

**А. Ю. Карпаева***Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь,  
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com***СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ВИДОВОГО СОСТАВА  
И ЧИСЛЕННОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА В ПОДОГРЕВАЕМОЙ И НЕ ПОДОГРЕВАЕМОЙ  
ЗОНАХ ОЗЕРА ЛУКОМСКОЕ**

**Аннотация.** Изучена сезонная динамика видового состава и численности фитопланктона в подогреваемой и не подогреваемой, а также литоральной и пелагических зонах оз. Лукомское. Структура сообщества и уровень развития фитопланктона в зонах с различным температурным режимом закономерно отличаются, и в каждый из сезонов имеют свои закономерности. Уровень количественного развития фитопланктона выше в зонах с подогревом только в ноябре и практически одинаковый в апреле. Для этих месяцев для подогреваемой зоны характерно более интенсивное развитие синезелёных (цианобактерий) и менее интенсивное диатомовых. В летний период общая численность фитопланктона выше в зоне с естественным температурным режимом, где преобладает отдел Cyanophyta.

**Ключевые слова:** фитопланктон, сезонная динамика, видовой состав, численность, температура

**A. U. Karpaeva***<sup>1</sup>Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,  
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com***SEASONAL DYNAMICS OF THE SPECIES COMPOSITION AND ABUNDANCE OF PHYTOPLANKTON  
IN THE HEATED AND NON-HEATED ZONES OF LAKE LUKOMSKOE**

**Abstract.** The seasonal dynamics in the species composition and abundance of phytoplankton in the heated and unheated, as well as littoral and pelagic zones of Lake Lukomskoe were studied. The community structure and the level of phytoplankton development in zones with different temperature regimes naturally vary, and each of the seasons has its own patterns. The level of quantitative development of phytoplankton is higher in heated zones only in November. In April, the abundance of phytoplankton in both zones is practically the same. In these months, the heated zone is characterized by a more intensive development of Cyanophyta and less intensive of diatoms. In summer, the total abundance of phytoplankton is higher in the zone with a natural temperature regime, where the Cyanophyta division predominates.

**Keywords:** phytoplankton, seasonal dynamics, species composition, abundance, temperature

**А. Ю. Карпаева***Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь,  
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com***СЕЗОННАЯ ДЫНАМІКА ВІДАВОГА СКЛАДУ І КОЛЬКАСЦІ ФІТАПЛАНКТОНА Ў ПАДАГРАВАЕМАЙ  
І НЕ ПАДАГРЭВАЕМАЙ ЗОНАХ ВОЗЕРА ЛУКОМСКАЕ**

**Анотацыя.** Вывучана сезонная дынаміка змены відавога складу і колькасці фітапланктону ў падаграваемай, не падаграваемай, а таксама літаральнай і пелагічнай зонах возера Лукомскае. Структура супольнасці і ўзровень развіцця фітапланктону ў зонах з розным тэмпературным рэжымам заканамерна адрозніваюцца і ў кожны з сезонаў мае свае заканамернасці. Узровень колькаснага развіцця фітапланктону вышэй у зонах з падагрэвам толькі ў лістападзе, і практычна аднолькавы ў красавіку. Для гэтых месяцаў у зоне, якая мае падагрэў, характэрна больш інтэнсіўнае развіццё сінезелёных (цыянабактэрыяў) і меней інтэнсіўнае дыятомавых. У летні перыяд агульная колькасць фітапланктону вышэй у зоне з натуральным тэмпературным рэжымам, дзе пераважае аддзел Cyanophyta.

**Ключавыя словы:** фітапланктон, сезонная дынаміка, відавы склад, колькасць, тэмпература

**Введение.** При проведении экологического мониторинга водных экосистем важное место занимает исследование сообщества планктонных водорослей. Фитопланктон, являясь начальным звеном трофической цепи водоема, первым откликается на изменение условий обитания. Реакция фитопланктона выражается в изменении видового состава водорослей, характера сезонной сукцессии и в изменении количественных характеристик.

Интерес к изучению экосистемы оз. Лукомское обусловлен интенсивным и разноплановым использованием его в хозяйственной деятельности [1]. Экосистема оз. Лукомское последние 49 лет находится в условиях интенсивного антропогенного воздействия, основными факторами которого являются сброс подогретой воды с охладительных установок ГРЭС, дополнительное поступление биогенных элементов с комбикормами садкового комплекса, расположенного

в сбросном канале ГРЭС и др. Влияние подогрева особенно распространяется на северную, прилегающую к сбросу, часть водоема [2].

Цель данного исследования – оценить сезонную динамику видового состава фитопланктона в зонах с различным температурным режимом.

**Материалы и методы.** Одно из наиболее крупных озер Беларуси – оз. Лукомское с 1973 г. используется в качестве водоема-охладителя Лукомской ГРЭС. Котловина озера подпрудного типа имеет площадь 36,7 км<sup>2</sup>, среднюю глубину 6,7 м, объем водной массы 243 млн м<sup>3</sup> [3].

Особенности строения котловины способствуют интенсивному ветровому перемешиванию водных масс как по вертикали, так и по акватории. В период открытой воды преобладает гомотермия, относительно устойчивое понижение температуры к придонным горизонтам отмечается крайне редко – в периоды длительного штиля. Распространение и мощность зоны подогрева непостоянны и также зависят от направления и силы ветра. Зона с естественным температурным режимом может достигать 90 %-ной водной массы и дна озера. Согласно расчетам, среднегодовая температура воды в результате функционирования озера в качестве водоема-охладителя возросла в среднем на 1,4 °С, что является одной из причин усиления продукционных процессов в экосистеме [2]. В настоящее время среднее за год превышение температур воды на сбросе над температурами забираемой из озера воды составляет 5,53–8,18 °С [4].

