

УДК 574.583:556.55 (470.22)

ФИТОПЛАНКТОН ОЗЕР РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮЖНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ (ВЕНДЮРСКАЯ ГРУППА И ЗАОНЕЖЬЕ)

Т. А. Чекрыжева

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

В весенний и летний сезоны 2011–2012 гг. изучен фитопланктон девяти озер, расположенных в разного типа ландшафтах южной части Республики Карелия. В семи озерах (Гижозеро, Леликозеро, Мягрозеро, Кондозеро, ламба Корытово, Коверьярви, Рапсудозеро) фитопланктон исследован впервые. Установлено, что наиболее высокое видовое разнообразие в озерах всех типов ландшафтов имеют диатомовые (20–42 % от общего числа видов) и зеленые (17–42 %) водоросли. Альгофлора специфична для каждого озера и имеет невысокую степень флористического сходства по коэффициентам Серенсена. Количественные показатели фитопланктона менялись в широком диапазоне значений для озер. Численность фитопланктона колебалась в пределах 5,8–1060,5 тыс. кл./л (при среднем значении $160,1 \pm 29,1$ тыс. кл./л), биомасса изменялась от 0,010 до 1,374 г/м³ (среднее значение $0,209 \pm 0,04$ г/м³). При кластеризации данных с использованием 26 переменных обнаружено, что озера в разной степени связаны как между собой, так и между группами. Выявлено, что основными факторами, влияющими на общую численность и общую биомассу фитопланктона, а также на численность и биомассу разных групп водорослей, являются удельный водосбор, общий азот и фосфор, площадь водосбора, минерализация, площадь озера, pH и цветность. Получены достоверные положительные корреляционные зависимости (при уровне $p < 0,05$) между структурными показателями фитопланктона и биогенными элементами (общий азот и фосфор).

Ключевые слова: фитопланктон; таксономический состав; численность; биомасса; озера; Карелия.

T. A. Chekryzheva. PHYTOPLANKTON OF LAKES IN DIFFERENT TYPES OF LANDSCAPE IN SOUTHERN KARELIA (VENDYURSKAYA GROUP AND ZAONEZHYE)

The phytoplankton of nine lakes located in different types of landscapes in the southern part of the Republic of Karelia was studied in spring and summer seasons of 2011–2012. In seven of the lakes (Gizhozero, Lelikozero, Myagrozero, Kondozero, Korytovo, Koverjarvi, Rapsudozero) phytoplankton was studied for the first time. The highest species diversity in lakes of all types of landscapes was demonstrated by diatoms (20–42 % of the total number of species) and green algae (17–42 %). Each lake had its specific algal flora, and degree of their similarity measured by the Sørensen index was low. Quantitative indicators of phytoplankton in the lakes varied over a wide range of values. Phytoplankton abundance ranged within 5.8–1060.5 thousand cells/L (with an average of 160.1 ± 29.1), and biomass ranged from 0.010 to 1.374 g/m³ (0.209 ± 0.04 g/m³ on average). Data cluster-

ing using 26 variables showed different levels of relationship both between lakes and between their groups. It was found that the main factors influencing the total abundance and total biomass of phytoplankton, as well as the abundance and biomass of different groups of algae are the catchment area/water surface area ratio, total nitrogen and phosphorus, water catchment area, mineralization, lake surface area, pH and color. We obtained significant positive correlations (at a level of $p < 0.05$) between the structural indicators of phytoplankton and nutrients (total nitrogen and phosphorus).

Keywords: phytoplankton; taxonomic composition; abundance; biomass; lakes; Karelia.

Введение

Изучению особенностей водных экосистем в условиях малонарушенного природного ландшафта уделяется в настоящее время большое внимание. Таксономический состав, разнообразие фитопланктона и уровень его количественного развития в озерах определены климатическими условиями, особенностями ландшафтов водосборного бассейна, генезисом озерных котловин, морфометрией, гидрологией, гидрохимией водоемов, а также совокупностью многих других факторов среды [Озеро..., 1979; Китаев, 1984, 2007; Теоретические вопросы..., 1993; Трифонова, 1994; Палагушкина, 2004; Бульон, 2007; Шигапов и др., 2010; Soinen, Luoto, 2012; Ozkan et al., 2013]. Большую актуальность в связи с усилением антропогенного влияния приобретает необходимость осуществления контроля экологического состояния водоемов как в условиях урбанизированных ландшафтов, так и в практически естественном состоянии [Бульон, 2007], которое может рассматриваться в качестве «фонового».

Изучение водоемов Карелии, находящихся в естественном или малонарушенном состоянии, имеет большое значение в связи с усилением антропогенной трансформации природной среды в регионе. Важной в данных условиях является оценка количественных и структурных особенностей фитопланктона озер различных типов ландшафтов, практически не затронутых антропогенным влиянием. Следует отметить, что в ряде водоемов бассейна Онежского озера фитопланктон ранее изучался [Чекрыжева, 1990; Чекрыжева, Вислянская, 2000; Альгофлора..., 2006; Комулайнен и др., 2013; Генкал, Чекрыжева, 2015]. В настоящей работе фитопланктон озер Гижозеро, Леликозеро, Мягрозеро, Кондозеро, ламба Корытово, Коверъярви и Рапсудозеро исследован впервые.

Цель работы заключалась в определении особенностей и сравнительной оценке видового состава, количественных и структурных

характеристик фитопланктона озер различного типологического статуса, расположенных на территориях разнотипных ландшафтов Карелии, а также в определении факторов, влияющих на структурные показатели фитопланктона.

Материалы и методы

Исследованные водоемы расположены в двух различных типах географических ландшафтов. Озера Леликозеро, Мягрозеро, Гижозеро, Кондозеро, ламба Корытово (Заонежский полуостров) расположены в пределах денудационно-тектонического грядового (сельгового) среднезаболоченного с преобладанием сосновых местообитаний ландшафта [Сельговые ландшафты..., 2013]. Озера Урос, Коверъярви, Рапсудозеро, Голубая ламба (Вендюрская группа озер, бассейн р. Суны) находятся в пределах водно-ледникового холмисто-грядового среднезаболоченного ландшафта с преобладанием сосновых местообитаний [Волков и др., 1990]. Все озера неглубокие (средняя глубина < 8 м, максимальная < 20 м), имеют небольшую площадь водного зеркала (< 5 км²), малый удельный водосбор (< 10), невысокие степень минерализации (< 110 мг/л) и уровень цветности ($< 100^\circ$ Pt-Co), pH $< 8,3$. Относятся к разным геохимическим классам поверхностных вод гумидной зоны и различаются по уровню трофности [Китаев, 1984, 2007; Трифонова, 1990; Демидов, 1993; Лозовик, 2006, 2013; Голубев и др., 2013; Шелехова, 2013] (табл. 1).

