндром. Для вычисления морфопараметров остальных видов предложены трехмерные модели.

В ходе предыдущих исследований диатомовых бентоса в трех различных районах Черного моря были обнаружены микроводоросли, которые не удалось определить до видового уровня [6]. При появлении в нашем распоряжении дополнительной литературы и оптического оборудования высокого разрешения с фотонасадкой, постоянные препараты из этих районов были просмотрены повторно, что позволило уточнить диагнозы этих не определенных ранее видов. Цель работы - описание редких и новых для Черного моря видов, а также оценка их объема и биомассы новым методом трехмерного геометрического моделирования. Данное исследование является частью комплексных работ отделов экологии бентоса и биофизической экологии ИнБИУМ НАНУ.

**Материал и методы.** В работе использованы материалы бентосных съемок на южном берегу Крыма (бухта Ласпи – июнь 1996), побережье Северного Кавказа (район г. Анапа – октябрь 1999) и юго-западном побережье г. Севастополя (бухта Омега (Круглая) – июль 2004). Пробы микрофитобентоса отобраны на рыхлых грунтах водолазом с помощью трубки (площадь захвата 15.9 см<sup>2</sup>) либо дночерпателем Петерсена. Для более полного отделения эпипелона и эпипсаммона пробы грунта обработаны ультразвуком в течение 20 мин. Обработка проб, морфометрический и таксономический анализ диатомовых по постоянным препаратам осуществлены по общепринятым методикам [1]. Микрофотографии выполнены цифровой фотокамерой Canon A620 с микроскопа Carl Zeiss (×630). При идентификации видов и построении их моделей использованы определители [9 – 14].

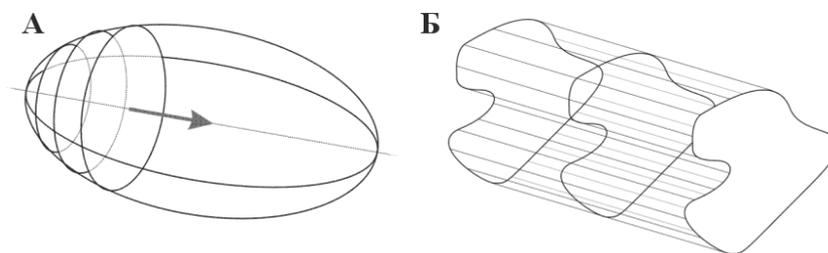
Объем, площадь и биомасса клеток диатомовых определены по характеристикам трехмерных геометрических моделей. Для этого на основе полученных фотографий, а также по опубликованным изображениям [10 – 14] методом трехмерного геометрического моделирования были созданы «секционные модели» микроводорослей. Для построения использованы изображения микроводорослей с трех взаимно ортогональных точек зрения: со стороны створки, пояска и поперечного сечения клетки. Изображения очерчены замкнутыми кривыми, размещенными в пространстве таким образом, чтобы ограниченные ими участки плоскостей были перпендикулярны друг другу. Две кривые, соответствующие створковому и продольному сечениям клетки, являлись опорой для третьей кривой, которая равномерно смещалась вдоль них, образуя каркас будущей модели (рис. 1 А). По окончании движения построенный каркас «обтягивался» трехмерной поверхностью с применением алгоритма [4].

Наряду с секционными моделями, для аппроксимации формы клеток применены «цилиндрические модели» [3, 4]. Под цилиндром мы подразумеваем геометрическую фигуру, образованную замкнутой поверхностью, которая ограничена двумя параллельными плоскостями. При пересечении плоскостей с цилиндрической поверхностью образуются участки, которые являются основаниями цилиндров (рис. 1 Б). Заметим, что основаниями цилиндров могут служить плоские фигуры произвольной формы. При моде-

© Е. Л. Неврова, А. М. Лях, 2006

Экология моря. 2006. Вып. 72

лировании клеток диатомовых основаниями цилиндров являются створки, а цилиндрической поверхностью – загибы створок и поясок.



**Рисунок 1. А – этапы создания «секционной модели»; Б – «цилиндрическая модель»**  
**Figure 1. A –stages of «section model» construction; Б – «cylindrical model»**

Объемы ( $V$ ) и площади ( $A$ ) цилиндров определены по формулам:

$$\begin{aligned} V &= A_{\text{ОСН}} \cdot h, \\ A &= 2 \cdot A_{\text{ОСН}} + P_{\text{ОСН}} \cdot h. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь:  $h$  – высота цилиндра;  $A_{\text{ОСН}}$  - площадь основания;  $P_{\text{ОСН}}$  – периметр основания. Две последние величины рассчитаны по формулам из работы [4].

