

ЗОНАЛЬНОСТЬ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ФИТОПЛАНКТОНА И ЕГО РОЛЬ В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗ. КУЛТУЧНОЕ (Г. ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ)

Е.В. Лепская., В.Г. Эльчапаров

*Государственный научный центр Российской Федерации. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Камчатский филиал (КамчатНИРО), ул. Набережная, 18, г. Петропавловск-Камчатский, 683000, Россия.
E-mail: e.lepskaya@kamniro.vniro.ru*

Приведен видовой состав и рассмотрено горизонтальное и вертикальное распределение фитопланктона оз. Култучное (Петропавловск-Камчатский). На основании индивидуальных индексов сапробности видов водорослей проведен расчет индексов сапробности для отдельных участков акватории в поверхностном и придонном слое. Сделан вывод о неблагоприятном экологическом состоянии водоема. Фитопланктон оз. Култучное исследован впервые.

ZONING OF PHYTOPLANKTON DISTRIBUTION AND ITS ROLE IN THE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL CONDITION OF KULTUCHNOYE LAKE (PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY)

E.V. Lepskaya, V.G. Elchaparov

State Scientific Center of the Russian Federation. Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Kamchatka branch (KamchatNIRO), Naberezhnaya str., 18, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia. E-mail: e.lepskaya@kamniro.vniro.ru

Species composition and horizontal and vertical distribution of phytoplankton in the lake Kultuchnoye (Petropavlovsk-Kamchatsky) are presented. Saprobic indices for separate areas of water area in the surface and bottom layers were calculated based on the saprobic indices of algae species. Conclusion about unfavorable ecological condition of the lake was made. The phytoplankton of Kultuchnoye Lake was examined for the first time.

Введение

Озеро Култучное расположено в центре города Петропавловска-Камчатского и более 100 лет назад подпитывалось ключами. Через протоку, соединявшую озеро с Авачинской бухтой, а сейчас забранной в трубу, сюда ежегодно заходили на нерест тихоокеанские лососи, а также корюшка и сельдь. По отрывочным данным начала 1930-х гг., сохранившимся в архивных материалах КамчатНИРО, в озеро с приливными течениями поступала соленая вода, осолоняя прибрежные участки акватории. При взмучивании на этих участках появлялся запах сероводорода, из чего можно предположить, что в то время водоем относился к меромиктическим.

В настоящее время более половины озера засыпано. В водоем сливаются неочищенные канализационные стоки. При этом озеро включено в культурно-исторический кластер, который намечено активно развивать. На данный момент т. н. экологическая тропа проходит по берегу собственно оз. Култучное и мимо

отшнурованного дамбой от основного водоема пруда, т. е. водоем используется как рекреационный. В связи с этим остро стоит вопрос об экологическом состоянии водоема. В нашей работе предпринята попытка оценить экологическое состояние отдельных участков акватории оз. Култучное по фитопланктону.

Материалы и методы

Пробы фитопланктона были собраны однократно 20 июня 2024 г. планктобатором на 3-х станциях по меридиональному разрезу основной акватории оз. Култучное (далее оз. Култучное) в поверхностном и придонном слое и на 2-х станциях малого озера, отгороженного от основной акватории дамбой (далее «Пруд») в поверхностном слое. Батиметрическая карта обследованных водоемов и схема фитопланктонных станций приведены на рис. 1, морфометрические характеристики озер – в табл. 1.

Таблица 1

Морфометрические характеристики оз. Култучное и «Пруд»
по <https://sediment.ru/data/kultuchnoe2020.pdf>

Водоем	Площадь, км ²	Максимальная глубина, м	Объем, тыс. м ³
Оз. Култучное	0,168	6,7	436
«Пруд»	0,014	до 1,0	4,4

Таксономическое определение микроводорослей провели по Атласам, Руководствам и Определителям (Киселев, 1950; Забелина и др., 1951; Komárek, Fott; 1983; Царенко, 1990; Krammer, Lange-Bertalot, 1997; Throndsen, 1997; Белякова и др., 2006; Куликовский и др., 2016). При идентификации таксонов придерживались международной базы данных AlgaBase (Guiry, Guiry, 2025). Отметим, что это первый в истории исследований оз. Култучное опыт по изучению фитопланктона.

