

Флора водоемов и водотоков

УДК 574.583(285.2:470):581

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА БОЛЬШИХ МЕЛКОВОДНЫХ ЗАРАСТАЮЩИХ ОЗЕР (ВОЖЕ И ЛАЧА, ВОЛОГОДСКАЯ И АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТИ, РОССИЯ)

Л. Г. Корнева¹, И. В. Митропольская¹, Н. Н. Макаренкова², А. И. Цветков¹

¹ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, e-mail: korneva@ibiw.ru

² Вологодское отделение ФГБНУ "ГосНИОРХ",

160012 Вологда, ул. Левичева, 5

Поступила в редакцию 20.10.2020

Проведен сравнительный анализ разнообразия, численности, биомассы, состава доминирующих видов, размерных характеристик фитопланктона и сапробности вод мелководных больших зарастающих озер Воже, Лача, а также рек Свидь и Онега в июне 2015 г. Представлено сравнение полученных данных с результатами предшествующих исследований в 1970-е годы. Установлено, что в 2000-е годы наблюдается значительное увеличение численности фитопланктона озер и изменение состава доминирующих видов. В фитопланктоне стали преобладать безгетероцистные цианопрокариоты (*Aphanocapsa holsatica*, *Planktolynghya limnetica*), что связывают с увеличением концентрации аммонийного азота. Средняя биомасса фитопланктона в озерах (2.6 г/м³) практически не изменилась с 1970-х годов и была характерна для вод мезотрофного типа. В оз. Лача, характеризующемся более низкой прозрачностью, более высокой степенью зарастания водной растительностью, минерализацией и сапробностью вод, фитопланктон отличался меньшим флористическим разнообразием, более высокой численностью, уровнем доминирования и самыми мелкими размерами клеток.

Ключевые слова: озера Воже и Лача, фитопланктон, разнообразие, доминирующие виды, численность, биомасса, сапробность, эвтрофирование.

DOI: 10.47021/0320-3557-2021-17-29

ВВЕДЕНИЕ

Динамика и состояние экосистем мелководных больших озер, обладающих высокой степенью водообмена, в значительной степени определяются водностью года. Последствия современного изменения климата приводят к различным сценариям развития событий в мелководных озерах Европы и Средиземноморья с умеренным климатом [Coops et al., 2003]. При этом ведущим фактором функционирования экосистем озер считают уровень воды [Nöges et al., 2007]. Изменение глубины озер влияет на подводную освещенность, интенсивность ресуспензии донных осадков, скорость высвобождения питательных веществ из донных отложений и денитрификации. Эти факторы контролируют рост и состав фитопланктона, который является первичным звеном пелагической пищевой сети. Основные последствия современного изменения климата в водоемах европейской части РФ проявляются в повышении температуры воды и увеличении количества осадков над водосборной площадью бассейнов с середины 1970-х гг. [Второй..., 2014 (Vtoroy..., 2014)], что согласуется с динамикой индексов Северо-Атлантического колебания (САК или NAO – North Atlantic Oscillation). Это приводит, как правило, к повышению уровня воды во внутриконтинен-

тальных водоемах. Однако в озерах стоково-приточного типа уровеньный режим регулируется, прежде всего, стоком впадающих в них рек, а не количеством атмосферных осадков. К такому типу озер относятся мелководные большие зарастающие озера Воже и Лача, расположенные на территории Вологодской и Архангельской областей России. Скорость сукцессии и эвтрофирования экосистем мелководных больших озер существенно превышает таковую глубоководных и требуют пристального внимания к исследованию их биоты, подверженной влиянию колебаниям водности.

Исследования фитопланктона озер Воже и Лача проводились в 1970-е годы в составе комплексных экспедиций Института озероведения РАН по всей акватории водоемов в период маловодной фазы внутривекового цикла колебания увлажненности [Озера..., 1975; Гидробиология..., 1978 (Ozera..., 1975; Gidrobiologiya..., 1978)]. В 2003–2015 гг. они были продолжены только на оз. Воже [Растопчинова, 2005; Макаренкова, 2015, 2016 (Rastopchinova, 2005; Makarenkova, 2015, 2016)]. В 1970-е годы в озерах в течение всего периода открытой воды с мая по октябрь доминировал один и тот же летний фитопланктонный комплекс. Состав фитопланктона озер

был очень близок, а по его структурным показателям озера относили к мезотрофному типу [Озера..., 1975; Гидробиология..., 1978 (Ozera..., 1975; Hidrobiologiya..., 1978)].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Озера Воже и Лача относятся к бассейну р. Онеги, впадающей в Белое море. Котловины озер, имеющие доледниковое происхождение, позднее были преобразованы деятельностью ледника. Озера относятся к единому речному бассейну, к категории больших мелководных озер, близких по площади акватории и объему воды, средней глубине и характеру водосбора. Они соединены рекой Свидь, сходны по гидрохимическим показателям, но различаются по площади водосборного бассейна, характеру зарастания и степени водообмена (табл. 1). Макрофиты продуцируют в обоих озерах около 40% органического углерода. Воды озер относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы со средней величиной минерализации около 140 мг/л. Отличительной чер-

Задача данного исследования – проведение сравнительного анализа состава и структуры планктонных альгоценозов озер Воже и Лача на современном этапе.

той их химического состава является значительное количество сульфатов, которое увеличивается с ростом общей минерализации воды. Это обусловлено питанием притоков и озер подземными водами пермских отложений, имеющих гидрокарбонатно-сульфатный или сульфатный состав. По значениям цветности озера относятся к мезогумозному типу. Вследствие высокой степени водообмена в озерах наблюдается значительная внутригодовая вариабельность содержания минеральных и органических веществ, концентрация которых зависит от водности года [Озера..., 1975; Гидробиология..., 1978 (Ozera..., 1975; Hidrobiologiya..., 1978)]. В водном балансе озер сток и приток преобладают над остальными элементами.

Таблица 1. Некоторые лимнологические характеристики озер [Озера..., 1975; Гидробиология..., 1978 (Ozera..., 1975; Hidrobiologiya..., 1978)]

Table 1. Some limnological characteristics of lakes [Ozera..., 1975; Hidrobiologiya..., 1978]

Характеристики / Characteristics	Озера / Lakes	
	Воже / Vozhe	Лача / Lacha
Площадь, км ² / Surface area, km ²	418	345
Объем воды, км ³ / Water volume, km ³	0.599	0.549
Площадь водосборного бассейна, км ² Drainage area, km ²	5870	12130
Степень заболоченности, % / Swampiness, %	13	15
Степень лесистости, % / Degree of forest cover, %	78	76
Коэффициент удельного водосбора Specific catchment coefficient	15	36
Коэффициент условного водообмена, год ⁻¹ Water turnover time, year ⁻¹	3.5	7.4
Средняя глубина, м / Mean depth, m	1.4	1.6
Максимальная глубина, м / Maximal depth, m	5.0	5.4
Степень зарастания, % Degree of overgrowth, %	18	48
Цветность, град (V–IX 1972–1974 гг.) Color, Pt-Co units (V–IX 1972–1974)	44–137	12–82
∑ ионов, мг/л ∑ of ions, mg/l	85–308	90–400
Р _{общ.} , мг/л (VII 1974 г.) / TP, mg/l (VII 1974)	0.019–0.038	–
NH ₄ ⁺ , мг N/л (V–X 1972–1974 гг.) NH ₄ ⁺ , mg/N/l (V–X 1972–1974)	0.11/0.07–0.18	0.14/0.005–0.56
SO ₄ ²⁻ , мг/л (V–X 1972–1974 гг.) SO ₄ ²⁻ , mg/l (V–X 1972–1974)	18–110	20–84

Примечание. “–” – отсутствие данных.

