Перфорированность панцирей планктонных диатомовых водорослей *Pseudosolenia calcar-avis* и *Proboscia alata* (Bacillariophyceae)

Поступила 06.06.2019 г. / Принята к публикации 30.06.2019 г.

© Лях Антон Михайлович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, Россия

Аннотация. Физиологические и биофизические характеристики микроводорослей должны сильно зависеть от площади поверхности оболочек организмов, так как все вещественно-энергетические потоки протекают через поверхность. Однако, для определения связи интенсивности потоков веществ с физиологией одноклеточных, необходимо учитывать только площадь перфораций, так как остальная часть оболочки для веществ непроницаема. Непосредственно определить площадь перфораций на всей поверхности микроводоросли очень сложно. Поэтому в работе использован косвенный метод оценки площади перфораций при помощи геометрического моделирования распределения перфораций (текстуры) по изучаемой поверхности. Объект исследования – два вида морских планктонных диатомовых водорослей с крупным цилиндрическим панцирем. В модели полагалось, что панцири покрыты правильной треугольной текстурой ареол. Такую текстуру можно разделить на правильные шестиугольники, что позволяет оценить число ареол как отношение площади поверхности панциря к площади одного шестиугольника. Модель учитывает, что каждая ареола накрыта кремниевой пластинкой, пронизанной еще более мелкой порой. Произведение количества ареол на площадь данной поры дает величину общей площади перфораций. Вычисления показали, что перфорированность панцирей *Proboscia alata* равнялась 4%, а *Pseudosolenia calcar-avis* – 6%. Это первые оценки перфорированности всей поверхности панциря диатомовых водорослей. Полученные данные подтверждают гипотезу о том, что у большинства центрических диатомовых водорослей панцири в среднем пронизаны порами на 5%, а прочая поверхность непроницаема для вещественных потоков.

Ключевые слова. Фитопланктон, диатомовые водоросли, Азовское море, биофизика, центрические диатомовые, вещественные потоки, площадь перфораций, стабильный морфометрический показатель, отношение поверхности к объему.

The perforation of the shells of planktonic diatoms *Pseudosolenia calcar-avis* and *Proboscia alata* (Bacillariophyceae)

Received on June 06, 2019 / Accepted on June 30, 2019

© Lyakh Anton Mihailovich

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

Abstract. Physiological and biophysical characteristics of microalgae should strongly depend on the surface area of the cover of organisms, as all the material-energy streams flow through the surface. However, to determine the relationship between the intensity of the flow of substances with the physiology of unicellular, it is necessary to take into account only the area of perforations, since the rest of the shell is impermeable for substances. The direct determination of the area of perforations on the entire surface of the microalgae is very difficult. Therefore, the indirect method of estimating the perforation area using geometric modeling of the perforation distribution (texture) on the surface was used in this study. The object of the research is two types of marine plankton diatoms with large cylindrical frustules. It was assumed that the frustules are covered with a regular triangular texture of the areola. This texture can be divided into regular hexagons, which allows us to estimate the number of areolas as the ratio of the surface area of the frustules to the area of one hexagon. The model takes into account that each areola is covered with a silicon plate perforated by a smaller pore. The multiplication of the number of areolas on the area of a given pore gives the value of the total area of perforations. Calculations showed that the perforation of the frustules of *Proboscia alata* was 4%, and *Pseudosolenia calcar-avis* – 6%. These are the first estimates of the perforation of the entire surface of the diatom frustules. The acquired data confirms the hypothesis that frustules of the most centric diatoms are covered by pores by about 5%, and the other surface is impervious to material flows.

Keywords. Phytoplankton, bacillariophyceae, Sea of Azov, biophysics, centric

diatoms, material fluxes, area of perforations, stable morphometric trait, surface to volume ratio.

