

С.И. ГЕНКАЛ¹, Е.В. ЛЕПСКАЯ²

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

²Камчатский НИИ рыбного хозяйства и океанографии,
ул. Набережная, 18, Петропавловск-Камчатский 683000, Россия
e-mail: lepskaya@list.ru

***BACILLARIOPHYTA* ПЛАНКТОНА ОЗЕРА КРОНОЦКОЕ (КАМЧАТКА, РОССИЯ)**

В результате электронно-микроскопического изучения *Bacillariophyta* – важнейшего компонента фитопланктона оз. Кроноцкое, выявлено 79 видов и 3 разновидности диатомовых водорослей, что значительно расширило наше представление о таксономическом спектре *Bacillariophyta* этого крупнейшего заповедного водоема Камчатки. Выявлены новые для флоры России водоросли (*Cavinula thoroddsenii* (Foged) Lange-Bert. и *Navicula jentzschii* Grunow), 10 форм определены только до рода. Наиболее насыщенными в видовом отношении оказались роды *Cymbella* Agardh, *Pseudostaurosira* Williams & Round, *Gomphonema* Ehrenb., *Planothidium* Round & Bukht. и *Navicula* Vogt. В планктонном диатомовом сообществе доминируют типично планктонные представители пеннатных (*Asterionella* Hassall) и центрических (*Aulacoseira* Thw., *Handmannia* M. Perag.) диатомей.

Ключевые слова: Камчатка, фитопланктон, *Bacillariophyta*, электронная микроскопия, флора.

Введение

Озеро Кроноцкое – самое крупное по площади на Камчатке, второе по площади водосбора и третье по глубине. Фитопланктон озера впервые был изучен А.А. Еленкиным (1914) в немногочисленных пробах, собранных в августе 1909 г. Сведений о численности прибрежных видов автор не приводит. В статье о планктоне оз. Кроноцкое И.И. Куренков (1978) указывает 4 наиболее часто встречающихся вида диатомовых. В 1996 г. С.С. Баринова и Л.А. Медведева также исследовали водоросли оз. Кроноцкое. В танатоценозе из центральной части озера в массе были найдены остатки планктонных *Bacillariophyta* (Смирнов, 2012). Всего, согласно литературным данным, с учетом синонимии в озере обнаружено 39 таксонов *Bacillariophyta* из 20 родов.

Цель работы – изучение видового состава диатомовых водорослей оз. Кроноцкое с использованием методов электронной микроскопии и предварительная оценка роли этих водорослей в планктоне водоема.

Материалы и методы

Озеро Кроноцкое расположено в восточной части полуострова на территории Кроноцкого государственного биосферного заповедника в 40 км

© С.И. Генкал, Е.В. Лепская, 2015

от Кроноцкого залива (Тихий океан), с которым связано одноименной рекой (54°47.6' с.ш., 160°14.9' в.д.).

Озеро лаво-подпрудное, имеет форму прямоугольного треугольника. Высота н. у. м. 370 м, площадь зеркала 242 км², средняя глубина 51,2 м, максимальная – 128 м (Ресурсы ..., 1973; Куренков, 2005).

Материалом для электронно-микроскопических исследований диатомей послужили пробы фитопланктона, собранные в июле 2011 г. Клетки диатомей освобождали от органической части методом холодного сжигания (Балонов, 1975). Препараты водорослей исследовали с помощью СЭМ JSM-25S.

Фитопланктон отбирали летом и в начале осени 2011 и 2012 гг. на станции о. Зеленый, расположенной в бухте, откуда берет начало р. Кроноцкая. Пробы собирали батометром Нансена с поверхности, а также с глубин равных и кратных 1/2, 2, 3, 4, 5 значению прозрачности по белому диску и с горизонта 65 м. Всего было собрано и обработано 40 проб.

Количество живых клеток в планктоне подсчитывали в 50 мл пробы, отфильтрованной на мембранные фильтры Millipore с диаметром пор 0,8 мкм после окрашивания осадка карболовым раствором эритрозина (Сорокин, Павельева, 1972).

