

УДК 574.583:551.435.3 (282.247.211)

## СТРУКТУРА И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В ОТКРЫТОЙ И ЗАКРЫТОЙ ЛИТОРАЛИ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА (ПИНЬГУБА, ПУХТИНСКАЯ БУХТА)

Т. А. Чекрыжева, Н. М. Калинкина

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН*

В фитопланктоне открытой и закрытой литорали Онежского озера выявлено 116 таксонов водорослей рангом ниже рода с преимущественным видовым разнообразием диатомовых (44 % от общего числа видов) и зеленых (28 %) водорослей. На протяжении всего периода открытой воды количественно в планктоне доминировали диатомовые водоросли, создающие в среднем 74–97,5 % от общей численности фитопланктона и 33,2–96,4 % от общей биомассы. Средние значения фитопланктона в литорали озера не превышали 276,5 тыс. кл./л для численности и 0,52887 г/м<sup>3</sup> для биомассы весной, 137,9 тыс. кл./л и 0,23581 г/м<sup>3</sup> летом и 95,5 тыс. кл./л и 0,39867 г/м<sup>3</sup> осенью. Биомасса мелкоразмерной фракции (нанопланктон) была наибольшей летом (июль).

Ключевые слова: фитопланктон; таксономический состав; экология; численность; биомасса; литораль; Онежское озеро.

### **T. A. Chekryzheva, N. M. Kalinkina. STRUCTURE AND SEASONAL DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON COMMUNITIES IN THE EXPOSED AND SHELTERED LITTORAL ZONES OF LAKE ONEGO (PINGUBA BAY, PUKHTINSKAYA BAY)**

Surveys showed phytoplankton in exposed and sheltered parts of the Lake Onego littoral zone to comprise 116 algal taxa of below-genus level. Its species diversity was mainly constituted by diatoms (44 % of the total number of species) and green algae (28 %). Throughout the open water period, the plankton was dominated by diatoms, which on average contributed 74–97.5 % to total phytoplankton abundance and 33.2–96.4 % to its total biomass. Average phytoplankton amounts in the lake's littoral zone did not exceed 276,500 cells/l in abundance and 0.52887 g/m<sup>3</sup> in biomass in spring, 137,900 cells/l and 0.23581 g/m<sup>3</sup> in summer, and 95,500 cells/l and 0.39867 g/m<sup>3</sup> in autumn. The biomass of the fine fraction (nanoplankton) was the highest in summer (July).

Key words: phytoplankton; taxonomic composition; ecology; abundance; biomass; littoral zone; Lake Onego.

---

Онежское озеро (площадь зеркала 9720 км<sup>2</sup>, объем водной массы 295 км<sup>3</sup>, средняя глубина 30 м, максимальная 120 м) является вторым по величине пресноводным водоемом

Европы. Вода озера имеет низкую минерализацию (36–46 мг/л), невысокую концентрацию биогенных элементов ( $P_{\text{общ.}}$  10–14 мкг/л и  $N_{\text{общ.}}$  2,52–0,65 мг/л) [Онежское озеро..., 2010].

Литоральная зона в наибольшей степени подвержена антропогенному воздействию и выполняет функцию барьера между водосборной территорией и пелагическими районами водоемов. В Онежском озере преобладает каменисто-песчаная литораль, которая распространяется до глубины 10 м и занимает 7 % площади озера [Распопов, 1975; Онежское озеро..., 2010].

Литоральный фитопланктон Онежского озера изучается с середины прошлого столетия. Сезонными исследованиями фитопланктона в 1967–1968 гг. [Петрова, 1975] были охвачены различные районы литоральной зоны озера. В дальнейшем изучался фитопланктон в литорали мелководной части залива Большое Онего (Горская губа), а также на мелководье западного побережья центрального плеса озера (Шокшинская бухта, Уйская и Пухтинская губы) и в Пиньгубе [Вислянская, 1982]. В летний сезон 2006 г. исследования литорального фитопланктона были выполнены в различных районах озера (Кондопожская, Уницкая, Лижемская губы, заливы Заонежский, Повенецкий и Большое Онего) [Чекрыжева, 2008].

В связи с разработкой научных основ биомониторинга Онежского озера [Калинкина и др., 2015] помимо изучения пелагиали необходимы исследования литоральной зоны, поскольку именно в прибрежных участках фиксируются первые отклики водной экосистемы на воздействие природных и антропогенных факторов. Отсутствие сезонных мониторинговых наблюдений в литоральной зоне Онежского озера определяет необходимость изучения состояния фитопланктонных сообществ, в том числе его мелкой размерной фракции (нанофитопланктон) на разных типах литорали. Важность мониторинговых исследований литорали заключается в получении новой информации о видовом составе и обилии фитопланктона

разнотипных участков литорали озера, а полученные результаты могут служить основой для выявления закономерностей изменения экосистемы глубоких холодноводных озер в условиях климатических и различного рода природных и антропогенных воздействий.

Цель настоящей работы заключалась в определении видового состава, таксономической структуры, доминирующего комплекса видов литорального фитопланктона и их экологических характеристик, изучении сезонной изменчивости количественных показателей фитопланктона в открытой и закрытой литорали Онежского озера.

## Материалы и методы

Исследования фитопланктона выполнялись в период открытой воды (два раза в месяц с мая по октябрь) в различных типах литорали Онежского озера: открытая каменисто-песчаная литораль Пухтинской бухты (2013–2014 гг.) и закрытая зарастающая песчаная литораль Пиньгубы (2014 г.).

Фитопланктонные пробы (объемом 1 л) консервировали 40%-м формалином, концентрировали методом прямой фильтрации через мембранные фильтры с диаметром пор 0,95–1,02 мкм [Кузьмин, 1975] до объема 5 мл. Количественный учет клеток фитопланктона и определение их размеров проводили в камере Нажотта объемом 0,02 см<sup>3</sup>. Биомассу фитопланктонных организмов вычисляли стандартным счетным объемно-весовым методом [Федоров, 1979] с использованием таблиц [Кузьмин, 1985]. Экологические характеристики видов водорослей устанавливали из работ [Прошкина-Лавренко, 1953; Sladecsek, 1973; Давыдова, 1985; Вассер и др., 1989; Барина и др., 2006]. Для оценки ценотической структуры альгоценозов использовали индекс

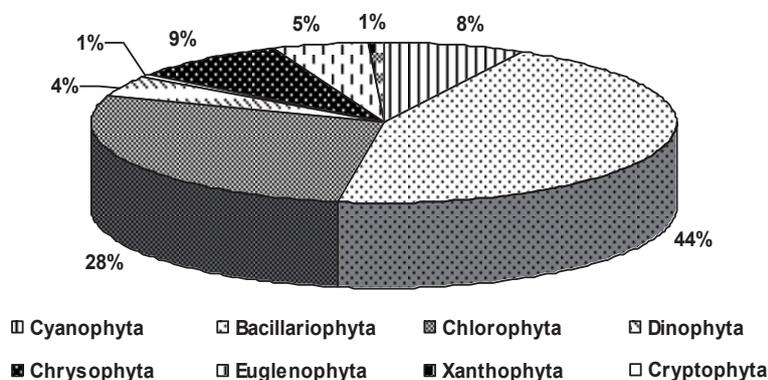


Рис. 1. Таксономический состав фитопланктона литорали Онежского озера

разнообразия Шеннона ( $H_{ш}$ ), рассчитанный по биомассе [Мэгарран, 1992]. Степень флористического сходства оценивали, используя коэффициент Серенсена [Мэгарран, 1992]. Нанопланктонной фракцией считали микроводоросли размером 10–30 мкм [Михеева и др., 1998].