Note. “–” – no data.

В период наших исследований 11–18 июня 2015 г. глубина на станциях отбора проб в обоих озерах варьировала от 1 до 3 м (оз. Воже – 2.2±0.2 м, оз. Лача – 1.6±0.2 м), средняя по аква-

тории прозрачность в оз. Воже составляла 66±6 см, в оз. Лача – 43±4 см. Температура воды озер у поверхности и дна почти не различалась и соответствовала норме для этого периода, варь-

ируя в оз. Воже от 15.5 до 18.2°C и в оз. Лача от 12.3 до 14.1°C. На 60% станций в обоих озерах органолептически зарегистрировано присутствие сероводорода в верхнем слое илов. По данным Центра регистра и кадастра (gis.vodinfo.ru) средний уровень оз. Лача (также рек Онега, Вожега, Ухтомица и Свидь) постепенно снижался с 2010 по 2015 гг. от 187 до 171 см. Среднегодовое значение за этот период (176 см) было ниже такового (184 см) в период маловодной фазы в 1963–1973 гг. [Озера..., 1975; Гидрология..., 1978 (Ozera..., 1975; Hidrologiya..., 1978)]. Степень зарастания макрофитами (Воже – 26%, Лача – 70%) была значительно выше [Отчет..., 2015 (Otchet..., 2015)], чем в предшествующий период (Воже – 18%, Лача – 48%) исследований в 1970-е годы [Гидробиология..., 1978 (Hidrobiologiya..., 1978)]. Электропроводность в оз. Лача слабо изменялась по акватории водоема и в среднем (190 ± 2 мкСм/см 25°C) превышала таковую (160 ± 8 мкСм/см 25°C) в оз. Воже, в котором ее варибельность была намного выше [Отчет..., 2015 (Otchet..., 2015)]. В 1972–1974 гг. содержание аммонийного азота в оз. Воже в безледный период в среднем составляло 0.11 мг/л, в оз. Лача – 0.14 мг/л, достигая максимального значения (0.24 мг/л) в оз. Лача [Гидрология..., 1978 (Hidrologiya..., 1978)]. В июне 2015 г. в обоих озерах оно значительно увеличилось до 0.6 мг/л [Отчет..., 2015 (Otchet..., 2015)], что сопоставимо с его величинами в оз. Лача в марте 1973 г. Озера характеризуются большим количеством стойкого органического вещества аллохтонного происхождения, что создает неблагоприятные условия для развития нитрифицирующих бактерий и процесс минерализации задерживается на стадии аммонификации [Гидрология..., 1978 (Hidrologiya..., 1978)]. В 2015 г. увеличилось и соотношение $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$: до 3.3 – в оз. Воже и 1.5 – в оз. Лача. В 1970-е годы в оз. Лача в среднем

оно достигало всего 0.7 [Гидрология..., 1978 (Hidrologiya..., 1978)]. Содержание кислорода и его % насыщение в озерах практически не различались: в оз. Воже – 10.1 ± 0.2 мг/л, 102.4 ± 1.3 и в оз. Лача – 10.6 ± 0.1 , 101.1 ± 1.5 , соответственно.

Пробы для учета таксономического состава, численности и биомассы фитопланктона отбирали из поверхностного слоя воды на 24 станциях 11–18 июня 2015 г. (рис. 1), расположенных на акватории озер Воже и Лача, в р. Свидь и в истоке р. Онега. Концентрацию фитопланктона для количественного учета водорослей осуществляли методом прямой фильтрации воды под давлением последовательно через мембранные фильтры с диаметром пор 5 мкм и 1.2 мкм. Пробы сгущали до объема 5 мл и консервировали раствором Люголя с добавлением формалина и ледяной уксусной кислоты. Для определения биомассы использовали обычный счетно-объемный стереометрический метод [Методика..., 1975 (Metodika..., 1975)]. Линейные размеры получали путем измерения клеток каждого встреченного организма. К доминирующим относили виды, составляющие $\geq 10\%$ от общей численности и биомассы фитопланктона. Сапробность вод определяли по индексу Пантле – Букка в модификации В. Сладечека [Sládeček, 1973]. Соотнесение видов к отдельным зонам сапробности проводили согласно спискам индикаторных организмов В. Сладечека [Sládeček, 1973] с дополнениями р. Вегла [Wegl, 1983]. Для оценки размерной структуры фитопланктона использовали соотношение численности (N) и биомассы (B)/1000.

Измерение гидрофизических параметров (температура, электропроводность, содержание кислорода) проводили при помощи многопараметрического ручного зонда YSI 85 (YSI Inc., США) с дискретностью 1 м от поверхности до дна. Прозрачность измеряли по диску Секки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В составе флоры планктона исследованных водоемов в июне 2015 г. выявлено 249 таксонов рангом ниже рода, которые по отделам распределились следующим образом: (табл. 2). Наибольшим флористическим богатством отличались отделы зеленых (40% от общего списка), цианопрокариот (27%) и диатомовых водорослей (23%). Таксономический состав фитопланктона в озерах и реках характеризовался близким соотношением основных систематических групп. Такая пропорция характерна для флоры планктона внутренних водоемов умеренной зоны. Наибольшим видовым богатством водорослей отличались озера и, прежде всего, оз. Воже. Планктон

оз. Лача характеризовался наибольшим относительным богатством зеленых водорослей (59%). Подобное прослеживалось и в 1970-е годы [Гидробиология..., 1978 (Hidrobiologiya..., 1978)]. Однако в среднем за вегетационный сезон оно не превышало 37%. Кроме того, в 1970-е годы видовое богатство фитопланктона озер слабо различалось, а в июне 2015 г. в оз. Воже оно было в 1.5 раза выше, чем в оз. Лача. В 1970-е годы такая разница прослеживалась только в перифитоне. В сравнении с озерами в реках в 2015 г. наблюдалось уменьшение видового богатства фитопланктона.

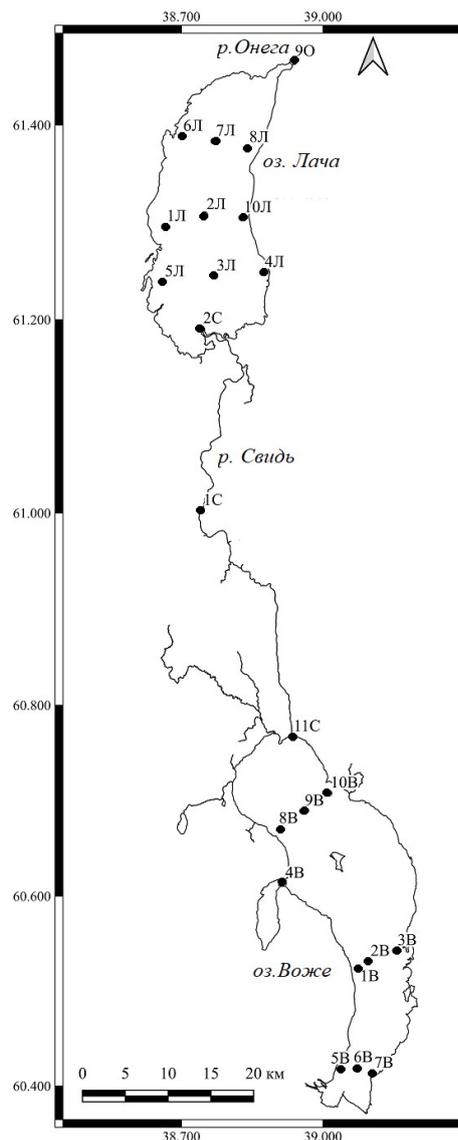


Рис. 1. Расположение станций отбора проб на исследованных озерах и реках.

