

**ФИТОПЛАНКТОН И ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ КРОНОЦКОГО ОЗЕРА
(КРОНОЦКИЙ ЗАПОВЕДНИК, КАМЧАТКА)**

Е.В. Лепская¹, Г.Н. Маркевич², Л.А. Анисимова³, В.В. Коломейцев¹

¹ Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), ул. Набережная, 18, Петропавловск-Камчатский, 683000, Россия.

E-mail: lepskaya@list.ru, kolomeitsev.v.v@mail.ru

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Москва, 119991, Россия.

E-mail: g-markevich@yandex.ru

³ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), ул. Красносельская, 17, Москва, 107140, Россия.

E-mail: lusya.anisimova@gmail.com

Впервые сообщается о фитопланктоне Кроноцкого озера, расположенного на территории Кроноцкого государственного биосферного заповедника. Дана характеристика видового состава, численности, биомассы, структуры, сезонной и межгодовой изменчивости планктонных водорослей, а также их распределения по акватории водоема. Впервые приведена оценка первичной продукции планктона.

**PHYTOPLANKTON AND PRIMARY PRODUCTION OF KRONOTSKOYE LAKE
(KRONOTSKY RESERVE, KAMCHATKA)**

E.V. Lepskaya¹, G.N. Markevich², L.A. Anisimova³, V.V. Kolomeitsev¹

¹ Kamchatka Research Institute for Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), 18 Naberezhnaya Str., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia.

E-mail: lepskaya@list.ru, kolomeitsev.v.v@mail.ru

² Lomonosov's Moscow State University, Faculty of Biology, 1/12 Lenin Hill Str., Moscow, 119991, Russia. E-mail: g-markevich@yandex.ru

³ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), 17 Krasnoselskaya Str., Moscow, 107140, Russia. E-mail: lusya.anisimova@gmail.com

Data on the phytoplankton of Kronotskoye Lake, situated within Kronotsky Biosphere State Reserve, is presented for the first time: characterization of species composition, stock abundance, biomass, structure, seasonal and interannual variations of plankton algae and their distribution in the waters of the lake. A pioneer assessment of primary production is provided.

Озеро Кроноцкое расположено на территории Кроноцкого государственного биосферного заповедника на высоте 370 м над уровнем моря. Средняя глубина озера составляет 51,2 м, максимальная – 128 м, объем водной массы – 12,4 м³ (Куренков, 2005). Площадь озерного зеркала по разным данным составляет 242 км² (Куренков, 2005) или 245 км² (Ресурсы..., 1973). Происхождение – вулканическое (лавоподпрудное) (Ресурсы..., 1973). Озеро соединено с Тихим океаном рекой Кроноцкой, которая впадает в Кроноцкий залив.

Планктонные водоросли оз. Кроноцкое впервые исследовал А.А. Еленкин в образцах, собранных В.П. Савичем в середине августа 1909 г. в экспедиции Русского географического общества, организованной Ф.П. Рябушинским (Еленкин, 1914). В 1950–60 гг. планктон

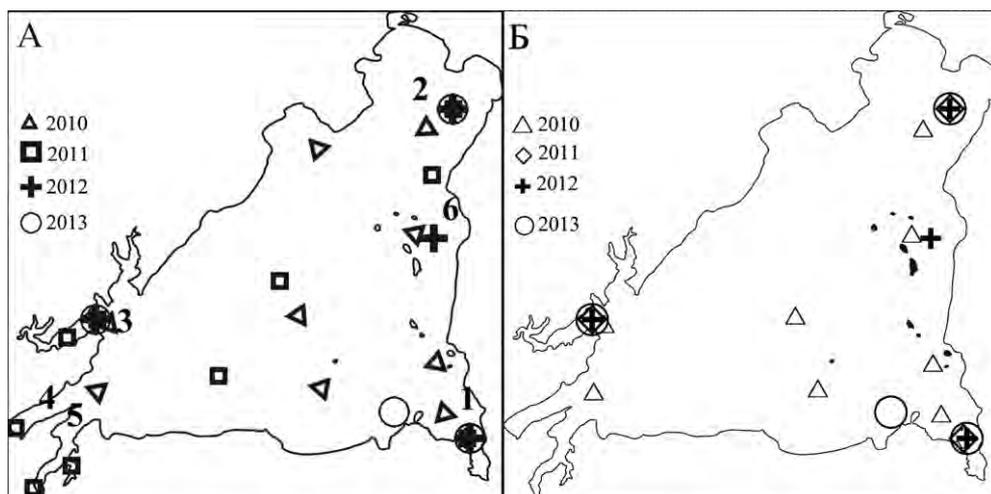


Рис. 1. Схема фитопланктонных (А) и продукционных (Б) станций на оз. Кроноцкое летом 2010–2013 гг.