## Результаты и обсуждение

Структурная организация сообществ планктонных водорослей является показателем, определяющим состояние водных объектов. Неотъемлемой частью изучения структурной организации фитопланктонного сообщества является оценка его таксономического разнообразия. Общий список видов фитопланктона, выявленных во всех изученных типах литорали озера в период открытой воды 2013–2014 гг., насчитывает 116 таксонов рангом ниже рода, в процентном соотношении по основным систематическим отделам, представленным на рисунке 1.

Таксономическое разнообразие фитопланктона открытой литорали в Пухтинской бухте и закрытой литорали в Пиньгубе за период открытой воды в течение 2013–2014 гг. исследований определяли диатомовые (Bacillariophyta), зеленые (Chlorophyta), синезеленые (Cyanophyta), золотистые (Chrysophyta), эвгленовые (Euglenophyta) и динофитовые (Dinophyta) водоросли. Наиболее богаты видами диатомовые (44 % от общего числа видов), зеленые (28 %), золотистые (9 %) и синезеленые (8 %) водоросли (рис. 2), составляющие в сумме 90 % от общего видового состава.

Наиболее разнообразны в литоральном фитопланктоне диатомовые водоросли, представленные видами из родов *Aulacoseira*, *Tabellaria*, *Fragilaria*, *Cyclotella*, *Asterionella*, *Synedra*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Cocconeis*, *Diatoma*, *Eunotia*

и др. Разнообразие зеленых водорослей формировалось в основном хлорококковыми (*Monoraphidium*, *Koliella*, *Oocystis*, *Elakatotrix*, *Scenedesmus*, *Dictyosphaerium*, *Pediastrum*, *Crucigenia*), десмидиевыми (*Cosmarium*) и вольвоксовыми (*Chlamydomonas*), золотистых водорослей – видами из родов *Dinobryon*, *Chrysococcus*, *Kephyryon*, *Mallomonas*, эвгленовых – из родов *Trachelomonas*, *Euglena*, *Phacus*, динофитовых – из родов *Ceratium*, *Peridinium*, *Glenodinium*, криптофитовых – из рода *Cryptomonas*, синезеленых – из родов *Anabaena*, *Aparizomenon*, *Snowella*, *Planktothrix*, *Planktolyngbia*, желтозеленых – из рода *Tribonema*.

Сравнительный анализ флористического состава фитопланктона (по коэффициентам Серенсена) в открытой (Пухтинская бухта) и в закрытой (Пиньгуба) литорали озера, изученных в 2013–2014 гг., выявил их сходство между собой ( $K_s = 0,68$ ), с видовым составом литорального фитопланктона разных районов, выявленным в предыдущие годы исследований [Петрова, 1975; Вислянская, 1982; Чекрыжева, 2008], а также с видовым составом пелагического фитопланктона озера [Чекрыжева, 2012, 2015].

Структура доминирующего комплекса водорослей в пелагическом планктоне озера включает небольшое число видов, что характерно для холодноводных глубоководных озер умеренного климата. Массовыми видами в планктоне озера в течение длительного времени наблюдений отмечаются *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen, *Asterionella formosa* Hassal, *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) Hawort., *Aulacoseira alpigena* (Grunow) Krammer, *Diatoma tenue* C. Agardh, *Fragilaria crotonensis* Kitton, а также ряд видов рода *Cyclotella* [Вислянская, 1982; Петрова, 1990; Чекрыжева, 2012]. Набор видов, преобладающих в литоральном планктоне озера в период исследований 2013–2014 гг.,

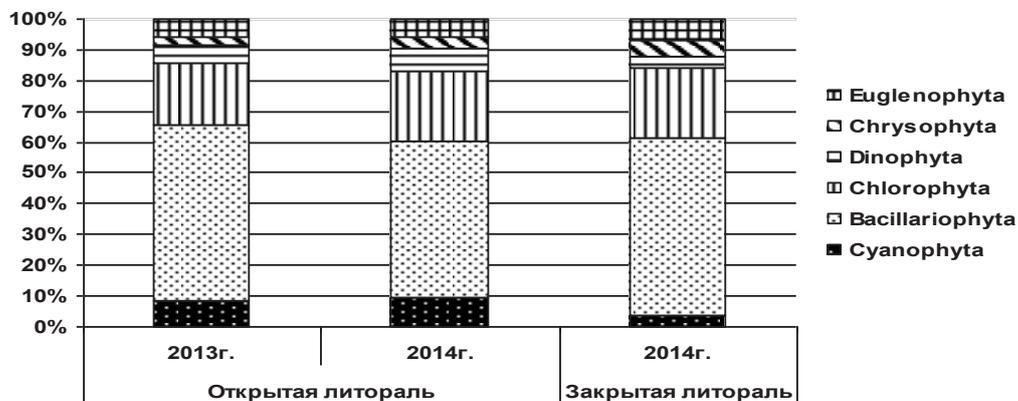


Рис. 2. Таксономический состав фитопланктона различных типов литорали озера в 2013–2014 гг.

Таблица 1. Массовые виды фитопланктона разных типов литорали озера и их экологические характеристики

Вид	Экология	Пухтинская бухта (открытая литораль)	Пиньгуба (закрытая литораль)
<b>Bacillariophyta</b>			
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	P k h l a l o – β	+	+
<i>Aulacoseira islandica</i> (O. Müller) Simonsen	P a i n i β	+	+
<i>A. italica</i> (Ehrenberg) Simonsen	P k i n i o – β	+	+
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	P k i n a l o – β	+	-
<i>F. crotonensis</i> Kitton	P k h l a l β – o	+	+
<i>Cyclotella comta</i> (Ehrenberg) Kützing var. <i>comta</i>	P k h l a l β – a	+	-
<i>Diatoma tenuis</i> Ag.	B k h l i β – α	-	+
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	P k h b i β	+	+
<i>T. flocculosa</i> (Roth.) Kützing	B a h b a c o	+	-
<b>Cyanophyta</b>			
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	P k h l i β – α	+	-
<b>Euglenophyta</b>			
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	P k i n i o – β	+	-
<i>T. hispida</i> (Perty) Stein emend Delf.	P k i n i β	-	+
<b>Chlorophyta</b>			
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	P k h l i o – β	+	-
<i>Planctococcus sphaerocystiformis</i> O. Korshikov	P k h b i β	-	+
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat.	P k i n i o	-	+
<b>Dinophyta</b>			
<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müller) Dujardin	P k h b a c o	-	+
<i>Glenodinium quadridens</i> (Stein.) Bourr.	P k h l a l	-	+
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemm.	P k i n i o	+	-
<i>P. cinctum</i> (Müll.) Ehrenberg	P k i n i o – β	+	-

Примечание. (+/-) – присутствие/отсутствие вида. Местообитание: планктонный (P), бентосный (B); географическое распространение: космополитный (k), аркто-альпийский (a-a); галобность: галофилы (hl), индифференты (in), галофобы (hb); отношение к pH: ацидофилы (ac), индифференты (i), алкалифилы (al); сапробность: олигосапробы (o), олиго-б-мезосапробы (o – b), б-мезосапробы (b), б-а-мезосапробы (b – a).