Fig. 1. Location of sampling stations on the lakes and rivers.

Таблица 2. Число видов, разновидностей и форм водорослей в планктоне озер Воже и Лача, рек Свидь и Онега в июне 2015 г.

Table 2. The number of species, varieties and forms of planktonic algae of the Vozhe and Lacha lakes, the Svid and Onega rivers in June 2015

Отделы водорослей / Divisions of algae	Озера / Lakes		Реки / Rivers		Всего / Total
	Воже / Vozhe	Лача / Lacha	Свидь / Svid	Онега (исток) / Onega (river head)	
Цианопрокэриоты	51 (29%)	22 (19%)	29 (29%)	15 (21%)	67 (27%)
Chrysophyta	4	3	2	0	7
Bacillariophyta	51 (29%)	24 (21%)	18 (18%)	18 (25%)	58 (23%)
Xanthophyta	1	1	1	0	2
Cryptophyta	3	3	3	2	4
Dinophyta	3	2	4	2	5
Euglenophyta	2	3	1	4	6
Chlorophyta	60 (34%)	58 (59%)	40 (41%)	31 (43%)	100 (40%)
Всего / Total	175	116	98	72	249

За период с 1970-х по 2000-е годы в составе альгофлоры озер резко снизилось (с 20 до 5) число потенциальных азотфиксаторов – носточковых цианобактерий.

Суммарная численность фитопланктона в оз. Воже составляла в среднем 76 ± 43 млн кл./л, варьируя от 12 до 425 млн кл./л (табл. 3). Основной вклад в численность фитопланктона вносили цианобактерии (80–99%). Максимальной численности фитопланктон достигал на ст. 2В, расположенной в центре озера. В оз. Воже насчитывалось 9 лидирующих видов, среди которых по частоте доминирования

преобладали *Aphanocapsa holsatica* (Lemm.) Cronb. et Komárek и *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Kom.-Legn. et Cronb. (табл. 4).

В р. Свидь средняя численность фитопланктона составляла 332 ± 178 млн кл./л, изменялась от 70 до 673 млн кл./л (табл. 3) и была сформирована также цианобактериями (95–99%). Ее наибольшие значения наблюдались в устье реки (ст. 2С). Основу доминантного комплекса, как и в оз. Воже, численно формировали *Aphanocapsa holsatica* и *Planktolyngbya limnetica*.

Таблица 3. Численность (млн кл./л) фитопланктона на различных участках озер Воже, Лача, рек Свидь и Онега в июне 2015 г.

Table 3. Abundance (million cells/l) of phytoplankton in different station of Vozhe, Lacha lakes, Svid and Onega rivers in June 2015

Водоем Reservoir	Станция Station	Отделы водорослей Divisions of algae								
		Bacillariophyta	Cyano-prokaryota	Chlorophyta	Cryptophyta	Dinophyta	Euglenophyta	Xanthophyta	Chryso-phyta	Общая Total
Воже Vozhe	1В	0.729	19.810	0.353	0	0	0.003	0.228	0.026	21.15
	2В	1.104	419.90	3.982	0.161	0.009	0	0	0.006	425.16
	3В	0.950	10.969	0.578	0	0.013	0	0	0.013	12.52
	5В	1.965	10.890	0.637	0	0	0.003	0.079	0.010	13.58
	6В	2.559	64.310	1.757	0.040	0	0.002	0	0.264	68.93
	7В	1.290	34.853	1.878	0	0.008	0	0.048	0.020	38.09
	8В	0.708	31.421	0.365	0	0.003	0	0.310	0.013	32.82
	9В	0.888	35.963	0.240	0	0.003	0.003	0.425	0.480	38.00
	10В	1.350	31.993	0.688	0	0	0	0.080	0.200	34.31
	Средняя Average		1.283± 0.205	73.35± 43.65	1.164± 0.405	0.022± 0.018	0.004± 0.002	0.001± 0.000	0.130± 0.052	0.115± 0.056
Свидь Svid		11С	1.200	249.83	3.146	0.009	0.011	0.003	0.066	0
	1С	0.896	66.589	2.588	0.003	0.003	0	0	0.034	70.11
	2С	2.050	665.70	5.400	0.050	0.100	0	0	0.050	673.35
Средняя Average		1.382± 0.345	327.37± 177.24	3.711± 0.860	0.021± 0.015	0.038± 0.031	0.001± 0.001	0.022± 0.022	0.028± 0.015	332.58± 178.49
	Лача Lacha	1Л	2.125	360.10	2.250	0	0	0.013	0	0
2Л		3.783	140.16	2.948	0.010	0.010	0.010	0.005	0	146.92
3Л		0.803	749.51	0.766	0	0	0	0	0	751.08
4Л		2.100	366.70	1.400	0	0	0	0	0	370.20
5Л		0.811	141.19	0.821	0	0.033	0	0	0	142.86
6Л		3.783	239.40	0.800	5	0	0.025	0	0	244.01
7Л		0.779	158.42	0.850	0	0	0	0	0	160.04
8Л		1.668	275.05	3.532	0	0	0	0	0	280.25
10Л		1.650	398.43	2.050	0	0	0	0	0	402.13
Средняя Average			1.945± 0.39	314.33± 63.80	1.71± 0.35	0.002± 0.001	0.005± 0.004	0.005± 0.003	0.001± 0.001	0±0
	Онега Onega	9О	2.79	14.63	3.39	0.118	0.015	0.012	0	0.017

Таблица 4. Численность (млн кл./л) доминирующих видов фитопланктона на различных участках озер Воже, Лача, рек Свидь и Онега в июне 2015 г.**Table 4.** Abundance (million cells /l) of dominant phytoplankton species in different station of Vozhe, Lacha lakes, Svid and Onega rivers in June 2015