На изученной территории Карелии, согласно геоморфологической и генетической классификации равнин, находятся два типа ландшафтов, тесно связанных между собой (моренные и флювиогляциальные равнины), а также ландшафт, представляющий собой их сочетание. Тип флювиогляциальных равнин относится к песчаными зандровым равнинам, своеобразным компонентом геоморфологического строения которых считаются озевые

гряды. Озера, расположенные в пределах перечисленных ландшафтов, характеризуются множеством общих черт (табл. 1). Особое место занимают дистрофная Голубая ламба (Вендюрская группа озер), эвтрофная ламба Корятово (Заонежье), а также мезополигумусное озеро Коверьярви (Вендюрская группа озер), отличающиеся от других химическим составом и уровнем трофности. Кроме того, только Голубая ламба и ламба Корятово относятся к ландшафту флювиогляциальных озовых гряд.

Материалом для работы послужили данные по фитопланктону озер, полученные в ходе полевых исследований весной и летом 2011–2012 гг. Пробы фитопланктона (объемом 1 л), отобранные из поверхностного горизонта в пелагиали и литорали озер, концентрировали методом фильтрации через мембранные фильтры с диаметром пор 0,95–1,02 мкм [Кузьмин, 1975]. Количественный учет фитопланктона и определение размеров клеток проводили в камере Нажотта объемом 0,02 см³. Биомассу фитопланктонных организмов вычисляли стандартным счетным объемно-весовым методом [Федоров, 1979] с использованием таблиц [Кузьмин, 1984]. К массовым отнесены виды, численность или биомасса которых составляла не менее 10 % от общей. Для сравнения степени сходства видового состава фитопланктона применяли коэффициент Серенсена [Мэгаран, 1992].

Анализ влияния морфометрических (площадь водосбора, удельный водосбор, густота речной сети, степень заболоченности, площадь водного зеркала) и гидрохимических параметров (цветность, рН, минерализация, общий азот, общий фосфор) на общее количественное развитие фитопланктона и биомассу отдельных групп водорослей проводили с помощью факторного анализа методом главных компонент. Статистическая обработка данных выполнена в пакетах Microsoft Excel и Statistica.

Обсуждение и результаты

В составе весеннего и летнего фитопланктона девяти озер выявлено 82 таксона водорослей рангом ниже рода, принадлежащих к семи систематическим отделам: диатомовые (Bacillariophyta) – 36 %, зеленые (Chlorophyta) – 27 %, золотистые (Chrysophyta) – 5 %, синезеленые (Cyanophyta) – 9 %, динофитовые (Dinophyta) – 11 %, эвгленовые (Euglenophyta) – 11 % от общего списка альгофлоры, составленного для всех обследованных водоемов. Наиболее высокое видовое разнообразие в озерах всех изученных ландшафтов (рис. 1) характерно для

Таблица 1. Морфометрические характеристики и распределение обследованных озер по геохимическим классам поверхностных вод гумидной зоны и уровню трофности

Озеро	Геохимический класс	Трофность
Заонежье		
Леликозеро	Ультраолигогумусное Среднещелочностное Слабокислое нейтральное	Олиготрофное
Мягрозеро	Ультраолигогумусное Высокощелочностное Нейтральное слабощелочностное	Мезотрофное
Ламба Корятово	Олигогумусное Слабощелочностное Слабокислое	Эвтрофное
Гижозеро	Олигогумусное Среднещелочностное Слабокислое нейтральное	Олиготрофное
Кондозеро	Олигогумусное Среднещелочностное Слабокислое нейтральное	Мезотрофное
Вендюрская группа		
Голубая ламба	Ультраолигогумусное Бесщелочное Кислое	Олиготрофное
Рапсудозеро	Олигогумусное Среднещелочностное Слабокислое нейтральное	Эвтрофное
Коверьярви	Мезополигумусное Среднещелочностное Слабокислое нейтральное	Олиготрофное

диатомовых и зеленых водорослей, имеющих наибольшее значение в формировании таксономической структуры планктонных сообществ озер. Обнаруженное соотношение характерно как для фитопланктона каждого озера, так и в целом для большинства озер Карелии и водоемов умеренного климатического пояса [Альгофлора..., 2006; Трифонова, 1990].

Диатомовые водоросли представлены главным образом видами родов *Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Tabellaria*, *Asterionella* и *Fragilaria*, на долю которых приходится от 38 до 42 % от общего числа видов, за исключением эвтрофного оз. Корятово (рис. 1), в котором разнообразнее были зеленые (55 %) водоросли. Из зеленых водорослей встречены хлорококковые (*Monoraphidium*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*), десмидиевые (*Cosmarium*, *Pediastrum*, *Staurastum*) и вольвоксовые (*Chlamydomonas*). В целом зеленые водоросли занимают второе место по числу видов в озерах, оно колеблется от 17 до 42 % (в среднем 27 %). Наибольшее число видов зеленых водорослей (42 %) обнаружено в эвтрофной ламбе Корятово. Видовое разнообразие золотистых формируется за счет видов из родов *Kephyryon*, *Dinobryon*, *Mallomonas*. Их вклад (%) в общее видовое богатство

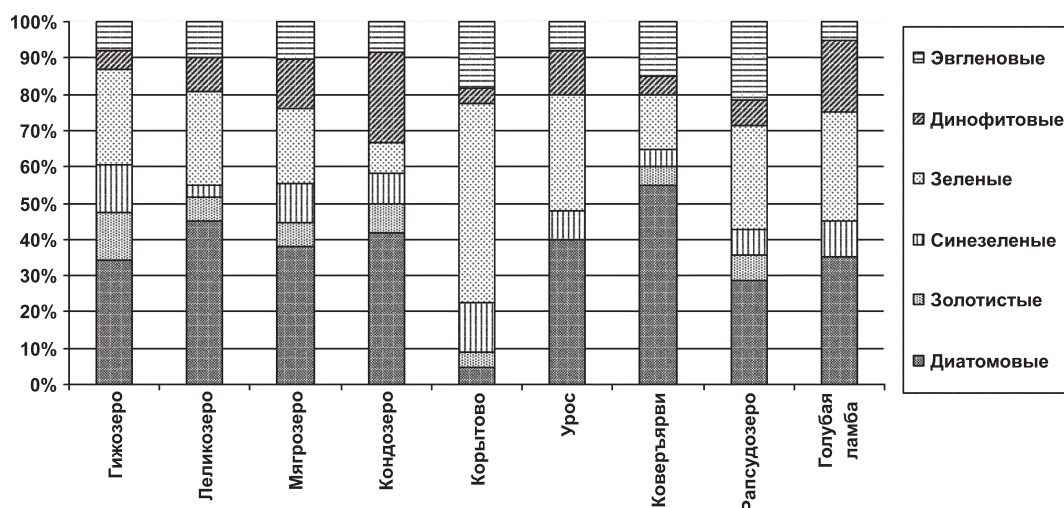


Рис. 1. Структура видового состава фитопланктона (%) в озерах. Заонежье: Гижозеро, Леликозеро, Мягрозеро, Кондозеро, ламба Корытово; Вендюрская группа: Урос, Коверьярви, Рапсудозеро, Голубая ламба