составлял 13 и 11 видов соответственно в открытой и в закрытой литорали (табл. 1). Доминирующие комплексы видов в фитопланктонных сообществах изученных типов литорали озера оказались схожими с изученными ранее [Петрова, 1975; Вислянская, 1982].

Эколого-географический анализ показал, что в составе массовых видов в открытой и закрытой литорали озера преобладали космополитные виды (89%), преимущественно планктонные формы (95%). По отношению к солености воды наиболее разнообразны индифференты, составляющие 42% от общего числа видов, при существенной доле галофильных видов (37%). По отношению к кислотности водной среды (pH) также преобладали виды-индифференты (63%) при значительной доле алкалифильных (26%) форм. Из всех видов – индикаторов сапробности большинство (84%) относится к олигосапробным, олиго-б-мезосапробным и б-мезосапробным формам (рис. 3).

В открытой литорали в течение сезона вегетации видовое разнообразие фитопланктона варьировало от 0,69 до 2,07 в 2013 г.

(с максимумом в июле) и от 1,24 до 1,82 в 2014 г. (с двумя максимумами в июне и сентябре) (рис. 4). В закрытой литорали Пиньгубы (2014 г.) значения индекса видового разнообразия изменялись в пределах 1,04–1,72 (см. рис. 4). Наиболее разнообразным фитопланктонное сообщество в 2013 г. было в июле и октябре, а в 2014 г. – в июне и сентябре. В закрытой литорали озера с мая по август значения индекса видового разнообразия менялись мало, в дальнейшем наблюдалось снижение видового разнообразия.

В фитопланктоне открытой и закрытой литорали озера, в результате анализа его размерно-видовой структуры, выявлено 17 видов, относящихся к нанопланктонной размерной фракции: диатомовые (Bacillariophyta) – 2, зеленые (Chlorophyta) – 10, золотистые (Chrysophyta) – 3, эвгленовые (Euglenophyta) – 2 вида (табл. 2). Набор нанопланктонных видов, обнаруженных в открытой и в закрытой литорали озера, составлял 17 и 12 видов соответственно (см. табл. 2). Степень сходства видового состава нанопланктонных видов изученных

Число видов

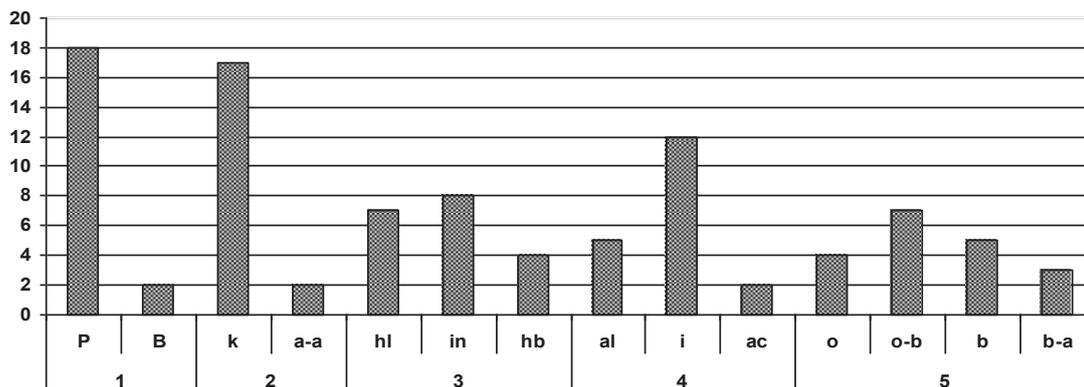


Рис. 3. Распределение массовых видов водорослей изученных типов литорали по экологическим группам. Обозначения – как в табл. 1.

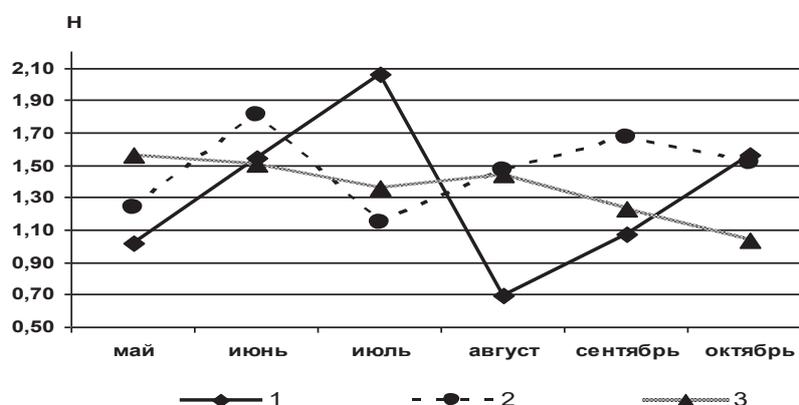


Рис. 4. Сезонная изменчивость значений индекса видового разнообразия Шеннона в открытой литорали в 2013 г. (1), в 2014 г. (2) и в закрытой литорали в 2014 г. (3)

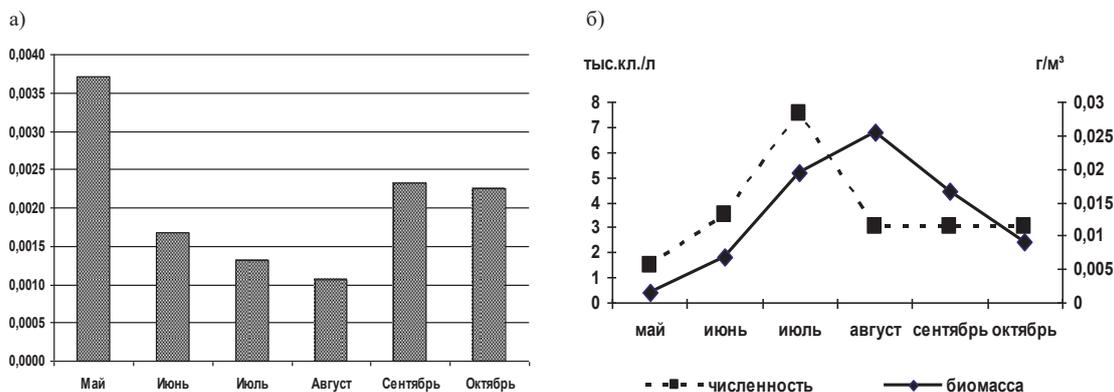


Рис. 5. Сезонная динамика структурных показателей фитопланктона открытой литорали озера в 2013 г.: а) среднеценотический объем (мкм³), б) численность и биомасса нанопланктона

типов литорали была высокой и составляла 0,83 (по коэффициенту Серенсена).

Летом (июль, август) 2013 г. в открытой литорали озера как по численности, так и по биомассе преобладал мелкоразмерный фитопланктон (нанопланктон), с наименьшими значениями среднеценотического объема (рис. 5). В составе этой фракции были

представители зеленых водорослей (хлорококковые – *Monoraphidium*, *Koliella*, *Chlamydomonas*), а также мелкоразмерные диатомовые (*Cyclotella*) и эвгленовые (*Trachelomonas*).