Водоем Reservoir	Станция Station	Доминирующие виды / Dominant species
Воже Vozhe	1В	<i>Cyanodictyon tubiforme</i> – 2.24 (11%); <i>Aphanocapsa holsatica</i> – 3.62 (17%); <i>Planktolyngbya limnetica</i> – 4.22 (20%); <i>Planktolyngbya circumcreta</i> – 2.35 (11%); <i>Leptolyngbya bijugata</i> – 3.84 (18%)
	2В	<i>Aphanocapsa holsatica</i> – 349.14 (82%)
	3В	<i>Cyanodictyon tubiforme</i> – 2.11 (17%); <i>Aphanocapsa holsatica</i> – 2.24 (18%); <i>Pseudanabaena limnetica</i> – 1.27 (10%)
	5В	<i>Aphanocapsa holsatica</i> – 3.70 (27%); <i>Cyanodictyon tubiforme</i> – 2.05 (15%); <i>Planktolyngbya limnetica</i> – 1.52 (11%)
	6В	<i>Planktolyngbya contorta</i> – 11.30 (16%); <i>Aphanocapsa holsatica</i> – 23.76 (34%); <i>Planktolyngbya limnetica</i> – 8.58 (12%)
	7В	<i>Planktolyngbya limnetica</i> – 8.28 (22%); <i>Cyanodictyon planctonicum</i> – 8.84 (23%); <i>Aphanocapsa holsatica</i> – 10.94 (27%)
	8В	<i>Planktolyngbya limnetica</i> – 5.92 (18%); <i>Aphanocapsa holsatica</i> – 5.39 (17%); <i>Aphanocapsa sp.</i> – 3300 (10%)
	9В	<i>Planktolyngbya limnetica</i> – 7.40 (19%); <i>Planktolyngbya contorta</i> – 9.80 (26%); <i>Planktolyngbya circumcreta</i> – 3.62 (10%)
	10В	<i>Aphanocapsa holsatica</i> – 4.95 (14%); <i>Planktolyngbya limnetica</i> – 6.14 (18%); <i>Leptolyngbya bijugata</i> – 5.60 (16%); <i>Planktolyngbya circumcreta</i> – 6.78 (20%); <i>Planktolyngbya limnetica</i> – 25.65 (10%)
	Свидь Svid	11С
1С		<i>Aphanocapsa holsatica</i> – 13.48 (19%); <i>Planktolyngbya limnetica</i> – 9.87 (14%); <i>Cyanodictyon sp.</i> – 10.42 (15%); <i>Aphanothece clathrata</i> – 11.52 (16%)
2С		<i>Aphanocapsa holsatica</i> – 566.00 (84%)
Лача Lacha	1Л	<i>Aphanocapsa holsatica</i> – 312.50 (86%)
	2Л	<i>Aphanocapsa holsatica</i> – 78.64 (54%); <i>Planktolyngbya limnetica</i> – 28.20 (19%)
	3Л	<i>Aphanocapsa holsatica</i> – 685.98 (91%)
	4Л	<i>Aphanocapsa incerta</i> – 82.50 (22%); <i>Aphanocapsa holsatica</i> – 239.50 (65%)
	5Л	<i>Aphanocapsa incerta</i> – 23.98 (17%); <i>Aphanocapsa holsatica</i> – 112.06 (78%)
	6Л	<i>Aphanocapsa incerta</i> – 467.50 (19%); <i>Aphanocapsa holsatica</i> – 17.20 (70%)
	7Л	<i>Aphanocapsa holsatica</i> – 120.48 (75%); <i>Aphanocapsa incerta</i> – 19.99 (12%)
	8Л	<i>Aphanocapsa holsatica</i> – 252.64 (90%)
	10Л	<i>Aphanocapsa holsatica</i> – 313.50 (78%)
Онега Onega	9О	<i>Aphanocapsa holsatica</i> – 96.21 (63%); <i>Planktolyngbya limnetica</i> – 21.44 (14%)

Средняя общая численность фитопланктона в оз. Лача достигала 317 ± 64 млн кл./л и варьировала от 143 до 451 млн кл./л (табл. 3) также за счет цианопрокариот, главным образом – *Aphanocapsa holsatica* (табл. 4).

Суммарная численность фитопланктона в истоке р. Онега была сопоставима с таковой в озерах – 152 млн кл./л (табл. 3) и определялась также цианопрокариотами *Aphanocapsa holsatica* и *Planktolyngbya limnetica* (табл. 4).

В 1970-е годы средняя по водоему численность фитопланктона в оз. Воже варьиро-

вала от 2 до 18 млн кл./л, а максимальная – 4–50 млн кл./л [Гидробиология..., 1978 (Gidrobiologiya..., 1978)], в оз. Лача – 2–5 млн кл./л и 5–9 млн кл./л, соответственно. По сравнению с 1970-ми годами численность фитопланктона в июне 2015 г. в оз. Воже возросла до 8 раз, а в оз. Лача – до 60 раз. При этом в южной части оз. Лача численность фитопланктона была в 1.5 раза выше, чем в северной, в оз. Воже эта разница увеличивалась до 2.8. Подобное различие было обусловлено разным уровнем развития цианопрокариот. Кроме того, в южной части оз. Воже

в 3.6 раз увеличивалась численность зеленых водорослей и в 4 раза снижалась численность золотистых. Пространственная неоднородность фитопланктона, которая наиболее выражена в оз. Воже, может быть обусловлена комплексом гидрофизических и гидрохимических факторов, тесно связанных с характером водосбора озер. В частности, пространственные различия вод в озерах в широтном направлении проявляются в увеличении минерализации и сульфатности и снижении содержания органических веществ с юга на север [Гидрология..., 1978 (Gidrologiya..., 1978)].

В 2000-е годы состав доминирующих видов претерпел значительные изменения. В частности, *Aphanocapsa holsatica*, представленная в списках видов в оз. Воже и Лача в 1970-е годы, не достигала существенного развития, как это наблюдалось в 2015 г., а *Planktolyngbya limnetica* вообще не была зарегистрирована в планктоне озер в тот период. В предшествующие годы важным компонентом доминирующих комплексов были диатрофы – виды рода *Dolichospermum* (= *Anabaena*), которые в 2015 г. отсутствовали в его составе, а ведущая роль в структуре фитопланктона перешла к безгетероцистным видам из родов *Aphanocapsa* и *Planktolyngbya*. На это указывают также исследования, проведенные в 2003 г. [Растопчинова, 2005 (Rastopchinova, 2005)] и в 2009–2014 гг. [Макаренкова, 2015 (Makarenkova, 2015)]. Наибольшее число доминирующих видов фитопланктона зарегистрировано в оз. Воже, где более высокая глубина и прозрачность воды по сравнению с оз. Лача. В условиях более низких глубин, прозрачности воды и высокой степени зарастания в оз. Лача создавались благоприятные условия для доминирования немногих видов безгетероцистных цианопрокартиот, адаптированных к низкой освещенности, проточности и высокой концентрации азота (Scheffer et al., 1997; Havens et al., 1998; Gibson et al., 2001; Reynolds et al., 2002). Прозрачность воды влияет на водоросли не прямо, а косвенно, поскольку она характеризует проникновение в водную толщу солнечной радиации, без которой невозможен фотосинтез. Развитие безгетероцистных цианопрокартиот может стимулироваться увеличением в воде содержания аммонийного азота (Blumquist et al., 1994), который в исследованных озерах является основной частью минерального [Гидробиология..., 1978 (Gidrobiologiya..., 1978)]. В больших концентрациях аммоний опосредовано блокирует синтез и активность нитрогеназы, ферментного комплекса, отвечающего за азотфик-

сацию [Костяев, 1986 (Kostyaev, 1986)]. Эффективно развиваясь в условиях высокого содержания органических веществ и в сточных водах, нитчатые безгетероцистные (осцилляториевые) цианопрокартиоты способны к гетеротрофному питанию [Кузьменко, 1981 (Kuz'menko, 1981)]. По этой причине их обнаруживают в большом количестве в гипolimниальных слоях водоемов (Hindak, Trifonova, 1989; [Корнева, 1993 (Korneva, 1993)]).

