

УДК 582.261.1 (282.247.412)(285)(4)

С.И. ГЕНКАЛ¹, Л.П. ЯРМОШЕНКО², А.Г. ОХАПКИН³

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

²Ин-т гидробиологии НАН Украины,
просп. Героев Сталинграда, 12, 04210 Киев, Украина
l_ya@ukr.net

³Нижегородский гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского,
просп. Гагарина, 23, 603600 Н. Новгород, Россия
okhapkin@bio.unn.ru

ПЕРВЫЕ НАХОДКИ МОРСКОГО ВИДА *CYCLOTELLA MARINA* (*BACILLARIOPHYTA*) В ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМАХ ЕВРОПЫ

Выявлен комплекс мелкоразмерных видов центрических диатомовых водорослей в фитопланктоне и фитоперифитоне водоема-охладителя Хмельницкой АЭС (Украина) и фитопланктоне р. Оки (притока Волги, Россия) с помощью сканирующей электронной микроскопии. В составе этой группы впервые для пресноводных водоемов Европы обнаружен морской вид *Cyclotella marina* (Tanimura, Nagumo et Kato) Aké-Castillo, Okolodk. et Ector, который был описан из Токийского залива и позднее зафиксирован в других морских водоемах. Показана более широкая изменчивость некоторых морфологических признаков этого вида, уточнены экологическая валентность и ареал.

Ключевые слова: *Cyclotella marina*, центрические диатомовые водоросли, пресноводные водоемы, Европа, фитопланктон, фитоперифитон.

Введение

В 2004 г. по материалам из Токийского залива была описана мелкоразмерная центрическая диатомовая водоросль *Cyclotella atomus* var. *marina* Tanimura, Nagumo et Kato, обильно вегетирующая при солености около 30 ‰ (Tanimura et al., 2004).

Позднее, по результатам изучения материалов из Мексиканского залива были получены новые данные по морфологии панциря этой разновидности и она получила видовой ранг — *C. marina* (Aké-Castillo et al., 2012). Эта водоросль имеет сходство с другими мелкоразмерными видами р. *Cyclotella* (*C. atomus* Hust., *C. meduanae* Germ., *C. katiana* Sala et Ramirez), отличаясь от первого отсутствием центрального выроста, а от *C. meduanae* и *C. katiana* — числом опор краевых выростов (Håkansson, Clarke, 1997; Tanimura et al., 2004; Sala, Ramirez, 2008; Aké-Castillo et al., 2012). При изучении проб фитопланктона и перифитона из водоема-охладителя Хмельницкой АЭС и фитопланктона из р. Оки (притока

© С.И. Генкал, Л.П. Ярмошенко, А.Г. Охалкин, 2012

р. Волги) с помощью световой микроскопии была обнаружена мелко-размерная форма.

Цель нашего исследования – изучение морфологии центрической диатомовой водоросли диаметром несколько микрон с помощью сканирующей электронной микроскопии и установление ее систематического положения.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили пробы фитопланктона (сентябрь 2010 г.) и перифитона (апрель, июнь и октябрь 2007 г.), собранные в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС, и образцы фитопланктона (июль–август 2011 г.) из нижнего течения р. Оки. От органической части клетки освобождали методом холодного сжигания (Балонов, 1975). Препараты водорослей исследовали с помощью СЭМ JSM-25S и JSM – 6510 LV.

Результаты и обсуждение

В препаратах СЭМ из водоема-охладителя наблюдалось значительное число створок мелко-размерной формы диам. 3,2–5,2 мкм с плоским рельефом (табл. I, 1–3). Максимальный размер створок был немного больше, чем у образцов, описанных в литературе (табл. 1). Число штрихов в 10 мкм варьировало от 15 до 20 в 10 мкм и минимальное значение этого признака было меньше, чем в литературных данных.