В 2014 г. в открытой литорали озера среднеценотический объем в течение периода открытой воды мало менялся по месяцам, наибольшие объемы отмечены в мае при

Таблица 2. Видовой состав нанофитопланктона разных типов литорали озера

Вид	Пухтинская бухта (открытая литораль)	Пиньгуба (закрытая литораль)
<b>Bacillariophyta</b>		
<i>Cyclotella comta</i> (Ehrenberg) Hakansson	+	+
<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.	+	+
<b>Chrysophyta</b>		
<i>Chrysococcus punctiformis</i> Pasch.	+	+
<i>Ch. rysococcus rufescens</i> Klebs	+	+
<i>Kephyron cordiformis</i> Naum	+	+
<b>Chlorophyta</b>		
<i>Chlamydomonas monadina</i> Stein	+	+
<i>Cosmarium margaritifera</i> Menegh.	+	+
<i>C. phaseolum</i> Bréb.	+	-
<i>Coelastrum microporum</i> Näg	+	+
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turp.) Bréb	+	+
<i>S. bjugatus</i> (Turp.) Lagerh.	+	+
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thur.) Kom. -Legn.	+	-
<i>M. mirabile</i> (W. & G. S. West) Pankov	+	-
<i>Koliella longiseta</i> (Vischer.) Hind.	+	-
<i>Oocystis lacustris</i> Chod.	+	-
<b>Euglenophyta</b>		
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	+	+
<i>T. hispida</i> (Perty) Stein emend Delf.	+	+

доминировании в планктоне крупноразмерной нитчатой диатомовой водоросли *Aulacoseira islandica*. Мелкоразмерный фитопланктон (нанофитопланктон) как по численности, так и по биомассе преобладал в августе и сентябре (рис. 6).

Среднеценотический объем фитопланктона в закрытой литорали в 2014 г. мало менялся в течение периода открытой воды (рис. 7, а),

в то время как показатели численности и биомассы нанофитопланктона возрастали в июне с максимальными значениями в июле (рис. 7).

Сезонная динамика литорального фитопланктона Онежского озера соответствует общей схеме годового цикла развития фитопланктона в больших олиготрофных озерах умеренного пояса [Петрова, 1971, 1990].

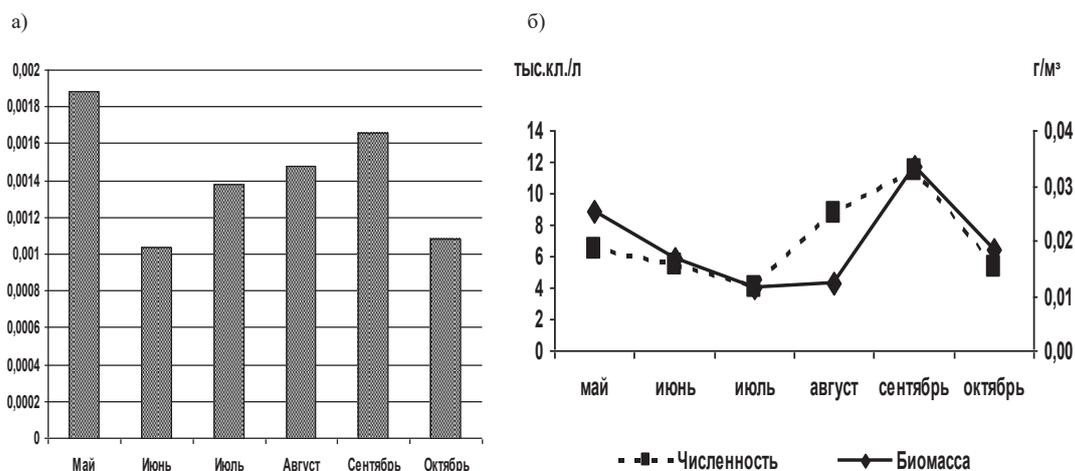


Рис. 6. Сезонная динамика структурных показателей фитопланктона открытой литорали озера в 2014 г.: а) среднеценотический объем (мкм<sup>3</sup>), б) численность и биомасса нанофитопланктона

Сезонный ход численности и биомассы фитопланктона в открытой литорали озера в 2013 г. характеризовался кривой с двумя максимумами – в весенний период (май) и в летний (июль) (рис. 8). Их средние значения весной не превышали 250,0 тыс. кл./л для численности и 1,0 г/м<sup>3</sup> для биомассы. Летом средние показатели численности были соизмеримы с весенним максимумом, в то время как биомасса была значительно ниже (0,3 г/м<sup>3</sup>). Начиная с августа наблюдался спад количественных показателей развития фитопланктона. Диатомовые водоросли в течение 2013 г. в открытой литорали озера составляли подавляющую долю численности и биомассы фитопланктона (табл. 3). За исключением августа, когда в планктоне преобладали синезеленые водоросли, вклад которых в общую численность фитопланктона составлял 81 % (*Anabaena*), и эвгленовые водоросли,

Таблица 3. Сезонное изменение относительной численности (N, %) и биомассы (B, %) диатомовых водорослей в открытой литорали в разные годы

Месяц	Год			
	2013		2014	
	N	B	N	B
V	99,2	99,1	99,3	95,5
VI	75,1	88,1	96,1	96,1
VII	97,1	52,0	78,2	82,4
VIII	14,7	33,8	97,1	93,6
IX	98,5	92,8	87,8	80,2
X	96,6	89,3	57,1	75,2

создававшие 4,3 % от общей численности фитопланктона (*Trachelomonas*) (см. табл. 3).

На протяжении всего периода наблюдений в 2014 г. в планктоне открытой литорали озера наблюдали три пика в развитии количественных

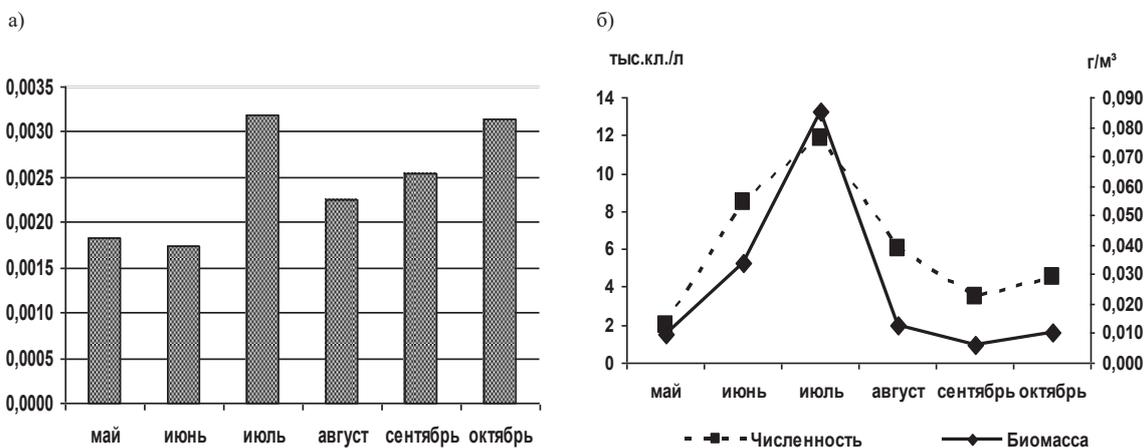


Рис. 7. Сезонная динамика структурных показателей фитопланктона закрытой литорали озера в 2014 г.: а) среднецелотический объем (мкм<sup>3</sup>), б) численность и биомасса нанофитопланктона

