

СООБЩЕНИЯ

ДИНАМИКА СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ФИТОПЛАНКТОНА
ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ КАРМАНОВСКОЙ ГРЭС (БАШКИРИЯ)© 2019 г. П. Г. Беляева^{1,2,*}¹ «Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН» филиал ПФИЦ УрО РАН
ул. Голева, 13, г. Пермь, 614081, Россия² Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
ул. Чернышевского, 3, г. Пермь, 614002, Россия

*e-mail: belyaeva@psu.ru

Поступила в редакцию 18.07.2019 г.

После доработки 10.11.2019 г.

Принята к публикации 12.11.2019 г.

В результате исследований осеннего фитопланктона водоема-охладителя Кармановской ГРЭС – Кармановского водохранилища (2014–2016, 2018 гг.) – изучена таксономическая структура, количественные характеристики, доминантные виды, особенности распределения основных групп водорослей и эколого-географическая характеристика. В составе альгофлоры водохранилища зарегистрирован 161 таксон рангом ниже рода (149 видов) из 7 отделов водорослей. Наибольшее число таксонов, рангом ниже рода зарегистрировано в отделе диатомовых водорослей (45%). Вклад зеленых водорослей составил 30%. В эколого-географическом аспекте альгофлора фитопланктона водохранилища представлена планктонно-бентосными, широко распространенными видами, индифферентными к солености воды. В осенний период при постоянном подогреве воды относительная роль цианопрокариот и зеленых водорослей в структуре альгоценозов возрастала, но наблюдалось общее снижение количественного развития фитопланктона. Доминантные виды по численности представлены цианопрокариотами, по биомассе – диатомовыми. По величине индекса сапробности санитарно-биологическое состояние воды водохранилища оценивается как удовлетворительно чистое, зона сапробности – α - β , β -мезосапробная.

Ключевые слова: фитопланктон, водохранилище, водоем-охладитель, структура сообщества, доминантные виды

DOI: 10.1134/S000681361911005X

Проблема “теплового загрязнения” водоемов стала рассматриваться как актуальная во всем мире еще в середине XX в., т.к. повышение температуры воды ускоряет круговорот веществ в экосистеме, что служит дополнительной предпосылкой эвтрофикации водоемов (Lupina, 2014). Фитопланктон водоемов-охладителей не только является одним из основных создателей первичной продукции, но и играет важнейшую роль в процессах самоочищения воды. Его несбалансированное развитие является причиной возникновения различных биопомех, серьезно затрудняющих работу систем технического водоснабжения электростанции (Kosheleva, 1991; Afanas'ev, 1995). Кроме того, планктонные водоросли весьма чувствительны к различным изменениям в водной среде. Их состав служит надежным показателем экологических условий, складывающихся в водоеме. В связи с этим исследование фитопланктона водоемов-охладителей необходимо для оценки и прогноза развития экологической ситуации.

Водохранилище (вдхр) руслового типа на реке Буй (левый приток Камы) является водоемом-охладителем Кармановской ГРЭС. Площадь водосбора 3820 км². Площадь водного зеркала при НПУ 35.5 км², длина вдхр 15 км, средняя ширина – 2.4 км, максимальная – 3.5 км, средняя глубина – 3.8 м, максимальная глубина у плотины – 12.8 м. Показатель условного водообмена – более 5 раз в год. Вода вдхр относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, характеризуется умеренной минерализацией (305.8–458.2 мг/дм³). Водородный показатель рН 8.13–8.17 (Shakirova et al., 2014; Valiyeva, 2015).

В Кармановском вдхр воды верхнего и приплотинного районов характеризуются как зоны без подогрева и слабого подогрева соответственно. Центральный район и воды канала – зоны теплового воздействия.

Цель работы – многолетнее изучение состава и структуры фитопланктона водоема-охладителя Кармановской ГРЭС в осенний период и оценка качества воды по состоянию фитопланктона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробы фитопланктона объемом 1.0–1.5 л воды отбирали в течение ряда лет (в сентябре 2014–2016 и начале октября 2018 гг.) на мелководьях и в русле (на горизонте 0–2 м и 3–6 м) на 8 станциях водоема-охладителя Кармановской ГРЭС (рис. 1). Пробы обрабатывали согласно общепринятым методам (Methods..., 1975; Vasser et al., 1989). Таксономическую принадлежность различных групп водорослей устанавливали по определителям и справочникам (Kiselev, 1954; Palamar'–Mordvintseva, 1982; Starmach, 1983; 1985; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, b; Komarek, Fott, 1983; Popovsky, Pfiester, 1990; Komarek, Anagnostidis, 1999; 2005). Оценку сходства видового состава фитопланктона проводили, используя коэффициент Серенсена–Чекановского (Magurran, 1992). Выделение географических групп водорослей осуществлено согласно широтной зональности. По отношению к местообитанию приведены сведения о приуроченности вида к какой-либо естественной экологической группе. Галобность указана по системе Кольбе, разработанной для диатомовых водорослей А.И. Прошкиной-Лавренко (Proshkina-Lavrenko, 1953). Для оценки отношения видов к рН среды использовали шкалу, предложенную Хустедом в понимании Н.Н. Давыдовой (Davydova, 1985). Индикаторная значимость видов приводится по спискам В. Сладечка и С. Бариновой с соавторами (Sládeček, 1973; Varinova et al., 2006). Для оценки качества воды рассчитан индекс сапробности Пантле и Букка в модификации Сладечка (Unified methods..., 1983). Температура воды в период исследований составляла от 11 до 20°C. Для анализа многолетних данных привлечены работы по Кармановскому вдхр предыдущих лет исследований 2005–2007 и 2012–2013 (Shakirova et al., 2014; Valiyeva, 2015).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В фитопланктоне Кармановского вдхр за период исследований (2014–2016 и 2018 гг.) отмечен 161 таксон водорослей рангом ниже рода (145 видов), которые относятся к 71 роду, 47 семействам, 22 порядкам, 10 классам и 7 отделам: Bacillariophyta – 72 вида, разновидностей и формы, Chlorophyta – 48, Cyanophyta/Сyanoprokaryota – 13, Chryso-phyta – 13, Euglenophyta – 8, Cryptophyta – 4 и Dinophyta – 3 (табл. 1). По богатству видов выделялись порядки Chlorococcales (38), Naviculales (21) и Cymbellales (12), в которых сосредоточено 44% общего разнообразия фитопланктона Кармановского водохранилища. Среди семейств наиболее разнообразны Scenedesmaceae (16), Naviculaceae (11), Euglenaceae (8). Вместе они формируют 23% систематических таксонов рангом ниже рода.