был более равномерным (табл. 1). Максимальное число видов золотистых водорослей (13 %) зафиксировано в олиготрофном оз. Гижозеро. Из синезеленых встречены виды из родов *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanothece*, *Merismopedia*, *Snowella*. Их вклад в видовое богатство фитопланктона озер составляет от 3 до 14 %. Несколько большее число видов синезеленых водорослей (10–14 %) обнаружено в дистрофной Голубой ламбе, олиготрофных озерах Леликозеро и Гижозеро, в мезотрофном оз. Мягрозеро и в эвтрофной ламбе Корытово. Из эвгленовых водорослей в озерах отмечены представители родов *Lepocinclis*, *Trachelomonas*. Наибольшее их число обнаружено в эвтрофном оз. Рапсудозеро (21 %), в эвтрофной ламбе Корытово (18 %), а также в олиготрофном оз. Коверьярви (15 %). Динофитовые водоросли представлены в озерах видами из родов *Ceratium*, *Peridinium*, *Parvodinium*. Число обнаруженных в планктоне озер видов динофитовых водорослей колеблется от 5 до 25 %. Наибольшее их число зафиксировано в мезотрофном оз. Кондозеро (25 %) и в дистрофной Голубой ламбе (20 %).

В целом альгофлора изученных водоемов может быть охарактеризована как диатомово-зеленая (63 % от общего числа видов). Видовое богатство диатомовых водорослей в озерах разных ландшафтов составляло от 29 до 55 %. Их минимальное число отмечено в эвтрофном водоеме ламба Корытово. Вклад зеленых водорослей в общее видовое богатство разных озер составлял от 21 до 55 %. Наименьшее число видов зеленых водорослей обнаружено в мезотрофном оз. Кондозеро (8 %) и олиготрофном оз. Коверьярви (15 %), а наибольшее отмечено в эвтрофной ламбе Корытово.

Своеобразие флор и состав доминантов обследованных озер определяется сочетанием совокупности всех условий среды [Трифонов, 1994; Охапкин и др., 2004]. Для каждого из водоемов характерен специфический набор видов, входящих в состав доминирующего комплекса фитопланктона в весенний и летний сезоны наблюдений (табл. 2). В основном это широко распространенные с разнообразным спектром экологических характеристик виды водорослей [Альгофлора..., 2006].

Степень общности флор (по коэффициенту Серенсена) между озерами различных типов ландшафтов в целом была невысокой (табл. 3), его значения находились в пределах 0,20–0,53. Наибольшее сходство видового состава фитопланктона отмечено в олиготрофном оз. Леликозеро и мезотрофных озерах Мягрозеро и Кондозеро. Для озер Вендюрской группы коэффициент сходства оказался выше ($0,46 \pm 0,02$), чем для озер Заонежья ($0,37 \pm 0,02$).

Весной 2011 г. в обследованных озерах количественные показатели развития фитопланктона были невысокими (табл. 4). Средняя численность и биомасса фитопланктона составляли соответственно $76,7 \pm 24,8$ тыс. кл./л и $0,138 \pm 0,037$ г/м³ при минимальных и максимальных значениях 30,0 тыс. кл./л и 154,3 тыс. кл./л для численности и 0,048 г/м³ и 0,238 г/м³ для биомассы. Наибольшие количественные показатели отмечены в олиготрофном оз. Гижозеро (Заонежье). В озерах Вендюрской группы численность и биомасса фитопланктона были значительно ниже.

Структура численности и биомассы фитопланктона весной 2011–2012 гг. в изученных

Таблица 2. Доминирующие виды (по биомассе) в планктоне озер разных типов ландшафтов

Вид	Заонежье					Вендорская группа			
	Гижозеро	Леликозеро	Мягрозеро	Кондозеро	Ламба Корытово	Урос	Рапсудозеро	Коверьярви	Голубая ламба
Диатомовые (Bacillariophyta)									
<i>Cyclotella</i> ssp.	+	+	+	+					+
<i>Aulacoseira alpigena</i> (Grunov) Krammer		+						+	+
<i>A. islandica</i> (O. Müller) Simonsen		+				+			+
<i>A. italica</i> (Ehrenberg) Simonsen									+
<i>Asterionella formosa</i> Hassal					+	+		+	
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton			+						
Зеленые (Chlorophyta)									
<i>Chlamydomonas monadina</i> Stein			+						
<i>Dimorphococcus lunatis</i>					+				
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat		+							+
<i>Croococcus turgidus</i> Kütz. Nägg.						+			
Динофитовые (Dinophyta)									
<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müller) Dujardin		+		+			+		
<i>Parvodinium inconspicuum</i> (Lemmermann) S. Carty		+	+		+				+
<i>Peridinium cinctum</i> (O. F. Müller) Ehrenberg									+
Эвгленовые (Euglenophyta)									
<i>Lepocinclis ovum</i> (Ehrenberg) Minkiewicz			+			+	+		
<i>L. acus</i> (O. F. Müller) Marin & Melkonian in Marin et al.			+		+				
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg			+		+		+	+	+
<i>T. hispida</i> (Perty) F. Stein.							+	+	+
Синезеленые (Cyanophyta)									
<i>Gloeocapsa</i> ssp.						+			
<i>Snowella</i> ssp.						+	+		
Золотистые (Chrysophyta)									
<i>Dinobryon divergens</i> O. E. Imhof	+								

Таблица 3. Сходство флоры обследованных озер разных типов ландшафтов (по коэффициентам Серенсена)

Район	Озеро	Леликозеро	Мягрозеро	Кондозеро	Корытово	Урос	Коверьярви	Рапсудозеро	Голубая ламба
Заонежье	Гижозеро	0,20	0,42	0,28	0,45	0,48	0,52	0,38	0,52
	Леликозеро	–	0,50	0,47	0,22	0,36	0,47	0,27	0,27
	Мягрозеро	–	–	0,39	0,34	0,48	0,38	0,33	0,38
	Кондозеро	–	–	–	0,22	0,32	0,38	0,38	0,38
	Корытово	–	–	–	–	0,29	0,27	0,37	0,27
Вендюры	Урос	–	–	–	–	–	0,49	0,46	0,53
	Коверьярви	–	–	–	–	–	–	0,47	0,40
	Рапсудозеро	–	–	–	–	–	–	–	0,41

Таблица 4. Численность и биомасса весеннего фитопланктона в озерах в 2011–2012 гг.