Особое внимание уделено размерам отдельных частей панцирей диатомовых. Форма и размеры моделей панцирей полностью определяются формой и размерами исходных кривых. Деформация последних приводит к изменению характеристик генерируемых моделей. В качестве исходных кривых выбраны параметрические кривые Безье [2], внешний вид которых определяется положением нескольких управляющих вершин. Для учета вариабельности размеров микроводорослей, управляющие вершины, в соответствии с разработанными схемами, расставлены в наиболее изменчивых частях базовых кривых и сгруппированы в *размерные пары*. Расстояние между вершинами одной пары определяло размер некоторой части кривой, а, следовательно, и размер некоторого участка модели. При расчетах расстояния между вершинами приравнивались к измеренным величинам, и по формулам [4] вычислялись объемы и поверхности построенных моделей.

Значения объемов и площадей сравнивались с характеристиками подобных геометрических фигур. Для этого параметры моделей и подобных фигур дискретно изменялись в заданных размерных диапазонах. На каждом шаге были рассчитаны абсолютные ( $\Delta V$ ,  $\Delta A$ ) и относительные процентные отклонения ( $\Delta V\%$ ,  $\Delta A\%$ ) объемов и площадей геометрических моделей от аналогичных параметров подобных фигур:

$$\begin{aligned} \Delta V &= (V_{\text{ФИГ}} - V_{\text{МОД}}), \\ \Delta A &= (A_{\text{ФИГ}} - A_{\text{МОД}}), \\ \Delta V\% &= 100\% - V_{\text{МОД}} \cdot 100\% / V_{\text{ФИГ}}, \\ \Delta A\% &= 100\% - A_{\text{МОД}} \cdot 100\% / A_{\text{ФИГ}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где:  $V_{\text{МОД}}$  и  $A_{\text{МОД}}$  – объем и площадь модели;  $V_{\text{ФИГ}}$  и  $A_{\text{ФИГ}}$  – объем и площадь подобной фигуры.

Положительные величины отклонений означали, что подобная фигура превышала объем или площадь модели; отрицательные величины, наоборот, показывали занижение параметров геометрической модели. Предположено, что трехмерные модели являются наилучшей аппроксимацией форм исследуемых клеток, так как все составные элементы моделей построены на основе реальных параметров микроводорослей. Таким образом, отклонения служат мерой сходства или различия моделей клеток и геометрических фигур и характеризуют возможность использования последних вместо трехмерных моделей.

Биомасса видов оценена как произведение их индивидуальной массы на численность. Индивидуальные массы клеток вычислены произведением их объемов на плотность микроводорослей, принятую равной  $1 \cdot 10^{-9}$  мг·мкм<sup>-3</sup>.

Построение геометрических моделей, моделирование изменчивости размеров клеток и расчеты их объемов и площадей поверхности выполнены с помощью специально разработанного нами программного обеспечения.

**Результаты и обсуждение.** После сопоставления с литературными (свыше 60 источников) и собственными [6] данными подтверждено существование в Черном море двух редких видов – *Pinnularia trevelyana* (Donkin) Rabenhorst и *Toxonidea insignis* Donkin а также зарегистрированы два новых для Черного моря вида – *Hantzschia marina* (Donkin) Grunow и *Amphora spectabilis* Gregory. Все эти виды обнаружены на песчаном грунте и в составе фитоперифитона в июне 1996 г. в районе б. Ласпи, в октябре 1999 г. в районе г. Анапа и в июле 2004 г. в б. Омега. Ранее при исследованиях побережья Кавказа (район г. Анапа) [7] и б. Омега [7, 8] ни один из вышеуказанных видов не был зарегистрирован.

*P. trevelyana* и *T. insignis* впервые отмечены в Черном море в конце XIX века [5], и с тех пор в течение столетия ни в одном регионе не были обнаружены. То же самое относится и к *Cocconeis britannica* Naegeli и *Raphoneis amphicerus* Ehrenberg, вторично найденным нами лишь в конце XX века, в б. Ласпи [6].