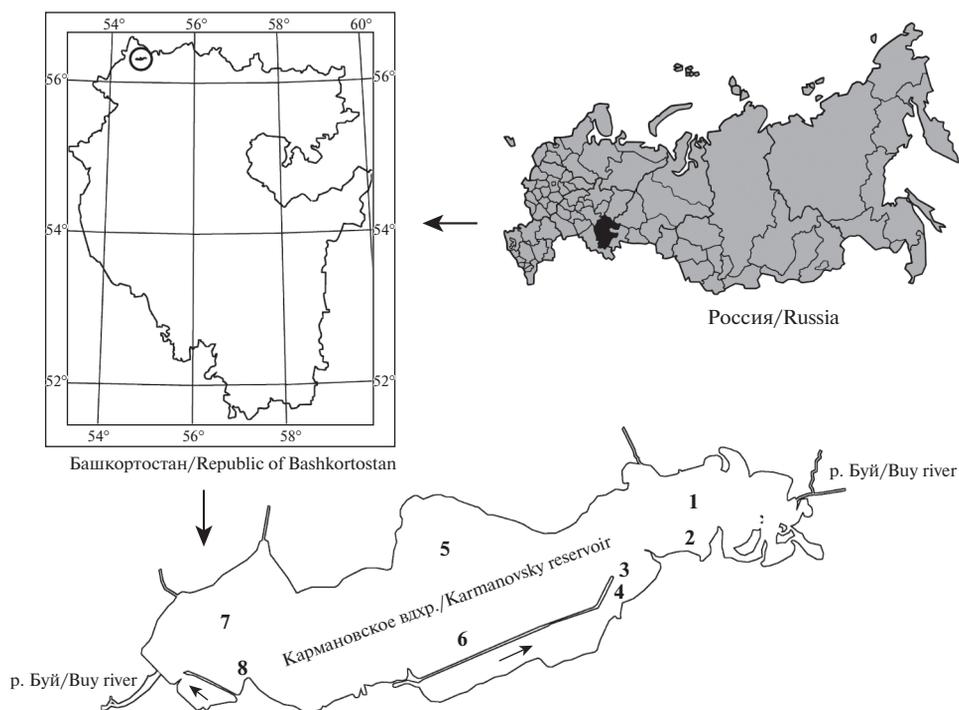


Рис. 1. Карта-схема района исследования и расположение станций наблюдения в водоеме-охладителе Кармановской ГРЭС. Цифры – номера станций.

Fig. 1. Map of study region showing observation stations (numbered) in cooling reservoir of Karmanovsky State District Power Plant.

Основу видового богатства водорослей Bacillariophyta составляли представители родов *Navicula* Borg (9), *Nitzschia* Hassall (8), *Fragilaria* Lyngb. (5), *Cymbella* C.Ag и *Aulacoseira* Thwaites (по 4 представителя), формирующие 42% богатства видов диатомей. Максимального разнообразия диатомовые достигали в мелководной зоне верхнего и среднего районов (21–25 таксонов), на русловых станциях их разнообразие снижалось до 10–13 таксонов. Чаше других отмечались центрические диатомеи родов *Cyclotella* (Kütz.) Bréb., *Stephanodiscus* Ehrenb., *Cyclostephanus* Round и *Aulacoseira*. На всех станциях отбора проб водоросли Chlorophyta представлены 10–15 таксонами, по числу видов преобладали *Desmodesmus* R. Chodat (6), *Pediastrum* Meyen (4), *Chlamydomonas* Ehrenb. (4). Часто встречались виды родов *Monoraphidium* Komárková-Legnerová, *Dictyosphaerium* Nägeli, *Oocystis* Nägeli ex A.Braun, *Coelastrum* Nägeli., *Tetrastrum* Chod. Водоросли Cyanophyta/Суанорпрокарыота представлены 13 таксонами рангом ниже рода, их распределение по акватории водхр неравномерно: в верхнем районе они практически отсутствовали, в зоне влияния подогрева и к плотине их удельное разнообразие достигало 5–8 представителей в пробе. Представитель водорослей Dinophyta – *Peridinium cinctum* (O.F. Müll.) Ehrenb. – распространен по всей акватории водхр, другие виды отмечены единично. Золотистые водоросли (Chrysophyta) представлены родами *Kephyrion* Pascher – 6 видов, *Mallomonas* Perty – 3, *Chrysococcus* G.A. Klebs – 2, *Pseudokephyrion* Pascher. и *Dinobryon* Ehrenb. – по 1 таксону. Максимального разнообразия золотистые достигали в приплотинном и верхнем районах (8–9 видов), значительно меньше видов встречалось в сбросном канале (2–3). Водоросли Euglenophyta равномерно рас-

Таблица 1. Таксономическая структура фитопланктона водоема-охладителя Кармановской ГРЭС (2014–2016, 2018 гг.)**Table 1.** Taxonomic structure of phytoplankton in cooling-reservoir of Karmanovsky State District Power Plant (2014–2016, 2018 years)

Отдел водорослей Division of algae	Порядок Order	Семейство Family	Род Genus	Вид Species	Внутривидовые таксоны Intraspecific taxa	Таксоны, идентифицированные до рода Taxa identified to the genus
Суанопхита	3	7	9	13	0	0
Bacillariophyta	11	19	28	64	6	2
Chrysophyta	1	3	4	12	1	0
Chlorophyta	4	14	23	44	3	1
Euglenophyta	1	1	3	7	1	0
Dinophyta	1	2	2	2	0	1
Cryptophyta	1	1	2	3	0	1
Всего Total	22	47	71	145	11	5

пределены по акватории и представлены родами *Euglena* Ehrenb. (3), *Trachelomonas* Ehrenb. (3) и *Phacus* Dujardin (2). Разнообразие эвгленовых выше в 2014 г. в приплотинном районе (7 представителей). Крпифитовые водоросли (Сгуртофита) представлены не во все годы исследований: 4 представителя в 2014 г., 1 – в 2015, полное отсутствие в 2016 г. и в 2018 г. – 3 таксона.