Введение. Один из методов оценки экологического состояния водных экосистем заключается в изучении структурно-функциональных показателей сообщества фитопланктона. Микроводоросли планктона являются одним из первичных продуцентов органического вещества и кислорода во многих водоемах. Их морфофункциональные характеристики определяют скорость продуцирования органики, что влияет на все звенья трофической цепи. Поэтому знание морфофункциональных характеристик важного компонента водной системы позволяет охарактеризовать состояние системы в целом.

Размер планктонных микроводорослей влияет на интенсивность фотосинтеза, дыхания и метаболизма, и на скорость роста, потребления биогенов и выделения продуктов жизнедеятельности [1, 2]. Так как размеры (вместе с формой) определяют объем и площадь поверхности оболочек микроорганизмов, то характеристики упомянутых физиологических процессов часто связывают с объемом [3] или с отношением поверхности к объему организма [4]. Однако, данные физиологические показатели должны напрямую зависеть от величины площади поверхности, потому что все потоки вещества и энергии протекают только через поверхность оболочки одноклеточного. Поэтому площадь поверхности одноклеточных водорослей должны быть наиболее важной характеристикой интенсивности процессов вещественно-энергетического обмена между организмом и средой. Удивительно, но само по себе значение площади поверхности практически не используют в подобных исследованиях, за исключением работы [5].

Если потоки энергии (свет, тепло, радиация) проникают в организм через всю доступную поверхность, то потоки вещества (биогены, газы, продукты метаболизма) проникают только через микроскопические отверстия на поверхности оболочки. Следовательно, для выявления взаимосвязей между площадью оболочки и характеристиками вещественных потоков, необходимо учитывать только площадь поверхности пронизанную порами. Такая площадь в данной работе названа *площадью перфораций*, а

ее относительная величина – *перфорированностью*.

Кремниевый панцирь диатомовых водорослей наиболее подходящий объект для оценки перфорированности. Панцирь диатомовых – жесткая конструкция, пронизанная фиксированным числом пор (ареол), которые часто формируют регулярную текстуру. Так как из-за малого размера диатомовых непосредственно определить площадь всех пор панциря очень сложно, то в настоящее время есть только фрагментарные данные о перфорированности элементов панциря некоторых видов. Они получены либо напрямую, путем непосредственного измерения топографии поверхности с помощью зондового микроскопа [6], либо косвенно, путем анализа изображений панциря диатомовых, выполненных на сканирующем электронном микроскопе [7].

Третий подход к оценке перфорированности основан на геометрическом моделировании распределения ареол по поверхности панциря [8, 9]. Он использован в данной работе.

Цель работы заключалась в оценке перфорированности панцирей двух видов центрических диатомовых: *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultz) Sundstrom и *Proboscia alata* (Brightwell) Sundstrom, при помощи геометрического моделирования распределения ареол. Эти диатомовые широко распространены в Азово-Черноморском бассейне и других морях Мирового океана, где достигают массового развития преимущественно в летний сезон [10, 11]. В это время они являются основным первичным продуцентом. Значение суммарной площади перфораций сообщества данных диатомовых, наряду с прочими структурно-функциональными характеристиками, поможет более точно охарактеризовать процессы функционирования и взаимосвязи между компонентами морской экосистемы. Кроме того данная оценка добавит фактов к высказанной ранее гипотезе о том, что перфорированность панцирей центрических диатомовых водорослей не превышает 10% [7, 8].

Материалы и методы исследований. Представители исследуемых видов диатомовых собраны планктонной сетью в Азовском море с борта НИС

«Профессор Водяницкий» во время 86-го рейса (июнь, 2016 года). Обработка проб выполнена по методике, описанной в работе [12]. Диатомовые изучены на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Quanta 200. Все измерения размерных характеристик текстур панцирей выполнены по электронным фотографиям в программе ImageJ. Аprobация модели выполнена на данных о размерах панцирей диатомовых, опубликованных в работах [10, 11]. Данные обработаны в программе Эксель.