Таблица 1

Морфологические признаки *Cyclotella marina* и сходных видов

Таксон	Диаметр створок, мкм	Число штрихов в 10 мкм	Число рядов ареол в штрихе	Число центральных выростов	Расположение краевых выростов	Число опор у краевых выростов	Наличие гранул на створке	Литературный источник
<i>C. marina</i>	3-4,5	20*	2-8	0	На 3-5-м ребре	2	В краевой зоне и на загибе створки*	Tanimura et al., 2004
	3,1-3,4	20*	–	0	На 2-3-м ребре	2	В краевой зоне и на загибе створки	Chung et al., 2010
	4-5	16-20	–	0	На 2-3-м ребре	2	В краевой зоне и на загибе створки	Aké-Castillo et al., 2012

<i>Cyclotella atomus</i>	3,5-8	14-20	–	1	На 4-7-м ребре	2	На загибе створки*	Hekansson, Clarke, 1997
	4-8,5	12-20	–	1	На 3-5-м ребре	2	На загибе створки*	Tanaka, 2007
	3,5-8,5	12-20	–	1	На 3-5-м ребре	2	–	Houk et al., 2010
<i>C. katianna</i>	4,5-5,5	9-15	3-7	0	На 2-3-м ребре	3	На поверхности створки и ее загибе	Sala, Ramirez, 2008
<i>C. meduanae</i>	5-7	13-16	–	0	На каждом 3-м ребре	3	На поверхности створки и ее загибе	Nagumo, Kobayasi, 1985
	6-8	10-12	–	0	На 2-3-м ребре	3	–	Tanaka, 2007
	5-9	8-10	–	0	На каждом 3-м ребре	3	На поверхности створки и ее загибе	Houk et al., 2010

* – Согласно измерениям по микрофотографиям.

В исследованных нами пробах число рядов ареол в штрихе составляло 3–8 и камеры-альвеолы были открытыми. Центральные выросты отсутствовали, краевые выросты с внутренней поверхности в виде трубки с двумя опорами расположены на 3–4-м ребре (табл. I, 2–4, 6). С наружной поверхности они имеют вид круглого отверстия с утолщенным краем, на котором расположены две гранулы (табл. I, 5). По данным других исследователей, наружное отверстие краевых выростов *C. marina* окружено 3–5 гранулами (Tanimura et al., 2004; Chung et al., 2010; Aké-Castillo et al., 2012). У сходного по морфологии вида *C. atomus* число таких гранул также варьирует (Nagumo, Kobayasi, 1985; Kobayasi et al., 2006; Tanaka, 2007; Houk et al., 2010). На загибе створки с наружной поверхности встречаются небольшие гранулы. Единственный сидячий двугубый вырост расположен в кольце краевых выростов и с внутренней поверхности ориентация его щели варьирует от почти тангентальной до почти радиальной, что также соответствует литературным данным (Tanimura et al., 2004; Chung et al., 2010; Aké-Castillo et al., 2012). Аналогичная изменчивость характерна и для другого сходного по морфологии

вида *C. atomus* (Nagumo, Kobayasi, 1985; Kobayasi et al., 2006; Tanaka, 2007; Houk et al., 2010). С наружной поверхности двугубый вырост имеет вид овального отверстия, расположенного немного выше кольца краевых выростов (Nagumo, Kobayasi, 1985; Kobayasi et al., 2006; Tanaka, 2007; Houk et al., 2010). Сходное строение имеют *C. atomus* и *C. meduanae* (Nagumo, Kobayasi, 1985; Kobayasi et al., 2006; Houk et al., 2010).

В препарате из р. Оки мы встретили всего несколько сходных створок диам. 4,2–4,7 мкм с числом штрихов 15 в 10 мкм. Краевые выросты с двумя опорами у них располагались также на 3-4-м ребре. Створки в препарате находились с внутренней поверхности, поэтому в данном случае о наличии гранул и их расположении мы ничего сказать не можем. Эту форму из исследованных водоемов мы отнесли к *C. marina*, поскольку количественные и качественные признаки (см. табл. 1), а также иллюстрации этого вида (Tanimura et al., 2004; Chung et al., 2010; Aké-Castillo et al., 2012) соответствуют нашей форме.

Cyclotella marina имеет сходство с *C. atomus*, *C. meduanae* (табл. II, 1–4) и *C. katiana*, однако отличается от первого отсутствием центрального выроста, а от *C. meduanae* и *C. katiana* — числом опор краевых выростов (см. табл. 1). По нашим неопубл. данным, *C. katiana* по морфологическим признакам близка к *C. meduanae* и конспецифична с последней.

Согласно литературным данным, *C. marina* обильно вегетирует при солености 30 ‰ (Tanimura et al., 2004; Chung et al., 2010; Aké-Castillo et al., 2012). В небольшом количестве этот вид отмечен в устье рек при солености от 10–17 ‰ (Tanimura et al., 2004), поэтому наши находки *C. marina* в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС и р. Оке — первые для пресноводных водоемов. Сходные виды *C. atomus* и *C. meduanae* имеют сходную экологию и встречаются в пресных — солоноватых водоемах (Nagumo, Kobayasi, 1985; Tanaka, 2007; Houk et al., 2010).