Озеро	Общая численность, тыс. кл./л	Общая биомасса, г/м ³
Заонежье (2011 г.)		
Гижозеро	179,1	0,260
Вендюрская группа (2012 г.)		
Урос	44,0	0,114
Коверьярви	37,3	0,077
Рапсудозеро	30,0	0,048
Голубая ламба	120,5	0,219

водоемах была различной (табл. 5). В олиготрофных озерах Коверьярви и Гижозеро основная доля численности и биомассы приходилась на диатомовые водоросли, в то время как в дистрофной Голубой ламбе по численности доминировали зеленые, а по биомассе зеленые и эвгленовые водоросли. В эвтрофном оз. Рапсудозеро основная часть численности создана зелеными, а биомассы – эвгленовыми водорослями. В олиготрофном оз. Урос подавляющая доля численности и биомассы сформирована эвгленовыми. Во всех озерах присутствовали динофитовые водоросли, вклад которых в количественные показатели фитопланктона был небольшим. В олиготрофном оз. Гижозеро (Заонежье) численность и биомасса весеннего фитопланктона в среднем превышала эти же показатели для озера Вендюрской группы соответственно в 3,1 и 2,3 раза.

Летом количественные показатели развития в озерах менялись в более широком диапазоне значений, чем весной. Так, в 2011 г. минимальная численность (3,0 тыс. кл./л) и биомасса (0,050 г/м³) фитопланктона отмечены в эвтрофном оз. Рапсудозеро, а также в дистрофной Голубой ламбе – соответственно 8,4 тыс. кл./л и 0,011 г/м³. В остальных озерах они колебались в пределах 74,4–350,0 тыс. кл./л и 0,012–0,430 г/м³, а максимальные значения зафиксированы в олиготрофном оз. Леликозеро. Особенности структуры численности и биомассы фитопланктона летом 2011 г. (рис. 2) заключались в доминировании

диатомовых водорослей. Исключение составляло олиготрофное оз. Урос, в фитопланктоне которого основную часть численности и биомассы создавали синезеленые водоросли. В то же время в дистрофной Голубой ламбе, в мезотрофном оз. Мягрозеро и в олиготрофном оз. Леликозеро отмечен существенный вклад в общую биомассу фитопланктона динофитовых, а в олиготрофной Коверьярви и эвтрофном оз. Рапсудозеро – эвгленовых водорослей. В озерах Заонежья численность и биомасса фитопланктона летом 2011 г. в среднем превышали эти же показатели для озера Вендюрской группы соответственно в 24 и 11 раз.

В летнем фитопланктоне водоемов, обследованных в 2012 г., количественные показатели (табл. 6) находились в пределах 11,0–385,5 тыс. кл./л для численности и 0,035–0,350 г/м³ для биомассы. В эвтрофной ламбе Корытово зафиксирована максимальная для этого периода численность и биомасса, что обусловлено интенсивной вегетацией синезеленых и зеленых водорослей. В озерах Заонежья численность и биомасса фитопланктона летом 2012 г. в среднем превышали эти же показатели для озера Вендюрской группы соответственно в 1,8 и 1,4 раза.

Особенности структуры численности и биомассы фитопланктона в озерах летом 2012 г. заключались в разном долевым участии отдельных групп водорослей в общих количественных показателях фитопланктона (рис. 3). Диатомовые водоросли доминировали в олиготрофных озерах Гижозеро, Коверьярви и в мезотрофных Мягрозеро, Кондозеро. В эвтрофном оз. Рапсудозеро существенным в общие количественные показатели фитопланктона был вклад динофитовых и эвгленовых водорослей, в дистрофной Голубой ламбе – зеленых, а в олиготрофном оз. Урос и эвтрофной ламбе Корытово – синезеленых водорослей. Если доля динофитовых водорослей в общей численности фитопланктона была незаметной, то их роль в формировании общей биомассы фитопланктона в олиготрофных озерах Леликозеро, Урос,

Таблица 5. Численность и биомасса фитопланктона в озерах в весенний сезон 2011–2012 гг.

Озеро	Диатомовые		Синезеленые		Зеленые		Динофитовые		Эвгленовые	
	ч	б	ч	б	ч	б	ч	б	ч	б
Заонежье (2011 г.)										
Гижозеро	68,9	77,0	28,7	15,0	0,4	0,6	1,1	3,0	0,9	4,4
Вендюрская группа (2012 г.)										
Урос	20,5	4,9	0	0	2,3	10,1	2,3	10,1	75,0	74,9
Голубая ламба	3,3	2,7	8,3	0,5	80,9	48,0	3,3	16,9	4,1	31,9
Рапсудозеро	0,0	0,0	0,0	0	66,7	17,5	0,0	0,0	33,3	82,5
Коверьярви	91,3	71,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	9,4	7,0	18,8

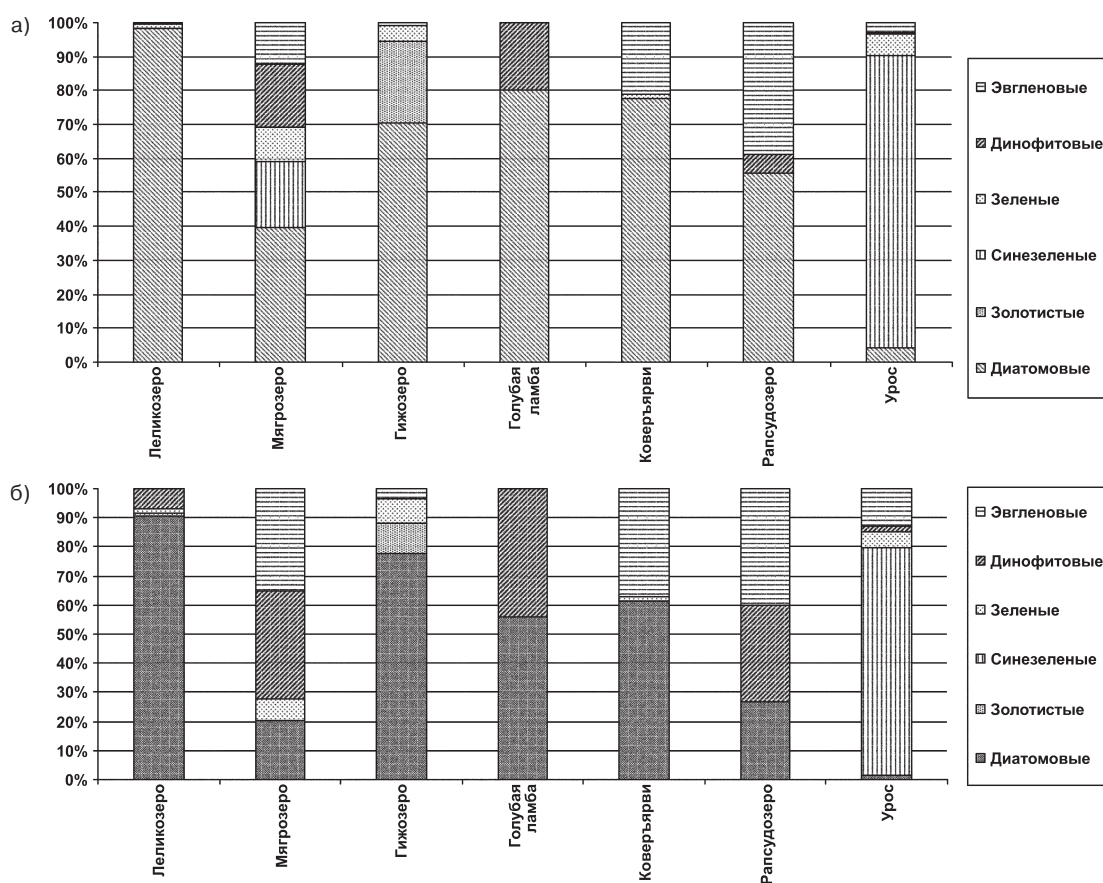


Рис. 2. Структура численности (а) и биомассы (б) фитопланктона озер разнотипных ландшафтов летом 2011 г.

