

УДК 582.26+581.9

Т.М. МИХЕЕВА¹, С.И. ГЕНКАЛ²

¹ Белорусский госуниверситет, лаб. гидроэкологии,
220050 Минск, пр. Ф. Скорины, 4, Беларусь

² Ин-т биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, Россия

**CYCLOTELLA COMENSIS GRUN. (BACILLARIOPHYTA)
В СИСТЕМЕ НАРОЧАНСКИХ ОЗЕР (БЕЛАРУСЬ) В ПЕРИОД ИХ
ДЕЭВТРОФИРОВАНИЯ**

Нарочанские озера (Нарочь, Мястро, Баторино) прошли разные периоды эволюции их трофического статуса: 1) период с незначительной антропогенной нагрузкой, 2) период антропогенного эвтрофирования и 3) период деэвтрофирования, сопровождавшийся структурными перестройками и нестабильным состоянием фитопланктонных сообществ. В период деэвтрофирования отмечено появление в озерах представителя центральных диатомовых водорослей *Cyclotella comensis* Grun., обнаруженного ранее на территории Беларуси только в ископаемом состоянии. Представлены данные о сезонной динамике и межгодовых колебаниях численности вида на протяжении 12 лет (1992-2003 гг.). Приведены результаты электронно-микроскопического исследования морфологической изменчивости *C. comensis* из оз. Баторино.

Ключевые слова: озера Беларуси Нарочь, Мястро, Баторино, эвтрофирование, деэвтрофирование, *Cyclotella comensis*, сезонные и межгодовые колебания, морфология.

Введение

Нарочанские озера, на которых гидробиологические исследования проводятся с 1948 г., являются достаточно изученными водными экосистемами разного трофического типа. Они представляют собой систему из трех связанных между собой водоемов – озер Баторино (верхнее в цепочке), Мястро (среднее) и Нарочь (конечное в цепи), имеют общую водосборную площадь, расположены в зоне типичного ледникового рельефа на северо-западе Беларуси в границах Нарочанско-Вилейской низины в бассейне р. Нарочь. Озеро Баторино соединяется с оз. Мястро неширокой протокой (5-6 м) длиной около 1,5 км, сильно заросшей высшей водной растительностью сплавиного типа, замедляющей течение. Озеро Мястро связано с оз. Нарочь короткой протокой (400-500 м) шириной 3-5 м с выраженным течением, несмотря на обильные заросли погруженной растительности, заселенной моллюском-фильтратором *Dreissena polymorpha* Pallas. Озера различаются по площади, глубине, трофическому статусу. Гидрографические и морфометрические их показатели приведены в табл. 1.

©Т.М. Михеева, С.И. Генкал, 2006

Таблица 1. Гидрографические и морфометрические показатели озер Нарочанской группы (по О. Ф. Якушко, 1971)

Озеро	Площадь, км ²		Глубина, м		Объем, км ³	Длина, км	Ширина, км	Удельный водосбор
	водосбора	зеркала	средняя	максимальная				
Нарочь	279,0	79,6	9,0	24,8	0,7104	12,8	9,8	3,5
Мястро	133,0	13,1	5,4	11,3	0,0700	5,8	4,2	10,2
Баторино	92,3	6,3	3,0	5,5	0,0187	3,5	2,4	14,6

Другие сведения об этих озерах и их современном экологическом состоянии приведены в многочисленных публикациях (Экологическая ..., 1985; Остапеня, 2000; Жукова, Остапеня, 2003; и др.) и начавшем выходить с 1999 г. «Бюллетене экологического состояния озер Нарочь, Мястро, Баторино» (2003).

В связи с меняющимися экологическими условиями озера прошли разные периоды эволюции их трофического статуса. По количественному развитию фитопланктона (Михеева и др., 2003) выделяются периоды: 1) с незначительной антропогенной нагрузкой (до 1976 г.); 2) антропогенного эвтрофирования (1977-1991 гг.) и 3) деэвтрофирования (1992-2002 гг.). До наступления 3-го периода оз. Нарочь относили к мезотрофным, оз. Мястро – к среднеэвтрофным, оз. Баторино – к высотрофным водоемам. В настоящее время оз. Нарочь пока сохраняет свой трофический статус, оз. Мястро перешло в разряд слабоэвтрофных, а оз. Баторино – в разряд эвтрофных водоемов.