Ежегодно состав видов водорослей в Кармановском вдхр увеличивается (табл. 2), однако, богатство видов в нем значительно ниже, чем во флорах водорослей Беловского вдхр (Mitrofanova, 2015) и водоемов украинских ГРЭС (Novoselova, Protasov, 2015), и сопоставимо с данными по водоему-охладителю Белоярской АЭС на Среднем Урале (Yarushina et al., 2003). Исследования фитопланктона Кармановского вдхр в летние периоды (2003–2013 гг.) показали преобладание зеленых водорослей – 50% от общего состава, что отмечено в большинстве водоемов-охладителей. Например, в фитопланктоне Беловского вдхр зеленые водоросли составляли 49–52% от общего состава (Kirillov et al., 2004), в Белоярском – 48% (Yarushina et al., 2003), в Кухарском и Зуевском – по 40%, в Ладыжинском – 49% (Kosheleva, 1991), в Иркутском – 45%, в Богучанском – 47%, в Братском – 53% (Vorob'yeva, 1995). В настоящее время в фитопланктоне Кармановского вдхр по богатству видов преобладают диатомовые водоросли (45%), что очевидно связано со смещением сроков отбора проб на осенний период. Также лидирование диатомовых по богатству видов характерно как для речного планктона в целом (проточных вдхр), так и для водоемов, расположенных в сходных климатических условиях, например, в Красноярском – 49% (Kozhevnikova, 2000), в Камском – 38% (Belyaeva, 2015).

Коэффициент сходства видового состава фитопланктона показал, что наиболее сходен по составу водорослей (0.6–0.9) фитопланктон сбросного канала и центральной части вдхр (зона теплового воздействия), наименьшие показатели (0.3–0.6) сходства отмечены в верхнем и приплотинном районах, между другими районами индекс Серенсена-Чекановского составляет около 0.5.

Распределение видовой насыщенности фитопланктона, оцененной значениями удельного видового богатства (число видов в пробе), показало, что воды, поступающие из р. Буй вносили в вдхр многовидовой фитопланктон. Под влиянием теплового загрязнения в центральной части фитопланктон вдхр менее разнообразен в таксономическом отношении, и еще ниже в канале (табл. 3). Отмечается снижение видового

Таблица 2. Многолетние изменения таксономической структуры фитопланктона водоема-охладителя Кармановской ГРЭС**Table 2.** Long-term variations in the taxonomic structure of phytoplankton in cooling-reservoir of Karmanovsky State District Power Plant

Отдел Division	Период исследования/Study period (years, months)					
	VI, VII, VIII 2005–2013*	2014 VIII	2015 IX	2016 IX	2018 X	Всего/Total 2014–2018
Суанophyta	7 (11)	6 (7)	4 (7)	5 (6)	13 (14)	13 (8)
Bacillariophyta	20 (31)	33 (39)	15 (26)	45 (50)	39 (43)	72 (45)
Chrysophyta	–	7 (8)	6 (11)	11 (12)	13 (14)	13 (7)
Chlorophyta	32 (50)	26 (31)	26 (46)	25 (28)	22 (24)	48 (31)
Euglenophyta	3 (5)	7 (8)	2 (3)	3 (3)	2 (2)	8 (5)
Dinophyta	2 (3)	1 (1)	3 (5)	1 (1)	1 (1)	3 (2)
Сруптоphyta	–	4 (5)	1 (1)	–	2 (2)	4 (2)
Всего Total	64	84	57	90	92	161

Примечание. В скобках приведен % от общего видового состава фитопланктона; “–” – отсутствие представителей отдела; * данные по: Shakirova et al., 2014.

Note. In parentheses: percentage of taxa in the total phytoplankton species composition; * – data are given according to Shakirova et al., 2014.

богатства водорослей, особенно диатомовых, и в приплотинном районе вдхр по сравнению с верхним участком. Цианопрокариоты и зеленые водоросли более богато представлены в центральном районе.

В настоящее время географическое распространение известно для 113 видовых и внутривидовых таксонов водорослей Кармановского вдхр (рис. 2а). Для фитопланктона характерно преобладание космополитных форм (108 таксонов или 68%) при наличии в составе бореальных (3 таксона диатомовых водорослей или 2%) и арктоальпийских видов (2 представителя зеленых водорослей или 1%). Альгофлора сформирована планктонно-бентосными, бентосными и планктонными видами водорослей (111 таксонов, 70% от общего числа видов) (рис. 2б). По отношению к рН водных масс в фитопланктоне вдхр преобладают алкалифилы (34 таксона или 22%), что характерно для слабощелочных вод. Значительное количество видов являются индифферентами – 26 видовых и внутривидовых таксонов (16%). Небольшую группу образуют алкалибионты – 5 представителей диатомовых (*Puncticulata radiosa* (Grunow) Håk., *Stephanodiscus neoastraea* Håk. et B. Hickel, *Encyonema elginense* (Kram.) D.G. Mann, *Ulnaria acus* (Kütz.) Aboal., *Rhopalodia gibba* (Ehrenb.) O.Müll.). Ацидофилы включают *Aulacoseira italica* (Ehrenb.) Simonsen и *Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs. (рис. 2с). Спектр галобности отражает преобладание в изучаемой альгофлоре олигогалобов, из них индифференты составляют более 78% видов, для которых известно отношение к солености воды (рис. 2д). К их числу относится 80 таксонов рангом ниже рода. Галофилы составляют 15% (14 таксонов рангом ниже рода) от общего числа видов с известным отношением к солености воды. Они иногда достигают значительного количества по всей акватории вдхр, или входят в комплекс доминирующих видов (*Staurosirella pinnata* (Ehrenb.) D.M. Will. & Round, *Melosira varians* C. Ag., *Cyclotella atomus* Hust., *C. meneghiniana* Kütz., *Aphanizomenon flosaquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Aphanothece clathrata* West & G.S. West, *Merismopedia tenuissima* Lemm. и некоторые виды родов *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont, *Navicula*), остальные представители встречаются редко. Галофобы большого значения в количественном развитии не имеют и представлены 3 видами (*Chrysooccus biporus* Skuja, *C. rufescens* Klebs, *Ankistrodesmus falcatus*). Мезогалофы включают два вида эвгленовых водорослей (*Euglena proxima* P.A. Dang, *E. viridis* (O.F. Müll.) Ehrenb.).