Сезонные и межгодовые сравнения численности диатомовых и микроводорослей других систематических групп проводили по средневзвешенным значениям для слоя 0–65 м.

Для таксономической идентификации зеленых микроводорослей использовали литературные источники: Голлербах и др., 1953; Матвиенко, 1954; Царенко, 1990.

Результаты и обсуждение

В результате изучения проб с помощью сканирующей электронной микроскопии выявлено более 80 видов и разновидностей *Bacillariophyta*: *Achnantidium minutissimum* (Kütz.) Czarn., *Amphora copulata* (Kütz.) Schoeman et R.E.M. Archibald, *A. pediculus* (Kütz.) Grunow., *Amphora* sp., *Asterionella formosa* Hassall, *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) E.Y. Haw. emend. Genkal, *Brachysira neoexilis* Lange-Bert., *Campylodiscus hibernicus* Ehrenb., *Cavinula pseudoscutiformis* (Hust.) Mann et Stickle, *C. thoroddsenii* (Foged) Lange-Bert., *Cavinula* sp., *Cocconeis placentula* Ehrenb., *Conticribra guillardii* (Hasle) K. Stachura-Suchoples et D.M. Williams, *Cyclotella rossii* Hek., *Cymatopleura solea* (Bréb.) W. Smith, *Cymbella cymbiformis* C. Agardh, *C. lanceolata* (C. Agardh) C. Agardh, *C. neocistula* Krammer, *C. mexicana* var. *kamtschatica* (Grunow) Krammer, *Cymbopleura acuta* (A. Schmidt) Krammer, *Diatoma hyemalis* (Roth) Heib., *Diploneis elliptica* (Kütz.) Cleve, *Diploneis* sp., *Discostella stelligera* (Cleve et Grunow) Houk et Klee, *Ellerbeckia* sp., *Eolimna rotunda* (Hust.) Lange-Bert., Kulikovskiy et A. Witkowski, *E. submuralis* (Hust.) Lange-Bert., Kulikovskiy et A. Witkowski, *Epithemia adnata* (Kütz.) Bréb., *E. sorex* Kütz., *Encyonema kamtschaticum*

Krammer, *Fragilaria mesolepta* Rabenh., *F. vaucheriae* (Kütz.) J.B. Petersen, *Fragilariforma virescens* (Ralfs) D.M. Williams et Round, *Frustulia* cf. *krammeri* Lange-Bert. et Metzeltin, *F. saxonica* (Bréb.) Lange-Bert. et Krammer, *Geissleria acceptata* (Hust.) Lange-Bert. et Metzeltin, *G. tringvallae* (Østrup) Lange-Bert. et Metzeltin, *Gomphonema angustata* (Kütz.) Rabenh., *G. olivaceum* (Hornem.) Bréb. var. *olivaceum*, *G. olivaceum* var. *fonticola* Hust., *Gomphonema* sp. 1, *Gomphonema* sp. 2, *Gyrosigma strigilis* (W. Smith) Cleve, *Handmannia bodanica* (Eulenst.) Kociolek et Khursevich, *Hantzschia amphioxys* (Ehrenb.) Grunow, *Karayevia amoena* (Hust.) Bukht., *K. clevei* (Grun.) Bukht., *K. laterostrata* (Hust.) Bukht., *Luticola mutica* (Kütz.) D.G. Mann, *Navicula cryptotenella* Lange-Bert., *N.* cf. *lanceolata* (C. Agardh) Ehrenb., *N. reinhardtii* (Grunow) Grunow, *N. jentzschii* Grunow, *N. upsaliensis* (W. Greg.) Perag., *N. vulpina* Kütz., *Navicula* sp., (?) *Naviculadicta* sp., *Nitzschia frustulum* (Kütz.) Grunow, *Opephora olsenii* V. Möller, *Placoneis gastrum* (Ehrenb.) Mereschk., *Planothidium calcar* (Cleve) Edlund, *P. conspicuum* (Mayer) Morales, *P. dubium* (Grunow) Round et Bukht., *P. oestrupii* (A. Cleve) Round et Bukht., *P. pungens* (A. Cleve) Lange-Bert., *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow) D.M. Williams et Round, *P. elliptica* (Schum.) Edlund, Morales et Spaulding, *P. pseudoconstruens* (Marciniak) D.M. Williams et Round, *Pseudostaurosira* sp. 1, *Rhoicosphenia abbreviata* (C. Agardh) Lange-Bert., *Sellaphora bacillum* (Ehrenb.) Mann, *S. laevisissima* (Kütz.) Mann, *Sellaphora* species, *Stauroneis anceps* var. *hyalina* Perag. et Brun, *Staurosira venter* (Ehrenb.) Grunow, *Staurosirella pinnata* (Ehrenb.) D.M. Williams et Round, *Stephanodiscus minutulus* (Kütz.) Cleve et M. Möller, *Stephanodiscus* sp., *Surirella linearis* W. Smith, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz., *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère.