По данным некоторых исследователей (Tanimura et al., 2004), *C. marina* встречается вместе с другими представителями р. *Cyclotella*: *C. atomus*, *C. cryptica* Reimann, Lewin et Guillard, *C. meduanae*, *C. meneghiniana* Kütz., *C. striata* (Kütz.) Grunow, *C. pseudostelligera* Hust., *C. caspia* Grunow. В нашем материале *C. marina* также вегетирует одновременно со сходными видами этого рода (табл. 2, табл. II, *C. pseudostelligera* = syn.: *Discostella pseudostelligera* (Hust.) Houk et Klee).

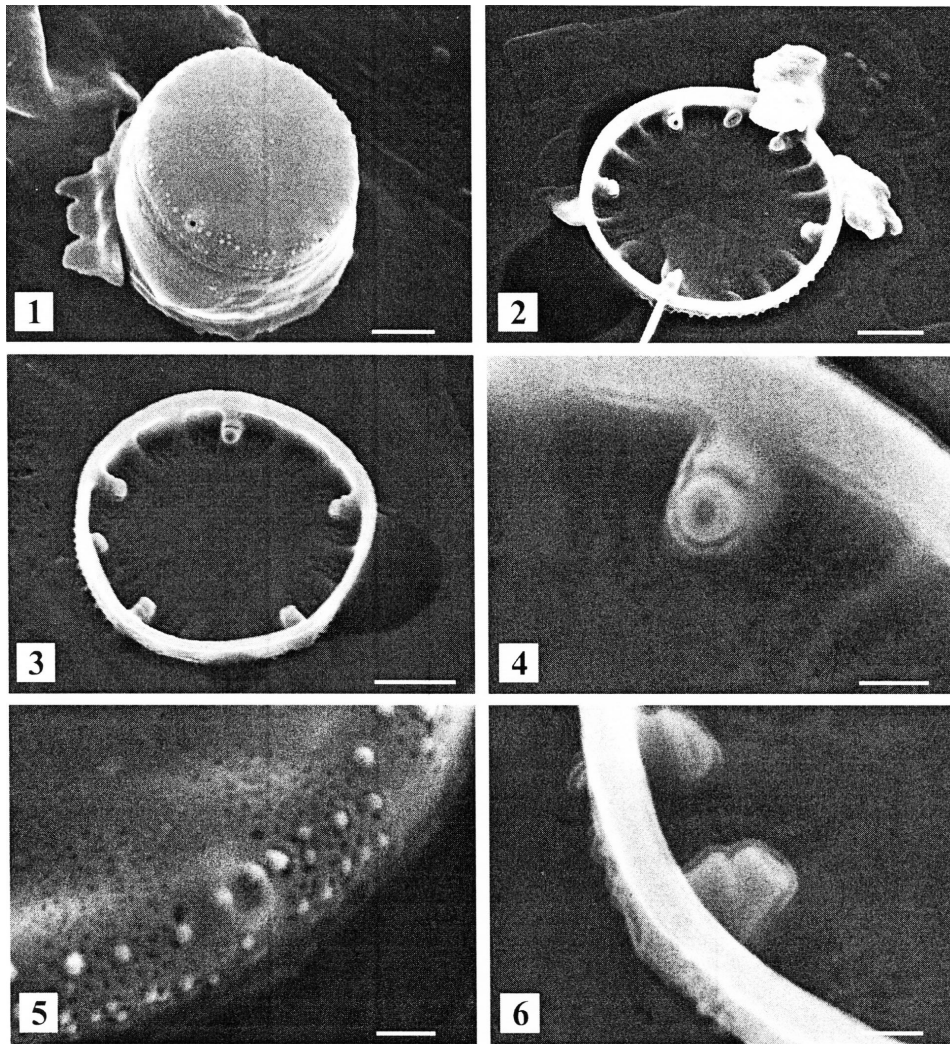


Табл. I. *Cyclotella marina*: 1 – панцирь с наружной поверхности; 2, 3 – створки с внутренней поверхности; 4 – краевой вырост с внутренней поверхности; 5 – краевой вырост, штрихи и загиб створки с наружной поверхности; 6 – краевой и двугубый выросты с внутренней поверхности. Масштаб: 1–3 – 1 мкм; 4–6 – 0,2 мкм. СЭМ