Панцирь исследуемых видов диатомовых имеет форму круглого цилиндра с конусовидными створками (рис. 1А

и 1В). По этой причине объем и площадь поверхности панцирей оценивают при помощи соответствующих геометрических моделей: круглого цилиндра [13] или комбинации круглого цилиндра и двух конусов [14]. Вторая модель более точна, но для ее применения необходимо знать три размера: диаметр и длину панциря, высоту створок. Чаще всего, при рутинной обработке фитопланктонных проб, исследователи измеряют только размеры панциря, поэтому в работе для оценки объема диатомовых использован объем круглого цилиндра, а для оценки поверхности – значение боковой поверхности данной фигуры.

Pseudosolenia calcar-avis

Proboscia alata

Рис. 1. Фотографии исследуемых объектов, видна внутренняя (более темная) и внешняя (более светлая) стороны кремниевых стенок (СЭМ): А, В – общий вид исследуемых диатомовых (световой микроскоп, масштаб не соблюден); Б, Г – фрагменты поверхности панциря с треугольной текстурой ареол (электронный микроскоп, внутренняя поверхность более темная, внешняя – более светлая)

Поверхность панциря обоих видов покрыта треугольной текстурой ареол [15]. Текстура *P. calcar-avis* правильная треугольная; оси текстуры параллельны вертикальной оси панциря. Текстура *P. alata* более неупорядочена; оси текстуры отклоняется от вертикальной оси панциря. Однако, для удобства моделирования считалось, что у обоих видов текстуры правильные. Для построения правильной треугольной текстуры использовано среднее расстояние между центрами соседних ареол – D_{inter} .

Использование правильной треугольной текстуры позволяет оценить ко-

личества ареол на поверхности панциря (N_{arl}). Для этого цилиндрический панцирь покрывается правильными шестиугольниками, где в центре каждого шестиугольника находится ареола (рис. 2). Тогда отношение площади поверхности панциря (A_{frst}) к площади одного шестиугольника (A_{hex}) дает оценку их количества, очень близкую к реальной:

$$N_{\text{arl}} \approx [A_{\text{frst}}/A_{\text{hex}}],$$

$$A_{\text{hex}} = \sqrt{3} D_{\text{inter}}^2 / 2,$$

$$A_{\text{frst}} = \pi D_{\text{frst}} H_{\text{frst}},$$

где D_{frst} – диаметр панциря, H_{frst} – его высота,
[] – целая часть числа.

Рис. 2. Геометрическая модель треугольной текстуры покрывающей поверхность цилиндра

Каждая ареола – не сквозное отверстие, а камера, накрытая с одной стороны кремниевой пластиной – велумом. Велум пронизан более мелкими порами: именно сквозь них происходит обмен веществом. Перфорации велумов диатомовых очень разнообразны. У *Pr. alata* велум содержит одну круглую пору [15] (рис. 1Г), которая моделируется кругом с диаметром D_{pore} . У *Ps. calcar-avis* велум содержит одну вытянутую пору [15] (рис. 1Б), которая моделируется прямоугольником со сторонами W_{pore} и H_{pore} . Таким образом площадь перфораций панциря (A_{perf}) равна количеству ареол умножить на площадь поры велума. Перфорированность (Y_{perf}) будет равна отношению площади перфораций к площади поверхности панциря.

Другой морфометрической характеристикой текстуры является суммарная (A_{open}) и относительная (Y_{open}) площадь фораменов. Это отверстия, расположенные на стороне ареолы, противоположной велуму. У обоих видов форамены круглые [15], но различаются диаметрами (Рис. 1Б и 1Г). Площадь фораменов равна: $A_{\text{open}} = N_{\text{arl}} A_{\text{frmn}}$, где A_{frmn} – площадь одного круглого форамена.