Ниже приведены краткие диагнозы, данные по распространению и оригинальные иллюстрации новых (*) и интересных видов для флоры России и форм, определенных только до рода.

Amphora sp. (табл. I, 1). Створка длиной 57 мкм, шириной 14,3 мкм, штрихов 10 в 10 мкм.

**Cavinula thoroddsenii* (Foged) Lange-Bert. (табл. I, 2, 3). Створки длиной 15–28,9 мкм, шириной 10,7–13 мкм, штрихов 20–22 в 10 мкм.

Исландия (Foged, 1974).

Symbella mexicana var. *kamtschatica* (Grunow) Krammer (табл. I, 4). Створки длиной 94–117 мкм, шириной 28–29 мкм, штрихов 6–8 в 10 мкм.

Камчатка, США (Krammer, 2002).

Diploneis sp. (табл. I, 5–7). Створки длиной 44,3–57,8 мкм, шириной 20–22,8 мкм, штрихов 6 в 10 мкм.

Ellerbeckia sp. (табл. I, 8). Створка диаметром 145 мкм.

Encyonema kamtschaticum Krammer (табл. II, 2). Створка длиной 58,6 мкм, шириной 18,5 мкм, штрихов 9 в 10 мкм.

Камчатка (Krammer, 1997).

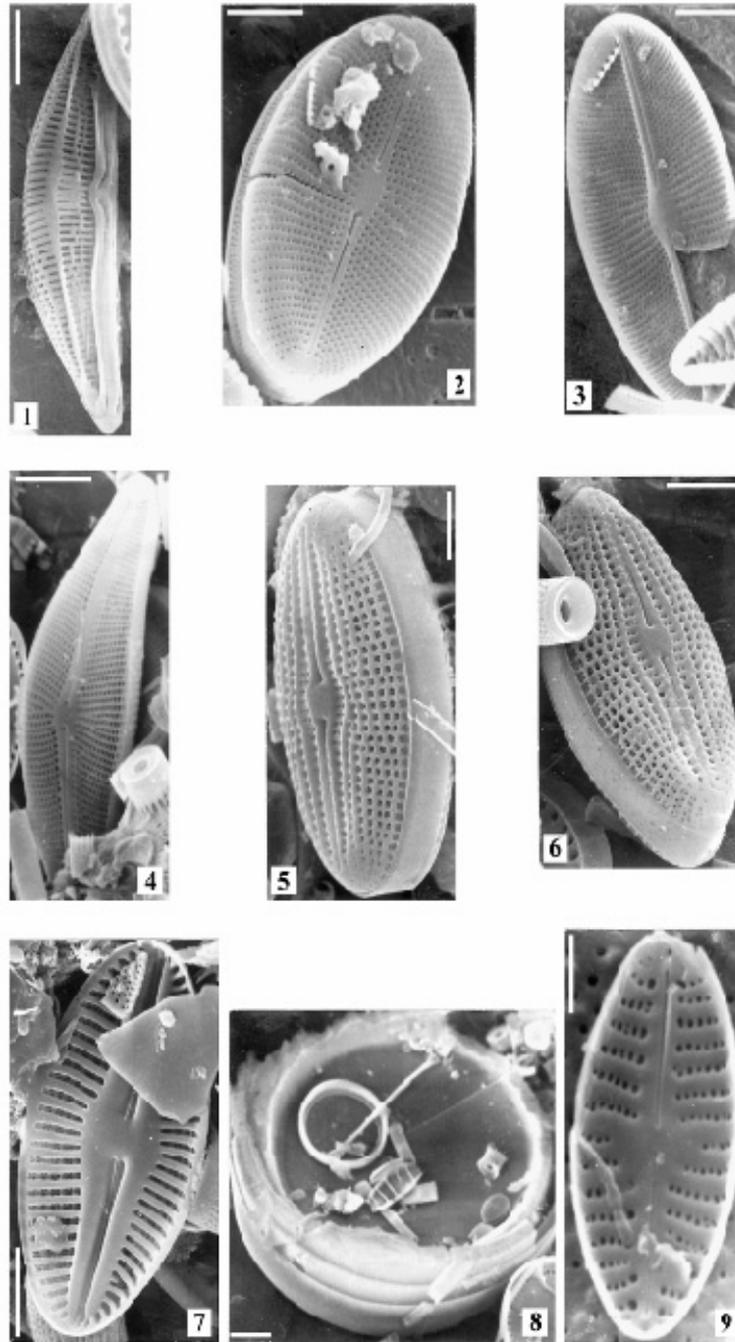


Табл. I. 1 – *Amphora* sp.; 2, 3 – *Cavinula thoroddsenii*; 4 – *Cymbella mexicana* var. *kamtschatica*; 5–7 – *Diploneis* sp.; 8 – *Ellerbeckia* sp.; 9 – *Eolimna rotunda*. Створки с наружной (1–6) и внутренней поверхности (7–9). Масштаб: 1, 5–7 – 10 мкм; 2, 3 – 5 мкм; 4, 8 – 20 мкм; 9 – 2 мкм