эвтрофной ламбе Корытово, мезотрофных Мягрозеро и Кондозеро, а также в эвтрофном Рапсудозеро была ощутима.

Факторный анализ исходных данных выделил четыре главные компоненты, которые суммарно объясняют около 93 % общей изменчивости выборки (табл. 7). Фактор 1, объясняющий 49 % изменчивости выборки, связан с удельным водосбором, концентрациями

общего азота и фосфора, общей численностью и биомассой фитопланктона, численностью и биомассой золотистых, синезеленых, зеленых, динофитовых и биомассой эвгленовых водорослей. Второй фактор (26 %) объединил следующие показатели: площадь водосбора, минерализация, численность и биомасса диатомовых водорослей. Фактор 3 (11 %) включил такие показатели, как площадь озера и рН.

Таблица 6. Количественные показатели фитопланктона в озерах разнотипных ландшафтов летом 2012 г.

Озеро	Общая численность, тыс. кл./л	Общая биомасса, г/м ³
Заонежье		
Леликозеро	73,0	0,049
Мягрозеро	358,5	0,350
Гижозеро	236,5	0,245
Кондозеро	44,0	0,201
Ламба Корытово	1060,5	0,831
Вендюрская группа		
Голубая ламба	273,5	0,163
Коверьярви	280,0	0,330
Рапсудозеро	52,0	0,141
Урос	11,0	0,035

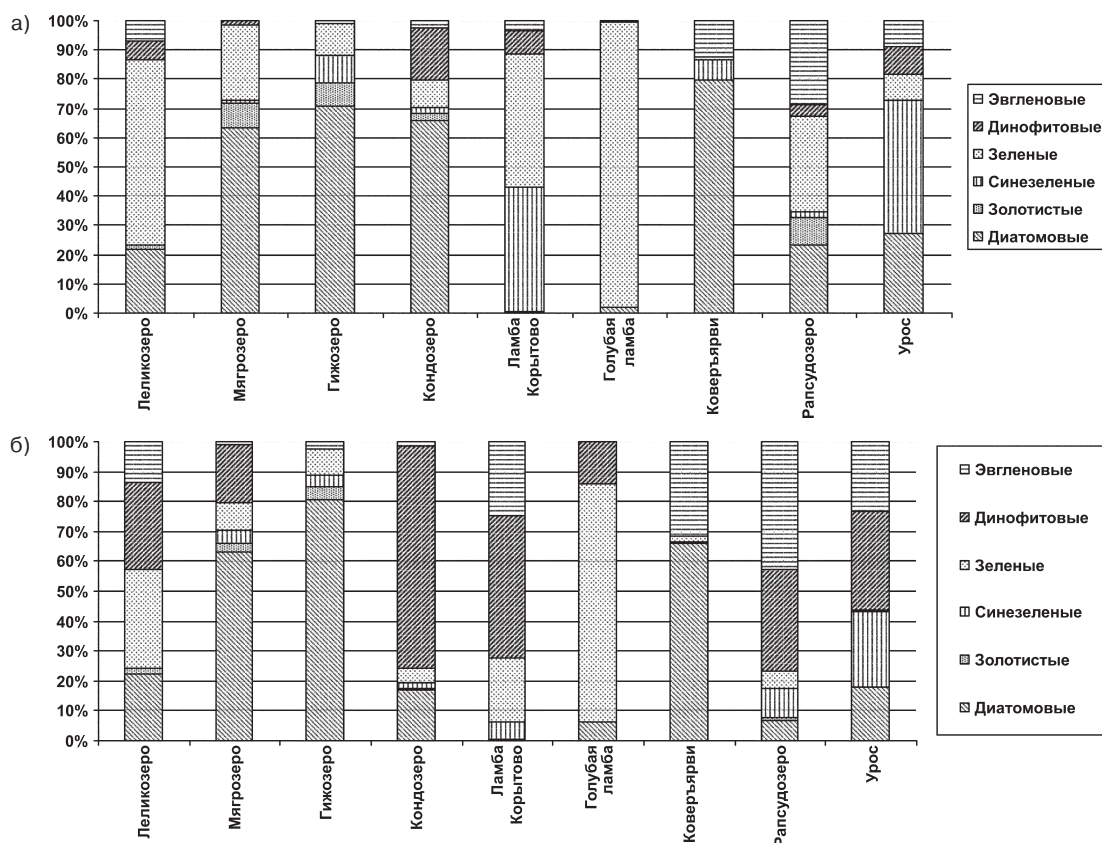


Рис. 3. Структура численности (а) и биомассы (б) фитопланктона в озерах разнотипных ландшафтов летом 2012 г.

Фактор 4 (7 %) связан с показателем цветности воды.

Анализ влияния абиотических факторов на численность и биомассу водорослей выявил значимые зависимости для концентрации общего азота и фосфора, стимулирующих развитие водорослей. Достоверно положительная корреляционная связь (при уровне $p < 0,05$) отмечена между содержанием биогенных элементов и численностью и биомассой синезеленых, зеленых, динофитовых и эвгленовых водорослей (табл. 8), между общим азотом и общей численностью, а также между общим азотом и биомассой фитопланктона.

Кластерный анализ с использованием 26 переменных позволил выделить две обособленные группы озер (рис. 4). В одной из них наиболее тесно между собой были связаны два озера – эвтрофное Рапсудоззеро и мезотрофное Кондоззеро, к которым примкнули олиготрофные озера Леликозеро и Урос. Во второй группе связанными друг с другом оказались олиготрофные озера Гижоззеро и Коверъярви, к которым присоединилось мезотрофное оз. Мягроззеро, а дистрофная Голубая ламба продемонстрировала слабую связь со всей

группой озер. Обе группы озер слабо связаны друг с другом.

Заключение

Изучен весенний и летний фитопланктон девяти озер, расположенных в разных типах ландшафтов. Впервые исследован фитопланктон озер Гижоззеро, Леликозеро, Мягроззеро, Кондоззеро, ламба Корятово, Коверъярви, Рапсудоззеро. Полученные характеристики фитопланктона обследованных водоемов разнотипных ландшафтов имеют особое значение в связи с тем, что озера расположены на территориях, практически не затронутых антропогенным воздействием, и могут считаться «фоновыми».