Экологическое состояние водоемов оценивали по индексу сапробности, предложенному Ричардом Пантле и Гарольдом Буком (Pantle, Buck, 1955, цит. по: Баринаова и др., 2006) и биомассе фитопланктона (Китаев, 2007). Значения видовых индексов сапробности даны по работам С.С. Бариновой с соавторами (Баринаова и др., 2006; 2019). При выборе значения видового индекса сапробности более поздняя публикация имела приоритетное значение. Расчет индекса сапробности для отдельных участков акватории оз. Култучное проведен при условии наличия в них не менее 12 видов с известным значением индивидуального индекса сапробности и суммарной частотой встречаемости не менее 30 (Руководство..., 1992). Частоту встречаемости в баллах оценивали по шкале Кордэ, соотнося ее с относительным обилием клеток каждого вида, выраженного в % (Баринаова и др., 2019). При оценке экологического состояния ориентировались на ГОСТ17.1.3.07-82.

Таксономическое определение и количественную оценку фитопланктона провели, используя микроскоп OLYMPUS BX-43, оснащенный цифровой фотосистемой DP-21, при 100, 200, и 1000 кратном увеличении.

Количественно фитопланктон оценивали в 1 мл натуральной пробы, проводя по-видовой подсчет клеток в счетной камере Седжвик-Рафтера. Просчитывали 1 мл пробы при 100 и 200 кратном увеличении. Биомассу рассчитывали, как произведение среднего объема клетки каждого вида/таксона на его численность, выраженную количеством клеток в кубическом метре. Объемы каждой клетки определяли методом подобия. К доминирующим отнесли таксоны с численностью или биомассой 10 % и более (Корнева и др., 2024).

Результаты и обсуждение

Первые предварительные результаты по оценке экологического состояния водоема проведены в 2024 г. по результатам обработки тех же проб (Лепская и др., 2024). В настоящей работе для расчетов индекса сапробности акваторий использованы уточненные значения видовых индексов сапробности (Баринова и др., 2019).

Общий список видов, найденных в водоемах бассейна оз. Култучное, составил 53 таксона (табл. 2). При этом в оз. Култучное найден 41 таксон, в акватории «Пруд» – 30 таксонов. Наиболее представительными по видовому богатству в общем списке были диатомовые водоросли (30 таксонов). На втором месте по количеству найденных видов – зеленые водоросли (15 таксонов). Динофлагеллята *Palatinus apiculatus* (= *Peridinium palatinum*) указана для Камчатки впервые.

Структура альгофлоры кардинально различалась между водоемами (рис. 2). Так, в оз. Култучное по видовому богатству доминировали диатомовые водоросли (27 таксонов или 69 % от общего количества видов). В водоеме «Пруд» количество видов диатомовых и зеленых водорослей было примерно поровну – 13 и 12, соответственно, составляя 43 и 40 % от общего числа видов в данном водном объекте. Подавляющее большинство водорослей в оз. Култучное (57 %) и акватории «Пруд» (73 %) – это обитатели β-мезосапробной зоны. В равных пропорциях (14 %) в обоих водоемах обитают виды из переходных зон, как более чистой – α-олигосапробной, так и более загрязненной – α-мезосапробной (рис. 3).

Под критерий расчета индекса сапробности для водоема (суммарная частота встречаемости видов с известным индексом сапробности не менее 30) подошли оба водных объекта. Так для оз. Култучное – количество видов с известным индексом сапробности составило 30, суммарная частота встречаемости 34, при условии усреднения полученных показателей для всей озерной акватории. В водоеме «Пруд» усредненные для акватории значения – 22 и 31, соответственно. Рассчитанный индекс сапробности оз. Култучное равен 2,08, водоема «Пруд» – 2,12, что соответствует III классу качества воды и характеризует водоемы на момент отбора проб как умеренно загрязненные (ГОСТ 17.1.3.07-82).

В распределении биомассы фитопланктона по акваториям оз. Култучное и «Пруд» выявлены некоторые особенности (табл. 3, рис. 4).