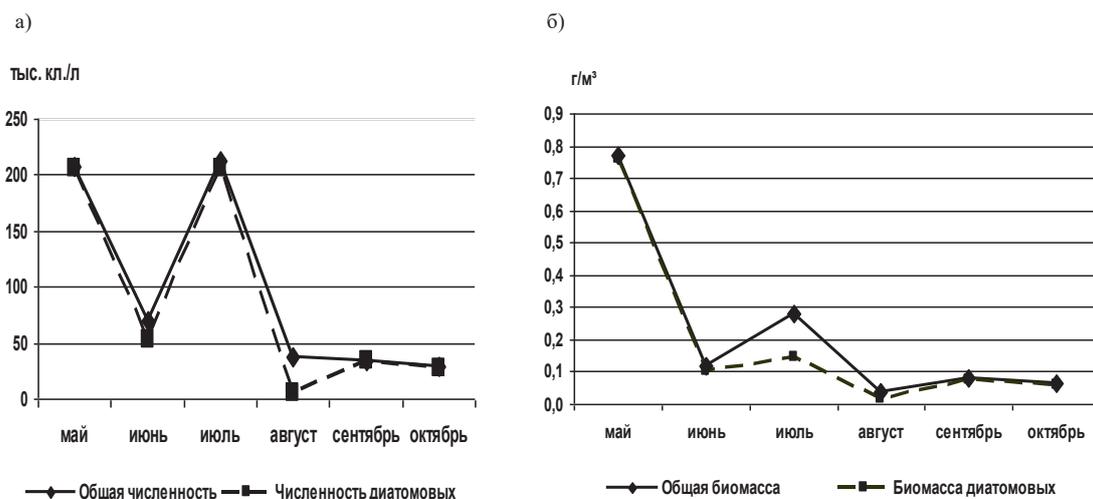


Рис. 8. Сезонная динамика количественных показателей фитопланктона открытой литорали озера в 2013 г.: а) общая численность и численность диатомовых водорослей; б) общая биомасса и биомасса диатомовых водорослей

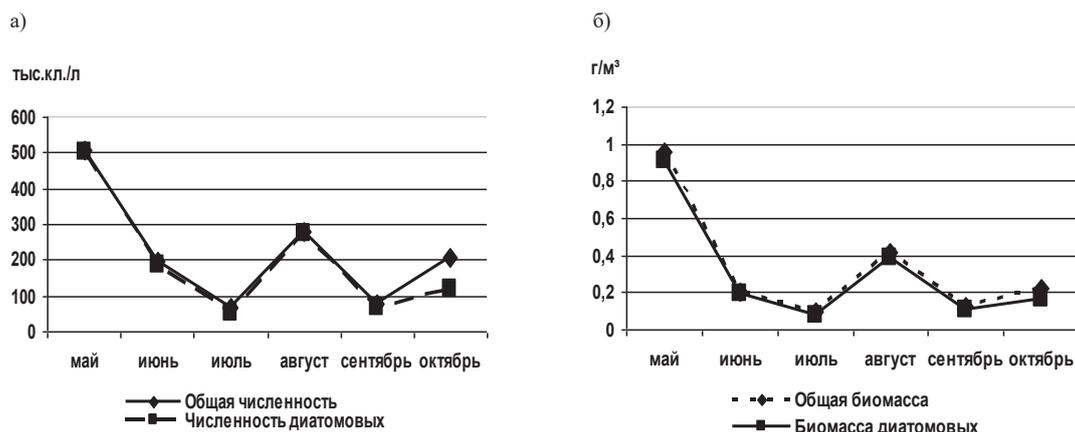


Рис. 9. Сезонная динамика количественных показателей фитопланктона открытой литорали озера в 2014 г.: а) общая численность и численность диатомовых водорослей; б) общая биомасса и биомасса диатомовых водорослей

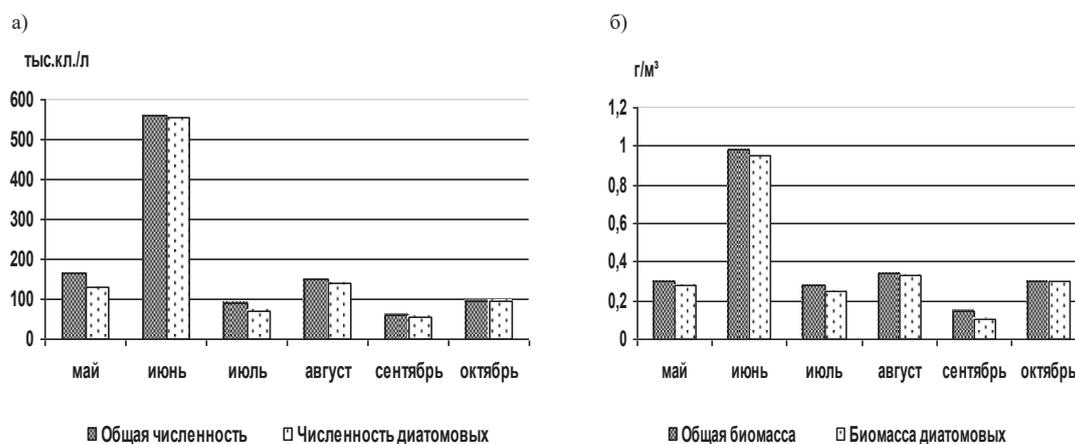


Рис. 10. Сезонная динамика количественных показателей фитопланктона закрытой литорали озера в 2014 г.: а) общая численность и численность диатомовых водорослей; б) общая биомасса и биомасса диатомовых водорослей

показателей фитопланктона (рис. 9) с доминированием диатомовых водорослей как по численности, так и по биомассе (см. табл. 3). Максимальные величины, отмеченные весной (май), достигали 507,25 тыс. кл./л и 0,954 г/м<sup>3</sup>. Массовым видом была диатомовая водоросль *Aulacoseira islandica*, создающая 93,7 % от общей численности и 96,1 % от общей биомассы фитопланктона. В июле интенсивно вегетировали зеленые водоросли (*Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Sphaerocystis*, *Cosmarium*, *Pediastrum*, *Planctococcus*), составляя 19,3 % от общей численности фитопланктона, на долю синезеленых (*Anabaena*) в октябре приходилось 42,3 % общей численности фитопланктона, а наибольшая численность (10,5 % от общей численности) эвгленовых (*Trachelomonas*) была зафиксирована в сентябре.

В период исследований 2014 г. в закрытой литорали озера был отмечен один весенний

(июнь) максимум численности (793,0 тыс. кл./л) и биомассы (1,451 г/м<sup>3</sup>) фитопланктона, обусловленный интенсивной вегетацией диатомовых водорослей (99,1 % от общей численности и 97,4 % от общей биомассы) (рис. 10). Средние значения численности фитопланктона в мае, а также с июля по октябрь были невысокими и не превышали 163,0 ± 41,0 тыс. кл./л, значения биомассы фитопланктона достигали 0,342 ± 0,19 г/м<sup>3</sup>. Структуру альгоценозов в течение всего периода открытой воды определяли диатомовые водоросли, создавая от 80 до 99 % общей численности и от 70 до 97,4 % общей биомассы (табл. 4). В летние и осенние месяцы наблюдали вегетацию синезеленых, зеленых (*Chlamydomonas*, *Coccolosphaerium*, *Monoraphidium*, *Scenedesmus*, *Sphaerocystis*, *Cosmarium*, *Pediastrum*, *Staurastrum*), динофитовых (*Peridinium*, *Ceratium*) и эвгленовых (*Trachelomonas*) водорослей.

