



С.И. ГЕНКАЛ¹, Л.П. ЯРМОШЕНКО²

¹ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
п. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., 152742, Россия
genkal@biw.yaroslavl.ru

² Институт гидробиологии НАН Украины
просп. Героев Сталинграда, 12, г. Киев, 04210, Украина
l_ya@ukr.net

**К МОРФОЛОГИИ, ТАКСОНОМИИ,
ЭКОЛОГИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЮ
PLEUROSIRA LAEVIS (BACILLARIOPHYTA)**

К л ю ч е в ы е с л о в а: диатомовые водоросли, редкий вид, *Pleurosira laevis*, электронная микроскопия, водоем-охладитель АЭС

Pleurosira laevis (Ehrenb.) Compere (= *Biddulphia laevis* Ehrenb.) является редким видом флоры бывшего СССР. В первой систематической сводке по Bacillariophyta отсутствует [6] и в последующих сводных указателях водорослей приводится преимущественно для лиманов Черного моря [3, 5]. Согласно более поздним публикациям вид изредка встречается в опресненных участках северо-западного района Черного моря, близ Днестровского и Днепровско-Бугского лиманов, очень часто — в Шаболатском и Днестровском лиманах [4]. Как регион общего распространения указываются Азовское море, приазовские лиманы, р. Южный Буг, Мраморное море, Босфор, водоемы Швеции, Финляндии, Бразилии [4]. В систематической сводке по диатомовым Украины *P. laevis* отмечен только для Днепровско-Бугского региона [9].

Результаты подробного исследования морфологии панциря *P. laevis* с помощью световой и электронной микроскопии опубликованы в работах Р. Compere [10]

© С.И. ГЕНКАЛ,
Л.П. ЯРМОШЕНКО,
2009

и A. Ehrlich et al., [12, 13]. Электронные микрофотографии (СЭМ) общего вида его панциря представлены в работе Н.Е. Гусякова и др. [4]. По данным К. Krammer, Н. Lange-Bertalot [16] диаметр круглых или овальных створок этого вида варьирует от 30—115 до 30—130 мкм, овальных глазков — от 4—6 до 8—15 мкм, число двугубых выростов — от 0 до более 4. По данным последних авторов вид относится к бентическим, космополитным видам, предпочитающим эвтрофные, пресные и прибрежные солоноватые воды.

Планктон водоема-охладителя Хмельницкой АЭС ранее исследовали по материалам сборов в июне 1998 г. [7]. В составе доминирующего комплекса фитопланктона из диатомовых водорослей отмечали *Stephanodiscus hantzschii* Grunov, а крупноклеточный *Pleurosira laevis* не выявили, хотя этот вид встречается в планктоне [11]. По неопубликованным данным изучения фитопланктона и фитобентоса в 1999—2006 гг. этот вид зафиксирован не был, однако в списке фитопланктона за 2006 г. фигурирует *Melosira undulata* (Ehrenb.) Kütz., которая по общему абрису и размерным признакам сходна с *Pleurosira laevis* — вероятно, в данном случае имела место неточная идентификация.

Цель исследования — на основе изучения перифитона из водоема-охладителя Хмельницкой АЭС выявить морфологические особенности *P. laevis* и закономерности изменчивости некоторых структурных элементов створки, уточнить таксономию, экологические особенности и ареал вида.

Материалы и методы исследования

Материалом послужил перифитон, собранный в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС в апреле, июне и октябре 2007 г. Водоем образован путем создания плотины на р. Гнилой Рог в 1991 г. с подкачкой воды из р. Горынь. Площадь — 20 км², объем — 120 млн м³. В период паводков избыточные воды сбрасываются через паводковый водослив в р. Вилию [7]. По данным отдела окружающей среды Хмельницкой АЭС в период с 16.01 по 11.10.2007 г. общая минерализация в водоеме в среднем составляла 416 мг/л и колебалась в пределах 388—449,5 мг/л. Согласно классификации природных вод по солености, принятой на Международном лимнологическом конгрессе в Венеции (1959), водоем является пресноводным, соленость — менее 0,5 ‰. Основными факторами формирования химического состава воды водоема-охладителя ХАЭС являются физико-географические условия местоположения водоема и его водосборной площади, с одной стороны, а с другой — условия его эксплуатации. Перманганатная окисляемость за предыдущий год составила 10,3 мг О/л; концентрация: растворенный кислород О₂ — 8,57 мг О/л, NO₂⁻ — 0,02 мг N/л, NO₃⁻ — 0,47 мг N/л, PO₄³⁻ — 0,096 мг P/л. Среднее значение рН за период 1999—2003 гг. достигло 8,45 и колебалось в пределах 8,04—8,80.