Например, в придонном слое оз. Култучное на южной (1) и центральной (2) станциях фитопланктонная численность и биомасса различаются незначительно, но в северной части озера (ст. 3) – она минимальна. В поверхностном слое, напротив, прослеживается положительный градиент от южной части водоема к северной, что, вероятно, связано с нагонными ветровыми явлениями. Резкая неравномерность в распределении количественных характеристик фитопланктона характерна и для акватории «Пруд», что, скорее всего, отражает неравномерность поступления биогенных веществ с водами коллектора.

В зависимости от горизонта численность и биомассу фитопланктона определяют различные таксоны. Так, в поверхностном слое оз. Култучное это диатомовые и криптофитовые водоросли, в придонном – только диатомеи (рис. 4). В водоеме «Пруд» численность фитопланктона на обеих станциях определяется зелеными водорослями, но по биомассе они доминируют лишь на ст. 4. На ст. 5 биомассу фитопланктона в основном формируют диатомеи (рис. 4).

В оз. Култучное на станциях 1 и 2 в поверхностном слое доминантный комплекс по численности формируют криптофитовые (*Chroomonas marina* и Genus sp.), составляя от 40 до 60 %. В эту же группу на всех станциях оз. Култучное входят

Рис. 1. Батиметрическая карта оз. Култучное и «Пруд» (<https://sediment.ru/data/kultuchnoe2020.pdf>); схема фитопланктонных станций

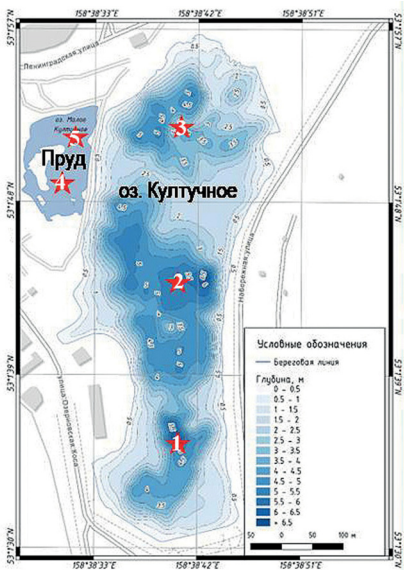


Рис. 2. Структура альгофлоры водоемов бассейна оз. Култучное

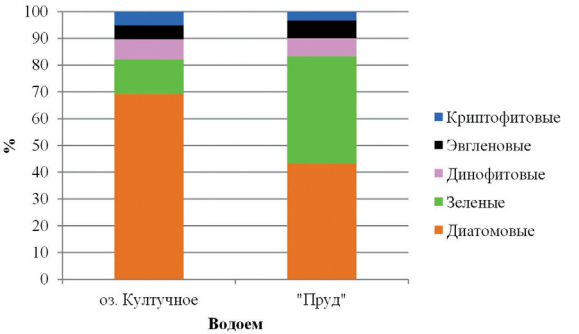


Рис. 3. Распределение водорослей по зонам сапробности

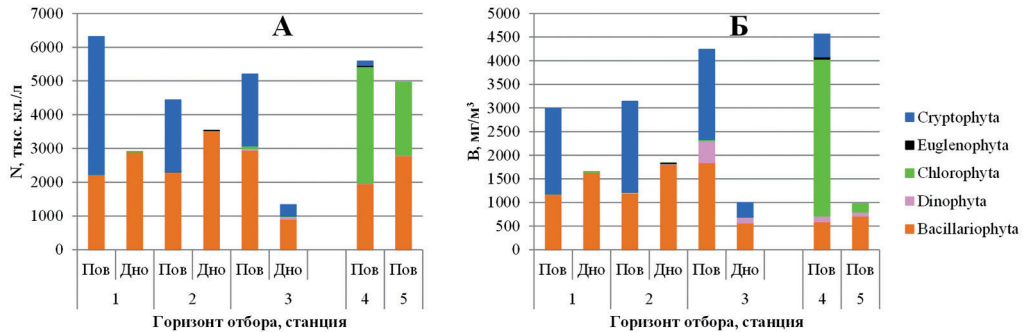
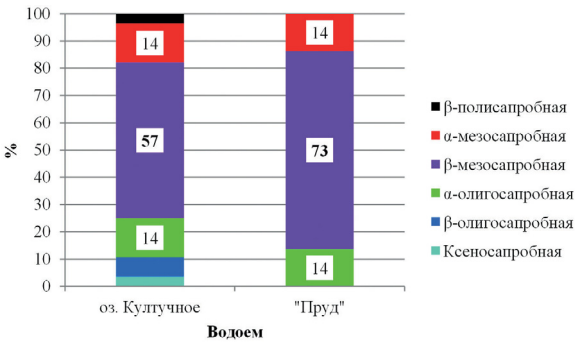


Рис. 4. Структура численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона.