На рисунке 1А цифрами указаны районы озера: 1 – исток р. Кроноцкая; 2 – б. Лиственничная; 3 – б. Унана; 4 – б. Узон; 5 – б. Крашенинникова; 6 – Острова

озера изучал И.И. Куренков, в том числе, отмечая доминирующие виды микроводорослей (Куренков, 1978, 2005). Танатоценоз озера исследовал Н.Н. Смирнов (2012).

Цель настоящего сообщения – характеристика современного таксономического состава фитопланктона, оценка его количественно, выявление сезонной изменчивости и распределения по акватории, а также оценка (впервые) первичной продукции озерного планктона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Фитопланктон собирали в летний период 2010–2013 гг. в центральной части озера и бухтах (рис. 1А). В этих же точках ставили эксперименты по определению первичной продукции планктона (рис. 1Б).

Пробы фитопланктона отбирали батометром с горизонтов, кратных значениям прозрачности воды, которую измеряли диском Секи. В этих же образцах определяли первичную продукцию планктона радиоуглеродным методом (Бульон, 1983). Для таксономической идентификации водорослей пользовались отечественными и зарубежными определителями (Голлербах и др., 1953; Забелина и др., 1951; Киселев, 1950; Кондратьева, Коваленко, 1975; Комаренко, Васильева, 1975, 1978; Царенко, 1990; Krammer, Lange-Bertalot, 1991).

Всего было собрано и обработано порядка 180 проб фитопланктона и поставлено более 10 экспериментов по определению первичной продукции планктона.

Количественную обработку фитопланктона проводили по методике, предложенной Ю.И. Сорокиным (Сорокин, Павельева, 1972). Для выявления сезонной и межгодовой динамики численности и биомассы фитопланктона, а также характеристики его распределения по акватории были рассчитаны средневзвешенные значения его количественных характеристик в толще воды. Скорость продуцирования органического вещества, Р/В коэффициент, рассчитывали, исходя из биомассы фитопланктона, осредненной для слоя фотосинтеза, принимая содержание углерода в органическом веществе равным 10 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В планктонной пробе из оз. Кроноцкое за август 1909 г. было найдено 9 видов микроводорослей – 7 из отдела диатомовых и 2 – из других отделов. Из них очень обильно была развита диатомея *Asterionella formosa* Hass., обильно – диатомеи *Fragilaria virescens* Ralfs и *Melosira crenulata* (Ehrbg.) Kütz., средне – зеленая водоросль *Dictyosphaerium pulchellum* Wood. Единично были отмечены диатомовые *Asterionella gracillima* (Hantz.) Heib., *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *C. operculata* (Ag.) Kütz., *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehrbg. и из синезеленых – *Cylindrospermum stagnale* (Kütz.) Born. et Flah. Авторство видов приводит в написании А.А. Еленкина. (Еленкин, 1914).

В 1950–60 гг. в планктоне, как правило, доминировала диатомея *Melosira italica* sbsp. *subarctica* O. Müll. (1000–15000 колоний/л), а иногда в массе развивалась нитчатая зеленая водоросль *Microspora* sp. Субдоминантами первого порядка были диатомеи *Asterionella formosa* (2000 колоний/л) и *Fragilaria* sp. (1000–1500 колоний/л). Такие же водоросли как *Staurastrum* sp. (конъюгаты), *Gloeococcus* sp. (зеленые) и синезеленые *Anabaena spiroides* Kleb. и *Microcystis aeruginosa* Kütz. были малочисленны. В эту группу также входила диатомея *Cyclotella* sp. (Куренков, 1978).

В танатоценозе из центральной части оз. Кроноцкое в массе были найдены остатки планктонных диатомовых – *Asterionella formosa*, *Aulacoseira* sp., *Puncticulata bodanica* (Grun.) Håkansson, *Puncticulata* spp., *Fragilaria* sp., *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compere, *Ulnaria* spp. (Смирнов, 2012).