Средняя суммарная биомасса фитопланктона в оз. Воже составляла 2.61 ± 0.28 г/м³ (табл. 5) и варьировала от 1.63 до 3.85 г/м³. В оз. Лача биомасса фитопланктона изменялась от 1.04 до 4.90 г/м³, а ее среднее значение (2.56 ± 0.46 г/м³) практически не отличалось от таковой в оз. Воже. Основной вклад в биомассу фитопланктона озер вносили диатомовые водоросли (43 – 81% и 34 – 90% соответственно) (табл. 5), в среднем 67 и 64 %. На втором месте стояли цианопрокартиоты – 21 и 13% и зеленые водоросли – 10 и 14%. Фитопланктон оз. Воже отличался большим разнообразием доминирующих по биомассе видов (12), которые относились к диатомовым (*Tabularia fasciculata* (C. Agardh) D.M. Williams & Round, *Cymatopleura solea* (Bréb.) W. Smith, *Aulacoseira ambigua* (Grun.) Sim., *A. islandica* (O. Müller) Sim., *Staurosira construens* Ehr., *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.) Rabenh., *Lindavia radiosa* (Grun.) De Toni & Forti, *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz.), цианопрокартиотам (*Aphanocapsa holsatica*), зеленым (*Pediastrum angulosum* Ehr. ex Menegh., *P. boryanum* var. *longicorne* (Reinsch) Hansgirg) и динофитовым (*Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin) водорослям. В оз. Лача доминировали в основном только два вида диатомей *Aulacoseira ambigua* и *Lindavia radiosa* (табл. 6). Последняя была основным структурообразующим компонентом и фитопланктона рек Свидь и Онега. В 1970-е годы этот вид был представлен только в списках видов, но не являлся ценообразующим [Гидробиология..., 1978 (Gidrobiologiya..., 1978)]. По величинам средней биомассы фитопланктона все исследованные озера и реки можно отнести к водоемам мезотрофного типа [Китаев, 2007 (Kitaev, 2007)], как и в 1970-е годы.

Наибольшие значения соотношения численности (N) и биомассы (B) наблюдались в оз. Лача (рис. 2), что свидетельствовало о том, что фитопланктон этого водоема представлен более мелкими видами водорослей. Обычно уменьшение размерности клеток фитопланктона происходит с повышением уровня трофии вод [Михеева, 1992; Корнева, 2015 (Mikheyeva, 1992; Korneva, 2015)].

Таблица 5. Биомасса ($\text{г}/\text{м}^3$) фитопланктона на различных участках озер Воже, Лача, рек Свидь, Онега в июне 2015 г.**Table 5.** Biomass (g/m^3) of phytoplankton in different station of Vozhe, Lacha lakes, Svid and Onega rivers in June 2015

Водоем / Reservoir	Станция / Station	Отделы водорослей / Divisions of algae								
		Bacillariophyta	Cyanoprokaryota	Chlorophyta	Cryptophyta	Dinophyta	Euglenophyta	Xanthophyta	Chryso-phyta	Общая Total
Воже Vozhe	1В	1.46	0.16	0.14	0.00	0.00	0.02	0.04	0.01	1.83
	2В	1.05	1.32	0.53	0.04	0.13	0.00	0.00	0.01	3.07
	3В	0.98	0.17	0.19	0.00	0.38	0.00	0.00	0.003	1.72
	5В	2.97	0.09	0.19	0.00	0.00	0.03	0.01	0.002	3.29
	6В	2.65	0.22	0.44	0.002	0.00	0.12	0.00	0.08	3.51
	7В	1.61	0.12	1.95	0.00	0.16	0.00	0.01	0.004	3.85
	8В	0.93	0.35	0.12	0.00	0.18	0.00	0.04	0.003	1.63
	9В	1.40	0.33	0.09	0.00	0.27	0.03	0.06	0.09	2.27
	10В	1.81	0.15	0.30	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	2.31
	Средняя / Average		1.65± 0.24	0.32± 0.13	0.44± 0.20	0.00± 0.00	0.12± 0.05	0.02± 0.01	0.02± 0.01	0.03± 0.01
Свидь Svid	11С	1.98	1.01	0.50	0.01	0.13	0.01	0.04	0.00	3.67
	1С	1.03	0.55	0.43	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	2.04
	2С	2.90	0.67	0.75	0.00	0.38	0.00	0.00	0.01	4.71
Средняя / Average		1.97± 0.54	0.74± 0.14	0.56± 0.10	0.004± 0.001	0.18± 0.11	0.002± 0.002	0.01± 0.01	0.005± 0.003	3.47± 0.78
Лача Lacha	1Л	1.45	0.47	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.16
	2Л	3.76	0.65	0.42	0.01	0.04	0.02	0.00	0.00	4.90
	3Л	1.88	0.66	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.63
	4Л	0.65	0.54	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51
	5Л	0.93	0.17	0.10	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	1.28
	6Л	3.65	0.51	0.18	0.06	0.00	0.11	0.00	0.00	4.51
	7Л	0.64	0.26	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04
	8Л	1.29	0.27	0.30	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	1.90
	10Л	1.95	0.95	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.08
	Средняя / Average		1.80± 0.40	0.50± 0.08	0.22± 0.04	0.01± 0.01	0.01± 0.01	0.01± 0.01	0.00± 0.00	0.002± 0.002
Онега Onega	9О	2.38	0.94	0.62	0.02	0.05	0.06	0.00	0.002	4.08

Таблица 6. Биомасса ($\text{г}/\text{м}^3$) доминирующих видов фитопланктона на различных участках озер Воже, Лача, рек Свидь, Онега в июне 2015 г.**Table 6.** Biomass (g/m^3) of dominant phytoplankton species in different station of Vozhe, Lacha lakes, Svid and Onega rivers in June 2015

Водоем Reservoir	Станция Station	Доминирующие виды Dominant species
Воже Vozhe	1В	<i>Tabellaria fenestrata</i> – 0.47 (26%); <i>Tabularia fasciculata</i> – 0.33 (18%); <i>Cymatopleura solea</i> – 0.25 (14%)
	2В	<i>Aulacoseira ambigua</i> – 0.450 (15%). <i>Aphanocapsa holsatica</i> – 0.402 (13%)
	3В	<i>Staurosira construens</i> – 0.23 (13%); <i>Ceratium hirundinella</i> – 0.35 (21%)
	5В	<i>Tabellaria fenestrata</i> – 0.42 (13%); <i>Staurosira construens</i> – 0.59 (18%); <i>Aulacoseira ambigua</i> – 0.77 (23%)
	6В	<i>Tabellaria fenestrata</i> – 0.34 (10%); <i>Cymatopleura solea</i> – 0.48 (14%); <i>Aulacoseira islandica</i> – 0.40 (11%); <i>Aulacoseira ambigua</i> – 0.36 (10%)
	7В	<i>Cymatopleura solea</i> – 0.43 (11%); <i>Pediastrum boryanum var. longicorne</i> – 0.55 (14%); <i>Pediastrum angulosum</i> – 1.03 (27%)
	8В	<i>Gyrosigma acuminatum</i> – 0.16 (10%); <i>Lindavia radiosa</i> – 0.31 (19%); <i>Aulacoseira ambigua</i> – 0.16 (10%)
	9В	<i>Tabellaria fenestrata</i> – 0.51 (22%); <i>Lindavia radiosa</i> – 0.22 (10%); <i>Ceratium hirundinella</i> – 0.27 (12%)
	10В	<i>Tabellaria fenestrata</i> – 0.37 (16%); <i>Lindavia radiosa</i> – 0.26 (11%)