Термический режим водоема определяется сбросом подогретых вод. Показатели температуры колеблются в зависимости от сезона и участка водоема. *P. laevis* обнаружен в отводящем канале, где температура воды максимальна по водоему, возле выхода из этого канала, а также в подводящем канале. Пре-

вышение естественного уровня температуры прослеживается при сравнении с точкой отбора у дамбы р. Гнилой Рог (табл. 1).

Таблица 1. Изменение температуры (°С) в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС посезонно в 2007 г.

Сезон	Пределы колебаний, t°	Среднее значение	Отводящий канал	Дамба р. Гнилой Рог
Весна	13—19	16	26	15
Лето	21—26	24	30	—*
Осень	15—20	17	26	6,5

*Примечание: тут и в табл. 2 данные отсутствуют.

От органической части клетки освобождали методом холодного сжигания [1]. Препараты водорослей исследовали с помощью СЭМ JSM-25S, а также СМ Axio Imager A1 с программным обеспечением AxioVision для захвата и анализа изображения (цветная цифровая камера MRc5).

Результаты исследований и их обсуждение

В исследованной популяции *P. laevis* встречались как круглые, так и эллиптические створки длиной 35,7—66,6 и шириной 35,7—62,2 мкм, что соответствует литературным данным (табл. 2). Отношение длины к ширине створки варьировало от 1,0 до 1,13, что также совпадает с литературными данными (табл. 2).

М. Frankova-Kozakova et al. [14] показали линейную зависимость — увеличение ширины створки с ростом ее длины. Аналогичная зависимость имеет место и в нашей популяции (рис. 1, а). В большинстве опубликованных диагнозов этого вида указаны только длина клеток с диаметром створки и отсутствует высота загиба створки, за исключением работы А. Туji, А. Houki [17], в которой они приводят результаты измерения этого признака для популяции из озера Бива (Япония) — 20—30 мкм. В выборке из Хмельницкого водоема-охладителя высота загиба створки изменялась в значительно большей степени — от 7,1 до 27,1 мкм, однако связи этого признака с диаметром не отмечено (рис. 1, б).

В исследованной выборке мы наблюдали на створке также всего два глазка «ocellii» (рисунки 3, в, г; 4, в), которые ранее исследователи называли «сильно редуцированными выростами» [4, 8]. Их ширина изменялась от 5 до 11,4 мкм, что превышает литературные данные (табл. 2), а длина — от 10 до 15,5 мкм. Между диаметром створки и длиной глазков выявлена определенная закономерность — с увеличением диаметра растет и длина глазка (рис. 1, в). На исследованных створках число рядов ареол варьировало в пределах 12—15 в 10 мкм, а число ареол в 10 мкм ряда — от 10 до 14, т.е. нижние пределы значений этих признаков были меньшими, чем указанные в литературе

Таблица 2. Изменчивость основных диагностических признаков *P. laevis*

Признак	[8]	[10]	[12]	[16]	[4]	[17]	[14]
Длина клеток, мкм	20—125	40—100	50—200	40—100	—	40—100	—
Длина створки, мкм	—	30—130	18—90	30—130	30—115	—	42—74
Ширина створки, мкм	—	30—115	—	30—115	—	—	38—64
Отношение длины створки к ее ширине	—	—	—	—	—	—	1,06—124
Число глазков	2	2	2	2	—	—	2
Размеры глазков, мкм	—	4—6× ×8—15	—	4—6× ×8—15	—	—	—
Число штрихов в 10 мкм	14—16	—	—	—	—	—	14
Число ареол в 10 мкм	—	—	13—15	—	14—16	13—16	15—16
Число двугубых выростов	—	0— 4(>4)	2	0— 4(>4)	2	—	1—2

(табл. 2). В популяции из Хмельницкого водоема-охладителя на створках наблюдали обычно два двугубых выроста, редко — один (рис. 5, а—г), однако у *P. laevis* выросты иногда могут отсутствовать или их число превышает 4 (табл. 2). Ориентация щели двугубого выроста варьирует от радиальной до тангентальной, что соответствует литературным данным [10, 12].

Для *P. laevis* известны внутривидовые таксоны: *P. laevis* var. *laevis*, *P. laevis* f. *polymorpha* Compere и *P. laevis* var. *paludosa* (Temp. et Perag. ex Forti) Compere [10]. *P. laevis* f. *polymorpha* отличается от типовой формы сильно окремнелыми стенками клетки, более выпуклыми створками, приподнятыми над створками глазками и многочисленными шипами [10]. Максимальная длина створки у *P. laevis* f. *polymorpha* больше, чем у типовой формы и доходит до 150—170 мкм [10]. Приведенные световые микрофотографии (сравни [10], рис. 16—18, 26) не подтверждают существенных различий в степени окремнелости стенок панциря, количестве и размерах шипов. Что касается осталь-