Результаты исследований и их об- суждение. В таблице 1 приведены средние значения межареольных расстояний, диаметров фораменов, размеров пор велума и вычисленные на их основе значения перфорированности панцирей двух видов диатомовых. Видно, что площадь панциря, проницаемая для потоков вещества, очень низкая: она не превышает 3...6% от общей площади поверхности.

Таблица 1
Количественные характеристики
текстуры панцирей *Pseudosolenia*
calcar-avis и *Proboscia alata*

Характеристики	<i>Proboscia alata</i>	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>
D_{inter}	0,20	0,33
D_{open}	0,10	0,14
D_{pore} *, $H_{\text{pore}} \times W_{\text{pore}}$ **	0,04*	0,14x0,04**
Y_{open}	0,23	0,16
Y_{perf}	0,04	0,06

* Пора велума *Proboscia alata* моделировалась кругом с диаметром D_{pore} ;

** Пора велума *Pseudosolenia calcar-avis* моделировалась прямоугольником с размерами $H_{\text{pore}} \times W_{\text{pore}}$.

Полученные данные подтверждают гипотезу о том, что большинство центрических диатомовых имеют очень маленькую перфорированность (Y_{perf}) [7]. Ее верхний предел не превышает 10% [8], и в среднем

составляет 5% (табл. 2). Относительная площадь фораменов ареол (Y_{open}) варьирует в более широких пределах: 16...37%. Однако, биофизический смысл данного показателя до конца не ясен.

Таблица 2

Перфорированность створок и панцирей некоторых видов центрических диатомовых водорослей

Вид	Метод*	Изученная структура	Y_{open}	Y_{perf}	Ссылка
<i>Proboscia alata</i>	ГМ	панцирь	0,25	0,03	Дан. работа
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	ГИ	панцирь	0,16	0,06	Дан. работа
<i>Minidiscus vodyanithiyi</i>	АИ	створка	0,34	0,05	(Lyakh <i>et al.</i> , 2019)
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	СЗМ	створка	0,37	0,04	(Losic <i>et al.</i> , 2007)
<i>Coscinodiscus sp.</i>	СЗМ	створка	0,35	0,03	(Losic <i>et al.</i> , 2007)

* Используемые методы: ГМ – геометрическое моделирование текстур, АИ – анализ СЭМ изображений [7]; СЗМ – сканирующий зондовый микроскоп [16].

Стабильно низкие значения перфорированности показывают, что диатомовые имеют общие биофизические механизмы регулирования потоков вещества, которые обеспечивают их достаточным для жизнедеятельности количеством биогенов и растворенных газов при очень низком отношении площади перфораций к объему. Одно из возможных объяснений этого феномена состоит в том, что большой объем протопласта диатомовых (более 80%) занят вакуолями [17]. Они хранят запас биогенов и, одновременно, уменьшают метаболический объем протопласта, который непосредственно принимает участие в обменных процессах. Возможно, что отношение площади перфораций к метаболическому объему будет сопоставимо с отношением общей площади к объему. Для проверки этого предположения нужны дополнительные исследования.

Остается открытым вопрос о том, можно ли использовать размер ареол, площадь перфораций и величину перфорированности в качестве индикаторов влияния окружающей среды на одноклеточный организм. Результаты, полученные в данной работе, являются основой для выявления подобных взаимосвязей в последующих исследованиях.

Выводы

Прямая оценка площади перфораций оболочек одноклеточных водорослей очень трудоемка. В работе показана возможность эффективного использования для этих целей геометрического моделирования текстуры панцирей диатомовых

водорослей. Это первая работа, в которой оценена перфорированность всей поверхности панциря диатомовых.

Перфорированность панциря очень незначительно зависит от размеров последнего. Поэтому, для быстрой оценки площади перфораций, достаточно умножить величину перфорированности на значение площади исследуемой поверхности.

Перфорированность – это морфометрический показатель стабильный для всех представителей одного вида, тогда как широко используемое отношение поверхности к объему зависит от размеров панциря. Поэтому, перфорированность можно использовать в качестве дополнительной устойчивой морфометрической характеристики микроводорослей при мониторинге состояния фитопланктона, моделировании планктонных сообществ и изучения процессов формирования продукции водоемов.