Таблица 4. Сезонное изменение относительной численности (N) и биомассы (B) диатомовых водорослей в закрытой литорали

Показатель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
N, % от общей	79,8	99,1	82	93,8	93,2	96,4
B, % от общей	94	97,4	88,2	96,8	70	97

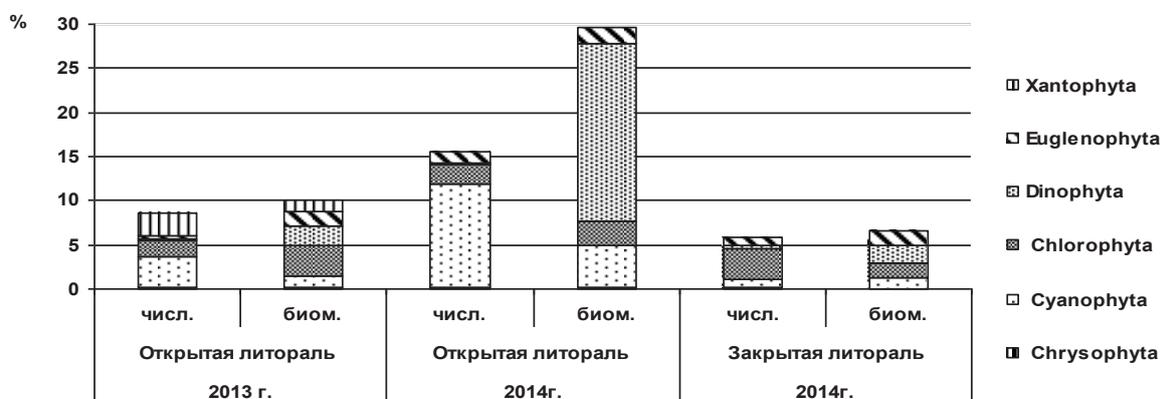


Рис. 11. Соотношение численности и биомассы основных систематических отделов водорослей в литоральном фитопланктоне озера

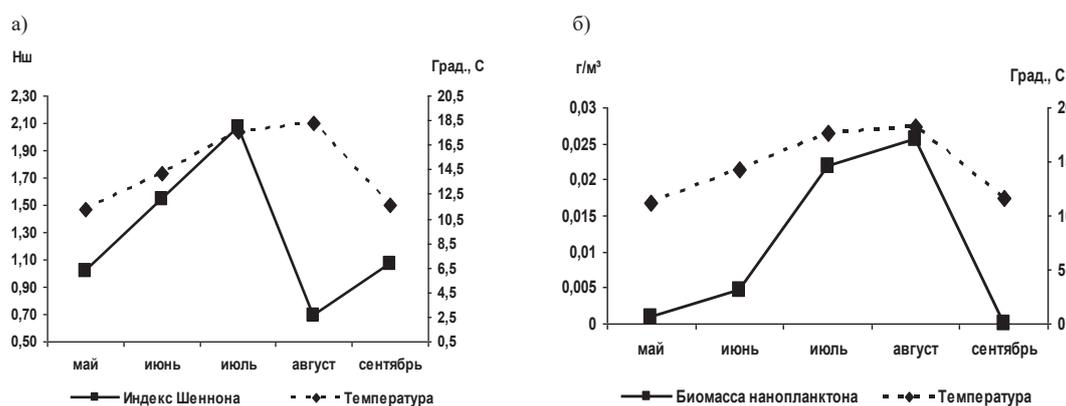


Рис. 12. Сезонное изменение видового разнообразия фитопланктона и температуры воды (а), биомассы нанопланктона и температуры воды (б) в открытой литорали озера в 2013 г.

Анализ количественных показателей литорального фитопланктона озера показал, что в среднем за период открытой воды основную долю в общей численности (84,5–94,1 %) и биомассе (70,4–93,5 %) создают диатомовые водоросли. Вклад других отделов водорослей в общие количественные показатели литорального фитопланктона был значительно меньшим (рис. 11). В открытой литорали в 2013 г. и в закрытой литорали в 2014 г. средние значения всех групп водорослей не превышали 3,5 %. В 2014 г. в открытой литорали озера синезеленые водоросли формировали 11,8 % всей численности фитопланктона, а динофитовые создавали 20,2 % всей биомассы фитопланктона (см. рис. 11).

Сезонная изменчивость структурных и количественных показателей фитопланктона

в больших глубоководных холодноводных озерах связана с температурой воды. С повышением температуры воды в летнее время наблюдали увеличение видового разнообразия (рис. 12, а) и количественных показателей нанопланктона (рис. 12, б), а также снижение количественных показателей фитопланктона (рис. 13–15), представленного главным образом диатомовыми водорослями.

## Выводы

В фитопланктоне открытой и закрытой литорали Онежского озера за период наблюдений 2013–2014 гг. (май, июнь, июль, август, сентябрь, октябрь) выявлено 116 таксонов водорослей рангом ниже рода. Основу списка

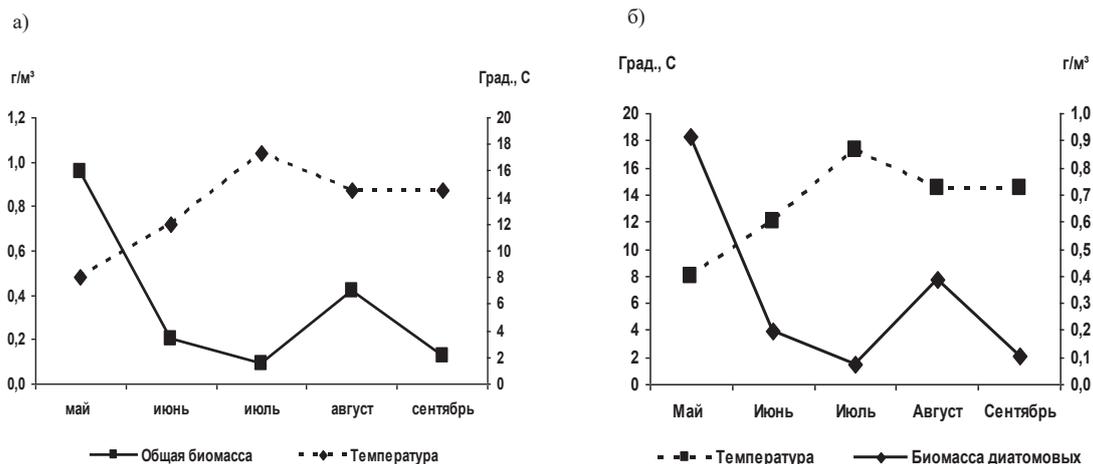


Рис. 13. Сезонное изменение общей биомассы фитопланктона и температуры воды (а), биомассы диатомовых водорослей и температуры воды (б) в открытой литорали озера в 2013 г.