Eolimna rotunda (Hust.) Lange-Bert., Kulikovskiy et Witkowskiy (табл. I, 9). Створка длиной 10,6 мкм, шириной 4,8 мкм, штрихов 16 в 10 мкм.

Европа (Krammer, Lange-Bertalot, 1986).

Eolimna sp. (табл. II, 1). Створка длиной 8,5 мкм, шириной 4,7 мкм, штрихов 18 в 10 мкм.

Gomphonema sp. 1 (табл. II, 3). Створка длиной 64,4 мкм, шириной 15,5 мкм, штрихов 11 в 10 мкм.

Gomphonema sp. 2 (табл. II, 4). Створка длиной 50 мкм, шириной 10 мкм, штрихов 8 в 10 мкм.

Handmania bodanica относится к редким пресноводным видам, характерным для альпийских и субальпийских олиготрофных озер (Генкал и др., 2013). Известны редкие случаи находок створок инициальных клеток этого вида, диаметр которых варьировал от 47,0 до 73,5 мкм, хотя максимальный диаметр створок вегетативных клеток по литературным данным достигает 80 мкм (Генкал и др., 2013). В оз. Кроноцкое отмечена инициальная створка диаметром 88 мкм (табл. II, 5), что позволяет предположить наличие у *H. bodanica* вегетативных клеток диаметром более 80 мкм.

**Navicula jentzschii* Grunow (табл. II, 6). Створка длиной 30 мкм, шириной 13,8 мкм, штрихов 12 в 10 мкм.

Европа (Krammer, Lange-Bertalot, 1986).

Navicula sp. (табл. II, 7). Створка длиной 94 мкм, шириной 26 мкм, штрихов 8 в 10 мкм.

(?)*Naviculadicta* sp. (табл. II, 8). Створка длиной 33,3 мкм, шириной 10 мкм, штрихов 14 в 10 мкм.