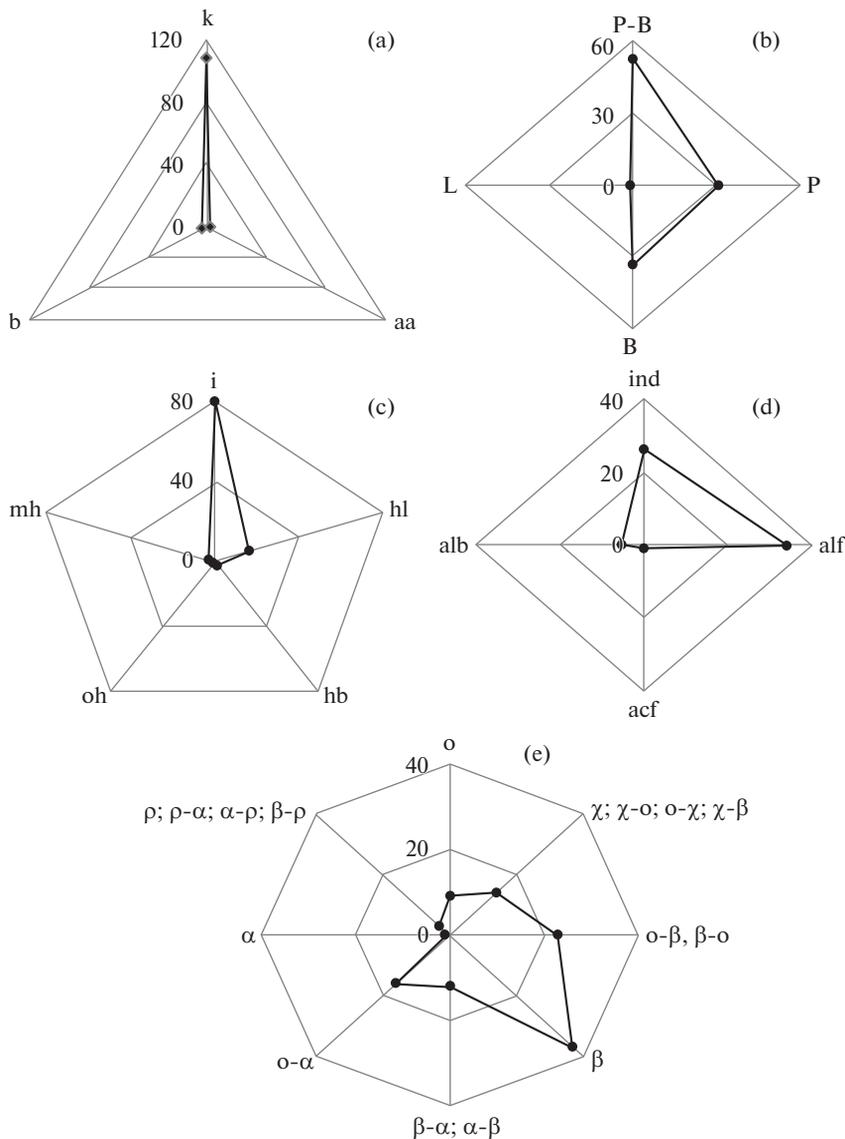


Рис. 2. Экологический спектр фитопланктона водоема-охладителя Кармановской ГРЭС.

a – соотношение различных экологических групп водорослей (L – литоральный, B – бентосный, PB – планктонно-бентосный, P – планктонный, Ep – обрастатель); b – географические спектры (a-a – аркто-альпийский, b – boreальный, k – космополит); c – отношение к pH (ind – индифферент, alf – алкалифил, alb – алкалибионт, acf – ацидофил); d – отношение к минерализации (группа олигогалобов: i – индифферент, hl – галофил, hb – галофоб и mh – мезогалобы); e – отношение к содержанию органических веществ (χ – ксено-, o – олигосапробионт, β – бета-, α – альфа-мезосапробионт, ρ – полисапробионт); x – виды с неясной экологией.

Fig. 2. Environmental and geographic characteristics of phytoplankton in cooling-reservoir of Karmanovsky State District Power Plant.

a – Habitat (L – littoral, B – benthic, PB – plankton-benthic, P – plankton, Ep – epilithic); b – Distribution (a-a – arctic-alpine, b – boreal, k – cosmopolite); c – pH (ind – indifferent, alf – alkaliphile, alb – alkalibiont, acf – acidophile); d – Halobility (i – indifferent, hl – halophile, hb – halophobe, mh – mesohalobe); e – Saprobity (χ – xenosaprobe, o – oligosaprobe, β – beta-mesosaprobe, α – alpha-mesosaprobe, ρ – polysaprobe), x – species with vague ecology.

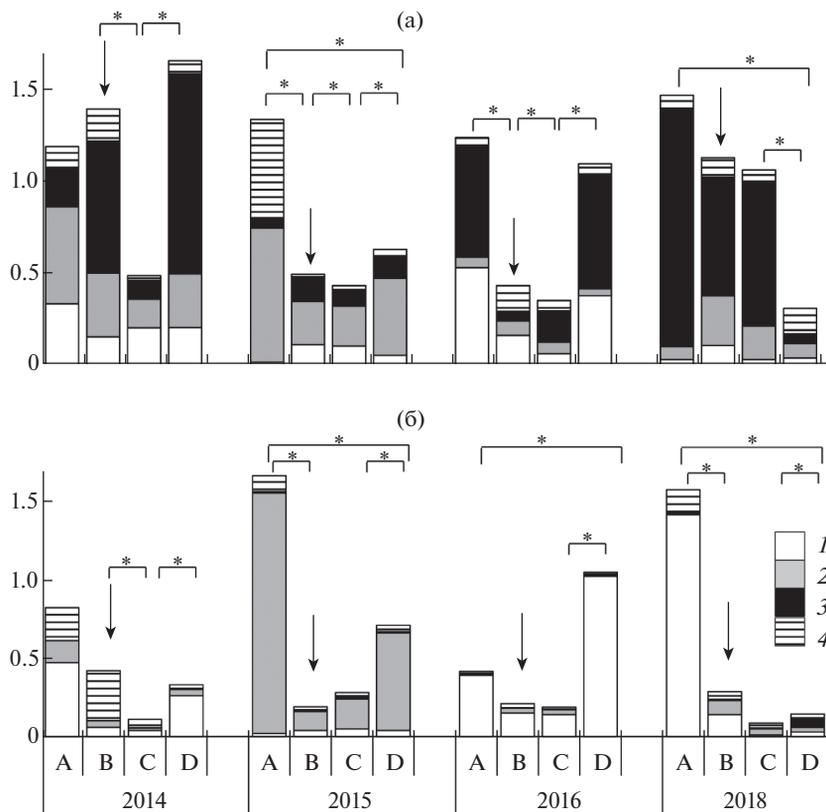


Рис. 3. Вклад основных отделов водорослей в структуру фитопланктона водоема-охладителя Кармановской ГРЭС. 1 – диатомовые, 2 – зеленые, 3 – цианопрокариоты, 4 – прочие отделы водорослей; стрелочкой отмечена тепловое воздействие; * – отличия достоверны. По оси ординат: а – численность (млн кл./л); б – биомасса (мг/л); по оси абсцисс годы исследований и районы водохранилища: А – верхний район, В – канал, С – центральный, D – приплотинный.