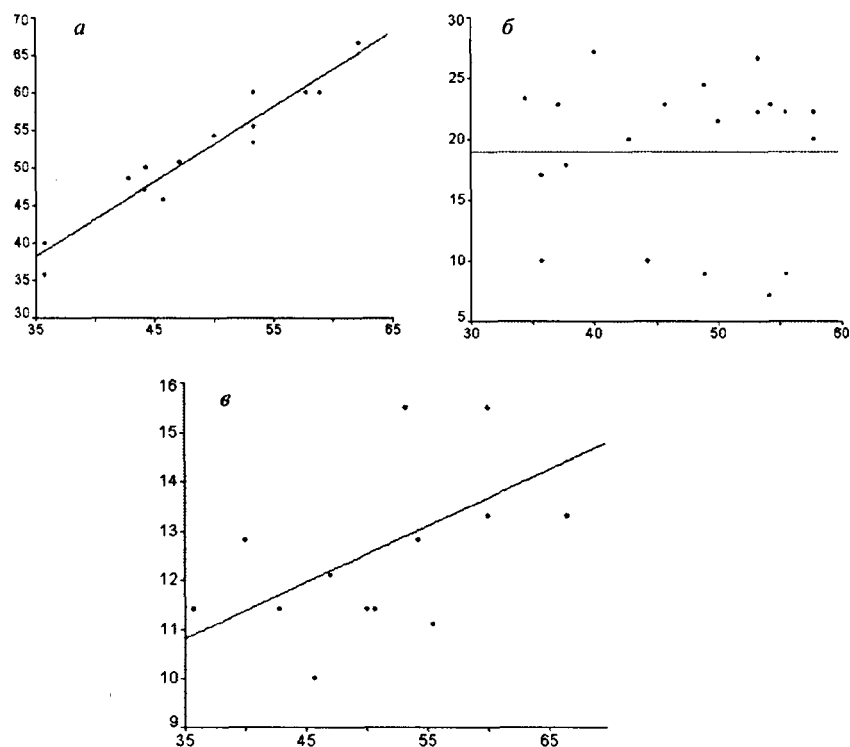


Рис. 1. *а* — зависимость между длиной и шириной створки ($y = a + bx$, $a = 3,29$, $b = 0,99$), по оси абсцисс — ширина створки в мкм, ординат — длина створки в мкм; *б* — зависимость между длиной створки и высотой ее загиба ($y = a + bx$, $a = 18,92$, $b = 0,00$), по оси абсцисс — длина створки в мкм, ординат — высота загиба створки в мкм; *в* — зависимость между длиной створки и длиной глазка ($y = a + bx$, $a = 6,78$, $b = 0,11$), по оси абсцисс — длина створки в мкм, ординат — длина глазка в мкм

Fig. 1. *a* — relation between length and width of the valve ($y = a + bx$, $a = 3,29$, $b = 0,99$), axis of abscissas — width of the valve in mm, axis of ordinates — length of the valve in mm; *б* — relation between length of the valve and height of the mantle ($y = a + bx$, $a = 18,92$, $b = 0,00$), axis of abscissas — length of the valve in mkm, axis of ordinates — height of the mantle in mkm; *в* — relation between length of the valve and length of ocellii ($y = a + bx$, $a = 6,78$, $b = 0,11$), axis of abscissas — length of the valve in mkm, axis of ordinates — length of ocelli in mkm

ных признаков — более выпуклые створки и возвышающиеся над створкой глазки, то сам P. Compre приводит световую микрофотографию панциря [10, рис. 15], у которого одна створка относится к *P. laevis f. laevis*, а вторая — к *P. laevis f. polymorpha* и отмечает, что имеются переходные формы между этими таксонами. По нашему мнению, наличие гетеростворчатости панциря у *P. laevis* свидетельствует о большой морфологической изменчивости этого вида и отсутствии таксономической самостоятельности *P. laevis f. polymorpha*. Аналогичную точку зрения высказывал ранее и F.C.S. Roper [18]. Сходная ситуация имеет место и в других родах центрических диатомовых водорослей, например *Stephanodiscus*, когда разные морфотипы *S. hantzschii* были описаны как разные виды — *S. hantzschii* и *S. tenuis* [2].