Выявлен видовой состав, таксономическая структура фитопланктона и установлены их особенности для озер, относящихся к разным типам ландшафтов. Установлено, что наиболее высокое видовое разнообразие во всех озерах имеют диатомовые (20–42 % от общего числа видов) и зеленые (17–42 %) водоросли, играющие основную роль в формировании таксономической структуры планктонных сообществ озер. Видовой состав фитопланктона специфичен для озер, относящихся к разным типам

Таблица 7. Оценки факторных нагрузок показателей

Показатель	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
Площадь водосбора	0,304	0,764	0,184	-0,140
Площадь озера	0,398	0,157	0,826	-0,296
Удельный водосбор	-0,943	-0,154	0,206	0,173
Минерализация	0,223	0,949	0,104	-0,001
pH	0,184	-0,220	0,857	-0,077
Цветность	-0,285	0,199	-0,305	0,819
Азот (общий)	-0,744	0,285	0,532	0,186
Фосфор (общий)	-0,877	-0,119	0,215	0,298
Общая численность	-0,927	0,309	-0,126	-0,139
Общая биомасса	-0,932	0,349	-0,034	0,052
Численность диатомовых	0,264	0,932	-0,017	0,183
Биомасса диатомовых	0,268	0,897	-0,069	0,235
Численность золотистых	-0,985	0,028	0,012	0,008
Биомасса золотистых	-0,913	0,223	0,292	0,026
Численность синезеленых	-0,872	0,063	-0,289	-0,390
Биомасса синезеленых	-0,804	0,018	-0,405	-0,424
Численность зеленых	-0,989	0,013	0,011	0,020
Биомасса зеленых	-0,961	0,019	0,025	0,159
Численность динофитовых	-0,915	-0,110	0,308	-0,031
Биомасса динофитовых	-0,960	-0,062	0,237	-0,040
Численность эвгленовых	-0,462	0,618	-0,453	-0,331
Биомасса эвгленовых	-0,758	0,505	0,026	-0,253
Общая дисперсия	12,324	6,502	2,666	1,808
Доля общей дисперсии	0,493	0,260	0,107	0,072

Примечание. Жирным шрифтом выделены достоверные факторные нагрузки.

Таблица 8. Значения коэффициентов корреляции между показателями фитопланктона и биогенными элементами

Показатель	Общий азот	Общий фосфор
Численность синезеленых	0,809	0,866
Биомасса синезеленых	0,789	0,844
Численность зеленых	0,842	0,835
Биомасса зеленых	0,835	0,851
Численность динофитовых	0,831	0,893
Биомасса динофитовых	0,798	0,964
Численность эвгленофитовых	0,749	0,816
Биомасса эвгленофитовых	0,772	0,808

ландшафтов. Альгофлора исследованных водоемов имеет невысокую степень флористического сходства по коэффициентам Серенсена (в среднем 0,37 для озер Заонежья и 0,46 для озер Вендюрской группы; пределы 0,20–0,53).

Количественные показатели развития фитопланктона менялись в широком диапазоне: численность от 5,8 до 1060,5 тыс. кл./л (при среднем значении $160,1 \pm 29,1$ тыс. кл./л), а биомасса от 0,010 до 1,374 г/м³ (среднее значение $0,209 \pm 0,04$ г/м³). Минимальные количественные показатели отмечены в дистрофной Голубой ламбе, а максимальные зафиксированы в эвтрофном оз. Кориново.

Весной численность и биомасса фитопланктона в озерах Заонежья в среднем превышали эти же показатели для озер Вендюрской группы соответственно в 2,6 и 2,1 раза, а летом – в 5,4 и 3,1 раза.

По структурным и количественным характеристикам фитопланктона выделяются группы озер, тесно связанных между собой. Исключение составляют ламбы – дистрофная Голубая ламба (Вендюрская группа) и эвтрофная ламба Кориново (Заонежье), которые во всех вариантах анализа имеют очень слабую связь со всеми озерами.

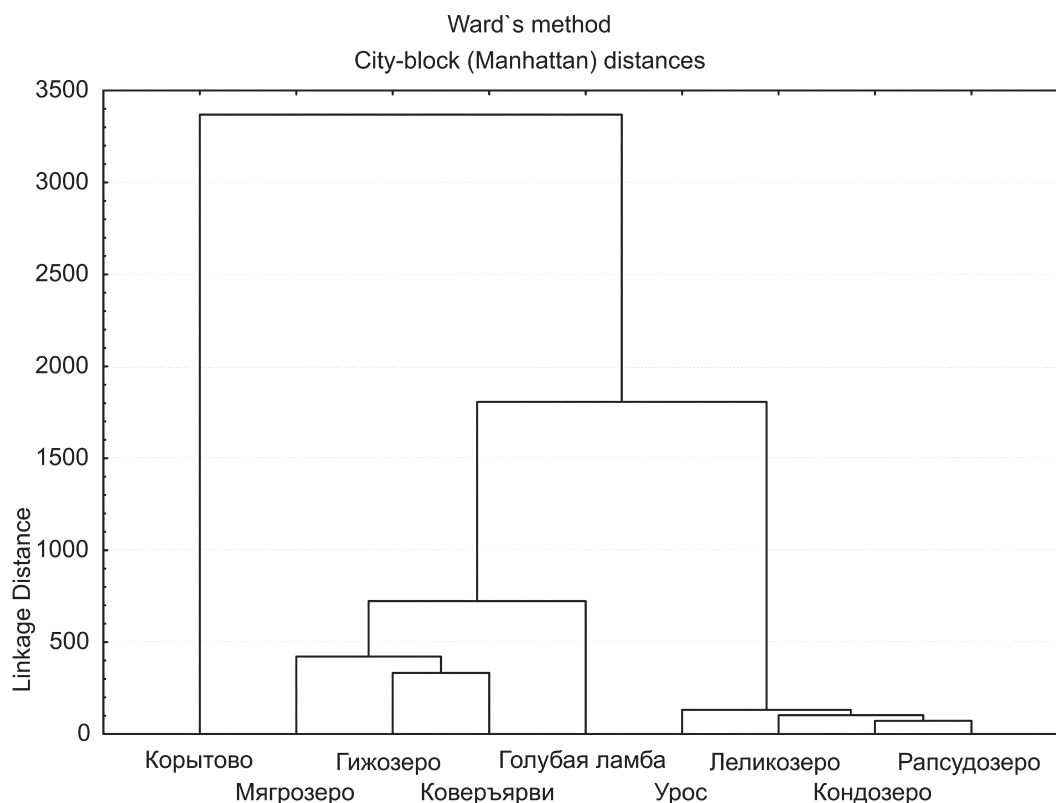


Рис. 4. Дендрограмма классификации озер разных типов ландшафтов на основании гидрологических, гидрохимических и количественных показателей фитопланктона

С целью классификации озер, относящихся к разного типа ландшафтам, был применен кластерный анализ с использованием 26 переменных. При кластеризации данных обнаружено, что озера в разной степени связаны как между собой, так и между группами. Эвтрофная ламба Корытово имела очень слабую связь с обследованными озерами.