Таблица 2

Таксономический список водорослей оз. Култучное и «Пруд»

№	Таксон	s	Оз. Култучное		«Пруд»	
			a	h	a	h
1	2	3	4	5	6	7
Dinoflagellata (динофлагелляты)						
1	<i>Glenodinium</i> sp.	-	< 1	-	< 1	
2	<i>Gymnodinium eurytopum</i> Skuja	-	< 1	-	-	
3	<i>Palatinus apiculatus</i> (Ehrenberg) Craveiro, Calado, Daugbjerg et Moestrup (= <i>Peridinium palatinum</i> Lauterborn)	1,3	< 1	1	< 1	1
Chlorophyta (зеленые водоросли)						
4	<i>Actinastrum aciculare</i> Playfair	-	0	-	< 1	
5	<i>A. hantzschii</i> Lagerheim	2,0	0	-	21	3
6	<i>Brachiomonas</i> cf. <i>submarina</i> Bohlin	-	0	-	-	
7	<i>Chlamydomonas proboscigera</i> Korshikov	2,0	0	-	< 1	1
8	<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli	2,0	< 1	1	0	-
9	<i>Coenococcus planctonicus</i> Korshikov	1,5	0	-	6	2
10	<i>Mucidosphaerium pulchellum</i> (Wood) C. Bock, Proschold & Krienitz (= <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood)	2	< 1	1	< 1	1
11	<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Möbius	1,8	0	-	< 1	1
12	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	2,2	0	-	6	2
13	<i>M. komarkovae</i> Nygaard	-	0	-	12	-
14	<i>M. griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	2,2	0	-	< 1	1
15	<i>Desmodesmus armatus</i> (Chodat) Hegewald (= <i>Scenedesmus armatus</i> (Chodat) Chodat)	1,8	< 1	1	< 1	1
16	<i>D. caudatoaculeatus</i> (Chodat) Tsarenko (= <i>Scenedesmus caudatoaculeolatus</i> Chodat)	-	< 1	-	< 1	-
17	<i>Scenedesmus</i> cf. <i>bicaudatus</i>	2,0	0	-	< 1	1
18	<i>Pseudopediastrum boryanum</i> (Turpin) Hegewald (= <i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghini)	1,8	< 1	1	0	-
Euglenophyta (эвгленовые)						
19	<i>Lepocinclis acus</i> (O.F. Müller) Marin et Melkonian (= <i>Euglena acusformis</i> J. Schiller)	2,2	< 1	1	< 1	1
20	<i>Euglena</i> sp.	-	< 1	-	< 1	-
Heterocontophyta (Bacillariophytina) (диатомовые водоросли)						
21	<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	1,8	< 1	1	0	-
22	<i>Ctenophora pulchella</i> (Kützing) D.M. Williams et Round (= <i>Synedra pulchella</i> (Kützing) Kützing)	2,0	< 1	1	0	-
23	<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann et J.C. Lewin	2,0	< 1	1	27	3
24	<i>Cymbella</i> sp.	-	< 1	-	0	-
25	<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W. Smith	1,0	< 1	1	0	-
26	<i>Diatoma tenuis</i> C. Agardh	1,8	< 1	1	0	-
27	<i>D. vulgaris</i> Bory	2,2	< 1	1	< 1	1
28	<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk et Klee (= <i>Cyclotella pseudostelligera</i> Hustedt)	1,85	< 1	1	0	-
29	<i>D. stelligera</i> (Cleve et Grunow) Houk et Klee (= <i>Cyclotella stelligera</i> Cleve et Grunow)	2,3	27	3	< 1	1
30	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	1,6	0	-	< 1	1