Fig. 3. Contribution of main microalgae taxa in study regions in cooling-reservoir of Karmanovsky state district power plant. 1 – Bacillariophyta; 2 – Chlorophyta; 3 – Cyanoprokaryota; 4 – other taxa of microalgae;

the arrow indicates thermal effects; * – the differences are reliable;

X-axis: years of study and parts – upper site (A), channel way (B), central (C) and dam site (D);

Y-axis: number, million cells/L (a); biomass, mg/L (b).

В Кармановском вдхр в период 2014–2018 гг. отмечены индикаторы всех зон сапробности (73% общего числа видов). Большинство индикаторных организмов относится к бета-мезосапробам (23%), виды, развивающиеся в переходной зоне между олиго- и бета-мезосапробной зонами, занимают второе место (15%). Олигосапробов меньше – 6%. Видов с более высокой степенью сапробности 10% (рис. 2e). Согласно литературным данным (Yarushina et al., 2003; Novoselova, Protasov, 2014; Mitrofanova, 2015) флористический состав водорослей планктона подогреваемых водоемов представлен широко распространенными, планктонными эвритермными видами, олигоглобами, что характерно и для Кармановского фитопланктона.

Распределение средних характеристик относительного участия водорослей разных отделов в формировании общих значений численности и биомассы фитопланктона по различным районам вдхр представлено на рис. 3. Численность фитопланктона Кармановского вдхр на протяжении ряда лет изменялась от 0.3 до 1.7 млн кл./л, определя-

лась массовым развитием цианопрокариотических видов из родов *Merismopedia* Meun, *Synechocystis* C. Sauvageau, *Aphanothece* C. Nägeli с очень мелкими размерами клеток и *Aphanizomenon flosaqua*. В формировании биомассы фитопланктона значительный вклад принадлежал диатомовым (2016 г. до 95% в верхнем и центральном районах) и зеленым водорослям (2015 г. — 87–93% в верхнем и приплотинном районах), значения общей биомассы фитопланктона варьировали от 0.11 до 1.66 мг/л. Численность фитопланктона на мелководных станциях в 1.4 раза выше, биомасса — в 2 раза выше, чем на русловых станциях. В 75% случаев наибольшего развития численность и биомасса фитопланктона достигала в верхнем районе Кармановского вдхр, что, очевидно, обусловлено влиянием р. Буй и отсутствием антропогенного фактора — подогрева воды. Динофитовые водоросли в среднем и приплотинном районах на некоторых станциях достигали 30% биомассы, эвгленовые водоросли — до 5% биомассы фитопланктона (в канале), численность последних высока в центральном районе — более 15%. Золотистые водоросли не играют большой роли в структуре фитопланктона.

В период исследований температурный фактор (ГРЭС) является угнетающим для развития фитопланктона (температура воды превышает норму для данной географической широты в 1.5–2 раза), обращает на себя внимание тот факт, что в 87% случаев в канале наблюдается общее снижение количественного развития (рис. 3). Относительная роль отделов водорослей в структуре альгоценозов сохранялась, или в некоторые годы в зоне теплового воздействия заметно возрастала доля цианопрокариот (по численности в 2014–2015 гг.) или зеленых водорослей (по биомассе в 2016, 2018 гг.). Очевидно, структура фитопланктона определяется климатическими особенностями разных лет и погодными условиями в период отбора проб.

Число доминирующих таксонов водорослей в планктоне Кармановского вдхр в разные годы варьировало от 4 до 9. В доминантном комплексе ежегодно происходила смена видов или доля их участия (табл. 3). Можно выделить виды, часто отмечающиеся как доминанты (*Synechocystis aquatilis* Sauv., *Aphanizomenon flosaqua*, *Merismopedia tenuissima*, *Coelastrum microporum* Nägeli., виды рода *Navicula*, и мелкогабаритные центрические водоросли “*Cyclotella*+*Stephanodiscus*”), нередко входящие в доминантный комплекс (*Peridinium cinctum*, *Phacotus coccifer* Korsh., представители родов *Chrysococcus* и *Kephyrion*) и встречающиеся только в определенных годы (*Oocystis borgei* J.W. Snow, *Dolichospermum affine* (Lemm.) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek, *Melosira varians*, *Fragilaria capucina* Desmaz., *Staurosirella pinnata*, *Aulacoseira* spp.). По численности чаще доминируют представители цианопрокариот, по биомассе — диатомовых. Водоросли других отделов значительно реже отмечаются как доминантные.

Средние коэффициенты видового разнообразия Шеннона–Уивера, рассчитанные по численности и биомассе фитопланктона, были достаточно велики, соответственно 3.06 ± 0.24 и 2.95 ± 0.20 , наибольшие значения выше 3.90 бит характерны для верхнего и приплотинного районов, где фитопланктон представлен различными отделами водорослей, а вклад каждого из доминирующих видов составляет не более 15% (табл. 3). Снижение индекса Шеннона–Уивера в зоне влияния ГРЭС указывает на упрощение структуры фитопланктона. При массовом развитии цианопрокариот водорослей (до 75–90% численности) значения индекса резко снижались до 0.50–1.42 бит/экз. В целом для водохранилища в русловой части значения индекса Шеннона выше, чем на мелководных участках.

Коэффициенты сапробности фитопланктона (по численности) изменялись в водоеме от 1.90 до 2.70, что соответствует α - β -, β -мезосапробному типу с водой II–III класса качества.