Процессы эвтрофирования и деэвтрофирования существенно отразились на фитощенотической структуре планктона – его разнообразии, размере спектре видов и их сукцессиях, причинно-следственных связях в биотических сообществах и др. (Михеева, 1989, 1992, 1995, 1996, 1998, 2000; и др.). Перестроенные процессы в фитозенозах озер продолжаются и в настоящее время.

Цель данного исследования – уточнить систематическое положение представителей мелкоклеточного доминанта фитопланктона нарочанских озер Беларуси и выявить особенности его развития в этих водоемах.

Материалы и методы

Материалом для нашего исследования послужили образцы осадочного фитопланктона, собранные в озерах Нарочь, Мястро, Баторино в 1992-2003 гг. Количественный учет проб проводили в камере Фукс-Розенталя с помощью СМ «Laboval 2a-fl». Очистку панцирей водорослей от органической части для приготовления препаратов проводили методом холодного сжигания (Балонов, 1975). Для изучения морфологии створок *Cyclotella comensis* Grun. использовали СЭМ «JEOL-JSM 25 S».

Результаты и обсуждение

Одним из примеров нестабильного состояния фитопланктонных сообществ, выражающегося, в частности, в непостоянстве состава доминирующего комплекса видов, непредсказуемости появления и доминирования тех или

иных видов и групп водорослей, в нарушении хода их годовой сукцессии, является появление в озерах в период деэтрофирования мелкоклеточного представителя центрических диатомовых водорослей – *Cyclotella* sp., которую мы приводили в своих публикациях (Бюллетень ..., 2003) сначала как *C. comta* var. *oligactis* (Ehr.) Grun., а позднее как – *C. aff. rossii* Håkansson. Использование сканирующей электронной микроскопии для идентификации этого вида показало, что мы имеем дело с *Cyclotella comensis* Grun., известного ранее для территории Беларуси только в ископаемом состоянии для лихвинского и микулинского межледниковья плейстоцена с оценкой обилия «3» – «нередко» и «2» – «редко» (Хурсевич, Логинова, 1980).

Первые находки этого вида можно назвать спорадическими, больше приуроченными к весеннему и осеннему периодам, но очень скоро его стали отмечать, практически, в течение всего вегетационного сезона. Наибольшее количественное развитие вида отмечено в оз. Баторино с характерными для диатомовых весенним и осенним максимумами (табл. 2).

Таблица 2. Межгодовая и сезонная (I–XII) динамика развития *Cyclotella comensis* в Нарочанских озерах в период их деэтрофирования (численность, млн кл/л)

Год	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	2	3	4	5	6	7	8
Оз. Баторино							
1992	0	0	0	0,24	0,02	–	0,96
1993	0	10,71	0,9	0,55	0,85	0,59	0,06
1994	0	1,93	1,84	3,32	1,38	0,08	0,75
1995	0	2,75	1,11	0,57	0,88	0,6	1,04
1996	–	0,2	0	0	0,56	0	7,44
1997	–	2,76	1,02	0,96	0,29	0,62	2,41
1998	–	3,19	2,2	6,04	1,56	2,04	4,49
1999	–	0,38	10,02	4,68	1,76	5,17	–
2000	–	0,06	5,06	6,4	3,33	3,52	5,12
2001	–	1,89	2,97	1,13	0,42	3,16	–
2002	0	1,9	10,5	7,5	4,18	25,08	83,46
2003	–	0,66	8,19	4,83	3,23	2,25	3,47
Оз. Мястро							
1992	0	0,05	0	0,29	0,54	1,57	0,07
1993	0,52	2,76	0,19	1,14	0,18	0	0
1994	23,55	0,15	0,15	0,02	0,06	0,11	0

На рис. 1 показана средняя сезонная динамика численности *C. comensis* в озерах по многолетним данным (см. табл. 2). Продолжительность вегетационного периода принималась равной шести месяцам – с мая по октябрь включительно.

окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
1995	0	0,24	0,01	0,04	0	0	0,01
1996	0	0,86	0	0	0,16	0	1,48
1997	–	0,08	0,22	0,01	0,07	0,05	0
1998	–	0,05	0,08	1,51	0,15	0,05	0,03
1999	–	0,1	0,08	0,12	0,14	0	–
2000	–	0,4	0,38	0,13	1	0,05	0
2001	–	0,17	0,06	0,37	0,04	0,68	–
2002	0,14	1,23	0,06	1,95	0	0,14	0,2
2003	–	0,55	0,5	0,12	0,68	0,05	0,14
Оз. Нарочь							
1992	0,11	0,09	0,03	0,02	0,09	0,52	0,52
1993	1,02	1,19	0,52	0,07	0,08	0,25	0,45
1994	0,12	0,16	0,14	0,28	0,34	0,01	0,05
1995	0,05	0,84	0,24	0,12	0,15	0,13	0,26
1996	0,01	0,53	0,66	0,12	0,06	0,04	0,38
1997	0,11	0,01	0,03	0,08	0,17	0,07	0,28
1998	0,01	0,23	0,03	0,14	0,28	0,13	0,08
1999	0,04	0,71	0,04	0,13	0,08	0,09	0,71
2000	0	0,14	0,42	0,07	0,67	0,15	0,05
2001	0,02	0,01	0,01	0,2	0,62	0,77	–
2002	0,14	0,78	0,27	0,1	0,07	0,05	0,25
2003	0,15	0,47	0,44	0,12	0,07	0,14	0,12

В оз. Баторино сезонные колебания численности *C. comensis*, средние за 12 лет, составляли $1,54 \pm 1,35$ (в августе) – $10,92 \pm 25,59$ (в октябре) млн кл/л; в оз. Мястро минимальные значения отмечены в июне – $0,14 \pm 0,16$, максимальные в пределах вегетационного сезона в мае – $0,55 \pm 0,79$, но в этом озере, благодаря одноразово за все 12 лет (в 1994 г.) зафиксированной величине численности, равной 23,55 млн кл/л (см. табл. 2), максимальная величина среднесезонной за все годы численности составляла в апреле $4,04 \pm 9,56$; в оз. Нарочь минимальные значения отмечены в июле – $0,12 \pm 0,07$, максимальные в мае – $0,43 \pm 0,38$ млн кл/л.

Межгодовые различия среднесезонных величин численности представлены на рис. 2. В оз. Баторино они составляли $0,24 \pm 0,41$ (в 1992 г.) – $22,10 \pm 31,15$ (в 2002 г.), в оз. Мястро – $0,05 \pm 0,09$ (1995 г.) – $0,71 \pm 1,09$ (1993 г.), в оз. Нарочь – $0,11 \pm 0,10$ (1997 г.) – $0,43 \pm 0,42$ (1993 г.) млн кл/л.

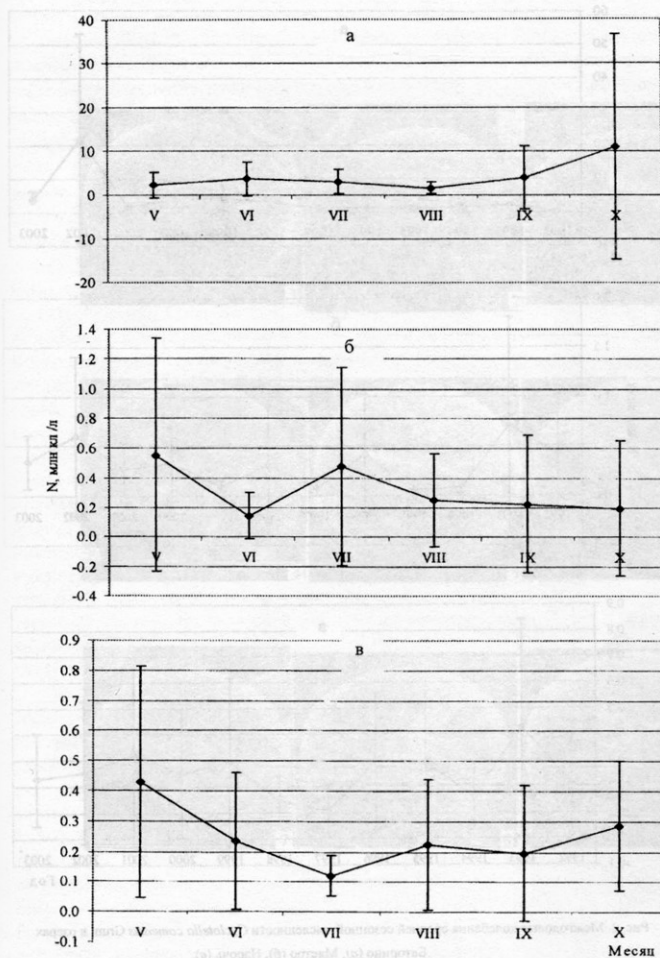


Рис. 1. Средняя сезонная динамика численности *Cyclotella comensis* Grun. в озерах Баторино (а), Мястро (б), Нарочь (в) по средним многолетним данным.