Следует отметить, что ранее подвергнутые достаточно резкой критике [7] результаты работ К.С. Мережковского [5] нашли развитие в трудах отечественных и зарубежных ученых. Так, в последующих исследованиях подтверждено обнаружение открытых и описанных К.С. Мережковским не только некоторых новых видов, но и таксонов более высокого ранга – родов и семейств. Многочисленные представители родов *Placoneis* Mer., *Sellaphora* Mer., *Staurophora* Mer., *Licmosphenia* Mer. и семейств *Catenulaceae* Mer., *Mastogloioaceae* Mer., *Scoliotropidaceae* Mer., *Pleurosigmataceae* Mer., *Mastogloioaceae* Mer., *Sellaphoraceae* Mer. и др., открытых и описанных Мережковским в конце XIX века, в настоящее время обнаружены в Мировом океане и внутренних водах [13].

Ниже приведены диагнозы, краткие экологические сведения и результаты моделирования вышеупомянутых видов донных диатомовых.

***Pinnularia trevelyana* (Donkin) Rabenhorst** (syn. *Navicula trevelyana* Donkin) (рис. 2 А, Б). Створки удлиненные, края параллельные, концы закругленные, длина 75 – 95 мкм, ширина 11 – 20 мкм. Штрихи грубые, гладкие, 9 – 10 в 10 мкм, в центре радиальные, на середине параллельные, на концах конвергентные. Осевое поле узкое, на середине резко расширяется и имеет округлую форму. Шов изогнутый, конечные узелки отогнуты в одну сторону. На обоих концах створки штрихи прерваны, образуя серповидные фигуры. Вид распространен у берегов Северных и Средиземного морей [5, 11]. Впервые для Черного моря отмечен только в конце XIX века [5], вторично обнаружен нами в июне 1996 г. в б. Ласпи, в октябре 1999 г. в районе г. Анапа и в июле 2004 г. в б. Омега, на песчаных грунтах в диапазоне глубин 1 – 35 м.

Измерения клеток проведены по схеме (рис. 2 Б-В), на которой отмечены следующие размерные пары: l – длина клетки, w – ширина створки, h – высота панциря, a – высота панциря в узкой части, b – ширина пояса. Параметры моделей посредством смещения управляющих вершин исходных кривых подгонялись под размеры исследуемых клеток. Для данного вида микроводорослей нет рекомендуемой подобной геометрической фигуры. Поскольку форма створки *P. trevelyana* схожа с эллипсом, в качестве подобной геометрической фигуры нами выбран эллиптический цилиндр. Результаты промеров клеток, значения объемов и площадей моделей и цилиндров, а также величины отклонений представлены в табл. 1.

По результатам измерений видно, что отношение высоты панциря в широкой и узкой частях (h/a) меняется от 1.3 до 1.7. Отношение высоты панциря в узкой части к высоте пояса (a/b) изменяется от 1.2 до 1.7. Данные соотношения можно использовать

для моделирования вариабельности размеров клеток *P. trevelyana*. Значения погрешностей показывают, что эллиптический цилиндр неудовлетворительно оценивает морфо-параметры *P. trevelyana*. Разница между объемами модели и цилиндра, выраженная в миллиграммах, составляет  $2.6 \cdot 10^{-6} - 6.2 \cdot 10^{-6}$  мг для одной клетки. Относительная погрешность площадей меняется от 14% до 20%.

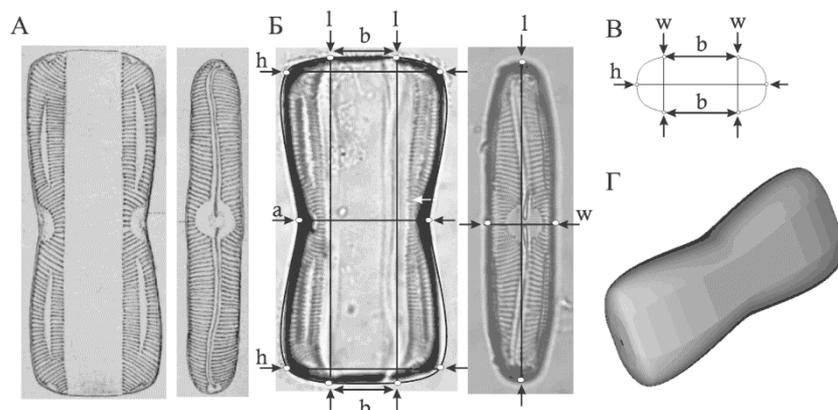


Рисунок 2. Редкий для Черного моря вид *Pinnularia trevelyana* (Donkin) Rabenhorst: А – рисунок клетки со стороны пояска и створки [11, plate 1, fig. 2a, 2b]; Б – клетка со стороны пояска и створки и схема расположения размерных пар (объяснения в тексте); В – построенное поперечное сечение клетки; Г – трехмерная модель