Pseudostaurosira sp. (табл. II, 9). Створка длиной 16,4 мкм, шириной 6,4 мкм, штрихов 11 в 10 мкм.

Stephanodiscus sp. (табл. II, 10, 11). Створки диаметром 13,6–21 мкм, штрихов 6–8 в 10 мкм.

Согласно проведенным ранее исследованиям, в оз. Кроноцкое за почти 100-летний период зафиксировано 39 видов и разновидностей *Bacillariophyta*, включая 5 форм, определенных до рода (Еленкин, 1914; Куренков, 1978; Баринаова, Медведева, 1996; Смирнов, 2012). Наше первое электронно-микроскопическое изучение диатомовых микроводорослей из этого озера позволило выявить значительно большее число родов (44), видов и внутривидовых таксонов этой группы водорослей (79 видов и 3 разновидности), в т.ч. 10 форм определенных только до рода. Впервые отмечены представители родов *Brachysira* Kütz., *Campylodiscus* Ehrenb., *Cavinula* Mann, *Cocconeis* Ehrenb., *Conticribra* K. Stachura-Suchoples & D.M. Williams, *Cymatopleura* W. Smith, *Cymbopleura* (Krammer) Krammer, *Diatoma* Bory, *Diploneis* Ehrenb., *Ellerbeckia* Crawford, *Eolimna* Lange-Bert. & W. Schiller, *Frustulia* Rabenh., *Geissleria* Lange-Bert. & Metzeltin, *Gyrosigma* Hassal, *Karayevia* Round & L. Bukht. ex Round, *Luticola* Mann, *Naviculadicta* Lange-Bert., *Nitzschia* Hassall, *Opephora* P. Petit, *Placoneis* Mereschowsky, *Planothidium* Round & L. Bukht., *Psammothidium* L. Bukht. & Round, *Sellaphora* Mereschk., *Stauroneis* Ehrenb.,