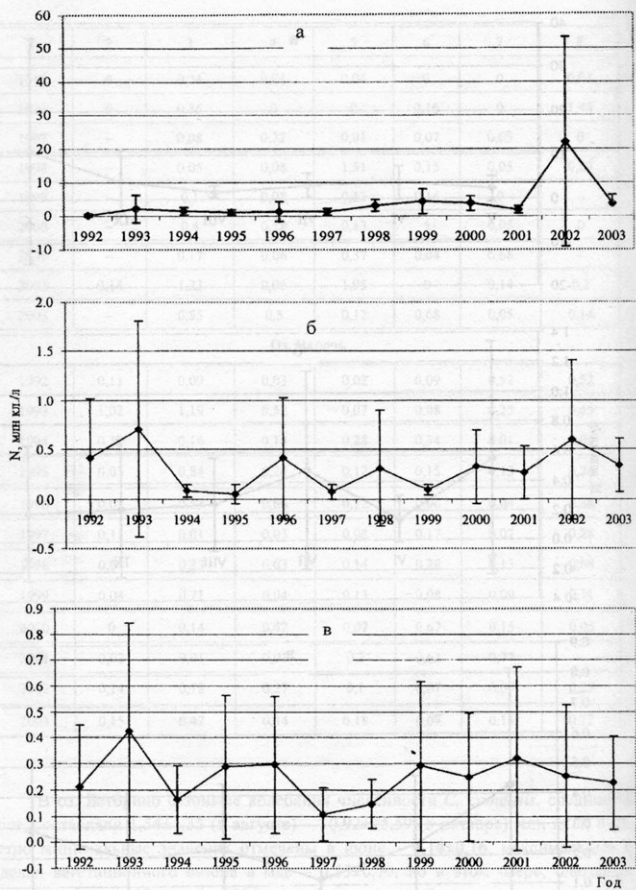


Рис. 2. Межгодовые колебания средней сезонной численности *Cyclotella comensis* Grun. в озерах Баторино (а), Мясстро (б), Нарочь (в).

Как видно из рисунков, сезонная динамика и межгодовые колебания численности *C. comensis* в трех озерах заметно различаются, более близки они в озерах Мясстро и Нарочь и довольно специфичны в верхнем в цепочке эвтрофном оз. Баторино.

Согласно литературным данным, в трех разных по уровню трофичности (Германия) (*Grosser Weibersweiher* – слабоэуτροφное, *Grosser Wiesensee* – мезотрофное, *Stechlin* – олиготрофно-мезотрофное) обычно наблюдаются два типа створок *Cyclotella comensis* (= *C. comoides*): февраль – юнь с шестидельным