Figure 2. Rare for the Black Sea species *Pinnularia trevelyana* (Donkin) Rabenhorst: А – the drawing of the cell girdle and valve [11, plate 1, fig. 2a, 2b]; Б – cell girdle and valve and the scheme of dimensional pairs location (explanation in text); В – cell cross-section; Г – three-dimension computer model

Таблица 1. Значения объемов и площадей клеток *Pinnularia trevelyana* (Donkin) Rabenhorst, вычисленные двумя способами

Table 1. *Pinnularia trevelyana* (Donkin) Rabenhorst cells volumes and surface areas calculated using two methods

l, мкм	w, мкм	h, мкм	a, мкм	b, мкм	$V_{\text{МОД}}$ , мкм <sup>3</sup>	$V_{\text{ФИГ}}$ , мкм <sup>3</sup>	$\Delta V\%$	$\Delta V$ , мкм <sup>3</sup>	$A_{\text{МОД}}$ , мкм <sup>2</sup>	$A_{\text{ФИГ}}$ , мкм <sup>2</sup>	$\Delta A\%$	$\Delta A$ , мкм <sup>2</sup>
75	11	33	24	18	18787	21382	12	2595	5320	6396	17	1076
80	13	30	20	15	20545	24504	16	3959	5418	6606	18	1188
82	14	22	15	9	16353	19836	17	3483	4453	5552	20	1099
85	15	25	15	13	20305	25035	19	4730	5221	6428	19	1207
90	17	40	30	25	43877	48066	9	4189	8507	9934	14	1427
95	19	40	30	22	50545	56706	11	6161	9277	10819	14	1542

Примечание: Обозначения l, w, h, a, b см. на рис. 2 Б-В; остальные переменные см. в формуле (2)

Объем одной клетки *P. trevelyana*, рассчитанный по моделям, изменяется в диапазоне от  $1.64 \cdot 10^4$  мкм<sup>3</sup> до  $5.05 \cdot 10^4$  мкм<sup>3</sup> со средним значением  $2.84 \cdot 10^5$  мкм<sup>3</sup>. Объем клетки, вычисленный по подобной фигуре, изменяется от  $1.98 \cdot 10^4$  мкм<sup>3</sup> до  $5.67 \cdot 10^4$  мкм<sup>3</sup> со средним значением  $3.25 \cdot 10^5$  мкм<sup>3</sup>. При средней численности вида на станции в б. Омега  $1.0 \cdot 10^7$  экз. м<sup>-2</sup>, биомасса, вычисленная по моделям, составит 284 мг·м<sup>-2</sup>; биомасса, вычисленная по подобной фигуре, равна 325 мг·м<sup>-2</sup>. Таким образом, эллиптический цилиндр значительно превышает характеристики данного вида, и для более точной оценки биомассы *P. trevelyana* рекомендуется использовать трехмерные модели.

*Toxonidea insignis* Donkin (рис. 3 А, Б). Створки асимметричные, полуэллиптические, длина 90 - 125 мкм, ширина 25 мкм, с сильно выпуклым спинным и прямым брюш-

ным краями, концы закругленные, заметно оттянутые. Шов эксцентрический; в середине изогнутый к спинному краю, конечные ветви с узелками лежат на брюшном крае, конечные щели изогнуты к спинному краю. Осевое поле почти незаметно, центральное поле небольшое, округлое, асимметрично расширено к брюшному краю. Поперечные и продольные ряды ареол нежные, слабо заметные, одинаковой частоты, 20 в 10 мкм, пересекаются под углом 45°. Распространен в бассейне Северных морей и в Средиземноморском регионе [5, 10]. Впервые для Черного моря вид отмечен только в конце XIX века [5], вторично встречен нами в июне 1996 г. в б. Ласпи, в октябре 1999 г. в районе г. Анапа и в июле 2004 г. в б. Омега, на песчаных грунтах, в диапазоне глубин 1 – 25 м.