Таблица 3. Структура фитопланктона в различных участках водоема-охладителя Кармановской ГРЭС, 2014–2016, 2018 гг.
Table 3. Structure of phytoplankton in different parts of cooling-reservoir of Karmanovsky State District Power Plant, 2014–2016, 2018

Район водохранилища Part of the reservoir	Индекс разнообразия Diversity index		Число видов в пробе Number of species in the sample	Доминантный комплекс Dominant complex	
	по биомассе on biomass	по численности on number		по биомассе on biomass	по численности on number
Верхний Upper site	2.24–4.32 2.84 ± 0.35	2.31–4.84 3.50 ± 0.36	31–65 41 ± 7	<i>Peridinium cinctum</i> <i>Phacotus coccifer</i>	<i>Crucigenia fenestrata</i> <i>Merismopedia tenuissima</i>
Канал Channel way	2.17–3.70 2.65 ± 0.29	0.50–2.93 1.93 ± 0.34	11–32 24 ± 5	<i>Staurisirella pinnata</i> <i>Cyclotella</i> spp. + <i>Stephanodiscus</i> spp. <i>Navicula viridula</i> <i>Peridinium cinctum</i>	<i>Chrysooccus</i> spp. <i>Phacotus coccifer</i> <i>Synechocystis aquatilis</i> <i>Merismopedia tenuissima</i>
Центральный Central site	2.10–3.34 2.55 ± 0.18	2.71–3.70 3.45 ± 0.13	19–48 23 ± 3	<i>Cyclotella</i> spp. + <i>Stephanodiscus</i> spp. <i>Autocoseira italica</i> , <i>A. granulata</i> <i>Coelastrum microporum</i> <i>Cyclotella</i> spp. + <i>Stephanodiscus</i> spp.	<i>Synechocystis aquatilis</i> <i>Oocystis borgei</i> <i>Dolichospermum affine</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Chrysooccus</i> spp.
Приплотинный Dam site	1.78–4.49 3.37 ± 0.38	1.95–4.20 3.36 ± 0.37	25–61 36 ± 6	<i>Peridinium cinctum</i> <i>Phacotus coccifer</i> <i>Melosira varians</i> <i>Navicula reinhardtii</i> , <i>N. rhynchocephala</i> <i>Navicula reinhardtii</i> ,	<i>Merismopedia tenuissima</i> <i>Coelastrum microporum</i> <i>Cyclotella</i> spp. + <i>Stephanodiscus</i> spp. <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Kephyrion</i> spp. <i>Synechocystis aquatilis</i>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В составе осеннего фитопланктона Кармановского вдхр. (2014–2016, 2018 гг.) зарегистрирован 161 таксон рангом ниже рода (149 видов) из 7 отделов водорослей. Наибольшее число таксонов водорослей рангом ниже рода отмечено в отделе диатомовых (37%). Вклад зеленых водорослей составил 24%. В эколого-географическом аспекте фитопланктон представлен типично планктонно-бентосными видами, широко распространенными в водоемах, индифферентными к солёности воды. Максимальное видовое разнообразие водорослей отмечено в верхнем районе вдхр.

Наибольшего развития численность и биомасса фитопланктона достигали в верхнем районе Кармановского водохранилища, при отсутствии теплового воздействия. Ниже впадения сбросного канала состав фитопланктона практически не меняется, а его обилие снижается. Численность фитопланктона (0.3–1.7 млн кл./л) разных лет исследований различается в 5 раз, биомасса (0.11–1.66 мг/л) – в 15 раз. Состав доминантного комплекса фитопланктона включает представителей различных отделов водорослей и изменяется по годам. По численности доминируют цианопрокариоты, по биомассе – диатомовые. Индексы сапробности характеризуют воды водоема-охладителя Кармановской ГРЭС как α - β -, β -мезосапробные, что соответствует II–III классу качества вод.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания номер госрегистрации темы: 01201353247 “Изучение функционального и видового разнообразия микроорганизмов, полезных для экоценозов и практической деятельности человека”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [Afanas'ev] Афанасьев С.А. 1995. Биологические помехи в водоснабжении тепловых и атомных электростанций. – Гидробиол. журн. 31 (2): 3–9.
- [Barinova et al.] Баринаова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. 2006. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив. 498 с.
- [Belyaeva] Беляева П.Г. 2015. Пространственно-временные изменения фитопланктона Камского водохранилища. – Изв. Самарского науч. центра РАН. 17 (4): 733–738.
- [Davydova] Давыдова Н.Н. 1985. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л. 244 с.
- [Kirillov et al.] Кириллов В.В., Зарубина Е.Ю., Митрофанова Е.Ю., Яныгина Л.В., Крылова Е.Н. 2004. Биологическая оценка последствий термического загрязнения водоема охладителя Беловской ГРЭС. – Ползуновский вестник. 2: 133–141.
- [Kiselev] Киселев И.А. 1954. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 6. Пиррифитовые водоросли. М. 212 с.
- Komárek J., Anagnostidis K. 1999. Cyanoprokaryota. 1. Teil. Chroococcales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 19 (1). Jena. 548 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 2005. Cyanoprokaryota. 2. Teil. Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 19 (2). München. 759 p.
- Komárek J., Fott B. 1983. Chlorophyceae (Gruunalgen). Ordnung: Chlorococcales Bd. 16 (7, 1). Schweizerbart, Stuttgart. 1044 s.
- [Kosheleva] Кошелева С.И. 1991. Формирование гидрохимического режима. – В кн.: Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. Киев. С. 24–48.
- [Kozhevnikova] Кожевникова Н.А. 2000. Формирование и современное состояние фитопланктона глубоководного Красноярского водохранилища: Дис. ... канд. биол. наук. Красноярск. 22 с.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae. T. 1: Naviculaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/1. Jena. 876 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae. T. 2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/2. Stuttgart—New York. 596 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae. T. 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/3. Stuttgart—Jena. 576 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae. T. 4: Achnantheaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/4. Stuttgart—Jena. 437 p.

[Luneva] Лунева Е.В. 2014. Оценка влияния атомных электростанций России на экосистемы водоемов-охладителей. — Изв. КГТУ. 34: 20–33.

[Magurran] Мэгаррн Э. 1992. Экологическое разнообразие и его измерение. М. 184 с.

[Methods...] Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. 1975. М. 239 с.

[Mitrofanova] Митрофанова Е.Ю. 2015. Фитопланктон равнинного водохранилища в условиях постоянного подогрева (на примере водоема-охладителя Беловской ГРЭС). — Изв. АО РГО. 2 (37): 72–81.

[Novoselova, Protasov] Новоселова Т.Н., Протасов А.А. 2014. Фитопланктон водоемов-охладителей техно-экосистем атомных и тепловых электростанций (обзор). — Гидробиол. журн. 50 (6): 40–59.