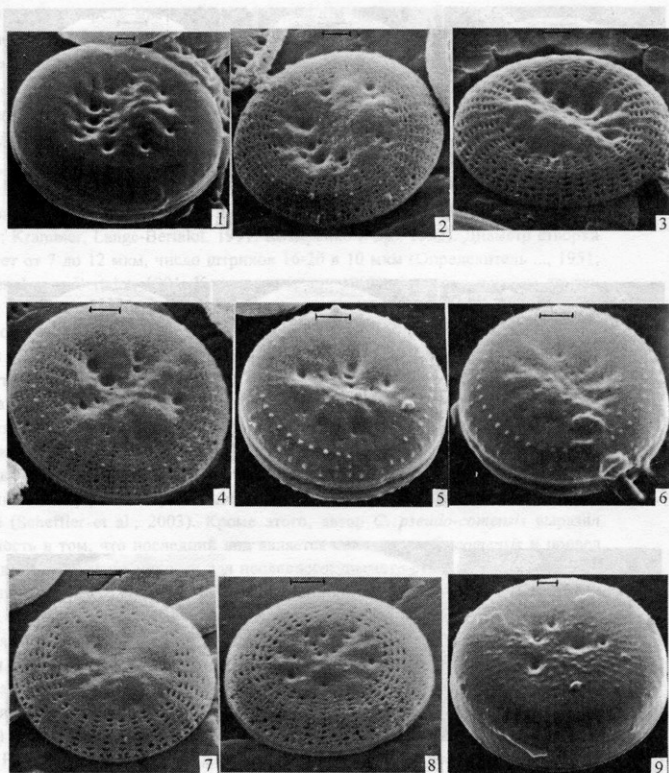


Табл. I. Электронные микрофотографии внешней поверхности створок *Cyclotella comensis* Grun. (СЭМ). Масштаб 1 мкм.

Согласно литературным данным, в трех разных по уровню трофности озерах Германии (Grosser Boberowsee – слабоэвтрофное, Grosser Wummsee – мезотрофное, Stechlin – олиготрофно-мезотрофное) обычно наблюдалось два пика развития *Cyclotella pseudocomensis* (= *C. comensis*): февраль–июнь с максимальной численностью в апреле–мае до 0,1–1,0 млн кл/л и июль–декабрь с максимальной численностью до 0,3–1,2 млн кл/л (Scheffler et al., 2003). Отмечено также два типа развития морфотипа «*minima*» *C. pseudocomensis* в этих же водоемах: январь–апрель с максимальной численностью до 0,2–3,0 млн кл/л и ноябрь–декабрь с максимальной численностью до 0,2–2,0 млн кл/л (Scheffler et al., 2003). При этом минимальное развитие *C. pseudocomensis* и морфотипа «*minima*» имело место в оз. Stechlin, максимальное – в слабоэвтрофном оз. Grosser Boberowsee.

По литературным данным, *C. comensis* относится к редким пресноводным планктонным видам, характерным для северо-альпийских водоемов (Определитель ..., 1951; Krammer, Lange-Bertalot, 1991; Козыренко и др., 1992). Диаметр створки варьирует от 7 до 12 мкм, число штрихов 16–20 в 10 мкм (Определитель ..., 1951; Krammer, Lange-Bertalot, 1991; Козыренко и др., 1992). Согласно данным других авторов диаметр створки составляет 5,5–14,5 мкм (Hakansson, 2002). В одних систематических сводках указывается тангентально-волнистый рельеф створки (Определитель ..., 1951; Козыренко и др., 1992), в других – радиально-волнистый (Krammer, Lange-Bertalot, 1991; Hakansson, 2002). Недавно был описан новый вид – *C. pseudocomensis* Scheffler (Scheffler, 1994). По данным автора, он отличается от *C. comensis* тангентальным рельефом створки и большим числом штрихов в 10 мкм (20–26 в 10 мкм). Позднее было показано, что *C. pseudocomensis* имеет два морфотипа, причем второй – «*minima*» небольшого размера (2,5–7 мкм), в отличие от морфотипа «*pseudocomensis*» имеет плоские или слегка выпуклые створки (Scheffler et al., 2003). Кроме этого, автор *C. pseudo-comensis* выразил уверенность в том, что последний вид является синонимом *C. comensis* и привел другие диапазоны изменчивости для последнего: диаметр створки – 2,6–14,8 мкм, число штрихов в 10 мкм – 14–28 (Scheffler, Morabito, 2003).

В нашем материале диаметр створки варьировал от 4,8 до 14,4 мкм, число составляло 20–25 в 10 мкм, краевые выросты располагались на каждом втором-девятиом ребре (табл. I; II, 1–6). Рельеф центрального поля створки варьировал от тангентального до плоского и можно было проследить все переходы (табл. I; II, 1–3). Число и расположение лакун было весьма изменчивым. На створках с сильной тангентальной волнистостью лакун было больше на вогнутой части (табл. I, 1–6). Расположение лакун на плоских створках было беспорядочным (мелкие, табл. I, 8; II, 3) или сходным с *C. ocellata* (крупные, табл. I, 9; II, 1, 2). Морфотип «*ocellata*» встречается и у других представителей рода *Cyclotella*: *C. polymorpha* Meyer et Hakansson (Meyer, Hakansson, 1996), *C. tripartita* Hakansson (Генкал, Бондаренко, 2001), *C. notata* Losevae и *C. scrobiculus* Alesch et Pirum. (Козыренко и др., 1992). Единственный центральный вырост имел две опоры (табл. II, 7). Краевые выросты также имели две опоры и располагались на углубленной межальвеолярной перегородке. Ориентация щели двугубого выроста варьировала от радиальной (табл. II, 8) до перпендикулярной (табл. II, 9) к межальвеолярным перегородкам.