Библиографический список

1. Finkel Z.V., Beardall J., Flynn K.J., Quigg A., Rees T.A.V., Raven J.A. Phytoplankton in a changing world: cell size and elementary stoichiometry // Journal of Plankton Research. 2010. 32 (1). pp. 119-137. DOI: 10.1093/plankt/fbp098.
2. Maranon E. Cell size as a key determinant of phytoplankton metabolism and community structure // Annual Reviews of Marine Science. 2015. 7. pp. 241-264. DOI: 10.1146/annurev-marine-010814-015955.

3. Edwards K.F., Thomas M.K., Klausmeier C.A., Litchman E. Allometric scaling and taxonomic variation in nutrient utilization traits and maximum growth rate of phytoplankton // *Limnology and Oceanography*. 2012. 57 (2). pp. 554–566. DOI: 10.4319/lo.2012.57.2.0554
4. Хайлов К.М., Празукин А.В., Ковардаков С.А., Рыгалов В.Е. Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей. К.: Научкова думка, 1992. 280 с.
5. Гончаров А.Ю., Зотов А.Б. Зависимость удельной продукции микроводорослей от обеспеченности поверхности клеток биогенными элементами // *Экология моря*. 2003. Т. 64. С. 51–55.
6. Losic D., Pillar R.J., Dilger T., Mitchell J.G., Voelcker N.H. Atomic force microscopy (AFM) characterization of the porous silica nanostructure of two centric diatoms // *Journal of Porous Materials*. 2007. 14 (1). pp. 61–69. DOI: 10.1007/s10934-006-9009-y
7. Lyakh A.M., Bedoshvili Y.D., Shikhat O.V. New method of estimation of the relative area of perforations on valves of centric diatoms using SEM images on the example of *Minidiscus vodyanitskiyi* Lyakh et Bedoshvili // *Ecologica Montenegrina*. 2019. 21. pp. 46–52.
8. Лях А.М. Модель распределения ареол и площадь поверхности пор, расположенных на створках центричных диатомовых водорослей из родов *Coscinodiscus* Ehr. и *Thalassiosira* Cl. // *Modern Phytomorphology*. 2013. 3. С. 213–218.
9. Лях А.М. Морфогенез текстуры ареол створок центричных диатомовых как L-система. I. Радиально-параллельные и спиральная текстуры // *Актуальные вопросы биологической физики и химии*. 2016. № 1-1. С. 56–59.
10. Лифанчук А.В., Федоров А.В. Смена экологических стратегий в фитопланктонном сообществе северо-восточной части Черного моря в течение годового цикла // *Экология гидросферы*. 2018. 1 (2).
11. Olenina I., Hajdu S., Edler L., Andersson A., Wasmund N., Busch S., Gobel J., Gromisz S., Huseby S., Huttunen M., Jaanus A., Kokkonen P., Ledaine I., Niemkiewicz E. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea // *HELCOM Baltic Sea Environmental Proceeding*. 2006. 106. 144 pp.
12. Lyakh A.M., Bedoshvili Ye.D. Tiny diatoms *Minidiscus vodyanitskiyi* sp. nov. (Bacillariophyta) from the Sea of Azov and consideration of polygonal areolae pattern // *Phytotaxa*. 2018. 375 (2). pp. 171–181. DOI: 10.11646/phytotaxa.375.2.4
13. Sun J., Liu D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton // *Journal of plankton research*. 2003. 25 (11). pp. 1331–1346. DOI: 10.1093/plankt/fbg096.
14. Брянцева Ю.В., Лях А.М., Сергеева А.В. Расчет объемов и площадей поверхности одноклеточных водорослей Черного моря. Севастополь: Институт биологии южных морей, 2005. 25 с.
15. Sundstrom B.G. The marine diatom genus *Rhizosolenia*. PhD Thesis. Lund University, 1986.
16. Luis A.T., Hlubikova D., Vache V., Choquet P., Hoffmann L., Ector L. Atomic force microscopy (AFM) application to diatom study: review and perspectives // *Journal of Applied Phycology*. 2017. 29 (6). pp. 2989–3001. DOI: 10.1007/s10811-017-1177-4.
17. Raven J.A. The vacuole: a cost-benefit analysis // *Advances in Botanical Research*. 1997. 25. pp. 59–86. DOI: 10.1016/S0065-2296(08)60148-2.