Нам не удалось увидеть *T. insignis* со стороны пояска – клетка всегда расположена створкой к наблюдателю, поскольку имеет узкий поясок. Форма микроводоросли аппроксимирована цилиндрическими моделями. Для рода *Toxonidea* Donkin в литературе нет рекомендуемых подобных фигур, поэтому нами были выбраны следующие две: половина эллиптического цилиндра и треугольная призма. При расчетах размеры модели и подобных фигур изменялись в следующих диапазонах: длина – от 90 до 125 мкм, ширина – от 20 до 30 мкм, высота – от 10 до 15 мкм. В результате, отклонение объема половины эллиптического цилиндра от объема модели составило 25%; отклонение площади поверхности – в среднем 15%. Отклонение объема треугольной призмы от объема модели достигло отрицательных величин (-20%); площади в среднем (-12%). Таким образом, ни одна из рассмотренных подобных фигур не рекомендуется для точного расчета объема и площади поверхности *T. insignis*. Для оценки морфопараметров данного вида предложены трехмерные модели (рис. 3 В, Г).

Объемы клеток *T. insignis* указанного размерного диапазона, вычисленные по моделям, изменяются от  $1.13 \cdot 10^4$  мкм<sup>3</sup> до  $3.54 \cdot 10^4$  мкм<sup>3</sup>; средний объем равен  $2.14 \cdot 10^5$  мкм<sup>3</sup>. При средней численности вида на станции в б. Омега  $1.0 \cdot 10^7$  экз.·м<sup>-2</sup>, биомасса, оцененная по модели, составит 214 мг·м<sup>-2</sup>, по половине эллиптического цилиндра – 267 мг·м<sup>-2</sup>, по треугольной призме – 170 мг·м<sup>-2</sup>.

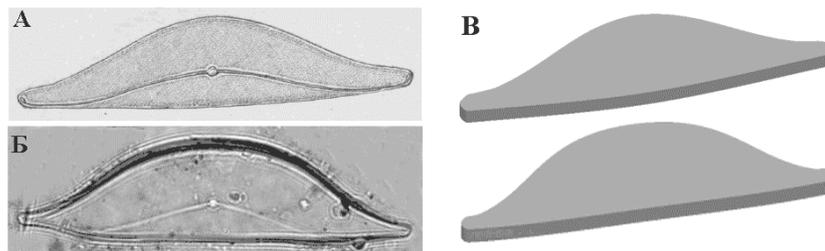


Рисунок 3. Редкий для Черного моря вид *Toxonidea insignis* Donkin: А – рисунок клетки со стороны створки [10; plate 3, fig. 2]; Б - клетка со стороны створки; В - трехмерные модели клеток, построенные на основе приведенных изображений

Figure 3. Rare for the Black Sea species *Toxonidea insignis* Donkin: А – the drawing of the cell valve [10; plate 3, fig. 2]; Б – photo of the cell valve; В - three-dimension computer models

*Hantzschia marina* (Donkin) Grunow in Cleve & Grunow (syn. *Epithemia marina* Donkin) (рис. 4 А-В). Створки с почти параллельными краями и клювовидными оттянутыми концами, длина 95 - 110 мкм, ширина 15 – 35 мкм. Ребра параллельные, на концах слабо радиальные, 6 – 8 в 10 мкм, между каждой парой ребер двойные ряды ареол, 7 – 8 в 10 мкм. Шов слабо изогнутый, лежит на брюшном крае. На спинной стороне параллельные ряды грубых точек. Распространен в Северном море [10]. В Черном море встречен нами впервые в июне 1996 г. в б. Ласпи, в июле 2004 г. в б. Омега, на песчаных грунтах, в диапазоне глубин 1 – 5 м.

Для моделирования клеток *H. marina* использованы цилиндрические модели (рис. 4, Г). В качестве подобной фигуры для рода *Hantzschia* Grunow рекомендовано [15] применять параллелепипед. Предполагается, что длина параллелепипеда соответствует

длине створки без учета оттянутых концов, ширина – ширине створки в ее центральной части. В качестве второй подобной фигуры использован эллиптический цилиндр, поскольку створка клетки напоминает деформированный эллипс.

Для изучения влияния различных размеров клеток на вариабельность значений их объемов и площадей поверхности, размеры исходной геометрической модели, построенной по изображениям вида, программно изменялись с шагом 1 мкм в следующих диапазонах: длина клетки – от 90 до 110 мкм, ширина створки – от 15 до 35 мкм, высота панциря – от 15 до 40 мкм. На каждом шаге рассчитаны объем и площадь модели и подобных геометрических фигур с заданными размерами. Расчеты показали, что объем параллелепипеда превышает объем модели в среднем на 13%, а его площадь отличается от площади модели в среднем на 4%. При использовании эллиптического цилиндра разница между параметрами объемов и площадей модели не превышает 1.5%. Таким образом, при расчетах морфометрических параметров клеток *H. marina* в качестве подобной геометрической фигуры мы рекомендуем эллиптический цилиндр, длина основания которого равна длине клетки, а ширина – ширине створки в ее узкой части.