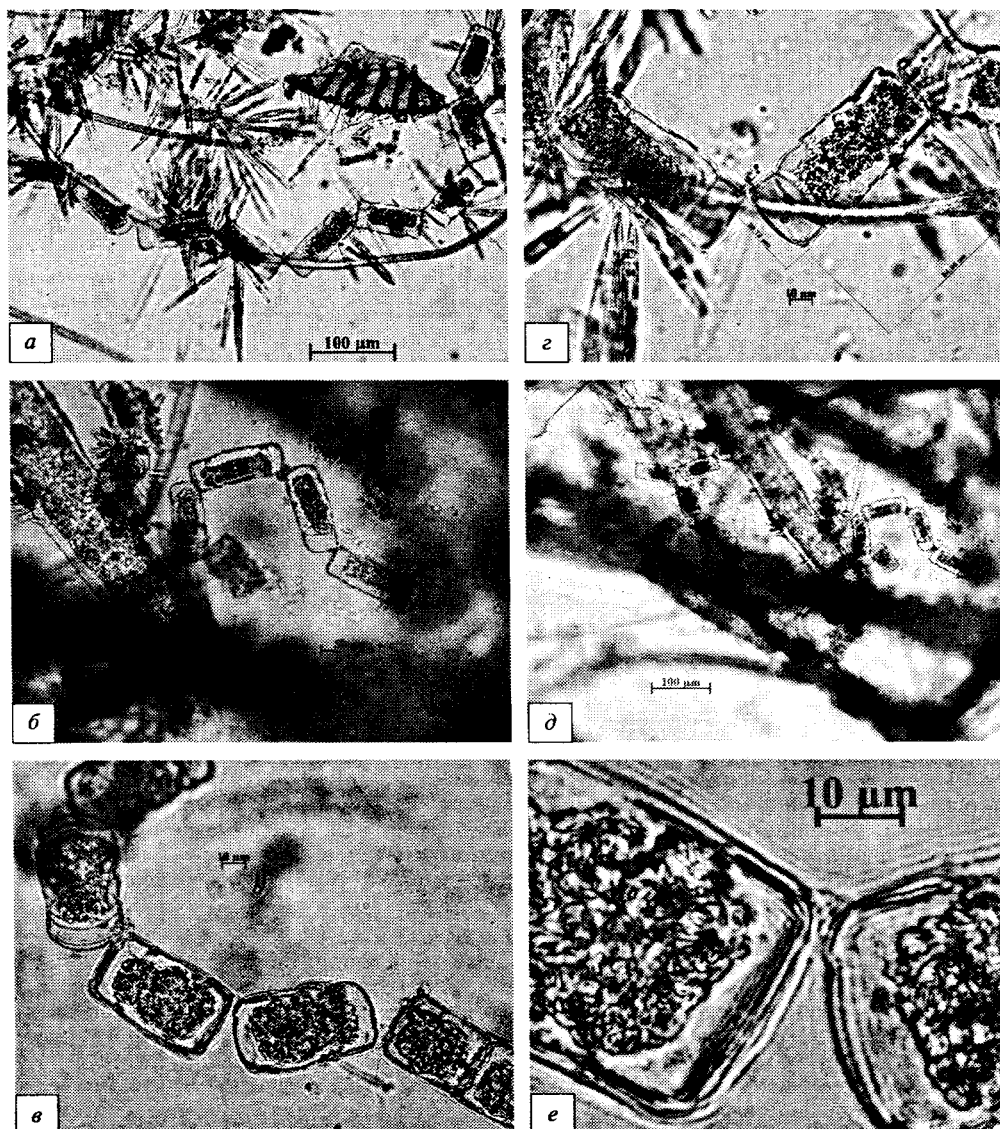


Рис. 2. *Pleurosira laevis* (СМ). а, б, в, д — нитевидные колонии; з, е — соединение клеток в области глазков

Fig.2. *Pleurosira laevis* (LM). а, б, в, д — filamentous colony; з, е — cell junction in the ocellii region

Согласно Р. Compere [10], *P. laevis* — типично солоноватоводный вид, характерный для эстуариев больших рек, но он также может вегетировать во внутренних водах с высокой проводимостью.

Л. Denys [11] публикует подборку литературы по экологии диатомовых, в том числе и *P. laevis*. Из нее следует, что этот вид относят к разным экологическим сообществам: планктону, перифитону, планктону-бентосу, бентосу.