Выводы

1. Электронно-микроскопическое изучение мелкоклеточного представителя рода *Cyclotella* (*C. sp.*), появившегося в Нарочанских озерах (Беларусь) в период их деэвтрофирования, показало, что он относится к *C. comensis* Grun.

2. *C. comensis* в исследованных озерах развивается в течение всего вегетационного сезона с весенним и осенним пиками.

3. Сезонная и межгодовая динамика численности *C. comensis* в исследованных озерах имеет свои особенности, она сходна в озерах Мястро и Нарочь и более специфична в оз. Баторино.

4. В оз. Баторино *C. comensis* проявляет значительную изменчивость качественных и количественных морфологических признаков, используемых для диагностики вида.

Т.М. Mikheeva¹ & S.I. Genkal²

¹Laboratory of Hydroecology, Belarus State University,

4, Skorny Pr., 220050 Minsk, Belarus

²I.D. Papanin Institute of Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences,

Settle of Borok, Necouzsky District, Yaroslavl Region, 152742 Russia

CYCLOTELLA COMENSIS GRUN. (BACILLARIOPHYTA) IN THE LAKE NAROCH (BELARUS) ECOSYSTEM DURING DE-EUTROPHICATION

The Lake Naroch ecosystem (Lakes Naroch, Myastro, and Batorino) have passed through different evolutionary periods of their trophic state: 1) the period with insignificant antropogenic press, 2) the period of antropogenic eutrophication, and 3) the period of de-eutrophication, which was accompanied by structural changes and an instable state of phytoplankton communities. During de-eutrophication, the invasion of the centric diatom *Cyclotella comensis* Grun. in the lakes was revealed; recently, it was recorded in Belarus only as a fossil. Data on seasonal dynamics and inter-year fluctuations of species number for 12 years of observation (1992-2003) are given. An electron microscopy study of morphological variability of *C. comensis* from Lake Batorino is presented.

Keywords: lakes Belarus, Naroch, Myastro, Batorino, eutrophication, de-eutrophication, *Cyclotella comensis*, seasonal and inter-year fluctuations, morphology.

Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мястро, Баторино (1999 г.) / Р.З. Ковалевская, Т.М. Михеева, Т.В. Жукова и др.; Под общ. ред. А.П. Остапени. – Минск: БГУ, 2003. – 96 с.

Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мястро, Баторино (2000 г.) / Р.З. Ковалевская, Т.М. Михеева, Т.В. Жукова и др.; Под общ. ред. А.П. Остапени. – Минск: БГУ, 2003. – 63 с.

Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мястро, Баторино (2001 г.) / Р.З. Ковалевская, Т.М. Михеева, Т.В. Жукова и др.; Под общ. ред. А.П. Остапени. – Минск: БГУ, 2003. – 92 с.

Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мястро, Баторино (2002 год) / Р.З. Ковалевская, Т.М. Михеева, Т.В. Жукова и др.; Под общ. ред. А.П. Остапени. – Минск: БГУ, 2003. – 91 с.

Генкал С.И., Бондаренко Н.А. Материалы к флоре водорослей (*Centrophyceae, Bacillariophyta*) некоторых озер Прибайкалья Забайкалья // Биол. внутр. вод. – 2001. – № 1. – С. 3-10.

Жукова Т.В., Остапени А.П. Влияние на экосистему Нарочанских озер вселенца – моллюска-фильтратора *Dreissena polymorpha* Pallas // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Мат. II Междунар. науч. конф., Минск-Нарочь, 22-26 сент. 2003 г. – Минск: БГУ, 2003. – С. 438-441.