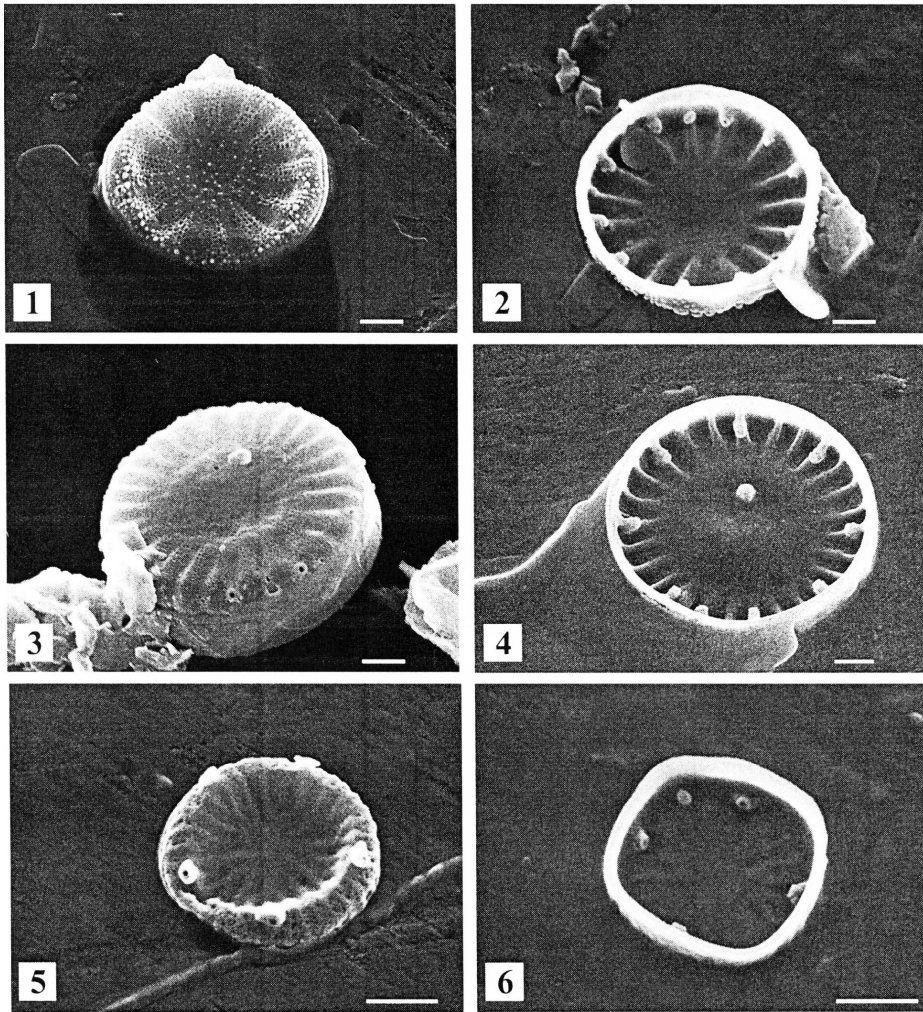


Табл. II. Электронные микрофотографии створок: 1, 2 – *Cyclotella meduanae*; 3, 4 – *C. atomus*; 5, 6 – *Discostella pseudostelligera*. 1, 3, 5 – створки с наружной поверхности; 2, 4, 6 – створки с внутренней поверхности. Масштаб 1 мкм. СЭМ