[Novoselova, Protasov] Новоселова Т.Н., Протасов А.А. 2015. Фитопланктон водоемов техно-экосистемы Хмельницкой АЭС и ее фоновых водоемов. — Ядерная энергетика та доккілля. 1 (5): 59–62.

[Palamar'-Mordvintseva] Паламарь-Мордвинцева Г.М. 1982. Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые (2). — Определитель пресноводных водорослей СССР. Л. Вып. 11 (2). 620 с.

Popovsky J., Pfiester L.A. 1990. Dinophyceae (Dinoflagellata) // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 6. Jena, Stuttgart: Gustav Fisher Verlag. 272 s.

[Proshkina-Lavrenko] Прошкина-Лавренко А.И. 1953. Диатомовые водоросли — показатели солености воды. — В кн.: Диатомовый сборник. Л. С. 186–205.

[Protasov et al.] Протасов А.А., Сергеева О.А., Кошелева С.И. и др. 1991. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. Киев. 192 с.

[Shakirova et al.] Шакирова Ф.М., Валиева Г.Д., Гвоздарева М.А., Истомина А.М., Крайнев Е.Ю. и др. 2014. Динамика качественных и количественных изменений гидробионтов и состояние экосистемы водохранилища под воздействием антропогенного фактора (на примере Кармановского водохранилища). — Изв. Самарского науч. центра Российской академии наук. 16 (1): 198–213.

Sládeček V. 1973. System of Water Quality from the Biological Point of View. — Arch. Hydrobiol. Beih. 7. Ergebnisse der Limnologie. H. 7. 218 s.

Starmach K. 1983. Euglenophyta — Eugleniny. T. 3. Flora Słodkowodna Polski. Warszawa. Krakow. 594 p.

Starmach K. 1985. Chrysophyceae und Haptophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa Bd. 1. Stuttgart. New York. 515 p.

[Unified methods] Унифицированные методы исследования качества вод. 1983. Часть 3. Методы биологического анализа вод. М. 371 с.

[Valiyeva] Валиева Г.Д. 2015. Современное экологическое состояние Кармановского водохранилища Республики Башкортостан. — В сб.: Материалы XVII ежегодной науч.-практич. конф. “Естественнонаучные исследования в Симбирском — Ульяновском крае”, Ульяновск. С. 21–24.

[Vasser et al.] Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. 1989. Водоросли. Киев. 608 с.

[Vorob'yova] Воробьева С.С. 1995. Фитопланктон водоемов Ангары. Новосибирск. 126 с.

[Yarushina et al.] Ярушина М.И., Гусева В.П., Чеботина М.Я. 2003. Видовой состав и экологическая характеристика водорослей водоема-охладителя Белоярской ГРЭС. — Экология. 1: 23–29.

**DYNAMICS OF SPECIES COMPOSITION AND STRUCTURE
OF PHYTOPLANKTON IN COOLING RESERVOIR
OF KARMANOVSKY STATE DISTRICT POWER PLANT (BASHKORTOSTAN)**

P. G. Belyaeva^{a,b,#}

^a *Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the Ural Branch RAS
Goleva St., 13, Perm, 614081, Russia*

^b *Perm Branch of "VNIRO"
Chernyshevskogo St., 3, Perm, 614002, Russia*

[#] *e-mail: belyaeva@psu.ru*

The objective of this study is to reveal changes in the structure of autumn phytoplankton, quantity characteristics, dominant complex and special aspects of the spatial distribution of main algal taxa in the cooling reservoir of Karmanovsky State District Power Plant. 161 infrageneric taxa (145 species) belonging to 7 divisions are reported within algal flora of the reservoir. The greatest number of infrageneric algal taxa (45%) are reported among the diatom algae, the percentage of the green algae reaches 30%, blue-green algae – 8% and golden algae – 8%. In the environmental and geographical aspects the algal flora is represented by typical, widespread and salinity-indifferent plankton-benthic species that inhabit only freshwaters and prefer pH-neutral conditions. In the autumn, under permanent heating, a relative part of blue-green and green algae in the structure of algocenoses increased, but there was a general decrease in the quantitative development of the phytoplankton. The survey of phytoplankton in different years showed difference of maximum levels in 5-fold by number and 15-fold by biomass. Some species in the dominant complex, for example *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Merismopedia tenuissima* Lemm., *Coelastrum microporum* Nägeli, can be found annually, some others, e.g. *Peridinium cinctum* (O.F. Müll.) Ehrenb., *Phacotus coccifer* Korsh., can be found frequently as well as representatives of the genus *Chrysooccus* and *Kephyrion*, and some are found only in certain years (*Oocystis borgei* J.W. Snow, *Dolichospermum affine* (Lemm.) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek, *Melosira varians* C. Ag., *Fragilaria capucina* Desmaz., *Staurosirella pinnata* (Ehrenb.) D.M. Will. & Round, *Aulacoseira* spp.). The biological and sanitary condition of the reservoir was assessed as satisfactory pure, on the basis on the saprobity index.

Keywords: phytoplankton, composition, structural patterns, cooling reservoir, dominant species, water reservoir

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was partially supported by the state assignment "The study of the functional and species diversity of microorganisms that are useful for ecocenoses and practical human activity" (number of state registration: 01201353247).

REFERENCES

- Afanas'ev S.A. 1995. Biological disturbances in the water supply of thermal and nuclear power plants. – *Gidrobiol. Zhurn.* 31 (2): 3–9 (In Russ.).
- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. 2006. Biodiversity of algae which are the indicators of environmental conditions. Tel-Aviv. 498 p. (In Russ.).
- Belyaeva P.G. 2015. Spatial-temporal changes of phytoplankton of Kama reservoir. – *Izvestiya Samarskogo Nauch. Tsentra RAN.* 17 (4): 733–738 (In Russ.).
- Davydova N.N. 1985. Diatomovyye vodorosli – indikatoryy prirodnykh usloviy vodoyemov v golotsene [Diatoms algae – indicators of environmental conditions of water bodies in the Holocene]. Leningrad. 244 p. (In Russ.).
- Kirillov V.V., Zarubina E.Yu., Mitrofanova E.Yu. et al. 2004. Biological assessment of the effects of thermal pollution of the reservoir of the cooler Belovskaya GRES – *Polzunovskii Vestnik.* 2: 133–141 (In Russ.).

Kiselev I.A. 1954. Pirofitovyye vodorosli [Pyrophyta Algae] In: *Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR*. Is. 6. Moscow. 212 p. (In Russ.).