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
31	<i>F. crotonensis</i> Kitton	1,5	0	-	< 1	1
32	<i>F. intermedia</i> (Grunow) Grunow	1,4	< 1	1	0	-
33	<i>F. tenera</i> (W. Smith) Lange-Bertalot	2,3	< 1	1	< 1	1
34	<i>Fragilariforma virescens</i> (Ralfs) D.M. Williams et Round (= <i>Fragilaria virescens</i> Ralfs)	1,0	< 1	1	0	
35	<i>Melosira varians</i> C. Agardh	2,1	< 1	1	0	
36	<i>Nitzschia</i> cf. <i>acula</i> (Kützing) Hantzsch	3,6	< 1	1	0	
37	<i>N. amphibia</i> Grunow	2,1	< 1	1	0	
38	<i>N. clausii</i> Hantzsch	3,0	< 1	1	< 1	1
39	<i>N. fonticola</i> (Grunow) Grunow	1,5	< 1	1	0	
40	<i>N. pura</i> Hustedt	1,4	< 1	1	0	
41	<i>N. vermicularis</i> (Kützing) Hantzsch	2,2	< 1	1	< 1	1
42	<i>Nitzschia</i> sp.	-	< 1	-	< 1	-
43	<i>Neidium</i> sp.	-	< 1	-	0	-
44	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	2,7	< 1	1	15	3
45	<i>Stephanocyclus meneghinianus</i> (Kützing) Kulikovskiy, Genkal et Kociolek (= <i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing)	2,8	35	3	4	2
46	<i>Tabularia</i> sp.	-	0	-	< 1	-
47	<i>Tryblionella hungarica</i> (Grunow) Frenguelli (= <i>Nitzschia hungarica</i> Grunow)	2,9	< 1	1	0	
48	<i>Ulnaria biceps</i> (Kützing) Compère (= <i>Synedra ulna</i> var. <i>biceps</i> (Kützing) Schönfeldt)	0,8	< 1	1	0	-
49	<i>U. oxyrhynchus</i> (Kützing) Aboal (= <i>Synedra ulna</i> var. <i>oxyrhynchus</i> (Kützing) O'Meara)	2,4	< 1	1	0	-
50	<i>U. ulna</i> (Nitzsch) Compère (= <i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg)	2,25	< 1	-	< 1	1
Cryptista (криптофитовые)						
51	<i>Chroomonas marina</i> Butcher, nom. illeg.	-	< 1	-	0	-
52	<i>Cryptomonas</i> sp.	-	0	-	1	-
53	Genus sp.	-	19	-	0	-

Примечание: s – индивидуальный индекс сапробности вида, а – относительное обилие вида (%), h – частота встречаемости вида с известным индексом сапробности (баллы)

Таблица 3

Численность (N, тыс. кл./л) и биомасса (B, мг/м³) фитопланктона оз. Култужное по участкам акватории и глубинам

Станция	Горизонт отбора	Оз. Култужное		«Пруд»	
		N	B	N	B
1	поверхность	6314	2990,5	-	
	придонный	2905	1645,2	-	
2	поверхность	4436	3118,4	-	
	придонный	3534	1832,1	-	
3	поверхность	5200	4238,1	-	
	придонный	1336	995,7	-	
4	поверхность	-	-	5586	4561,5
5	поверхность	-	-	4959	974,6

диатомеи *Stephanocyclus meneghinianus* и *Discostella pseudostelligera* – 17–56 %. Эти же таксоны доминируют и по биомассе. В придонном слое в этот комплекс включается динофлагеллята *Palatinus apiculatus* – 11 %.

В водоеме «Пруд» в зависимости от участка комплекс видов-доминантов сложен разными организмами. Так, на ст. 4 по численности доминируют диатомея *Cylindrotheca closterium* (20 %), зеленые водоросли *Chlamydomonas proboscigera* (18 %), *Coenococcus planctonicus* и *Monoraphidium contortum* по 10 %. По биомассе – *Chlamydomonas proboscigera* (68 %) и криптофитовая водоросль Genus sp. (11 %). На станции 5 как по численности, так и по биомассе доминировали диатомеи *Stephanodiscus hantzschii* (20 и 18 %, соответственно), *Cylindrotheca closterium* (30 и 30 %) и зеленая водоросль *Monoraphidium komarkovii* (11 и 13 %). По численности на данной станции в доминантный комплекс входил также *Actinastrum hantzschii* (30 %).