Таблица 2

Видовой состав центрических диатомовых водорослей в исследованных пробах

Таксон	р. Ока (2011 г.)		Водоем-охладитель ХАЭС
	27.07	10.08	2007, 2010 гг.
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	+	+	+
<i>A. granulata</i> (Ehrenb.) Simonsen	+	+	+*
<i>A. islandica</i> (O. Müll.) Simonsen		+	
<i>A. subarctica</i> (O. Müll.) Yaworth emend. Genkal	+		
<i>Conticribra guillardii</i> (Hasle) K. Stachura-Suchoples et D.M. Williams	+		+
<i>C. weissflogii</i> (Grunow) K. Stachura-Suchoples et D.M. Williams	+	+	
<i>Cyclostephanos dubius</i> (Fricke) Round	+	+	+
<i>Cyclotella ambigua</i> Grunow emend. Genkal	+	+	
<i>C. atomus</i> Hust. var. <i>atomus</i> Tanimura, Nagumo et Kato	+	+	+
<i>C. atomus</i> var. <i>gracilis</i> Genkal et Kiss	+	+	+
<i>C. marina</i> (Tanimura, Nagumo et Kato) Aké-Castillo, Okolodkov et Ector	+	+	+
<i>C. meduanae</i> Germ.	+*	+	+
<i>C. meneghiniana</i> Kütz.	+*	+*	+
<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hust.) Houk et Klee	+	+	+
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	+		+
<i>Pleurosira laevis</i> (Ehrenb.) Compere emend. Genkal et Yarmoschenko			+
<i>Skeletonema potamos</i> C.I. Weber	+	+	
<i>S. subsalsum</i> (A. Cleve) Bethge	+	+	
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	+	+	+
<i>S. invisitatus</i> Hohn et Hellerman	+	+	+
<i>S. makarovae</i> Genkal	+		
<i>S. minutulus</i> (Kütz.) A. Cleve et Möller	+		+
<i>S. neoastraea</i> Håk. et Kling emend. Casper, Scheff. Augsten	+		+
<i>S. triporus</i> Genkal et Kuzmin	+	+	
<i>S. volgensis</i> Genkal et L.G. Korneva	+	+	
<i>Thalassiosira faurii</i> (Gasse) Hasle	+	+	
<i>T. incerta</i> I.V. Makarova	+	+	
<i>T. lacustris</i> (Grunow) Hasle emend. Genkal	+	+	+
<i>T. pseudonana</i> Hasle et Heimdal			+

* – Доминирующий вид.

Значительное число сопутствующих видов (*Conticribra guillardii*, *C. weissflogii*, *Cyclotella ambigua*, *C. meduanae*, *Pleurosira laevis*, *Skeletonema subsalsum*, *Thalassiosira incerta*, *T. lacustris*, *T. pseudonana* относится к группе пресноводно-солонатоводных водорослей (Генкал, Макарова, 1988; Макарова, 1988; Генкал и др., 2008; Генкал, Ярмошенко, 2009; Генкал, 2011).

Приводим уточненный диагноз вида.

Cyclotella marina (Aké-Castillo et al., 2012, p. 267, figs 2–9).

Basionym: *Cyclotella atomus* var. *marina* (Tanimura et al., 2004: p. 6, 7, figs 3–15).

Клетки одиночные, панцирь низкоцилиндрический. Створки круглые, плоские, диам. 3–5,5 мкм. Небольшие шипики и гранулы расположены в краевой зоне и на загибе створки. Штрихи состоят из 2–8 рядов ареол, 15–20 в 10 мкм, камеры-альвеолы открытые. Краевые выросты расположены на 2–5-м ребре, с внутренней поверхности они имеют трубку, окруженную двумя опорами, с наружной – круглое отверстие с утолщенным краем. Единственный сидячий двугубый вырост находится в кольце краевых выростов. С наружной поверхности он имеет вид овальной щели, расположенной немного выше кольца краевых выростов. Ориентация щели с внутренней поверхности варьирует от почти тангентальной до почти радиальной.

Вид с широкой экологической валентностью, обитающий в морских, солонатовых и пресных водах.

Северная Америка, Европа, Азия.

Заключение

Впервые центрическая диатомовая водоросль *Cyclotella marina* обнаружена в водоемах Европы в пресных водах. Выявлена более широкая изменчивость некоторых морфологических признаков вида.

Cyclotella marina в исследованных водоемах вегетирует в летний период в комплексе с другими мелкоразмерными видами этого рода. Аналогичная ситуация наблюдается и в морских местообитаниях.

В качестве сопутствующих видов отмечены пресноводно-солонатоводные и солонатоводно-пресноводные виды из родов *Conticribra*, *Cyclotella*, *Pleurosira*, *Skeletonema*, *Thalassiosira*.

Работа частично поддержана грантом РФФИ (проект № 12-04-00878).

Балонов И.М. Подготовка диатомовых и золотистых водорослей к электронной микроскопии // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – С. 87–90.

Генкал С.И. К морфологии, таксономии и распространению в России *Thalassiosira bramarputrae* и *T. lacustris* (*Bacillariophyta*) // Новости системат. низш. раст. – 2011. – 45. – С. 20–26.