В результате наших исследований в планктоне озера были найдены микроводоросли из 5 отделов – синезеленые (Cyanophyta), диатомовые (Bacillariophyta), зеленые (Chlorophyta), динофитовые (Dinophyta) и золотистые (Chrysophyta). Среди синезеленых до вида были определены *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Synechocystis aquatilis* Sauv., *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena* cf. *spiroides*; до рода – *Aphanocapsa* Näg., *Anabaena* Bory ex Born. et Flah., *Pseudoanabaena* Lauterb. и 5 представителей идентифицированы до порядка Chroococcales. Из диатомовых в планктоне были встречены *Asterionella formosa*, *Aulacoseira italica* (Kütz.) Sim., *A. subarctica* (O. Müll.) Haworth, *A. valida* (Grun.) Kramm., *Cyclotella* (= *Puncticulata*) *bodanica*, *Cyclotella* sp., *Fragilaria intermedia* Grun., *Fragilaria virescens*, *Rhoicosphaenia curvata* (Kütz.) Grun., *Staurastrum construens* Ehr., *Stephanodiscus minutulus* (Kütz.) Round, *Synedra* cf. *actinastroides* Lemm., *S. cyclosum* Brutschy (нормальный морфотип (Лепская, 2005; Lepskaya, 2006)), *S. cf. tabulata* (Ag.) Kütz., *S. cf. tenera* W. Sm., *S. (=Ulnaria) ulna*, *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz. Зеленые водоросли в широком смысле включали представителей родов *Coenococcus* Korsch., *Closteriopsis* Lemm., *Crucigenia* Morr. (*C. tetrapedia* (Kirchn.) W. et G.S. West et C. sp.), *Dyctiosphaerium* Näg. (*D. pulchellum* et *D. sp.*), *Eudorina* Ehr., *Monoraphidium* Kom.-Legn., *Oocystis* A. Br., *Podohedra* Düringer, *Scenedesmus* Meyen (*S. quadricauda* (Turp.) Bréb. et S. sp.), *Staurastrum*, *Microspora* и genus sp. Из золотистых в планктоне были найдены 5 видов цист, из динофитовых – *Ceratium hirundinella* (O.F. Müll.) Bergh. В общей сложности в озерном планктоне было идентифицировано 50 таксонов микроводорослей. Интересно, что такая узнаваемая крупная диатомея как *Cyclotella* (= *Puncticulata*) *bodanica* впервые упомянута для донных отложений в 2000 г.. Ни А.А. Еленкин, ни И.И. Куренков ее не видели. Хотя в сетных пробах планктона из оз. Кроноцкое за 1981 г. эта приметная диатомея была отмечена (неопубликованные данные Е.В. Лепской). Интересна также находка эпибионта *Synedra cyclosum*, которая в озерах Корьякского нагорья (север Камчатского края) обильно поселяется на ракообразных в начале осени (Лепская, 2006). Примечательно также, что ранее не упоминали о крупной динофитовой *Ceratium hirundinella*, которая была найдена в озере как в виде вегетативных клеток, так и в виде спор.

Микроводоросли в планктоне были найдены на всей акватории озера (рис. 2). Из особенностей отметим, что синезеленые, диатомовые и зеленые (кроме *Microspora*) микроводоросли были найдены по всему озеру. *Microspora*, как и немногочисленные

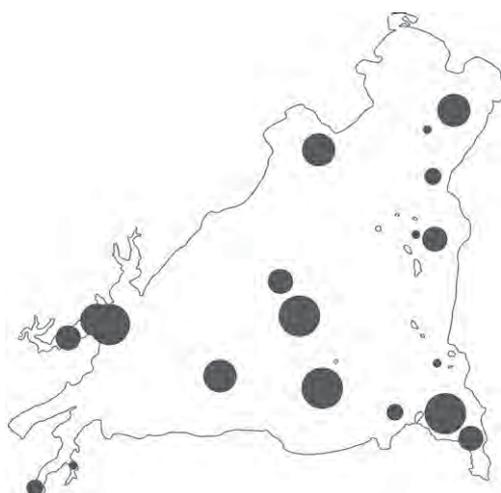


Рис. 2. Распределение фитопланктона по акватории оз. Кроноцкое летом 2010–2013 гг.

золотистые, были обнаружены только на прибрежных станциях, а *Ceratium* – локально в бухтах.