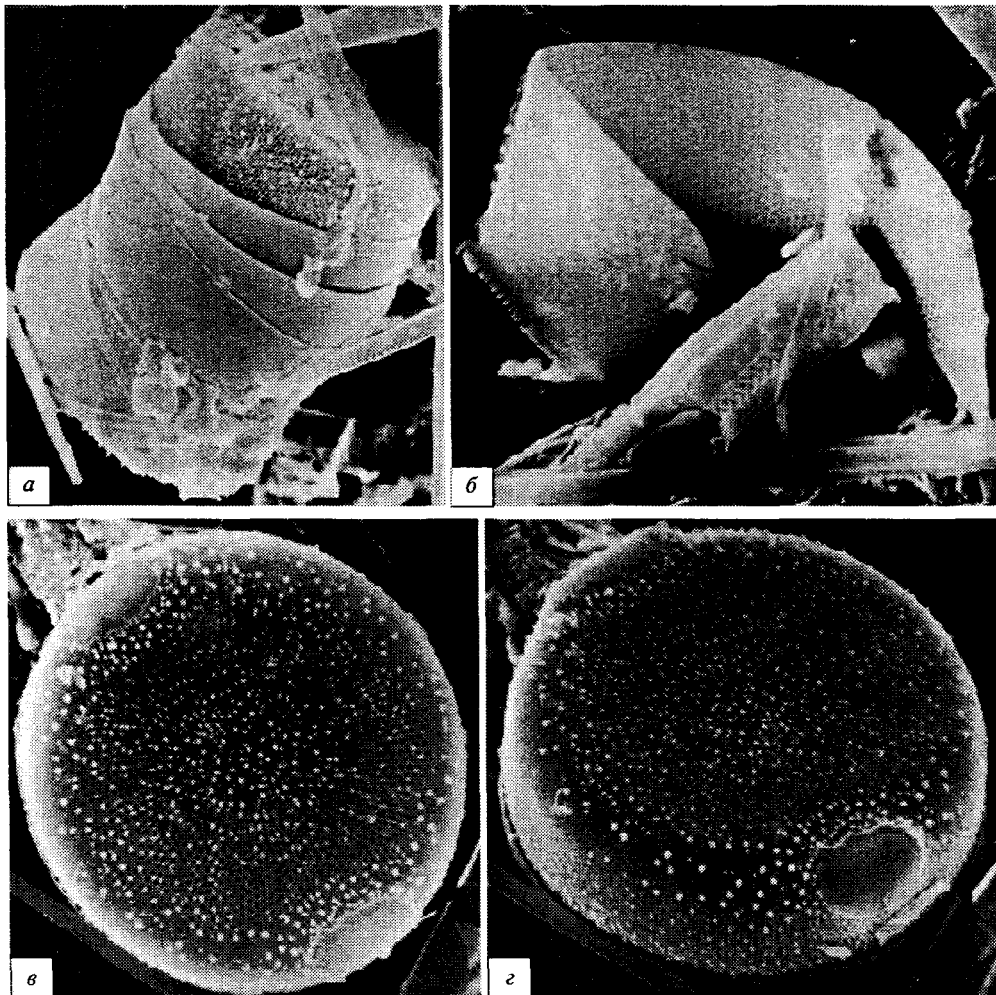


Рис. 3. *Pleurosira laevis* (СЭМ). *a* — панцирь с вставочными ободками; *б* — вставочный ободок, *в, з* — створка с наружной поверхности под разными углами. Увеличение: *a* — 860; *б* — 1630; *в, з* — 1250

Fig. 3. *Pleurosira laevis* (SEM). *a* — frustule with bands; *б* — band; *в, з* — outer surface of the valve at different angles. Magnification: *a* — 860; *б* — 1630; *в, з* — 1250

Он встречается в водоемах с различной соленостью (морских, солоноватых, пресных), с рН 8,5 или выше, с высокой щелочностью. Трофические условия — от олиго- до мезотрофных в широком диапазоне температур. Эти данные свидетельствуют о широкой экологической валентности *P. laevis*.

В водоеме-охладителе (подводящий и отводящий каналы, у выхода из отводящего канала) *P. laevis* отмечен в фитоперифитоне весной-летом-осенью при температуре воды 15—31 °С и рН близкой к оптимальной для этого вида (8,5) [11]. Максимальное обилие вида отмечено среди нитей кладофоры, обросшей, преимущественно, диатомовыми водорослями, при полидоминан-