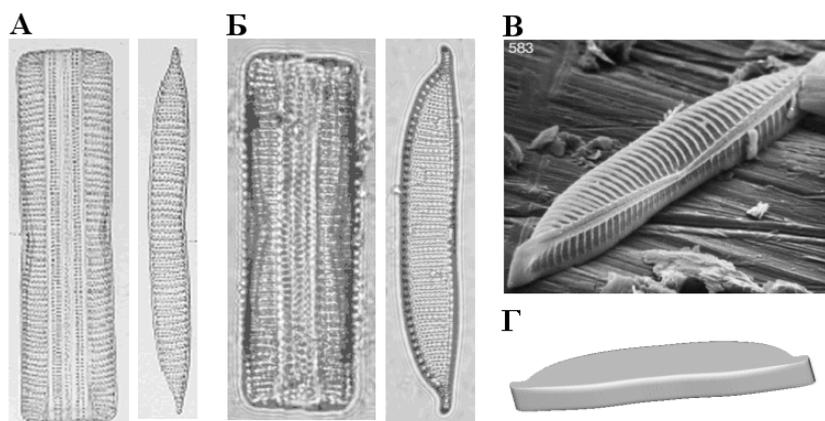


Рисунок 4. Новый для Черного моря вид *Hantzschia marina* (Donkin) Grunow: А – рисунок клетки со стороны пояса и створки [10, plate 3, fig. 14a, 14b]; Б – клетка со стороны пояса и створки; В – клетка со стороны створки (СЭМ) [12, fig. 583]; Г – трехмерная цилиндрическая модель

Figure 4. Newly-found for the Black Sea species *Hantzschia marina* (Donkin) Grunow: А – drawing of the cell girdle and valve [10, plate 3, fig. 14a, 14b]; Б – the cell girdle and valve; В – cell valve (LEM) [12, fig. 583]; Г – three-dimension cylindrical model

Объемы клеток *H. marina* указанного размерного диапазона, вычисленные по моделям, изменяются от  $1.63 \cdot 10^4$  мкм<sup>3</sup> до  $11,75 \cdot 10^4$  мкм<sup>3</sup>; средний объем равен  $5.38 \cdot 10^5$  мкм<sup>3</sup>. При средней численности вида на станции в б. Омега  $1.0 \cdot 10^7$  экз.·м<sup>-2</sup>, биомасса, оцененная по модели, составит  $538$  мг·м<sup>-2</sup>, по подобной фигуре –  $530$  мг·м<sup>-2</sup>.

*Amphora spectabilis* Gregory (рис. 5 А). Створки полуэллиптические, спинной край выпуклый, брюшной почти прямой, слабо вогнутый на середине; концы оттянутые, слегка загнуты к спинной стороне, длина 70 – 80 мкм, ширина 13 мкм. Штрихи грубые, неравномерно пунктирные, гладкие, 6 – 7 в 10 мкм. Осевое поле узкое, на середине немного расширенное. Шов слегка изогнутый, эксцентрический, конечные щели повернуты к спинному краю. Спинная сторона гладкая. Распространен в Северном море [14]. В Черном море встречен нами впервые в июне 1996 г. в б. Ласпи, в октябре 1999 г. в районе г. Анапа, в июле 2004 г. в б. Омега, на песчаных грунтах и в составе обрастаний макрофитов, в диапазоне глубин 1 – 50 м.

Для рода *Amphora* Ehrenberg в качестве подобной фигуры рекомендовано [15] использовать цимбеллоид (рис. 5 Б). По трем проекциям клетки (рис. 5 В) была построена трехмерная модель (рис. 5 Г). При сравнении двух моделей, их размеры менялись в

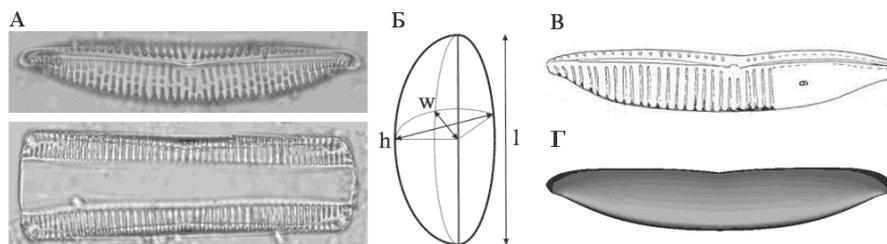


Рисунок 5. Новый для Черного моря вид *Amphora spectabilis* Gregory: А – клетка со стороны створки и пояса; Б – цимбеллоид – подобная геометрическая фигура, аппроксимирующая форму клетки; В – рисунок клетки со стороны створки [13, plate 23, fig. 6]; Г – трехмерная модель микроводоросли