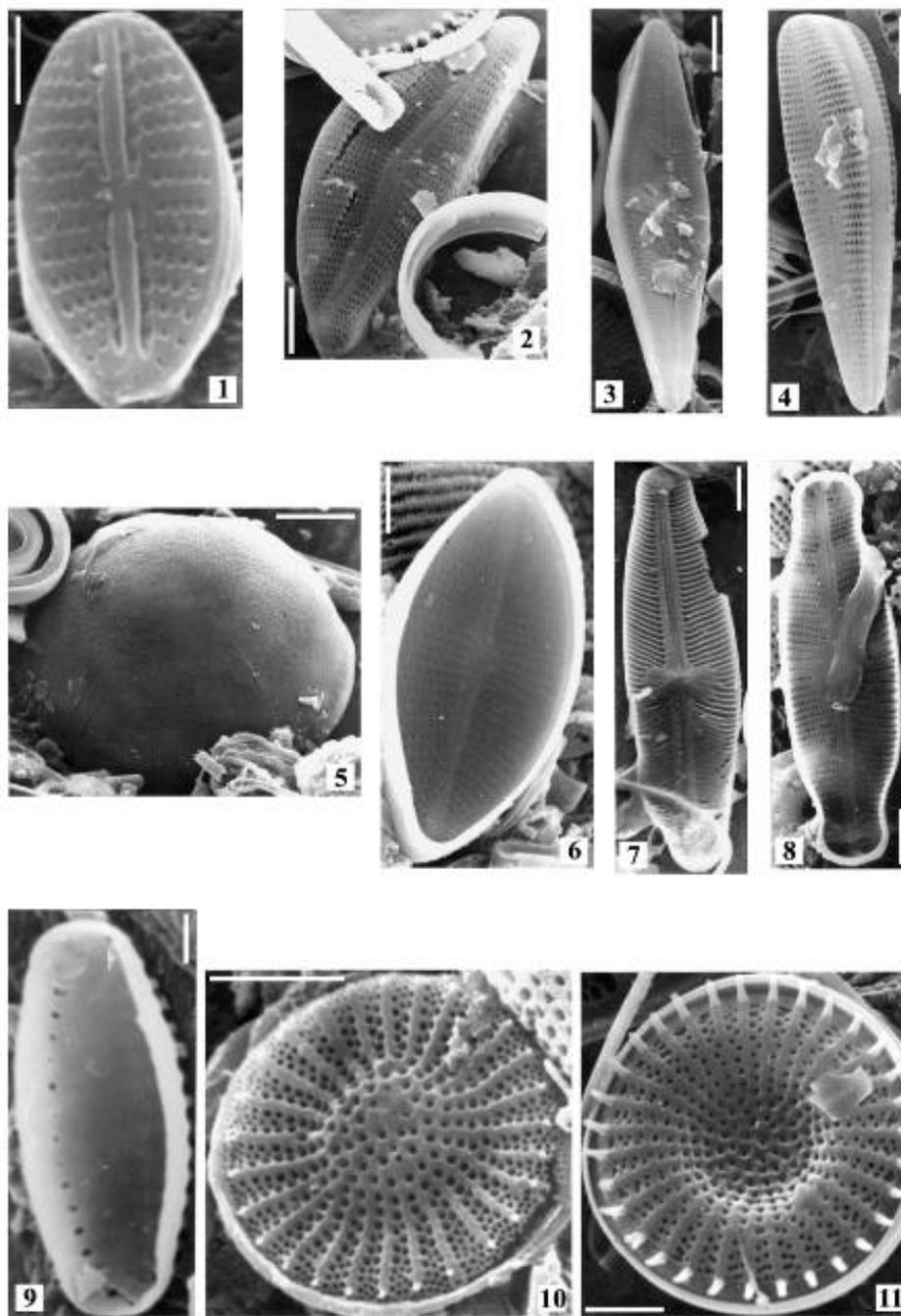


Табл. II. 1 – *Eolimna* sp.; 2 – *Encyonema kamtschaticum*; 3 – *Gomphonema* sp. 1; 4 – *Gomphonema* sp. 2; 5 – *Handmania bodanica*; 6 – *Navicula jentzschii*; 7 – *Navicula* sp.; 8 – (?) *Naviculadicta* sp.; 9 – *Pseudostaurosira* sp.; 10, 11 – *Stephanodiscus* sp. Створки с наружной (1–6, 10, 11) и внутренней поверхности (7–9). Масштаб: 1, 9 – 2 мкм; 2–4, 7–10 мкм; 5 – 20 мкм; 6, 8, 10, 11 – 5 мкм

Staurosira Ehrenb., *Stephanodiscus* Ehrenb., *Surirella* Turpin. Наибольшее видовое богатство отмечено в родах *Cymbella* С. Agardh и *Pseudostaurosira* (Grunow) D.M. Williams & Round (по 4), *Gomphonema* Ehrenb. и *Planothidium* Round & L. Bukht. (по 5) и *Navicula* Bory (6).

Диатомовые микроводоросли присутствовали в планктоне юго-восточной части оз. Кроноцкое с июля по сентябрь на протяжении всего периода исследований (рис. 1).

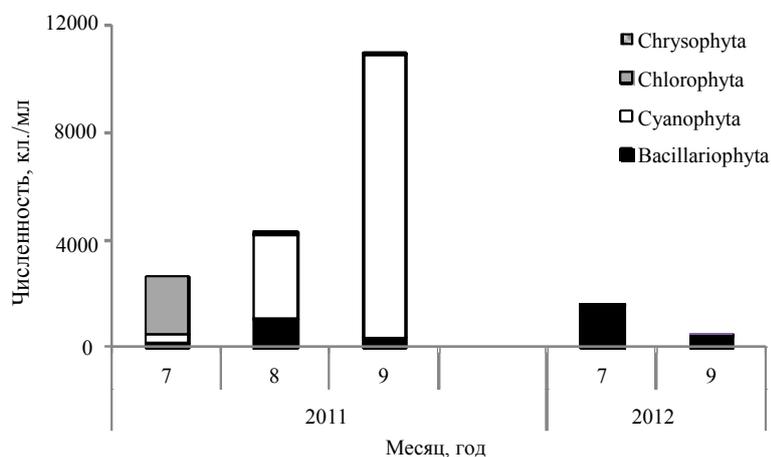


Рис. 1. Численность таксономических групп микроводорослей в планктоне оз. Кроноцкое