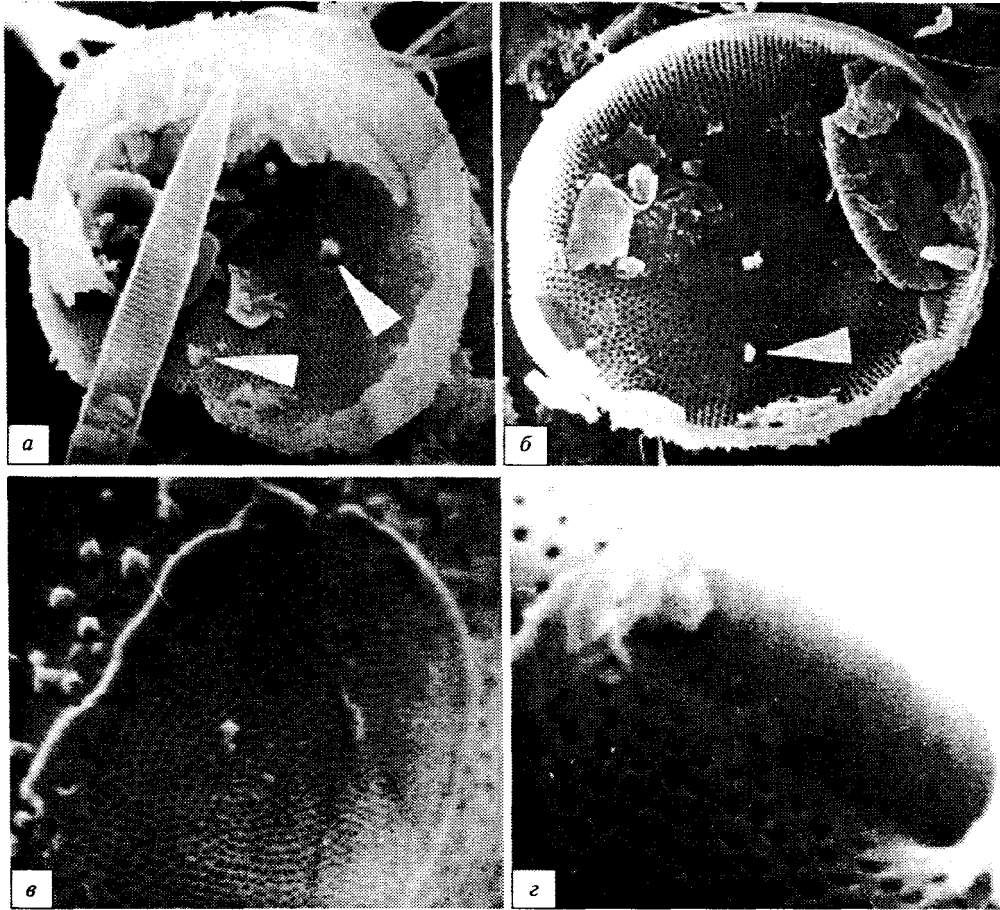


Рис. 4. *Pleurosira laevis* (СЭМ). а, б — створки с внутренней поверхности (стрелкой указаны двугубые выросты); в — глазок с наружной поверхности; з — глазок с внутренней поверхности. Увеличение: а — 1100; б — 1400; в — 9700; з — 6200

Fig. 4. *Pleurosira laevis* (SEM). а, б — inner surface of the valve (an arrow indicates rimoportulae); в — ocellii on the outer surface; з — ocellii on the inner surface. Magnification: а — 1100; б — 1400; в — 9700; з — 6200

тной структуре эпифитного сообщества. В водоеме *P. laevis* вегетирует вместе с другими центрическими диатомовыми водорослями из родов *Aulacoseira*, *Cyclostephanos*, *Cyclotella*, *Discostella*, *Melosira*, *Puncticulata*, *Stephanodiscus*, *Thalassiosira*, в том числе галофильными и солоноватоводными видами (*Cyclotella atomus*, *C. meneghiniana*, *Melosira varians*, *Thalassiosira bramaputrae*).

По литературным данным *P. laevis* является космополитом, вероятно, более обилен в водах умеренных зон и тропиках [10, 16]. Вид зафиксирован в Англии, Бельгии, Венгрии, Франции (включая Гваделупу), Италии, Египте, Израиле, Иордании, Ираке, Цейлоне, США, Аргентине, Бразилии, Чили, Пуэрто-Рико, Эквадоре (Галапагосские о-ва), Испании (о-в Тенериф) [10].