References in roman script

1. Finkel Z.V., Beardall J., Flynn K.J., Quigg A., Rees T.A.V., Raven J.A. Phytoplankton in a changing world: cell size and elementary stoichiometry // *Journal of Plankton Research*. 2010. 32 (1). pp. 119–137. DOI: 10.1093/plankt/fbp098.
2. Maranon E. Cell size as a key determinant of phytoplankton metabolism and community structure // *Annual Reviews of Marine Science*. 2015. 7. pp. 241–264. DOI: 10.1146/annurev-marine-010814-015955.
3. Edwards K.F., Thomas M.K., Klausmeier C.A., Litchman E. Allometric scaling and taxonomic variation in nutrient utilization traits and maximum growth rate of phytoplankton // *Limnology and Oceanography*. 2012. 57 (2). pp. 554–566. DOI: 10.4319/lo.2012.57.2.0554
4. Hajlov K.M., Prazukin A.V., Kovardakov S.A., Rygalov V.E. Funkcionalnaya morfologiya morskikh

mnogokletochnyh vodoroslej. K.: Naukova dumka, 1992. 280 s.

5. Goncharov A.YU., Zotov A.B. Zavisimost udelnoj produkcii mikrovodoroslej ot obespechennosti poverhnosti kletok biogennymi elementami // *Ekologiya morya*. 2003. T. 64. S. 51-55.

6. Losic D., Pillar R.J., Dilger T., Mitchell J.G., Voelcker N.H. Atomic force microscopy (AFM) characterization of the porous silica nanostructure of two centric diatoms // *Journal of Porous Materials*. 2007. 14 (1). pp. 61-69. DOI: 10.1007/s10934-006-9009-y

7. Lyakh A.M., Bedoshvili Y.D., Shikhat O.V. New method of estimation of the relative area of perforations on valves of centric diatoms using SEM images on the example of *Minidiscus vodyanitskiyi* Lyakh et Bedoshvili // *Ecologica Montenegrina*. 2019. 21. pp. 46-52.

8. Lyakh A.M. Model raspredeleniya areol i ploshchad poverhnosti por, raspolozhennyh na stvorkah centrchnyh diatomovyh vodoroslej iz rodov *Coscinodiscus* Ehr. i *Thalassiosira* Cl. // *Modern Phytomorphology*. 2013. 3. S. 213-218.

9. Lyakh A.M. Morfogenez tekstury areol stvorok centrchnyh diatomovyh kak L-sistema. I. Radialno-parallelnye i spiralnaya tekstury // *Aktualnye voprosy biologicheskoy fiziki i himii*. 2016. № 1-1. S. 56-59.

10. Lifanchuk A.V., Fedorov A.V. Smena ekologicheskikh strategij v fitoplanktonnom soobshchestve severo-vostochnoj chasti Chernogo morya v techenie godovogo cikla // *Ekologiya gidrosfery*. 2018. 1 (2).

11. Olenina I., Hajdu S., Edler L., Andersson A., Wasmund N., Busch S., Gobel J., Gromisz S., Huseby S., Huttunen M., Jaanus A., Kokkonen P., Ledaine I., Niemkiewicz E. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea // *HELCOM Baltic Sea Environmental Proceeding*. 2006. 106. 144 pp.