Komárek J., Anagnostidis K. 1999. Cyanoprokaryota. T. 1. Chroococcales. *Süsswasserflora von Mitteleuropa*. Bd 19/1. Jena. 548 p.

Komárek J., Anagnostidis K. 2005. Cyanoprokaryota. T. 2. Oscillatoriales. *Süsswasserflora von Mitteleuropa*. Bd 19/2. München. 759 p.

Komárek J., Fott B. 1983. Chlorophyceae (Grünalgen). *Ordnung: Chlorococcales* Bd. 16 (7, 1). Schweizerbart, Stuttgart. 1044 p.

Kosheleva S.I. 1991. Formirovaniye gidrokhimicheskogo rezhima. [The formation of the hydrochemical regime] – In: *Gidrobiologiya vodoyemov-okhladiteley teplovykh i atomnykh elektrostantsiy Ukrainy*. Kiev. P. 24–48 (In Russ.).

Kozhevnikova N.A. 2000. Formirovaniye i sovremennoye sostoyaniye fitoplanktona glubokovodnogo Krasnoyarskogo vodokhranilishcha [Formation and current state of phytoplankton of the deep-water Krasnoyarsk reservoir]: Abstr. ... Diss. Kand. Sci. Krasnoyarsk. 22 p. (In Russ.).

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae. *Süsswasserflora von Mitteleuropa* 2/1. Jena. 876 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae. Teil 2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. *Süsswasserflora von Mitteleuropa* 2/2. Stuttgart–New York. 596 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. *Süsswasserflora von Mitteleuropa* 2/3. Stuttgart–Jena. 576 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae. Teil 4: Achnantheaceae. *Süsswasserflora von Mitteleuropa* 2/4. Stuttgart–Jena. 437 p.

Luneva E.V. 2014. Otsenka vliyaniya atomnykh elektrostantsiy Rossii na ekosistemy vodoyemov-okhladiteley [Assessment of the impact of nuclear power plants in Russia on the ecosystems of cooling ponds]. – *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhn. universiteta*. 34: 20–33 (In Russ.).

Magurran A.E. 1992. *Ekologicheskoye raznoobraziye i yego izmereniye* [Ecological diversity and its measurement]. Moscow. 184 p. (In Russ.).

Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoyemov [Methodology for the study of inland waters' biogeocenosis]. 1975. Moscow. 239 p. (In Russ.).

Mitrofanova E.Yu. 2015. Phytoplankton of plain reservoir under permanent heating (cooling-reservoir of Belovo hydroelectric power station as a case study). – *Izvestiya Altaiskogo otdeleniya RGO*. 2 (37): 72–81 (In Russ.).

Novoselova T.N., Protasov A.A. 2014. Phytoplankton of cooling ponds of technical systems of NPP (review). – *Gidrobiol. Zhurn*. 50 (6): 40–59 (In Russ.).

Novoselova T.N., Protasov A.A. 2015. Phytoplankton of reservoirs of the technoecosystem of Khmel'nitsky NPP and background reservoirs. – *Yadernaya energetika I okruzhayushchaya sreda*. 1 (5): 59–62 (In Russ.).

Palamar'–Mordvintseva G.M. 1982. Zelenyye vodorosli. Klass Kon'yugaty. Poryadok Desmidiyevyye (2) [Green algae. Class Conjugaceae. Order Desmidiales] In: *Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR*. Is. 11. Leningrad. 620 p. (In Russ.).

Popovsky J., Pfiester L.A. 1990. Dinophyceae (Dinoflagellata). – In: *Süsswasserflora von Mitteleuropa*. Bd 6. Jena, Stuttgart: Gustav Fisher Verlag. 272 s.

Proshkina-Lavrenko A.I. 1953. Diatomovyye vodorosli – pokazateli solenosti vody [Diatoms algae – indicators of salinity. Diatomcollection]. Leningrad. P. 186–205 (In Russ.).

Protasov A.A., Sergeeva O.A., Kosheleva S.I. et al. 1991. *Gidrobiologiya vodoyemov-okhladiteley teplovykh i atomnykh elektrostantsiy Ukrainy* [Hydrobiology of reservoirs – coolers of thermal and nuclear power plants of Ukraine]. Kiev. 192 p. (In Russ.).

Shakirova F.M., Valiyeva G.D., Gvozdareva M.A. et al. 2014. The dynamics of qualitative and quantitative changes of hydrobionts and the status of ecosystem of reservoir due to human activity (as in Karmanovsky reservoir). – *Izvestya Samarskogo Nauch. Tsentra RAN*. 16(1): 198–213 (In Russ.).

Sládeček V. 1973. System of Water Quality from the Biological Point of View. – *Arch. Hydrobiol. Beih*. 7. Ergebnisse der Limnologie. H. 7. 218 s.

Starmach K. 1983. Euglenophyta–Eugleniny. T. 3. *Flora Słodkowodna Polski*. Warszawa. Krakow. 594 p.

Starmach K. 1985. Chrysophyceae und Haptophyceae. – Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 1. Stuttgart. New York. 515 p.

Unifitsirovannyye metody issledovaniya kachestva vod [Unified Methods for the Study of Water Quality] 1983. Chast' 3. Metody biologicheskogo analiza vod [Part 3. Methods of biological water analysis]. Moscow. 371 p. (In Russ.).

Valieva G.D. 2015. Sovremennoye ekologicheskoye sostoyaniye Karmanovskogo vodokhranilishcha Respubliki Bashkortostan [The current ecological state of the Karmanovsky reservoir of the Republic of Bashkortostan] – In: Yestestvennonauchnyye issledovaniya v Simbirskom – Ul'yanovskom kraye Materialy XVII yezhegodnoy nauch.-praktich. konferentsii. Ul'yanovsk. P. 21–24 (In Russ.).

Vasser S.P., Kondrateva N.V., Masyuc N.P. et al. 1989. Vodorosli [Algae]. Kiev. 608 p. (In Russ.).

Vorob'yeva S.S. 1995. Fitoplankton vodoyemov Angary. [Phytoplankton of Angara reservoirs]. Novosibirsk. 126 p. (In Russ.).

Yarushina M.I., Guseva V.P., Chebotina M.Ya. 2003. Species composition and ecological characteristics of algae from the cooling reservoir of the Beloyarsk nuclear power plant. – Ekologiya. 1: 23–29 (In Russ.).