Одинаково обильно фитопланктон был развит как в бухтах, так и в открытой части водоема (рис. 2, табл. 1). Вероятно, в разных частях водоема складывался комплекс условий, благоприятный для доминирования синезеленых. Например, в центральной части озера в августе 2010 г., когда наблюдали «цветение» *Microcystis aeruginosa* с численностью до 1 млрд кл./л.

Особенности гидрологических условий в озере обусловлены, главным образом, воздействием ветров разных направлений, которые создают температурные градиенты или концентрируют прогретые воды поверхностного слоя в отдельных линзах. В таких прогретых локальных областях открытой

части акватории, вероятно и развиваются в массе хроококковые синезеленые. Другой причиной их массового развития может служить дефицит азота, что также наблюдаем в оз. Кроноцкое (см. статью Л.А. Анисимовой и Г.Н. Маркевича в наст. сборнике).

Другой доминирующей группой были диатомовые. Их численное доминирование приурочено, как правило, к началу лета (для оз. Кроноцкое – это июль), когда прогрев

Таблица 1

Численность (N, тыс. кл./л) водорослей различных таксономических групп и их соотношение (%) в планктоне оз. Кроноцкое в летне–осенний период 2010–2013 гг.

Район озера	Год	Месяц	Синезеленые		Диатомовые		Зеленые		Динофитовые*		Золотистые		Фитопланктон N	
			N	%	N	%	N	%	N	%	N	%		
Центральная часть	2010	8	8980902	99,9	527	0,01	-	-	-	-	-	-	8985955	
		9	-	-	401	81	63	13	-	-	-	-	495	
	2011	8	-	-	1598	86	52	3	-	-	-	-	1855	
Исток р. Кроноцкая	2011	7	2283	83	163	6	226	8	-	-	-	-	2738	
		8	3176	66	1441	30	13	0,3	-	-	5	0,1	4798	
		9	10573	93	572	5	20	0,2	6	0,1	7	0,1	11357	
	2012	7	3	0,1	2596	84	144	5	-	-	-	-	3080	
		9	2158	74	120	4	336	12	-	-	1	0,1	2901	
		2013	7	1240	42	1239	42	208	7	-	-	2	0,1	2949
			8	21600	93	1247	5	101	0,4	-	-	2	0,1	23162
	9	5619	95	257	4	5	0,1	-	-	23	0,4	5917		
Бухта Лиственничная	2011	8	926	31	1699	56	67	2	-	-	1	0,1	3010	
		7	-	-	2176	79	201	7	-	-	40	1,5	2739	
	2013	7	284	17	981	60	117	7	-	-	7	0,4	1631	
		8	21611	92	925	4	754	3	1	0,1	1	0,1	23518	
Бухта Унана	2012	7	-	-	2298	77	239	8	-	-	12	0,4	2988	
		9	42406	98	331	1	237	1	3	0,1	3	0,1	43175	

Примечание: * – *Ceratium hirundinella*; прочерк означает отсутствие организмов в пробе.

Таблица 2

Биомасса (В, мг/м³) водорослей различных таксономических групп и их соотношение (%) в планктоне оз. Кроноцкое в летне-осенний период 2010–2013 гг.

Район озера	Год	Месяц	Синезеленые		Диатомовые		Зеленые		Динофитовые*		Фито-планктон	
			В	%	В	%	В	%	В	%		
Центральная часть	2010	8	4490	99	35	1	-	-	-	-	4526	
		9	-	-	30	97	1	3	-	-	31	
	2011	8	-	-	204	99	1	1	-	-	205	
Исток р. Кроноцкая	2011	7	1	2	61	92	3	5	-	-	66	
		8	2	1	161	99	-	-	-	-	162	
		9	5	3	83	46	-	-	90	50	179	
	2012	7	-	-	236	99	1	0,4	-	-	237	
		9	1	3	24	80	3	10	2	7	30	
		2013	7	1	1	121	94	2	2	4	3	128
			8	11	7	141	92	1	1	-	-	153
		9	3	23	10	77	-	-	-	-	13	
Бухта Лиственничная	2011	8	-	-	315	99	1	0,3	-	-	317	
		2012	7	-	-	142	99	2	1	-	-	143
	2013	7	-	-	146	87	1	1	19	11	167	
		8	11	5	93	45	11	5	91	44	206	
Бухта Унана	2012	7	-	-	212	99	2	1	-	-	214	
	2013	9	21	22	75	21	3	3	-	-	97	

Примечание: * – *Ceratium hirundinella*; прочерк означает отсутствие организмов в пробе.