Однако их вклад в формирование численности фитопланктона изменялся в зависимости от сезона и года. Например, в 2011 г. в июле в планктоне доминировали представители зеленых водорослей (*Closteriopsis* sp., *Monorhaphidium* sp., *Genus* sp. sp.), составляя 81 %, в августе и сентябре — синезеленые микроводоросли, где преобладал *Microcystis aeruginosa*. Диатомовые в 2011 г. занимали в фитопланктоне 2 %, 26 % и 3 % соответственно. В 2012 г., напротив, *Bacillariophyta* доминировали в планктоне, однако их численность была вдвое ниже численности *Chlorophyta* и на порядок ниже численности *Cyanophyta* в соответствующие месяцы 2011 г.

Среди планктонных *Bacillariophyta* доминировали *Asterionella formosa*, *Aulacoseira subarctica* и *Handmannia bodanica*. Соотношение этих таксонов в планктоне было непостоянно. Например, *Asterionella* преобладала в августе 2011 г. и на протяжении летне-осеннего периода 2012 г., *Aulacoseira* — в сентябре, а *Handmannia* — в июле 2011 г. (рис. 2).

Заключение

В оз. Кроноцкое диатомовые наряду с представителями зеленых и синезеленых микроводорослей являются важнейшим компонентом фитопланктона. В планктонном диатомовом сообществе доминируют

типично планктонные представители пеннатных (*Asterionella*) и центральных (*Aulacoseira*, *Handmannia*) диатомей. *Handmannia bodanica* также часто и обильно была представлена в планктоне.

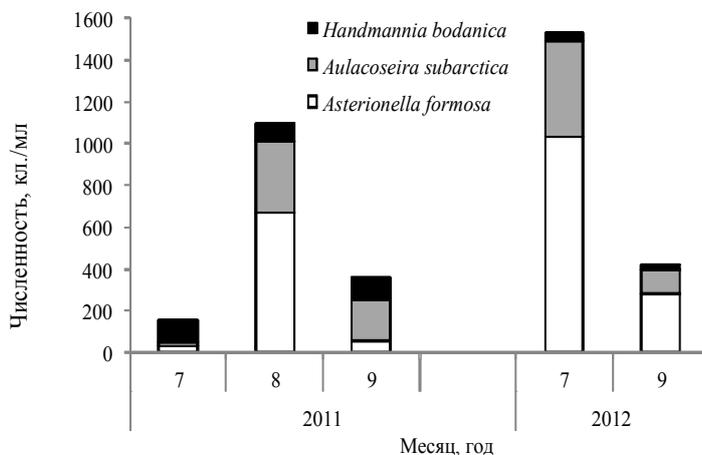


Рис. 2. Численность доминантных *Bacillariophyta* в планктоне оз. Кроноцкого

Электронно-микроскопическое изучение диатомовых микроводорослей оз. Кроноцкого выявило 79 видов и 3 разновидности *Bacillariophyta*, что позволило значительно расширить наши представления о родовом, видовом и внутривидовом спектре диатомовых водорослей этого крупнейшего и заповедного водоема Камчатки. Среди обнаруженных водорослей *Cavinula thoroddsenii* и *Navicula jentzschii* оказались новыми для флоры России. Десять форм требуют дальнейших исследований для уточнения их систематического положения. Наиболее насыщенными в видовом отношении оказались роды *Cymbella*, *Pseudostaurosira*, *Gomphonema*, *Planothidium* и *Navicula*.