12. Lyakh A.M., Bedoshvili Ye.D. Tiny diatoms *Minidiscus vodyanitskiyi* sp. nov. (Bacillariophyta) from the Sea of Azov and consideration of polygonal areolae pattern // *Phytotaxa*. 2018. 375 (2). pp. 171-181. DOI: 10.11646/phytotaxa.375.2.4

13. Sun J., Liu D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton // *Journal of plankton research*. 2003. 25 (11). pp. 1331-1346. DOI: 10.1093/plankt/fbg096.

14. Bryanceva YU.V., Lyah A.M., Sergeeva A.V. Raschet obieemov i ploshchadej poverhnosti odnokletochnyh vodoroslej Chernogo morya. Sevastopol: Institut biologii yuzhnyh morej, 2005. 25 s.

15. Sundstrom B.G. The marine diatom genus *Rhizosolenia*. PhD Thesis. Lund University, 1986.

16. Luis A.T., Hlubikova D., Vache V., Choquet P., Hoffmann L., Ector L. Atomic force microscopy (AFM) application to diatom study: review and perspectives // *Journal of Applied Phycology*. 2017. 29 (6). pp. 2989-3001. DOI: 10.1007/s10811-017-1177-4.

17. Raven J.A. The vacuole: a cost-benefit analysis // *Advances in Botanical Research*. 1997. 25. pp. 59-86. DOI: 10.1016/S0065-2296(08)60148-2.

Дополнительная информация

Сведения об авторах:

Лях Антон Михайлович, кандидат биологических наук; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»; 299011, г. Севастополь, пр-т Нахимова, 2; email: me@antonlyakh.ru.

В этой статье под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 International License, которая разрешает копирование, распространение, воспроизведение, исполнение и переработку материалов статей на любом носителе или формате при условии указания автора(ов) произведения, защищенного лицензией Creative Commons, и указанием, если в оригинальный материал были внесены изменения. Изображения или другие материалы третьих лиц в этой статье включены в лицензию Creative Commons, если иные условия не распространяются на указанный материал. Если материал не включен в лицензию Creative Commons, и Ваше предполагаемое использование не разрешено законодательством Вашей страны или превышает разрешенное использование, Вам необходимо получить разрешение непосредственно от владельца(ев) авторских прав.

Для цитирования: Лях А.М. Перфорированность панцирей планктонных диатомовых водорослей *Pseudosolenia calcar-avis* и *Proboscia alata* (Bacillariophyceae) //

Экология и строительство. 2019. № 2. С. 19–26. doi: [10.35688/2413-8452-2019-02-003](https://doi.org/10.35688/2413-8452-2019-02-003).

Работа выполнена в рамках темы Государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» № AAAA-A18-118020790229-7. Автор выражает благодарность Бедошвили Е.Д. за фотографии панцирей диатомовых, выполненные на сканирующем электронном микроскопе в Центре коллективного пользования «Ультрамикроанализ» Лимнологического института Сибирского отделения Российской академии наук.

Additional Information

Information about the authors:

Lyakh Anton Mihailovich, candidate of biological sciences; A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS; 2, the Nakhimov Avenue, Sevastopol, 299011, Russia; email: me@antonlyakh.ru.

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

For citations: Lyakh A.M. The perforation of the shells of planktonic diatoms *Pseudosolenia calcar-avis* and *Proboscia alata* (Bacillariophyceae) // *Ekologiya i stroitelstvo*. 2019. № 2. P. 19–26. doi: [10.35688/2413-8452-2019-02-003](https://doi.org/10.35688/2413-8452-2019-02-003).

This work is ostensibly supported by the Ministry of Science and Higher Education (Russia) under the State assignment № AAAA-A18-118020790229-7 of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS. Author thanks Bedoshvili E.D. for the photos of diatom shells which was done by the scanning electron microscope in Collective Instrumental Center of Limnological Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.