По биомассе фитопланктона, усредненной для водной толщи, которая изменяется на участках оз. Култучное от 2,3 до 2,6 г/м³ водоем характеризуется как β-мезотрофный. На акватории «Пруд» одна ее часть (ст. 4) с биомассой фитопланктона 4,6 г/м³ находится в пограничном состоянии между β-мезотрофным и α-евтрофным типом. Другая часть водоема – ст. 5., где биомасса фитопланктона приближается к 1,0 г/м³, относится к α-мезотрофному типу (Китаев, 2007).

Заключение

Таким образом, в июне 2024 г. в планктоне двух водоемов бассейна оз. Култучное найдено 53 таксона водорослей разного систематического ранга. Структура видового богатства оз. Култучное и мелководного небольшого водоема «Пруд» различалась. Так, в оз. Култучное большинство видов в фитопланктоне составляли диатомовые водоросли, в водоеме «Пруд» – диатомовые и зеленые водоросли. По индексу сапробности оба водоема отнесены к III классу чистоты, что характеризует воду в них как умеренно загрязненную. Более половины водорослей в фитопланктоне оз. Култучное и «Пруд» относятся к индикаторам β-мезосапробной зоны, но содержание в планктоне более 10 % в обоих водоемах видов из переходных зон, как более чистой – α-олигосапробной, так и более загрязненной – α-мезосапробной, может указывать на пограничное состояние экосистемы.

Несмотря на различия флористического состава, по среднему значению биомассы фитопланктона оз. Култучное (2,5 г/м³) и «Пруд» (2,8 г/м³) можно отнести к β-мезотрофным водоемам (Китаев, 2007), что в целом вселяет надежду на возможность самоочищения водоема при условии полного прекращения поступления сточных вод.

Литература

- Барина С.С., Белоус Е.П., Царенко П.М. 2019. Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы. Хайфа, Киев: Издательство Университета Хайфы. 367 стр.
- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Русское издательство. 498 с.
- Белякова Р.Н., Волошко Л.Н., Гаврилова О.В., Гогорев Р.М., Макарова И.В., Околотков Ю.Б., Рундина Л.А. 2006. Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов Северо-Запада России. М.: Товарищество научных изданий КМК. 367 с.
- ГОСТ 17.1.3.07–82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. 10 с.
- Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. 1951. Диатомовые водоросли. М.: Советская наука. 619 с. (Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4).
- Киселев И.А. 1950. Панцирные жгутиконосцы (Dinoflagellata) морей и пресных вод СССР. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР. 280 с.

- Китаев С.П. 2007.** Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 395 с.
- Корнева Л.Г., Митропольская И.В., Макарова О.С. 2024.** Фитопланктон среднего течения р. Кострома и ее притоков (Костромская область, Россия) // *Трансформация экосистем*. Т. 7, № 1. С. 70–84. <https://doi.org/10.23859/estr-220721>
- Куликовский М.С., Глущенко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. 2016.** Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль: Филигрань. 804 с.
- Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Эльчапаров В.Г. 2024.** Фитопланктон рекреационных озер Петропавловска-Камчатского как показатель их экологического состояния // Рыбохозяйственная наука. История, современность, перспективы. Материалы Междунар. научно-практ. конф., посвященной 110-летию Санкт-Петербургского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, 23–24 октября 2024 г. М.: Изд-во ВНИРО. С. 309–313.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. 1992.** СПб.: Гидрометеиздат. 240 с.
- Царенко П.М. 1990.** Краткий определитель хлорококковых водорослей Украины. Киев: Наукова думка. 208 с.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2016– 2025.** AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org> (accessed 08.03.2025).
- Komárek J., Fott B. 1983.** Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 7. Teil. Chlorophyceae (Grünalgen). Stuttgart. 1044 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1997.** Bacillariophyceae. 1. Naviculaceae. Jena Stuttgart Lübeck Ulm: Gustav Fischer. 877 p.
- Throndsen J. 1997.** The planktonic marine flagellates // Identifying marine phytoplankton. Academic Press: San Diego. P. 591–729.