Водоем Reservoir	Станция Station	Доминирующие виды Dominant species
Свидь Svid	11С	<i>Tabellaria fenestrata</i> – 0.98 (27%); <i>Lindavia radiosa</i> – 0.33 (9%)
	1С	<i>Lindavia radiosa</i> – 0.63 (31%)
	2С	<i>Lindavia radiosa</i> – 2.46 (52%)
Лача Lacha	1Л	<i>Aulacoseira ambigua</i> – 1.02 (47%)
	2Л	<i>Aulacoseira ambigua</i> – 2.12 (43%)
	3Л	<i>Lindavia radiosa</i> – 0.61 (23%); <i>Aulacoseira ambigua</i> – 1.10 (42%)
	4Л	<i>Aphanocapsa incerta</i> – 0.35 (23%)
	5Л	<i>Lindavia radiosa</i> – 0.37 (29%); <i>Aulacoseira ambigua</i> – 0.46 (36%)
	6Л	<i>Lindavia radiosa</i> – 0.81 (18%); <i>Aulacoseira ambigua</i> – 2.59 (57%)
	7Л	<i>Lindavia radiosa</i> – 0.22 (21%); <i>Aulacoseira ambigua</i> – 0.26 (25%); <i>Aphanocapsa incerta</i> – 0.16 (16%)
	8Л	<i>Lindavia radiosa</i> – 0.53 (28%); <i>Aulacoseira ambigua</i> – 0.38 (20%)
10Л	<i>Lindavia radiosa</i> – 0.38 (12%); <i>Aulacoseira ambigua</i> – 0.96 (31%)	
Онега Onega	9О	<i>Aulacoseira ambigua</i> – 0.82 (20%); <i>Lindavia radiosa</i> – 0.57 (14%)

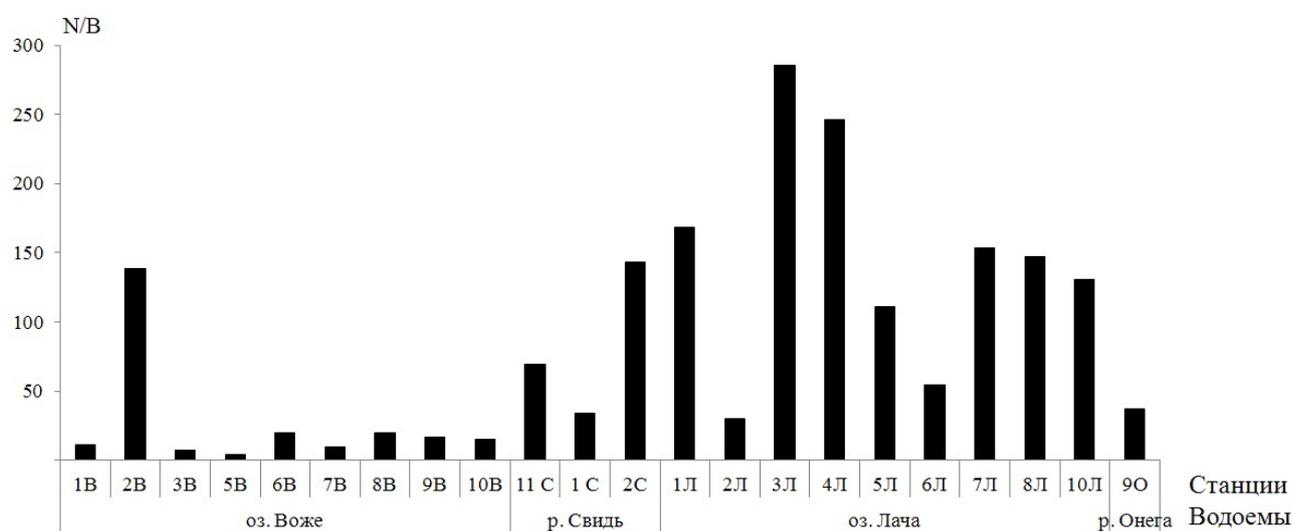


Рис. 2. Изменение соотношения численности (N) и биомассы (B) фитопланктона на различных участках озер Воже, Лача, рек Свидь и Онега в июне 2015 г.

Fig. 2. Changes of the ratio of phytoplankton abundance (N) and biomass (B) in different station of Vozhe, Lacha lakes, Svid and Onega rivers in June 2015.

Средняя величина индекса сапробности Пантле-Букка, рассчитанная по численности и биомассе индикаторных видов водорослей, в исследованных водоемах слабо варьировала от 1.38 до 2.15 и от 1.42 до 1.73, соответственно (табл. 7). Полученные значения соответствовали величинам, свойственным олиго-β-мезосапробным водам [Sládeček, 1973]. Средняя величина индекса сапробности в оз. Лача в 1.5 раза превышала таковую в оз. Воже, что свидетельствовало о более высоком уровне деструкционных процессов. При высокой концентрации кислорода в воде в озерах, обеспечивающейся интенсивным перемешиванием толщи воды при малых глубинах, такая разница сапробности могла быть связана с микро-

биологическими процессами, интенсивно протекающими в донных отложениях. В 1970-е годы численность сапрофитов в поверхностном слое осадков в оз. Лача была вдвое выше, чем в оз. Воже. Их количество значительно увеличивалось в зарослях растительности [Гидробиология..., 1978 (Gidrobiologiya..., 1978)]. Этим может объясняться более высокий уровень сапробности в оз. Лача, в котором степень зарастания водной растительностью в 2.7 раз выше, чем в оз. Воже. Кроме того, грунтовый комплекс в оз. Лача в 2015 г. был представлен в основном черными илами, в оз. Воже – заиленным песком, камнями, остатками растений, торфом, серыми глинами [Отчет..., 2015 (Otchet..., 2015)].

Таблица 7. Изменение сапробности на различных участках озер Воже, Лача, рек Свидь и Онега в июне 2015 г.**Table 7.** Changes of saprobity in different station of Vozhe, Lacha lakes, Svid and Onega rivers in June 2015

Водоем / Reservoir	Станция / Station	Сапробность / Saprobity	
		S _n	S _b
Воже / Vozhe	1В	1.26	1.42
	2В	2.14	1.66
	3В	1.03	1.46
	5В	1.35	1.38
	6В	1.36	1.56
	7В	1.46	1.50
	8В	1.11	1.41
	9В	1.33	1.07
	10В	1.34	1.34
	Средняя/Average		1.38±0.11
Свидь / Svid	11С	2.14	1.96
	1С	2.10	1.59
	2С	1.85	1.65
Средняя / Average		2.03±0.09	1.73±0.11
Лача / Lacha	1Л	2.11	1.81
	2Л	1.97	1.62
	3Л	1.99	1.71
	4Л	2.42	1.77
	5Л	1.97	1.66
	6Л	1.89	1.58
	7Л	2.06	1.84
	8Л	2.11	1.52
	10Л	1.99	1.87
Средняя / Average		2.06±0.05	1.71±0.04
Онега / Onega	9О	2.15	1.62

Примечание. S_n – индекс Пантле-Букк, рассчитанный по численности фитопланктона, S_b – индекс, Пантле-Букк, рассчитанный по биомассе фитопланктона.