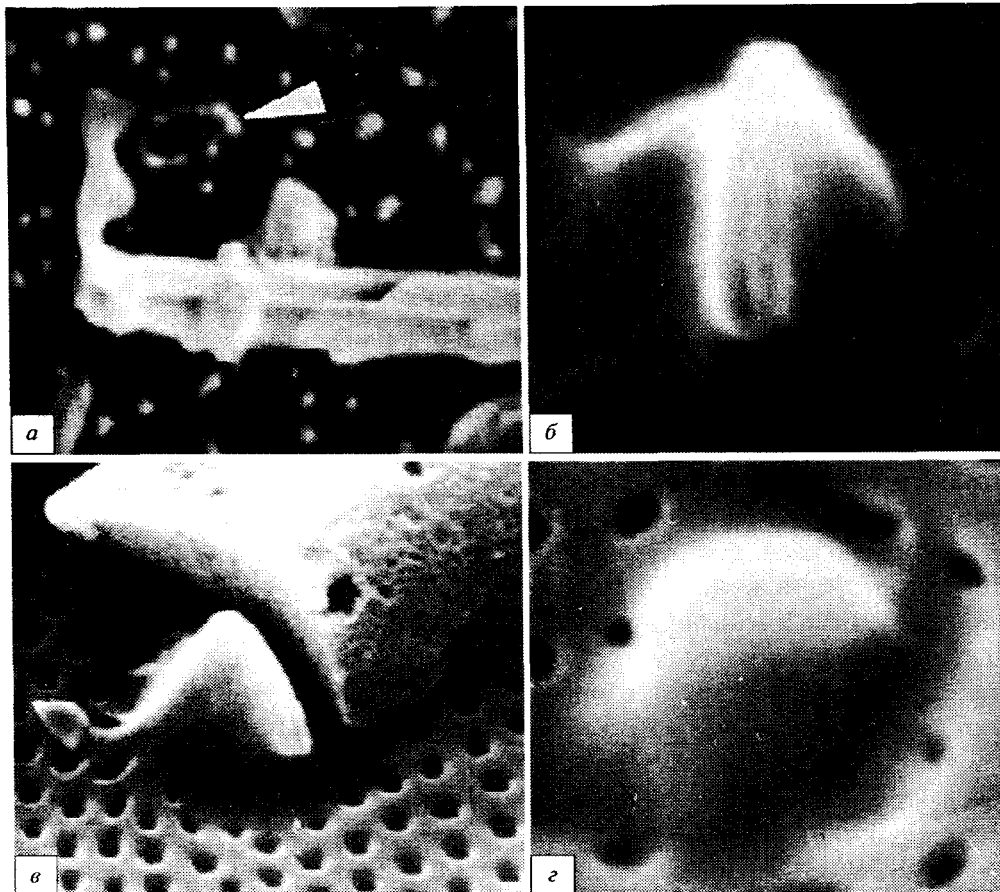


Рис. 5. *Pleurosira laevis* (СЭМ). *a* — отверстие двугубого выроста с наружной поверхности (указано стрелкой); *б, в, з* — двугубый вырост с внутренней поверхности. Увеличение: *a* — 16000; *б* — 21000; *в* — 10400; *з* — 29200

Fig.5. *Pleurosira laevis* (SEM). *a* — opening of rimoportula on the outer surface (indicated by an arrow); *б, в, з* — rimoportula on the inner surface. Magnification: *a* — 16000; *б* — 21000; *в* — 10400; *з* — 29200

На территории бывшего СССР до последнего времени его отмечали только в Азовском и Черном морях, а недавно *P. laevis* f. *polymorpha* зафиксирована в Балтийском море [15]. Обнаружение *P. laevis* в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС является первой пресноводной находкой вида в этом регионе.

Выводы

Наши исследования показали, что *P. laevis* проявляет значительно большую изменчивость ряда диагностических морфологических признаков, чем известно по литературным данным, что дает нам основание для уточнения диагноза вида.

Pleurosira laevis (Ehrenb.) Compere emend. Genkal et Yarmosch. — *Biddulphia laevis* Ehrenb., *Melosira thermalis* Meneg., *Cerataulus laevis* (Ehrenb.) Ralfs, *Biddul-*

phia laevis f. *minor* (Grunov) Van Heurck, *Cerataulus laevis* var. *thermalis* Grunov, *Cerataulus laevis* var. *robustus* Temp. et Perag., *C. laevis* var. *schmidtii* Forti, *Buddulphia laevis* var. *minor* (Grunov) Meun., *Pleurosira laevis* f. *polymorpha* Compere.

Клетки соединяются в зигзагообразные колонии с помощью слизи, выделяемой из глазков. Панцирь цилиндрический или субцилиндрический, 20—200 мкм длиной, имеются вставочные ободки. Створки от эллиптических до круглых, шириной 18—150 мкм, длиной 30—170 мкм. Наибольший диаметр створки (длина) проходит через глазки. Поверхность створки плоская или слегка выпуклая, перфорирована ареолами, 10—16 в 10 мкм, расположенными в радиальных рядах, 12—16 в 10 мкм. Загиб створки вертикальный, перфорированный породами в вертикальных прямых рядах. Два глазка, расположенные маргинально на границе между лицевой частью створки и ее загибом, овальные — 4,0—11,4 × 8,0—15,5 мкм, с мелкими перфорациями, окруженными структурированным ободком. Двугубых выростов обычно два, расположенных по обе стороны оси, проходящей через глазки на расстоянии около ½ от центра до края или ближе к центру, иногда их три—четыре или больше или выросты отсутствуют. На поверхности створки часто имеются шипики, обычно более многочисленные в направлении к краю створки (рисунки 2—4).

Бентосный и перифитонный космополитный вид, предпочитает эвтрофные, пресные и прибрежные солоноватые воды. Азовское, Балтийское, Черное моря, водоем-охладитель Хмельницкой АЭС (Хмельницкая обл.).

Авторы приносят благодарность проф. А.А. Протасову за предоставленный альгологический материал из водоема-охладителя Хмельницкой атомной электростанции.