- Генкал С.И., Макарова И.В. Род *Skeletonema* Grév. // Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). – Л.: Наука, 1988. – Т. II, вып. 1. – С. 82–84.
- Генкал С.И., Паутова В.Н., Номоконова В.Н., Тарасова Н.Г. О находке *Cyclotella ambigua* (Bacillariophyta) в Куйбышевском водохранилище // Биол. внутр. вод. – 2008. – № 1. – С. 9–15.
- Генкал С.И., Ярмошенко Л.П. К морфологии, таксономии, экологии и распространению *Pleurosira laevis* (Bacillariophyta) // Укр. бот. журн. – 2009. – 66, № 5. – С. 659–669.
- Макарова И.В. Род *Thalassiosira* Cl. // Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). – Л.: Наука, 1988. – Т. II, вып. 1. – С. 58–82.
- Aké-Castillo J.A., Okolodkov Y.B., Espinosa-Matias S. et al. *Cyclotella marina* (Tanimura, Nagumo et Kato) Aké-Castillo, Okolodkov et Ector comb. et stat. nov. (Thalassiosiraceae): a bloom-forming diatom in the southeastern Gulf of Mexico // Nova Hedw. – 2012. – Beih. 141. – P. 263–274.
- Chung Mi Hee, Yoon Won Duk, Lee Joon-Baek. Morphological description of *Cyclotella atomus* var. *marina* (Bacillariophyceae): newly reported in Korean waters // Algae. – 2010. – 25, N 2. – P. 57–64.
- Håkansson H., Clarke K.B. Morphology and taxonomy of the centric diatom *Cyclotella atomus* // Nova Hedw. – 1997. – 65, N 1–4. – P. 207–219.
- Houk V., R. Klee, H. Tanaka. Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and descriptions. Pt III. *Stephanodiscaceae. Cyclotella, Tertiarius, Discostella* // Fottea. – 2010. – 10. – P. 1–498.
- Kobayasi H., M. Idei, S. Mayama et al. H. Kobayashi's atlas of Japanese diatoms based on electron microscopy. 1. Tokyo: Uchida Rokakuho (in Jap. and Engl. explanat. of plates), 2006. – 590 p.
- Nagumo T., Kobayasi H. Fine structure of three freshwater and brackish water species of the genus *Cyclotella* (Bacillariophyceae) *C. atomus*, *C. caspia* and *C. meduanae* // Repr. Bull. Plankt. Soc. Jap. – 1985. – 32, N 2. – P. 101–109.
- Sala S., Ramirez J.J. *Cyclotella katiana* sp. nov. from La Reina Swamp, Parque Nacional Natural Los Katios, Colombia // Diatom. Res. – 2008. – 23. – P. 147–157.
- Tanaka H. Taxonomic Studies of the Genera *Cyclotella* (Kütz.) Bréb., *Discostella* Hjuk et Klee and *Puncticulata* Håkansson in the family *Stephanodiscaceae* Glezer et Makarova (Bacillariophyta) in Japan. 70 plates // Bibliot. Diatom. – 2007. – 53.
- Tanimura Y., Nagumo T., Kato M. A new variety of *Cyclotella atomus* from Tokyo Bay, Japan; *C. atomus* var. *marina* var. nov. // Bull. Nat. Sci. Mus. (Tokyo). Ser. C. – 2004. – 30. – P. 5–11.

Получена 10.04.12

Рекомендовал к печати С.Ф. Комулайнен

S.I. Genkal¹, L.P. Yarmoshenko², A.G. Okhapkin³

¹I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters NAS,
152742 Yaroslavl Region, Russia
genkal@ibiw.yaroslavl.ru

²Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine,
12, Geroyiv Stalingrada Prosp., 04210 Kyiv, Ukraine
l__ya@ukr.net

³N.I. Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod,
23, Prosp. Gagarin, 603600 Nizhni Novgorod, Russia
okhapkin@bio.unn.ru

FIRST FINDINGS OF THE MARINE SPECIES *CYCLOTELLA MARINA*
(*BACILLARIOPHYTA*) IN FRESHWATERS OF EUROPE

The complex of small-sized species of centric diatoms has been identified by using scanning electron microscopy in the studies of phytoplankton and phytoperiphyton of the cooling pond of the Khmelnsky nuclear power plant (Ukraine) and the phytoplankton of the River Oka (a tributary of Volga, Russia). For the first time in Europe and the first time in fresh water *Cyclotella marina* (Tanimura, Nagumo et Kato) Aké-Castillo, Okolodk. et Ector has been found in this complex. *Cyclotella marina* had been described from Tokyo Bay, and later had been found in other marine waters. The wider variability of some morphological signs has been shown. Ecological valence and habitat of this species have been specificate.

Key word: *Cyclotella marina*, centric diatoms algae, freshwater bodies, Europe, phytoplankton, phytoperiphyton.