Note. S_n – Pantle-Bukk index calculated by phytoplankton abundance, S_b – Pantle-Bukk index calculated by phytoplankton biomass.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в июне 2015 г. в альгофлоре планктона озер Воже и Лача, рек Свидь и Онега выявлено 249 таксонов рангом ниже рода: цианопрокариот – 67, золотистых – 7, диатомовых – 58, желтозеленых – 2, криптофитовых – 4, динофитовых – 5, эвгленовых – 6, зеленых – 100. Наибольшим видовым богатством характеризовались отделы зеленых водорослей и цианопрокариот, со значительным участием диатомовых. Из озер наибольшим флористическим богатством водорослей отличался планктон оз. Воже, степень зарастания которого макрофитами в 2.6 раз ниже и коэффициент условного водообмена в 2 раза выше, чем в оз. Лача. По сравнению с 1970-ыми в 2000-е годы в составе флоры в 4 раза снизилось число диатомовых видов цианопрокариот.

Средняя суммарная численность фитопланктона уменьшалась в ряду: р. Свидь (332 млн кл./л), оз. Лача (317 млн кл./л), р. Онега (152 млн кл./л) и оз. Воже (76 млн кл./л). Во всех водоемах общая численность фитопланктона

была сформирована в основном безгетероцистными цианопрокариотами. Средняя суммарная биомасса фитопланктона озер Воже и Лача и рек Свидь и Онега достигала величин, характерных водам мезотрофного типа. Во всех водоемах общая биомасса фитопланктона определялась главным образом диатомовыми водорослями.

Состав доминирующих видов фитопланктона в 2015 г. значительно отличался от такового в 1970-х годов. Численно стали лидировать цианопрокариоты *Aphanocapsa holsatica* и *Planktolyngbya limnetica*, по биомассе – диатомеи *Aulacoseira ambigua* и *Lindavia radiosa*.

Фитопланктон оз. Лача отличался самыми высокими численностью, уровнем доминирования и мелкими размерами клеток, что может быть обусловлено условиями светового лимитирования: более низкой прозрачностью и высокой степенью зарастания высшей водной растительностью. Снижение разнообразия диатомовых и увеличение обилия безгетероцистных цианопрокариот в 2000-е годы в озе-

рах могут быть обусловлены увеличением содержания аммонийного азота в воде.

Средняя величина индекса сапробности Пантле-Букка во всех водоемах соответствовала олиго-β – мезосапробной зоне органического загрязнения. Более высокие значения индекса сапробности в оз. Лача (в 1.5 раза)

по сравнению с оз. Воже свидетельствовали о более высокой степени деструкционных процессов в этом озере. Это сопровождалось снижением уровня как флористического богатства планктона, так и разнообразия доминирующих комплексов альгоценозов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания №АААА-А18-118012690096-1 и при частичной поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-04-01069а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М., Росгидромет, 2014. 61 с.
- Гидробиология озер Воже и Лача (В связи с прогнозом качества вод, перебрасываемых на юг). Л.: Наука, 1978. 276 с.
- Гидрология озер Воже и Лача. Л.: Наука, 1979. 288 с.
- Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2007. 394 с.
- Корнева Л.Г. Фитопланктон Рыбинского водохранилища: состав, особенности распределения, последствия эвтрофирования // Современное состояние экосистемы Рыбинского водохранилища. Спб.: Гидрометеоздат, 1993. С. 50–113.
- Корнева Л.Г. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома: Костромской печатный дом, 2015. 284 с.
- Костяев В.Я. Биология и экология азотфиксирующих синезеленых водорослей пресных вод. Л.: Наука, 1986. 136 с.
- Кузьменко М.И. Миксотрофизм синезеленых водорослей и его экологическое значение. Киев: Наукова Думка, 1981. 212 с.
- Макаренкова Н.Н. Состав и динамика доминирующих групп водорослей в фитопланктоне крупных озер вологодской области в 2009–2014 гг. // Актуальные проблемы биологии и экологии. Мат. XXII Всеросс. мол. конференции. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2015. С. 31–35.
- Макаренкова Н.Н. Состояние фитопланктона озера Воже в весенний период 2014–2015 гг. // Рыбохозяйственные исследования на внутренних водоемах. Мат. II Всерос. мол. Конф. Санкт-Петербург, 2016. С. 214–219.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 239 с.
- Михеева Т.М. Структура и функционирование фитопланктона при эвтрофировании вод. Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Минск, 1992. 63 с.
- Озера Лача и Воже. Материалы комплексных исследований. Л.: Наука, 1975. 35 с.
- Отчет о выполнении научно-исследовательской работы на тему: Исследование состояния и разработка научно обоснованных рекомендаций по восстановлению уровня режима водной системы оз. Воже – р. Свидь – оз. Лача. Борок, 2015. 236 с.
- Рас топчинова Е.С. Сравнительная характеристика современного состояния фитопланктона мелководного озера Воже и его притоков: первые результаты // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов европейского Севера. Мат. IV (XXVII) межд. Конф. Вологда, 2005. С. 83–85.
- Blomqvist P., Pettersson A., Hyenstrand P. Ammonium-nitrogen: A key regulatory factor causing dominance of non-nitrogen-fixing cyanobacteria in aquatic systems // Arch. Hydrobiol. 1994. Vol. 132. № 2. P. 141–164.
- Coops H., Beklioglu M., Crisman T. The role of water-level fluctuations in shallow lake ecosystems – workshop conclusions // Hydrobiologia. 2003. Vol. 506–509. P. 23–27.
- Gibson C.E., Foy R.H., Lennox S.D. The rise and rise *Planktothrix agardhii* in Lough Neagh 1969–1997 [27 Congress of the Inter. Ass. of Theor. and Appl. Limnol. Dublin, 1998] // Int. Ver. Theor. and angew. Limnol. 2001. Vol. 27. № 5. P. 2913–2916.
- Havens K.E., Philips E.J., Cichra M.F., Li B.-L. Light availability as a possible regulator of cyanobacteria species composition in a shallow subtropical lake // Freshwater Biology. 1998. Vol. 39. № 3. P. 547–556.
- Hindak F., Trifonova I.S. Morphology and ecology of three *Limnothrix* species (Cyanophyta) from the hypolimnion of highly eutrophic lake in Latvia, USSR // Biologia (Bratislava). 1989. № 1. P. 1–11.
- Nõges P., Kõgu M., Nõges T. Role of climate and agricultural practice in determining matter discharge into large, shallow Lake Võrtsjarv, Estonia // Hydrobiologia. 2007. Vol. 581. P. 125–134.
- Reynolds C., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // J. Plankton Res. 2002. Vol. 24. P. 417–428.
- Scheffer M., Rinaldi S., Gragnani A., Mur L.R., Van Nes E.H. On the dominance of filamentous Cyanobacteria in shallow, turbid lakes // Ecology. 1997. Vol. 78 (1). P. 272–282.
- Sládeček V. System of Water Quality from the Biological Point of View // Arch. Hydrobiol. 1973. Beih. 7. Ergebnisse der Limnologie. H. 7. 218 s.
- Wegl R. Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser. 1983. Band 26. 175 s.