Выявлено, что основными факторами, влияющими на общую численность и общую биомассу фитопланктона, а также на численность и биомассу разных групп водорослей, оказываются удельный водосбор, общий азот и фосфор, площадь водосбора, минерализация, площадь озера, pH и цветность. Получены достоверные положительные корреляционные зависимости (при уровне $p < 0,05$) между структурными показателями фитопланктона и биогенными элементами (общий азот и фосфор).

Литература

Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология / Ред. С. Ф. Комулайнен, Т. А. Чекрыжева, И. Г. Вислянская. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. 81 с.

Бульон В. В. Влияние географических факторов на первичную продукцию озерных и наземных

экосистем // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 5. С. 565–572.

Волков А. Д., Громцев А. Н., Еруков Г. В. и др. Экосистемы ландшафтов запада средней тайги (структура, динамика). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1990. С. 107–118.

Генкал С. И., Чекрыжева Т. А. Центрические диатомовые водоросли озер южной части Республики Карелия (Вендюрская группа и Заонежье) // Биология внутренних вод. 2015, № 3. С. 5–13.

Голубев А. И., Рычанчик Д. В., Ромашкин А. Е., Полин А. К. Геологическая характеристика обследуемой территории // Сельговые ландшафты Заонежского полуострова: история освоения и сохранения. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 17–29.

Демидов И. Н. Развитие оледенения и формирование четвертичных отложений на Заонежском полуострове // Кижский вестник. Заонежье. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1993. № 2. С. 13–23.

Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон / Ред. С. П. Китаев. М.: Наука, 1984. 207 с.

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.

Комулайнен С. Ф., Круглова А. Н., Барышев И. А. и др. Гидробиологические особенности водоемов и водотоков // Сельговые ландшафты Заонежского полуострова: природные особенности, история освоения и сохранение. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 183–194.

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.

Лозовик П. А. Геохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: автореф. дис. ... докт. хим. наук. Петрозаводск, 2006. 59 с.

Лозовик П. А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водные ресурсы. 2013. Т. 40, № 6. С. 583–593.

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

Озеро и его водосбор – единая природная система / Ред. В. Г. Драбкова, И. Н. Сорокин. Л.: Наука, 1979. 195 с.

Охалкин А. Г., Воденеева Е. Л., Юлова Г. А. Фитопланктон водоемов заповедника «Керженский» (Нижегородская область) // Ботан. журн. 2004. Т. 89, № 8. С. 1264–1275.

Палагушкина О. В. Экология фитопланктона карстовых озер Среднего Поволжья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2004. 25 с.

Рыжков Л. П., Лукин А. А., Кухарев В. И. и др. Качество вод озера Падмозеро (Республика Карелия) на основе состояния биоты // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Петрозаводск, 2005. С. 89–100.

Сельговые ландшафты Заонежского полуострова: природные особенности, история освоения и сохранение. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 180 с.

Теоретические вопросы классификации озер / Ред. Н. П. Смирнова, А. Г. Исаченко, И. Н. Андроникова. СПб.: Наука, 1993. 192 с.

Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 184 с.

Трифонова И. С. Закономерности изменения фитопланктонных сообществ при эвтрофировании озер: автореф. дис. ... докт. биол. наук. СПб., 1994. 77 с.

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

Чекрыжева Т. А., Вислянская И. Г. Фитопланктон // Инвентаризация и изучение биологического разнообразия на территории Заонежского полуострова и Северного Приладожья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. С. 167–177.

Чекрыжева Т. А., Комулайнен С. Ф. Альгофлора озер и рек Республики Карелия (Россия) // Альгология. 2007. Т. 10, № 3. С. 319–334.

Чекрыжева Т. А. Агрегированность пресноводных планктонных водорослей при горизонтальном распределении // Гидробиол. журн. 1990. Т. 26, № 6. С. 16–21.

Шелехова Т. С. Геоморфологические условия и четвертичные отложения // Сельговые ландшафты Заонежского полуострова: природные особенности, история освоения и сохранение. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 37–46.

Шигапов И. С., Мингазова Н. М., Шарифуллин А. Н. и др. Зависимость физико-химических показателей воды озер урбанизированных территорий от морфометрических параметров // География и природные ресурсы. 2010. № 1. С. 177–179.

Ozkan K., Jeppesen E., Sondergaard M. et al. Contrasting roles of water chemistry, lake morphology, land-use, climate and spatial processes in driving phytoplankton richness in the Danish landscape // Hydrobiologia. 2013. Vol. 710, iss. 1. P. 173–187.

Soininen J., Luoto M. Is catchment productivity a useful predictor of taxa richness in lake plankton communities? // Ecol. Appl. 2012. 22 (2). P. 624–633.

Поступила в редакцию 04.05.2016

References

Al'goflora ozer i rek Karelii. Taksonomicheskii sostav i ekologiya [Algal flora of the lakes and rivers in Karelia. Taxonomic composition and ecology]. Eds. S. F. Komulainen, T. A. Chekryzheva, I. G. Vislyanskaya. Petrozavodsk: KarRS of RAS, 2006. 81 p.

Bul'on V. V. Vliyaniye geograficheskikh faktorov na pervichnyuyu produktsiyu ozernykh i nazemnykh ekosistem [Geographical factors effect on the primary production of lacustrine and terrestrial ecosystems]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2007. Vol. 34, no. 5. P. 565–572.

Chekryzheva T. A., Vislyanskaya I. G. Fitoplankton [Phytoplankton]. Inventarizatsiya i izuchenie biologicheskogo raznoobraziya na territorii Zaonezhskogo poluoostrova i Severnogo Priladozh'ya [An Inventory and Study of the Biological Diversity of the Zaonezhsky Peninsula and Northern Priladozhie]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2000. P. 167–177.

Chekryzheva T. A., Komulainen S. F. Al'goflora ozer i rek Respubliki Kareliya (Rossiya) [Algal flora of

the lakes and rivers in the Republic of Karelia (Russia)]. *Al'gologiya* [Algologia]. 2007. Vol. 10, no. 3. P. 319–334.

Chekryzheva T. A. Agregirovannost' presnovodnykh planktonnykh vodoroslei pri gorizonta'nom raspredelenii [Aggregation of freshwater planktonic algae at the horizontal distribution]. *Gidrobiol. zhurn* [Hydrobiological Journal]. 1990. Vol. 26, no. 6. P. 16–21.

Demidov I. N. Razvitie oledeneniya i formirovaniye chetvertichnykh otlozhenii na Zaonezhskom poluoostrove [Glaciation development and formation of the Quaternary deposits on the Zaonezhsky Peninsula]. *Kizhskii vestnik. Zaonezh'e* [Herald of Kizhi. Zaonezhye]. Petrozavodsk: KarRS of RAS, 1993. No. 2. P. 13–23.