воды только начинается. Представительство этих водорослей в планктоне может достигать 80–99% (табл. 1). Хотя для центральной части, чаще все-таки на протяжении всего безледного периода численность фитопланктона определялась диатомеями (табл. 1).

По биомассе от 40 до 100% фитопланктона на протяжении всего периода наблюдений, включая всю акваторию, составляли диатомовые (табл. 2), если, конечно, не происходило «цветения» синезеленых.

В стоке р. Кроноцкая и б. Лиственничная, где был найден *Ceratium*, эта крупноклеточная динофитовая при малой численности формировала от 10 до 50% фитопланктонной биомассы. В табл. 2 не включены золотистые водоросли, которые, будучи крайне малочисленными, не влияют на значение общей биомассы микроводорослей в планктоне.

Доминантный диатомовый комплекс был устойчив и сформирован 3–5 видами (рис. 3). В начале лета 60% диатомового планктона составляла *Asterionella formosa*. В августе и сентябре ее доля постепенно

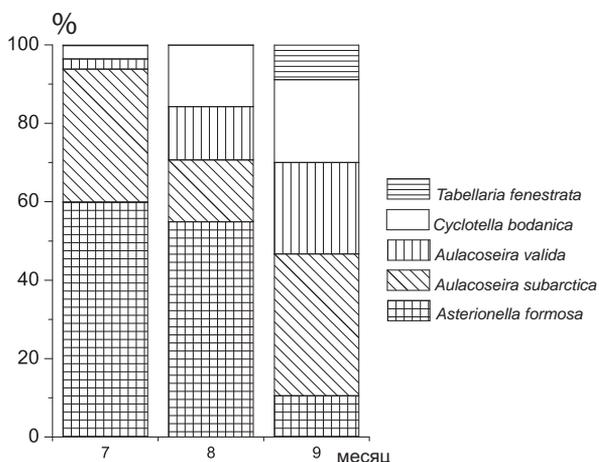


Рис. 3. Сезонные изменения структуры доминантного диатомового комплекса (по численности), по данным, осредненным для акватории и всего периода наблюдений.

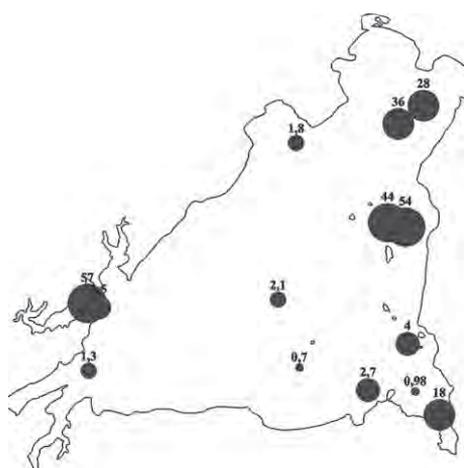


Рис. 4. Распределение суточной первичной продукции планктона, осредненной для слоя фотосинтеза по акватории оз. Кроноцкое летом 2010–2013 гг.

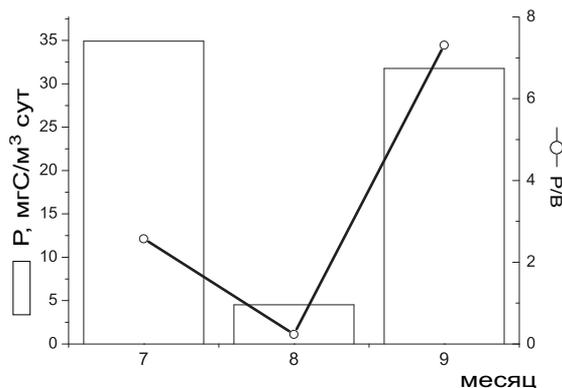


Рис. 5. Сезонные изменения первичной продукции планктона (P) и P/V коэффициента, по данным, осредненным по всей акватории и всему периоду наблюдений.

уменьшалась до 9%, а значимость *Aulacoseira* и *Cyclotella*, напротив, возрастала до 20% и 60% и 30%, соответственно.