REFERENCES

- Blomqvist P., Pettersson A., Hyenstrand P. Ammonium-nitrogen: A key regulatory factor causing dominance of non-nitrogen-fixing cyanobacteria in aquatic systems. *Arch. Hydrobiol.*, 1994, vol. 132, no. 2, pp. 141–164.
- Coops H., Beklioglu M., Crisman T. The role of water-level fluctuations in shallow lake ecosystems – workshop conclusions. *Hydrobiologia*, 2003, vol. 506–509, pp. 23–27.
- Gibson C.E., Foy R.H., Lennox S.D. The rise and rise *Planktothrix agardhii* in Lough Neagh 1969–1997 [27 Congress of the Inter. Ass. of Theor. and Appl. Limnol. Dublin, 1998]. *Int. Ver. Theor. and angew. Limnol.*, 2001, vol. 27, no. 5, pp. 2913–2916.
- Gidrobiologiya ozer Vozhe i Lacha* [Hydrobiology of Vozhe and Lacha lakes] (In connection with the forecast of the quality of water transferred to the south). Leningrad, Nauka, 1978. 276 p. (In Russian)
- Gidrologiya ozer Vozhe i Lacha* [Hydrology of Vozhe and Lacha lakes]. Leningrad, Nauka, 1979. 288 p. (In Russian)
- Havens K.E., Philips E.J., Cichra M.F., Li B.-L. Light availability as a possible regulator of cyanobacteria species composition in a shallow subtropical lake. *Freshwater Biology*, 1998, vol. 39, no. 3, pp. 547–556.
- Hindak F., Trifonova I.S. Morphology and ecology of three *Limnothrix* species (Cyanophyta) from the hypolimnion of highly eutrophic lake in Latvia, USSR. *Biologia (Bratislava)*, 1989, no. 1, pp. 1–11.
- Kitaev S.P. Fundamentals of Limnology for Hydrobiologists and Ichthyologists. Petrozavodsk, Karel'skiy nauch. tsentr RAN, 2007. 394 p. (In Russian)
- Korneva L.G. Current State of the Rybinsk Reservoir Ecosystem. *Fitoplankton Rybinskogo vodokhranilishcha: sostav, osobennosti raspredeleniya, posledstviya evtrofirovaniya* [Phytoplankton of the Rybinsk Reservoir: Composition, Distribution Features, Consequences of Eutrophication], Sankt-Peterburg, Gidrometeoizdat, 1993, pp. 50–113. (In Russian)
- Korneva L.G. Phytoplankton of reservoirs in the Volga basin. Kostroma, Kostromskoy pechatnyy dom, 2015. 284 p. (In Russian)
- Kostyaev V.Ya. Biology and ecology of nitrogen-fixing blue-green algae of fresh waters. Leningrad, Nauka, 1986, 136 p. (In Russian)
- Kuzmenko M.I. Mixotrophism of blue-green algae and its ecological significance. Kiev, Naukova Dumka, 1981, 212 p. (In Russian)
- Makarenkova N.N. Composition and dynamics of the dominant groups of algae in the phytoplankton of large lakes in the Vologda region in 2009–2014. *Aktual'nyye problemy biologii i ekologii. Mat. XXII Vseross. mol. konferentsii* [Actual problems of biology and ecology. Mat. XXII All-Russian. youth conf.]. Syktyvkar, Komi nauchnyy tsentr UrO RAN, 2015, pp. 31–35. (in Russian)
- Makarenkova N.N. The state of phytoplankton in Lake Vozhe in spring 2014–2015. *Rybokhozyaystvennyye issledovaniya na vnutrennikh vodoyemakh. Mat. II Vseros. mol. konf.* [Fisheries research in inland waters. Mat. II All-Russia. youth conf.]. St. Petersburg, 2016, pp. 214–219. (In Russian)
- Metodika izucheniya biogeocenoza vnutrennikh vodoemov [Methods for studying biogeocenoses of inland water]. Moscow, Nauka, 1975. 239 p. (In Russian)
- Mikheeva T.M. Structure and functioning of phytoplankton during eutrophication of waters. *Extended Abstract of Doct. Biol. Sci. Diss.* Minsk, 1992. 63 p. (In Russian)
- Nõges P., Kägu M., Nõges T. Role of climate and agricultural practice in determining matter discharge into large, shallow Lake Võrtsjarv, Estoni. *Hydrobiologia*, 2007, vol. 581, pp. 125–134.
- Ozera Lacha i Vozhe [Lacha and Vozhe lakes]. Comprehensive research materials. Leningrad, Nauka, 1975. 35 p. (In Russian)
- Report on the implementation of research work on the topic: Research of the state and development of scientifically grounded recommendations for the restoration of the level regime of the water system of Lake Vozhe – Svid River – Lake Lacha. Borok, 2015, 236 p. (In Russian)
- Reynolds C., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.*, 2002, vol. 24, pp. 417–428.
- Rostopchinova E.S. Comparative characteristics of the current state of phytoplankton of the shallow lake Vozhe and its tributaries: first results. *Biologicheskkiye resursy Belogo morya i vnutrennikh vodoyemov yevropeyskogo Severa. Mat. IV (XXVII) mezhd. konf.* [Biological resources of the White Sea and inland water bodies of the European North. Mat. IV (XXVII) Int. Conf.]. Vologda, 2005, pp. 83–85. (In Russian)
- Scheffer M., Rinaldi S., Gagnani A., Mur L.R., Van Nes E.H. On the dominance of filamentous Cyanobacteria in shallow, turbid lakes. *Ecology*, 1997, vol. 78 (1), pp. 272–282.
- Second assessment Rosgydromet's report of climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Executive summary. Moscow, Rosgydromet, 2014, 61 p. (In Russian)
- Sládeček V. System of Water Quality from the Biological Point of View. *Arch. Hydrobiol.*, 1973, Beih. 7. Ergebnisse der Limnologie. Heft. 7, 218 s.
- Wegl R. Index für die Limnosaprobität. *Wasser und Abwasser*, 1983, Band 26, 175 s.

**STRUCTURE AND DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON
OF LARGE SHALLOW-WATER OVERGROWN LAKES
(VOZHE AND LACHA, VOLOGDA AND ARKHANGELSK REGIONS, RUSSIA)**

L. G. Korneva¹, I. V. Mitropolskaya¹, N. N. Makarenkova², A. I. Tsvetkov¹

¹*Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences,
Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, 152742 Russia, e-mail: korneva@ibiw.ru*

²*Vologda laboratory of State Research Institute on Lake and River Fisheries, Russia*

A comparative analysis of the diversity, abundance, biomass, composition of dominant species, size characteristics of phytoplankton and saprobity of the waters of shallow large overgrown lakes Vozhe, Lacha, as well as the rivers Svid and Onega in June 2015 is presented. The data obtained are compared with the results of previous studies in the 1970s years. It was found that in the 2000s, there was a significant increase in the number of phytoplankton in lakes and a change in the composition of dominant species. Non-heterocyst cyanoprokaryotes (*Aphanocapsa holsatica*, *Planktolyngbya limnetica*) began to dominate in phytoplankton, which is associated with increase of ammonium concentration. The average biomass of phytoplankton in lakes (2.6 g/m³) has remained practically unchanged since the 1970s and was typical for mesotrophic type waters. In the Lacha Lake characterized by lower transparency, high degree of overgrowth, salinity and saprobity of waters, phytoplankton was distinguished by lower floristic diversity, higher abundance, dominance level, and the smallest cell sizes.

Keywords: Vozhe and Lacha lakes, phytoplankton diversity, dominant species, abundance, biomass, saprobity, eutrophication