Fedorov V. D. O metodakh izucheniya fitoplanktona i ego aktivnosti [On methods for studying phytoplankton and its activity]. Moscow: MGU, 1979. 166 p.

Genkal S. I., Chekryzheva T. A. Tsentricheskie diatomovye vodorosli ozer yuzhnoi chasti Respubliki Kareliya (Vendyurskaya gruppa i Zaonezh'e) [Centric diatoms in the lakes of the southern part of the Republic of Karelia (Lakes of the Vendyurskaya group and Zaonezhye)].

Biologiya vnutrennikh vod [Inland Water Biology]. 2015. No. 3. P. 5–13.

Golubev A. I., Rychanchik D. V., Romashkin A. E., Polin A. K. Geologicheskaya kharakteristika obsleduemoi territorii [Geological description of the studied territory]. Sel'govye landshafty Zaonezhskogo poluostrova: istoriya osvoeniya i sokhraneniya [Selka Landscapes of the Zaonezhsky Peninsula: History of Development and Conservation]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2013. P. 17–29.

Kitaev S. P. Ekologicheskie osnovy bioproduktivnosti ozer raznykh prirodnykh zon [Ecological bases of lake bioproductivity in different natural areas]. Ed. S. P. Kitaev. Moscow: Nauka, 1984. 207 p.

Kitaev S. P. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtologov [Fundamentals of limnology for aquatic biologists and ichthyologists]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2007. 395 p.

Komulainen S. F., Kruglova A. N., Baryshev I. A., Ryabinkin A. V., Kulikova T. P., Chekryzheva T. A. Gidrobiologicheskie osobennosti vodoemov i vodotokov [Hydrobiological features of water bodies and watercourses]. Sel'govye landshafty Zaonezhskogo poluostrova: prirodnye osobennosti, istoriya osvoeniya i sokhranenie [Selka Landscapes of the Zaonezhsky Peninsula: Natural Characteristics, Land Use, and Conservation]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2013. P. 183–194.

Kuz'min G. V. Fitoplankton [Phytoplankton]. Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov [Methods for Studying Biogeocenoses of Inland Water Bodies]. Moscow: Nauka, 1975. P. 73–84.

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

Lozovik P. A. Geokhimicheskie kriterii sostoyaniya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony i ikh ustoichivosti k antropogennomu vozdeistviyu [Geochemical criteria of surface waters in a humid zone and their tolerance to human impact]: Summary of PhD (Cand. of Chem.) thesis. Petrozavodsk, 2006. 59 p.

Lozovik P. A. Geokhimicheskaya klassifikatsiya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony na osnove ikh kislotno-osnovnogo ravnovesiya [Geochemical classification of surface waters in a humid zone based on their acid-base equilibrium]. *Vodnye resursy [Water Resources]*. 2013. Vol. 40, no. 6. P. 583–593.

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

Ozero i ego vodosbor – edinaya prirodnyaya sistema [Lake and its catchment as an united natural system]. Eds. V. G. Drabkova, I. N. Sorokin. Leningrad: Nauka, 1979. 195 p.

Okhapkin A. G., Vodeneeva E. L., Yulova G. A. Fitoplankton vodoemov zapovednika "Kerzhenskii" (Nizhegorodskaya oblast') [Phytoplankton of the water bodies of the Kerzhensky nature reserve (Nizhny Novgorod Region)]. *Botan. zhurn. [Botanical Magazine]*. 2004. Vol. 89, no. 8. P. 1264–1275.

Palagushkina O. V. Ekologiya fitoplanktona karstovyykh ozer Srednego Povolzh'ya [Ecology of the karst

lakes phytoplankton of the Middle Volga region]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Kazan', 2004. 25 p.

Ryzhkov L. P., Lukin A. A., Kukharev V. I., Ryabinkin A. V., Kulikova T. P., Mel'nik N. A., Chekryzheva T. A., Krupen' I. M. Kachestvo vod ozera Padmozero (Respublika Kareliya) na osnove sostoyaniya bioty [Quality of the water in Lake Padmozero (the Republic of Karelia) on the basis of the biota assessment]. Ekologicheskie problemy osvoeniya mestorozhdeniya Srednyaya Padma [Ecological Problems of the Development of the Srednyaya (Middle) Padma Deposit]. Petrozavodsk, 2005. P. 89–100.

Sel'govye landshafty Zaonezhskogo poluostrova: prirodnye osobennosti, istoriya osvoeniya i sokhranenie [Selka landscapes of the Zaonezhsky Peninsula: natural characteristics, history of development, and conservation]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2013. 180 p.

Shelekhova T. S. Geomorfologicheskie usloviya i chetvertichnye otlozheniya [Geomorphological conditions and the Quaternary deposits]. Sel'govye landshafty Zaonezhskogo poluostrova: prirodnye osobennosti, istoriya osvoeniya i sokhranenie [Selka Landscapes of the Zaonezhsky Peninsula: Natural Characteristics, History of Development, and Conservation]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2013. P. 37–46.

Shigapov I. S., Mingazova N. M., Sharifullin A. N., Palagushkina O. V., Pavlova L. R., Musin A. G. Zavisimost' fiziko-khimicheskikh pokazatelei vody ozer urbanizirovannykh territorii ot morfometricheskikh parametrov [Relation between physical and chemical characteristics of lakes water in urban lands and morphometric parameters]. *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and Natural Resources]*. 2010. No. 1. P. 177–179.

Teoreticheskie voprosy klassifikatsii ozer [Theoretical issues of lakes classification]. Eds. N. P. Smirnova, A. G. Isachenko, I. N. Andronikova. St. Petersburg: Nauka, 1993. 192 p.

Trifonova I. S. Ekologiya i suksessiya ozernogo fitoplanktona [Ecology and succession of lake phytoplankton]. Leningrad: Nauka, 1990. 184 p.

Trifonova I. S. Zakonomernosti izmeneniya fitoplanktonnykh soobshchestv pri evtrofirovanii ozer [Patterns of phytoplankton communities changes under lake eutrophication]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. St. Petersburg, 1994. 77 p.

Volkov A. D., Gromtsev A. N., Erukov G. V. i dr. Ekosistemy landshaftov zapada srednei taigi (struktura, dinamika) [Landscape ecosystems of the western part of middle taiga (structure, dynamics)]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 1990. P. 107–118.

Ozkan K., Jeppesen E., Sondergaard M., Lauridsen L., Liborissen J.-C. Contrasting roles of water chemistry, lake morphology, land-use, climate and spatial processes in driving phytoplankton richness in the Danish landscape. *Hydrobiologia*. 2013. Vol. 710, iss. 1. P. 173–187.

Soininen J., Luoto M. It catchment productivity a useful predictor of taxa richness in lake plankton communities? *Ecol. Appl.* 2012. 22 (2). P. 624–633.

Received May 04, 2016

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:**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

CONTRIBUTOR:**Chekryzheva, 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