- Козыренко Т.Ф., Логинова Л.П., Генкал С.И., Хурсевич Г.К., Шешукова-Порецкая В.С. *Cyclotella* Kütz. // Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). – СПб: Наука. –1992. – Т. II, вып. 2. – С. 24-47.
- Михеева Т.М. Структура и функционирование фитопланктона озер Нарочь, Мясстро, Баторино в связи с их эвтрофированием // История озер. Рациональное использование и охрана озерных водоемов: Тез. докл. 8 Всесоюз. симп., Минск, 17-22 апр. 1989 г. – Минск: Б. и., 1989. – С. 236-237.
- Михеева Т.М. Структура и функционирование фитопланктона при эвтрофировании вод. Дис. ... докт. биол. наук. – Минск, 1992. – 63 с.
- Михеева Т.М. Ретроспективный обзор места и значения планктонных диатомовых водорослей в системе озера Нарочь // Экология и география диатомовых водорослей: Тез. докл. 6 школы по диатом. водорослям (Совещ. диатомологов стран СНГ). Минск: БДГУ, 1995. – С. 46-48.
- Михеева Т.М. Нарушение экологического равновесия в Нарочанских озерах и изменения в доминирующих комплексах фитопланктона // Сохранение биологического разнообразия Белорусского Поозерья: Тез. докл. регион. науч.-практ. конф., Витебск, 25-26 апреля, 1996. – Витебск: Изд-во Витебск. госуниверситета, 1996. – С. 97-98.
- Михеева Т.М. Степень колониальности и размерно-весовые характеристики фитопланктонных сообществ водных экосистем Беларуси // Гидробиол. журн. – 1998. – 34, № 2. – С. 9-19.
- Михеева Т.М. Изменение степени ассоциированности и весовых характеристик планктонных водорослей в ходе эвтрофирования и деэвтрофирования озер // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Тез. докл. Междунар. науч. конф. по озерным экосистемам, Минск–Нарочь, 20-25 сент. 1999 г. – Минск: БГУ, 2000. – С. 253-259.
- Михеева Т.М., Макаревич Т.А., Лукьянова Е.В. Количественное развитие фитопланктона озера Нарочь в разные периоды эволюции его трофического статуса // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Мат. II Междунар. науч. конф., Минск–Нарочь, 22-26 сент. 2003 г. – Минск: БГУ, 2003. – С. 325-328.
- Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. – М., 1951. – 619 с.
- Остапеня А.П. Нарочанские озера: проблемы и прогнозы // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Тез. докл. Междунар. науч. конф. по озерным экосистемам, Минск–Нарочь, 20-25 сент. 1999 г. – Минск: БГУ, 1999. – С. 282-292.
- Хурсевич Г.К., Логинова Л.П. Ископаемая диатомовая флора Беларуси (систематический обзор). – Минск: Наука и техника, 1980. – 122 с.
- Экологическая система Нарочанских озер. – Минск: Университетское, 1985. – 303 с.
- Якушко О.Ф. Белорусское Поозерье. – Минск, 1971. – 334 с.
- Hakansson H. A compilation and evaluation of species in the general *Stephanodiscus*, *Cyclostephanos* and *Cyclotella* with a new genus in the family *Stephanodiscaceae* // Diatom Res. – 2002. – 17, N 1. – P. 1-139.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae*. Teil 3: *Centrales*, *Fragilariaceae*, *Eunotiaceae* // Süßwasserflora von Mitteleuropa. – Jena: Gustav Fisher Verlag, 1991. – 576 p.
- Meyer B., Hakansson H. Morphological variation of *Cyclotella polymorpha* sp. nov. (*Bacillariophyceae*) // Phycologia. – 1996. – 35, N 1. – P. 64-69.
- Scheffler W. *Cyclotella pseudocomensis* nov. sp. (*Bacillariophyceae*) aus norddeutschen Seen // Diatom Res. – 1994. – 9. – P. 355-369.
- Scheffler W., Morabito G. Topical observations on centric diatoms (*Bacillariophyceae*, *Centrales*) of Lake Como (N. Italy) // J. Limnol. – 2003. – 62, N 1. – P. 47-60.
- Scheffler W., Nicklisch A., Hepperle D. Dimorphism in *Cyclotella pseudocomensis* (*Heterokontophyta*, *Bacillariophyceae*) as revealed by morphological, ecological and molecular methods // Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advans. Limnol. – 2003. – 58. – P. 157-173.

Получена 222.04.04

Подписала в печать Л.А. Сиренко