Figure 5. A - Newly-found for the Black Sea species *Amphora spectabilis* Gregory: A – the cell valve and girdle; Б – cymbelloid is a similar geometrical figure that approximates shape of the cell; В – drawing of the cell valve [13, Plate 23, Fig. 6]; Г – three-dimension computer model

следующем диапазоне: длина – от 70 до 80 мкм, ширина – от 12 до 15 мкм; высота – от 20 до 30 мкм. Расчеты показали, что объем модели отличается от объема цимбеллоида на (-36%), а площадь поверхности – на (-7%). Такая большая разница в объемах приводит к необходимости использовать трехмерные модели для оценки морфопараметров *A. spectabilis*.

Объемы клеток *A. spectabilis* указанного размерного диапазона, вычисленные по моделям, изменяются от  $0.89 \cdot 10^4$  мкм<sup>3</sup> до  $1.90 \cdot 10^4$  мкм<sup>3</sup>; средний объем равен  $1.34 \cdot 10^5$  мкм<sup>3</sup>. При средней численности вида на станции в б. Омега  $1.0 \cdot 10^7$  экз.·м<sup>-2</sup>, биомасса, оцененная по модели, составит 134 мг·м<sup>-2</sup>.

**Закключение.** Дополнены сведения о распространении, экологии и флоре донных диатомовых прибрежных вод Крыма и Черного моря в целом. Подтверждено существование видов *Pinnularia trevelyana* и *Toxonidea insignis*, не отмечаемых в течение столетия в Черном море. Обнаружены новые для Черного моря виды *Hantzschia marina* и *Amphora spectabilis*. Все четыре вида не относятся к категории единичных, и их распространение в сублиторали Черного моря носит широкомасштабный характер. Вопрос о том, являются ли новые виды вселенцами, либо они не были определены ранее по причине недостаточной изученности донных диатомовых, остается открытым. Подтверждение нахождения *T. insignis* добавляет к общему списку диатомовых Черного моря не только новый вид, но и новый род *Toxonidea* Donkin, принадлежащий к сем. Pleurosigmataceae Mereschkowsky 1903, пор. Naviculales Bessey 1907. По устному сообщению коллеги из Стамбульского университета (Dr. Y. Actan) *T. insignis* был обнаружен в 2002 г. в Мраморном море, близ выхода в Эгейское море.

С учетом полученных данных, созданный нами после ревизии и синонимизации общий список диатомовых бентоса Черного моря включает в настоящее время 553 вида (705 видов и внутривидовых таксонов), 115 родов, 59 семейств, 31 порядок и 3 класса, в соответствии с системой Round et al [13].

С помощью предложенного метода трехмерного моделирования построены модели клеток данных четырех видов, которые, по сравнению с традиционно используемыми подобными фигурами, более точно аппроксимируют их форму. Для точного расчета объемов и площадей поверхности клеток *H. marina*, наряду с трехмерными моделями, рекомендуется использовать эллиптический цилиндр. Разница между морфопараметрами, рассчитанными двумя методами, не превышает 1.5%. Для точной оценки объемов и площадей поверхности клеток *P. trevelyana*, *T. insignis* и *A. spectabilis* следует использовать трехмерные модели. Подобные фигуры в данных случаях значительно завышают морфопараметры перечисленных видов микроводорослей.

Вычислены средние значения объемов и площадей поверхности микроводорослей, и рассчитана их биомасса на 1 м<sup>2</sup> дна. При средней численности видов в б. Омега

$1.0 \cdot 10^7$  экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>, их биомасса составляет: *P. trevelyana* – 284 мг $\cdot$ м<sup>-2</sup>, *T. insignis* – 214 мг $\cdot$ м<sup>-2</sup>, *H. marina* – 538 мг $\cdot$ м<sup>-2</sup>, и *Amphora sp.* – 134 мг $\cdot$ м<sup>-2</sup>. Полученные данные могут быть использованы для последующих расчетов первичной продукции донных диатомовых.