1. Балонов И.М. Подготовка диатомовых и золотистых водорослей к электронной микроскопии // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. — М.: Наука, 1975. — С. 87—90.
2. Генгал С.И., Корнева Л.Г. Морфология и систематика некоторых видов рода *Stephanodiscus* Ehrh. // Флора и продуктивность пелагических и литоральных фитоценозов водоемов бассейна Волги / Отв. ред. В.А. Экзерцев. — Л.: Наука, 1990. — С. 219—236.
3. Голлербах М.М., Красавина Л.К. Водоросли. Сводный указатель к отечественным библиографиям по водорослям за 1737—1960 гг. — Л., 1971. — 623 с.
4. Гусяков Н.Е., Загордонец О.А., Герасимюк В.П. Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части Черного моря и прилегающих водоемов. — Киев: Наук. думка, 1992. — 111 с.
5. Красавина Л.К., Цветкова Н.Н. Водоросли. Указатель к 2-й Библиографии советской литературы по водорослям 1961—1970. — Л., 1983. — 460 с.
6. Определитель пресноводных водорослей СССР. — М., 1951. — Т. 4. — 619 с.
7. Протасов А.А., Сеницына О.О., Калиниченко Р.А. и др. Планктон, бентос и перифитон водоема-охладителя Хмельницкой АЭС // Гидробиол. журн. — 2000. — 36, № 1. — С. 14—29.
8. Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли бентоса Черного моря. Изд-во АН СССР. — М.; Л.: 1963. — 243 с.
9. Bukhtiyarova L. Diatoms of Ukraine Inland waters. — Kyiv, 1999. — 133 p.
10. Compere P. Taxonomic revision of the diatom genus *Pleurosira* (Eupodiscaceae) // Bacillaria. — 1982. — 5. — P. 165—190.
11. Denys L. A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the Western Belgian coastal

- plain with a survey of their apparent ecological requirements. II. Centrales // Service geologique de Belgique. Professional paper. — 1991. — 3, № 247. — P. 1–92.
12. Ehrlich A., Crawford R.M., Round F.E. A study of the diatom *Cerataulus laevis* — the structure of the frustule // Brit. Phycol. J. — 1982. — № 17. — P. 195–203.
 13. Ehrlich A., Crawford R.M., Round F.E. A study of the diatom *Cerataulus laevis* — the structure of the auxospore and the initial cell // Brit. Phycol. J. — 1982. — № 17. — P. 205–214.
 14. Frankova-Kozakova M., Marvan P., Geris R. Halophilous diatoms in Czech running waters: *Pleurosira laevis* and *Bacillaria paxillifera* // Proceedings of the 1st Central European Diatom Meeting / Kusber W.H. & Jahn R. (ed.). — Berlin: Botanic Garden and Botanical Museum Berlin Dahlem, Freie Universität, Berlin, 2007. — P. 39–44.
 15. Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea // The Baltic marine biologists publication. — 1994. — 2. — N 16. — P. 1–125.
 16. Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae*. Teil 3. Centrales, *Fragilariaceae*, *Eunotiaceae*. — Stuttgart, 1991. — Bd. 2/3. — 576 p.
 17. Tuji A., Houki A. Centric diatoms in Lake Biwa // Lake Biwa Study Monographs. — 2001. — N 7. — P. 1–90.
 18. Roper F.C.S. On the genus *Biddulphia* and its affinities // Trans. Microsc. Soc. London, n. s. — 1859. — N 7. — P. 1–24.

Рекомендує в печать
П.М. Царенко

Поступила 03.05.2009

С.І. Генкал¹, Л.П. Ярмошенко²

¹ Інститут біології внутрішніх вод ім. І.Д. Папаніна РАН, с. Борок

² Інститут гідробіології НАН України, м. Київ

ДО МОРФОЛОГІЇ, ТАКСОНОМІЇ, ЕКОЛОГІЇ ТА ПОШИРЕННЯ *PLEUROSIRA LAEVIS* (BACILLARIOPHYTA)

Вивчення перифітону водойми-охолоджувача Хмельницької АЕС за допомогою скануючої електронної мікроскопії виявило рідкісний вид діатомових водоростей *Pleurosira laevis*. Отримано нові дані з його морфології, встановлено закономірності мінливості ряду структурних елементів стулки, зведено в синоніміку *P. laevis* f. *polymorpha*. Наводиться уточнений діагноз виду з урахуванням літературних та власних даних з морфології, екології та поширення.

Ключові слова: діатомові водорості, рідкісний вид, *Pleurosira laevis*, електронна мікроскопія, водойма-охолоджувач АЕС.

S.I. Genkal¹, L.P. Yarmoshenko²

¹ I.D. Papanin Institute of Biology of Inland Water, Russian Academy of Sciences, Borok, Russia

² Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ON MORPHOLOGY, TAXONOMY, ECOLOGY AND DISTRIBUTION OF *PLEUROSIRA LAEVIS* (BACILLARIOPHYTA)

Investigations of periphyton of a cooling reservoir of the Khmelnytsky Nuclear Power Plant using scanning electron microscopy revealed the rare diatom species *Pleurosira laevis*. New data on morphology of this species were obtained. Patterns of variability of some structural elements of the valve were determined. *P. laevis* f. *polymorpha* is reduced to synonymy. A more precise diagnosis of the species using literature and original data on morphology, ecology and distribution are provided.

Key words: diatom, rare species, *Pleurosira laevis*, electron microscopy, cooling reservoir, Khmelnytsky Nuclear Power Plant.