В исследованном материале впервые зафиксированы инициальные створки *H. bodanica* диаметром, превышающим известные в литературе величины, что позволяет сделать предположение о наличии в природных популяциях вегетативных клеток диаметром более 80 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балонов И.М. Подготовка диатомовых и золотистых водорослей к электронной микроскопии // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – С. 87–90.
- Барина С.С., Медведева Л.А. Атлас водорослей-индикаторов сапробности (российский Дальний Восток). – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 364 с.
- Генгал С.И., Митрофанова Е.Ю., Куликовский М.С. Морфологическая изменчивость, таксономия и распространение *Cyclotella bodanica* Eulenstein (*Bacillariophyta*) // Биол. внутр. вод. – 2013. – (2). – С. 3–15.

- Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Синезеленые водоросли. – М.: Сов. наука, 1953. – 652 с.
- Еленкин А.А. Споровые растения Камчатки: 1) водоросли, 2) грибы. Вып. 2 // Камчатская экспедиция Ф. П. Рябушинского. – М.: Бот. отдел, 1914.
- Куренков И.И. Планктон оз. Кроноцкое (Камчатка) // Систематика и биология пресноводных организмов северо-Востока Азии. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. – С. 46–55.
- Куренков И.И. Зоопланктон озер Камчатки. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2005. – 178 с.
- Матвиенко А.М. Золотистые водоросли. – М.: Сов. наука, 1954. – 188 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Камчатка. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 367 с.
- Смирнов Н.Н. Диагноз биоценоза озера Кроноцкого (Камчатка) по остаткам в донных отложениях // ДАН. – 2012. – 443(6). – С. 757–758.
- Сорокин Ю.И., Павельева Е.Б. К количественной характеристике экосистемы пелагиали озера Дальнего на Камчатке // Тр. ИБВВ АН СССР. – 1972. – 23(26). – С. 24–38.
- Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. – Киев: Наук. думка, 1990. – 208 с.
- Foged N. Freshwater diatoms on Iceland // Bibl. Phycol. – 1974. – 15. – S. 1–192.
- Krammer K. Diatoms of Europe. 3. *Cymbella*. – Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G., 2002. – 584 p.
- Krammer K. Die cymbelloiden Diatomeen. 1. Teil: *Allgeneines und Encyonema* part // Bibl. Diatomol. – 1997. – 36. – P. 1–382.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae*. 1. Teil: *Naviculaceae* // Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. – Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1986. – S. 1–876.

Получена 5 июля 2013 г.

Подписал в печать П.М. Царенко

ISSN 0868-8540. *Algologia*. 2015, 25(1): 74–82 <http://dx.doi.org/10.15407/alg25.01.074>

S.I. Genkal¹, E.V. Lepskaya²

¹I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters of RAS,
Settle Borok, Nekouz District, 152742 Yaroslavl Region, Russia
e-mail: genkal@ibiw.yaroslavl.ru

²Kamchatka Institute for Fisheries Research and Oceanography,
18, Naberezhnaya St., Petropavlovsk-Kamchatsky 683000, Russia
e-mail: lepskaya@list.ru

MATERIALS TO THE FLORA OF *BACILLARIOPHYTA* OF LAKE KRONOTSKOYE (THE KAMCHATKA PENINSULA, RUSSIA)

First electron microscopy study of *Bacillariophyta*, a major component of Lake Kronotskoye phytoplankton, revealed more than 80 taxa of diatoms. Among them two species are new for the flora of Russia (*Cavinula thoroddsenii* (Foged) Lange-Bert. and *Navicula jentzschii* Grunow), 10 forms were identified only to the genus. Genera *Cymbella* Agardh., *Pseudostaurosira* Williams & Round, *Gomphonema* Ehrenb., *Planothidium* Round & Bukht. and *Navicula* Bory are richest in species. Dominating species of phytoplankton are represented by pennate (*Asterionella* Hassall) and centric (*Aulacoseira* Thw., *Handmannia* M. Perag.) diatoms.

Key words: Kamchatka, phytoplankton, *Bacillariophyta*, electron microscopy, flora.