Наибольшие значения первичной продукции планктона (18–57 мгС/м³/сут) были сосредоточены в прибрежных водах. В десятки раз меньше ее значения были в центральной части озера, у начала истока р. Кроноцкая и у слабо изрезанного северо-западного берега (рис. 4)

Наиболее интенсивно первичное органическое вещество продуцировалось в начале лета (в среднем 35 мгС/м³/сут) и в конце лета – начале осени. Как в первом, так и во втором случае в планктоне доминировали мелкоклочные таксоны. В начале лета – это *Asterionella*, а к осени обильно развивались синезеленые хроококковые. В августе фитопланктон был сформирован крупными диатомовыми *Aulacoseira*, *Cyclotella* и комплексом зеленых микроводорослей.

В планктоне, который состоит из множества мелких организмов, скорость воспроизведения биомассы (P/V коэффициент) значительно выше, чем в сообществе более крупных водорослей, дающих небольшую биомассу из-за невысокой численности (рис. 5).

Выводы

1. В 2010–2013 гг. в планктоне оз. Кроноцкое найдено 50 видов микроводорослей из 5 отделов. Из наиболее интересных таксонов впервые указаны диатомеи *Cyclotella bodanica* и *Synedra cyclosum*, а из динофитовых *Ceratium hirundinella*.
2. В зависимости от условий, складывающихся на акватории озера в разное время года, численно и по биомассе могут доминировать как диатомовые (что утверждалось ранее), так и синезеленые. Последние, вероятно, обильны в случае дефицита азота и приурочены к наиболее прогретым участкам водной поверхности.
3. Количественные характеристики фитопланктона изменяются в широких пределах: численность – 10²–10⁷ кл./л; биомасса – 0,01–4,5 г/м³; первичная продукция – 1–40 мгС/сут.

Благодарности

Авторы благодарят администрацию Кроноцкого государственного биосферного заповедника в лице Т.И. Шпиленка за помощь в организации экспедиционных работ.

ЛИТЕРАТУРА

- Бульон В.В. 1983.** Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука. 150 с.
- Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. 1953.** Синезеленые водоросли. М.: Советская Наука. 652 с.
- Еленкин А.А. 1914.** Камчатская экспедиция Федора Павловича Рябушинского; Ботанический отдел. Выпуск 2. Споровые растения Камчатки: 1) Водоросли, 2) Грибы. 612 с.
- Забелина М.М. Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. 1951.** Диатомовые водоросли. М.: Советская Наука. 650 с.
- Киселев И.А. 1950.** Панцирные жгутиконосцы (Dinophlagellata) морей и пресных вод. М-Л: Изд-во Академии Наук СССР. 280 с.
- Комаренко Л.Е., Васильева И.И. 1975.** Пресноводные диатомовые и синезеленые водоросли водоемов Якутии. М.: Наука. 424 с.
- Комаренко Л.Е., Васильева И.И. 1978.** Пресноводные зеленые водоросли водоемов Якутии. М.: Наука. 284 с.
- Кондратьева Н.В., Коваленко О.В. 1975.** Краткий определитель видов токсических синезеленых водорослей. Киев: Наукова Думка. 80 с.
- Куренков И.И. 1978.** Планктон Кроноцкого озера (Камчатка) // Тр. Биолого-почвенного института. Т. 49(152). С. 46–55
- Куренков И.И. 2005.** Зоопланктон озер Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. 178 с.
- Лепская Е.В. 2005.** *Synedra cyclopum* Brutschy в некоторых озерах Камчатки // Морфология, систематика, онтогенез, экология и биогеография диатомовых водорослей. Тез. докл. IX Школы диатомологов России и стран СНГ (Борок, 13–16 сентября 2005). С. 16.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. 1973.** Т. 20. Камчатка. Л.: Гидрометеиздат. С. 81.
- Смирнов Н.Н. 2012.** Диагноз биоценоза озера Кроноцкого (Камчатка) по остаткам в донных отложениях // ДАН. Т. 443, № 6. С. 757–758.
- Сорокин Ю.И., Павельева Е.Б. 1972.** К количественной характеристике экосистемы пелагиали озера Дальнего на Камчатке // Тр. ИБВВ АН СССР. Вып. 23(26). С. 24–38.
- Царенко П.М. 1990.** Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Киев: Наукова Думка. 208 с.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991.** Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag. 578 p.
- Lepskaya E.V. 2006.** *Synedra cyclopum* Brutschy in several lakes of Kamchatka // Abstracts of 19 Int. Diatom Symposium, Irkutsk, Russia 28 August–3 September, 2006. P. 86.