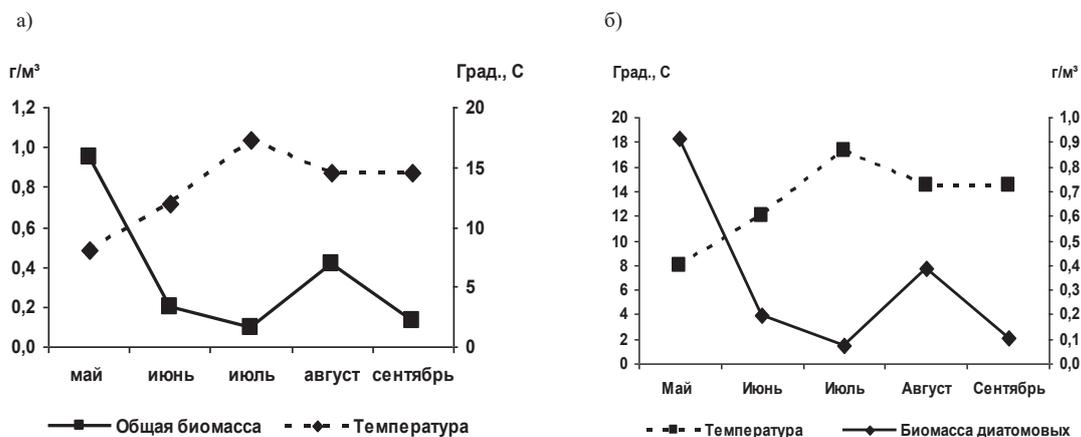


Рис. 14. Сезонное изменение температуры поверхностного горизонта воды и общей биомассы фитопланктона (а), температуры воды и биомассы диатомовых водорослей (б) в открытой литорали озера в 2014 г.

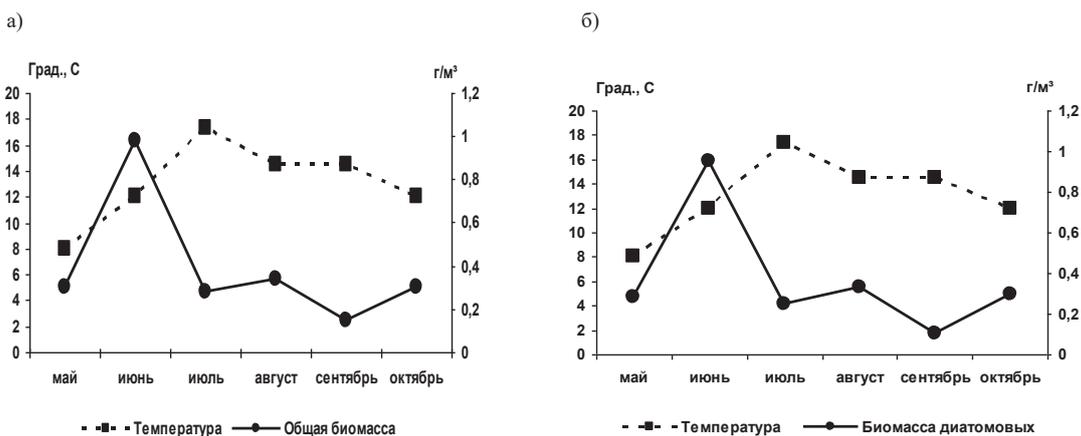


Рис. 15. Сезонное изменение общей биомассы фитопланктона и температуры поверхностного горизонта воды (а), биомассы диатомовых водорослей и температуры воды (б) в закрытой литорали озера в 2014 г.

составляли диатомовые (44 % от общего числа видов), зеленые (28 %), золотистые (9 %) и синезеленые (8 %) водоросли, составляющие

в сумме 90 % от общего видового состава. Величина индекса видового разнообразия Шеннона (рассчитанная по биомассе) для всех

изученных районов озера варьировала от 0,69 до 2,07. Степень сходства видового состава массовых видов фитопланктона в открытой и закрытой литорали была невысокой (0,42 по коэффициенту Серенсена). Среди массовых видов в открытой и закрытой литорали озера преобладали космополитные виды (89 %), преимущественно планктонные формы (95 %), индифферентные по отношению к солености воды (42 %) и к кислотности водной среды (63 %), большинство (84 %) из которых относились к олигосапробным, олиго-*b*-мезосапробным и *b*-мезосапробным формам. В фитопланктоне открытой и закрытой литорали озера выявлено 17 видов, относящихся к наноразмерной фракции. Степень сходства видового состава нанопланктонных видов изученных типов литорали была высокой и составляла 0,83 (по коэффициенту Серенсена). Биомасса нанопланктонной фракции была наибольшей летом (июль) и составляла 18 и 25 % в открытой литорали озера соответственно в 2013 и 2014 годах. В закрытой литорали озера в июле биомасса нанопланктона составляла от 10 до 29 % от общей биомассы.

Выявлены разные типы сезонной динамики численности и биомассы литорального фитопланктона. Сезонный ход количественных показателей фитопланктона в открытой литорали озера (Пухтинская бухта) в 2013 г. характеризовался двумя максимумами (май и июль), а в 2014 г. – тремя максимумами (май, июль, октябрь), с доминированием диатомовых водорослей в оба года исследований. В закрытой литорали озера (Пиньгуба) в 2014 г. отмечен один весенний (июнь) максимум численности и биомассы фитопланктона, обусловленный также интенсивной вегетацией диатомовых водорослей.

Средние значения весеннего фитопланктона в литорали озера не превышали 276,5 тыс. кл./л для численности и 0,52887 г/м<sup>3</sup> для биомассы. Средние показатели летом были ниже весенних и составляли соответственно 137,9 тыс. кл./л и 0,23581 г/м<sup>3</sup> летом. Показатели осеннего фитопланктона в среднем достигали 95,5 тыс. кл./л и 0,39867 г/м<sup>3</sup>. На протяжении всего периода открытой воды по численности и биомассе в планктоне доминировали диатомовые водоросли, создающие в среднем от 74 до 97,5 % от общей численности фитопланктона и от 33,2 до 96,4 % от общей биомассы. В структуре численности и биомассы литорального фитопланктона участвовали водоросли из других систематических отделов, но их вклад в общие показатели был значительно меньшим – как правило, от 0,1 до 4,0 %.

Так, доля синезеленых водорослей составила 22,2 % (осень), а зеленых водорослей (лето) 5,6 % в общей численности фитопланктона. Вклад зеленых водорослей в общую биомассу фитопланктона составил 5,9 % (лето), динофитовых 16,2 % (осень), а желтозеленых 44,3 % (осень).

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00766).*

## Литература

Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды // Тель-Авив: Инст. эволюции Университета Хайфы, 2006. 498 с.

Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. и др. Водоросли. Справочник. Киев: Наукова думка, 1989. 608 с.

Вислянская И. Г. Фитопланктон / Лимнологические исследования на заливе Онежского озера Большое Онего. Л.: Зоол. Ин-т АН СССР, 1982. С. 70–81.

Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.

Калинкина Н. М., Полякова Т. Н., Сидорова А. И. и др. Основы биомониторинга Онежского озера с учетом его геохимических особенностей // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.»: Сборник научных трудов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. Т. 1. С. 427–431.

Кузьмин Г. В. Фитопланктон // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. С. 73–84.

Кузьмин Г. В. Таблицы для вычисления биомассы водорослей. Магадан: ДВНЦ АН СССР, 1984. 47 с.

Литоральная зона Онежского озера / Ред. И. М. Располов. Л.: Наука, 1975. 244 с.

Михеева Т. М., Остапеня А. П., Ковалевская Р. З. и др. Пико- и нанопланктон пресноводных экосистем. Минск: Белгосуниверситет, 1998. 196 с.

Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 184 с.

Онежское озеро. Атлас. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 151 с.

Петрова Н. А. Фитопланктон Онежского озера // Растительный мир Онежского озера. Л.: Наука, 1971. С. 88–127.

Петрова Н. А. Фитопланктон литоральной зоны Онежского озера // Литоральная зона Онежского озера. Л.: Наука, 1975. С. 138–144.

Петрова Н. А. Сукцессии фитопланктона при антропогенном эвтрофировании больших озер. Л.: Наука, 1990. 200 с.

Прошкина-Лавренко А. И. Диатомовые водоросли – показатели солености воды // Диатомовый сборник. Л.: ЛГУ, 1953. С. 186–205.

Распопов И. М. Высшая водная растительность литоральной зоны Онежского озера // Литоральная зона Онежского озера. Л.: Наука, 1975. С. 76–93.

Чекрыжева Т. А. Фитопланктон как компонент биоресурсной базы озера // Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 24–35.

Чекрыжева Т. А. Таксономическая и экологическая характеристика фитопланктона Онежского озера // Труды КарНЦ РАН. Сер. Биогеография. 2012. Вып. 13. С. 56–69.

Чекрыжева Т. А. Диатомовые водоросли в планктоне Онежского озера // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 4. С. 110–116. doi: 10.17076/bg10

Федоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: МГУ, 1979. 166 с.

Sladeček V. System of water quality from biological point of view // Arch. Hydrobiol. 1973. No. 7. 218 p.

Поступила в редакцию 18.04.2016

## References

Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhayushchei sredy [Biodiversity of algae as environmental indicators]. Tel Aviv: Institute of Evolution, University of Haifa, 2006. 498 p.

Чекрыжева Т. А. Фитопланктон как компонент биоресурсной базы озера [Phytoplankton as a component of the lake bioresources]. Биоресурсы Онежского озера [Bioresources of Lake Onego]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2008. P. 24–35.

Чекрыжева Т. А. Таксономическая и экологическая характеристика фитопланктона Онежского озера [Taxonomic and ecological characteristics of the phytoplankton in Lake Onego]. *Trudy KarNTs RAN [Trans. of KarRC of RAS]*. 2012. Iss. 13. P. 56–69.

Чекрыжева Т. А. Диатомовые водоросли в планктоне Онежского озера [Diatoms in the plankton of Lake Onego]. *Trudy KarNTs RAN [Trans. of KarRC of RAS]*. 2015. No. 4. P. 110–116. doi: 10.17076/bg10

Davydova N. N. Diatomovye vodorosli – indikatory ekologicheskikh uslovii vodoemov v golotsene [Diatoms as environmental conditions indicators of water bodies in the Holocene]. Leningrad: Nauka, 1985. 244 p.

Федоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности [On methods for studying phytoplankton and its activity]. Moscow: MGU, 1979. 166 p.

Kalinkina N. M., Polyakova T. N., Sidorova A. I., Syarki M. T., Tekanova E. V., Chekryzheva T. A. Osnovy biomonitoringa Onezhskogo ozera s uchetom ego geokhimicheskikh osobennostei [Basic principles of the Lake Onego biomonitoring considering its geochemical features]. Nauchnoe obespechenie realizatsii "Vodnoi strategii Rossiiskoi Federatsii na period do 2020 g.": Sbornik nauchnykh trudov [Scientific Support of the Water Strategy of the Russian Federation for the Period up to 2020. Collection of Scientific Papers]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2015. Vol. 1. P. 427–431.

Kuz'min G. V. Фитопланктон [Phytoplankton]. Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov [Methods for studying biogeocoenosis of inland waters]. Moscow: Nauka, 1975. P. 73–84.

Kuz'min G. V. Tablitsy dlya vychisleniya biomassy vodoroslei [Tables for algae biomass calculating]. Magadan: DVNTs AN SSSR, 1984. 47 p.

Litoral'naya zona Onezhskogo ozera [Littoral zone of Lake Onego]. Ed. I. M. Raspopov. Leningrad: Nauka, 1975. 244 p.

Mikheeva T. M., Ostapenya A. P., Kovalevskaya R. Z. et al. Piko- i nanofitoplankton presnovodnykh ekosistem [Pico- and nanophytoplankton in freshwater ecosystems]. Minsk: Belgosuniversitet, 1998. 196 p.

Megarran E. Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie [Ecological diversity and its measurement]. Moscow: Mir, 1992. 184 p.

Onezhskoe ozero. Atlas [Atlas of Lake Onego]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2010. 151 p.

Petrova N. A. Фитопланктон Онежского озера [Phytoplankton of Lake Onego]. Rastitel'nyi mir Onezhskogo ozera [Vegetation of Lake Onego]. Leningrad: Nauka, 1971. P. 88–127.

Petrova N. A. Фитопланктон литоральной зоны Онежского озера [Phytoplankton of the littoral zone of Lake Onego]. Littoral'naya zona Onezhskogo ozera [Littoral Zone of Lake Onego]. Leningrad: Nauka, 1975. P. 138–144.

Petrova N. A. Suktsessii fitoplanktona pri antropogennom evtrofirovanii bol'shikh ozer [Succession of phytoplankton under anthropogenic eutrophication of large lakes]. Leningrad: Nauka, 1990. 200 p.

Proshkina-Lavrenko A. I. Diatomovye vodorosli – pokazateli solenosti vody [Diatoms as indicators of water salinity]. Diatomovyi sbornik [Collected Papers on Diatoms]. Leningrad: LGU, 1953. P. 186–205.

Raspopov I. M. Vysshaya vodnaya rastitel'nost' litoral'noi zony Onezhskogo ozera [Higher aquatic plants of the littoral zone of Lake Onego]. Littoral'naya zona Onezhskogo ozera [Littoral Zone of Lake Onego]. Leningrad: Nauka, 1975. P. 76–93.

Vasser S. P., Kondrat'eva N. V., Masyuk N. P. et al. Vodorosli. Spravochnik [Algae. Reference Book]. Kiev: Naukova dumka, 1989. 608 p.

Vislyanskaya I. G. Фитопланктон [Phytoplankton]. Limnologicheskie issledovaniya na zalive Onezhskogo ozera Bol'shoi Onego [Limnological research at Bolshoi (Big) Onego Bay, Lake Onego]. Leningrad: Zool. in-t AN SSSR, 1982. P. 70–81.

Sladeček V. System of water quality from biological point of view. *Arch. Hydrobiol.* 1973. No. 7. 218 p.

Received April 18, 2016

## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

### **Чекрыжева Татьяна Александровна**

старший научный сотрудник, к. б. н.  
Институт водных проблем Севера  
Карельского научного центра РАН  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185003  
эл. почта: Tchekryzheva@mail.ru  
тел.: (8142) 576520

### **Калинкина Наталия Михайловна**

заведующая лаб. гидробиологии, д. б. н.  
Институт водных проблем Севера  
Карельского научного центра РАН  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185003  
эл. почта: cerioda@mail.ru

## **CONTRIBUTORS:**

### **Чекрыжева, Tatiana**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 A. Nevsky St., 185003 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: Tchekryzheva@mail.ru  
tel.: (8142) 576520

### **Kalinkina, Natalia**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 A. Nevsky St., 185003 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: cerioda@mail.ru