**Благодарность.** Авторы выражают искреннюю признательность Ревкову Н.К. за помощь при сборе материала и Брянцева Ю.В. за консультации при работе с микроскопом Carl Zeiss.

1. *Диатомовые водоросли СССР.* – Л.: Наука, 1974. – 1. – 403 с.
2. *Лях А.М.* Сравнение методов оценки объемов и площадей поверхности диатомовых водорослей // Наукові записки Тернопільського національного пед. ун-ту. Сер.: Біологія. Спец. вип. «Гідроекологія». – 2005. – № 4(27). – С. 144 – 146.
3. *Лях А.М.* Деформации пространства и их применение для моделирования формы клеток фитопланктона // Уч. зап. Таврического национального ун-та. Сер. «Математика. Механика. Информатика и Кибернетика». – 2005. – 17 (56), № 1. – С. 47 – 58.
4. *Лях А.М., Токарев Ю.Н.* Оценка объемов и площадей поверхности диатомовых водорослей при помощи трехмерных моделей // Мор. эколог. журн. – 2005. – Отд. вып. № 1. – С. 69-77.
5. *Мережковский К.С.* Список диатомовых водорослей Черного моря // Ботан. Записки. – 1902-1903. – 19. – С. 51 – 89.
6. *Неврова Е. Л., Ревков Н.К., Петров А.Н.* 5.3. Микрофитобентос / Ред. Еремеев В. Н., Гаевская А. В. // Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (Черноморский сектор). Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – С. 270 – 277; 288 – 302; 351 – 362.
7. *Прошкина-Лавренко А. И.* Диатомовые водоросли бентоса Черного моря. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1963. – 243 с.
8. *Рябушко Л. И.* Диатомовые водоросли обрастаний донной растительности Черного моря у мыса Омега // Альгология. – 1994. – 4, № 1. – С. 62 – 71.
9. *Cleve-Euler A.* Die Diatomeen van Schweden und Finland. – Stockholm, 1953. – 3. – 255 S.
10. *Donkin A. S.* On the marine Diatomaceae of Northumberland with a description of 18 new species // Transactions of the Microscopical Society of London. – 1858. – 6. – P. 12 – 34.
11. *Donkin A. S.* On the marine Diatomaceae of Northumberland with a description of several new species // Quarterly Journal of Microscopical Science. 1861. – 9. – P. 1 – 14.
12. *Mann D.G.* Studies in the Nitzschiacea (Bacillariophyta). – Ph.D. Dissertation. Univ. of Bristol, 1978. – 386 p.
13. *Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G.* The diatoms. Biology morphology of genera. – Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney: Cambridge Univ., 1990. – 747 p.
14. *An Atlas of British Diatoms* / ed. Sims P.A. – Bristol: Biopress Ltd., 1996. – 605 p.
15. *Sun J., Liu D.* Geometric models for calculating cell biovolume and surface area // J. Plankton Research. – 2003. – 25, №11. – P. 1331–1346.

Институт биологии южных морей НАН Украины,  
г. Севастополь

Получено 05.06.2006

E. L. NEVROVA, A. M. LYAKH

#### NEWLY-FOUND AND RARE FOR THE BLACK SEA BENTHIC DIATOMS SPECIES (BACILLARIOPHYTA) AND THEIR BIOMASS CALCULATION USING THREE-DIMENSIONAL MODELLING

##### Summary

Under the studies of Bacillariophyta in different regions of Crimea two newly-found for the Black Sea species *Hantzschia marina* (Donkin) Grunow and *Amphora spectabilis* Gregory have been registered. Two rare species *Pinnularia trevelyana* (Donkin) Rabenhorst and *Toxonidea insignis* Donkin identified previously in the Black Sea only in XIX century have been confirmed. Volumes, surface areas and biomass of these cells have been determined using three-dimensional modelling techniques and the method of similar figures. The results of calculation shown that *H. marina* cells are well approximated by elliptical cylinder. Three-dimensional models were recommended for the calculation of other species morphoparameters. Average abundance of these species was  $1.0 \cdot 10^7$  ind. $\cdot$ м<sup>-2</sup>, and their calculated biomass was *P. trevelyana* - 284 мг $\cdot$ м<sup>-2</sup>, *T. insignis* - 214 мг $\cdot$ м<sup>-2</sup>, *H. marina* - 538 мг $\cdot$ м<sup>-2</sup>, and *A. spectabilis* - 134 мг $\cdot$ м<sup>-2</sup>.