Материалом для настоящей работы послужили пробы фитопланктона, собранные в период 22.04. по 10.11.2020 г. Отбор проб проводили на четырех станциях в подогреваемой литоральной и пелагической зонах и не подогреваемой литоральной и пелагической зонах соответственно. С каждой станции отбирали по три пробы фитопланктона. Разница температуры воды в поверхностном слое составила в среднем 1,8–2,0 °С, у дна – около 1 °С.

Отбор и камеральную обработку проб производили по общепринятым гидробиологическим методам [3]. На месте отбора проводили фиксацию формалином, концентрация которого составляла 2 %. Концентрировали фитопланктон методом отстаивания от изначального объема 0,5 л. Плотность (численность) фитопланктона определяли счетным методом в камере Фукса–Розенталя.

Исследования проводили с помощью светового микроскопа фирмы micro Austria и CarlZeiss (модель Axiostarplus) при увеличении ×100, ×200 и ×400.

**Результаты и их обсуждение. Общая характеристика таксономического состава фитопланктона оз. Лукомское.** Определяли и проанализировали видовой состав водорослей фитопланктона на различных станциях (подогреваемой литорали, подогреваемой пелагиали, не подогреваемой пелагиали, не подогреваемой литорали). В результате исследований выявлено 54 вида водорослей.

Анализ таксономической структуры фитопланктона оз. Лукомское показал, что здесь представлены 7 отделов водорослей, включающих 10 классов, 14 порядков, 32 семейства, 38 родов и 54 вида.

Количество видов в отделах распределено неравнозначно (таблица). Наибольшее видовое богатство характерно для отдела Chlorophyta (39 % общего числа видов). Зелёные водоросли представлены 21 видом, которые относятся к 13 родам из 12 семейств, объединенных в 4 порядка. По числу видов выделяются роды Oocystis (3), Ankistrodesmus (3), Scenedesmus (3). Остальные роды представлены одним-двумя видами. Значительную часть видового богатства также составляют представители отдела Bacillariophyta. На долю этого отдела приходится 35 % общего числа видов. Среди видов этого отдела выделяются Cymbella (3) и Fragilaria (3). Большой вклад в видовое богатство вносит отдел Cyanophyta – 8 видов, что составляет 15 % от общего числа видов. Такое соотношение числа видов водорослей фитопланктона в оз. Лукомское в целом характерно для такого типа озёр и совпадает с результатами предыдущих исследований [5].

Таксономический состав альгофлоры фитопланктона приведен в таблице. Список таксономического состава водорослей составлен в соответствии с системой, предложенной Т. М. Михеевой [6].

Таксономическая структура фитопланктона оз. Лукомское

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид
Цианопхита	1	2	6	7	8
Криптофита	1	1	1	1	2
Диналофита	1	1	1	1	1
Хризофита	1	1	1	1	2
Вацилларифита	2	4	10	14	19
Хлорофита	3	4	12	13	21
Еугленифита	1	1	1	1	1
<b>Всего</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>32</b>	<b>38</b>	<b>54</b>

Таким образом, соотношение отделов водорослей фитопланктона в водоеме-охладителе в целом соответствует структуре альгофлоры Беларуси [5].

**Сезонная динамика численности фитопланктона оз. Лукомское в 2020 г.** Характер сезонных изменений состава сообщества и уровня развития фитопланктона оз. Лукомское в разные вегетационные сезоны имел значительные различия (рис. 1). Большая часть исследований были приурочены к летнему периоду и началу осени – середине вегетационного сезона [5].

Во второй половине апреля наблюдался пик вегетации диатомовых, что связано прежде всего с прогреванием воды и повышением концентрации биогенных элементов. Среди доминирующих видов преобладали *Asterionella formosa* (Hassall, 1850), *Cyclotella sp.* (F.T. Kützing), *Fragillaria crotonensis* (Kitton, 1869). В роли субдоминанта выступал *Scenedesmus quadricauda* (Hansgirg 1890). Средняя численность фитопланктона в этот период составила 1,89 млн кл./л.

В начале июня, после пика диатомей средняя численность фитопланктона резко снизилась до 0,90 млн кл./л. Доминирующие в апреле виды диатомовых замещались представителями отдела Chlorophyta. Наибольшая численность была характерна для *Closterium gracili* (Bréb. ex Ralfs, 1848). В качестве субдоминанта выступала *Cyclotella sp.*, а также представитель синезелёных *Anabaena spiroides* (Klebahn 1895). Их численность составила 0,2 и 0,4 млн кл./л соответственно.

В сентябре 2020 г. массового развития синезелёных не наблюдалось. Это можно объяснить относительно невысокими температурами, а также низким содержанием биогенных элементов: азота (1,85 мг/л) и фосфора (0,60 мг/л). Поэтому пик численности в этом году приходился на весенний период. В сентябре в качестве доминантов выступали такие виды, как *Aphanotece clathrata* (West & G.S.West, 1906), *Microcystis aeruginosa* (Kützing, 1846), *Microcystis pulverea* (Elenkin 1938). Наиболее разнообразны в этот период были протококковые. Среди них преобла-

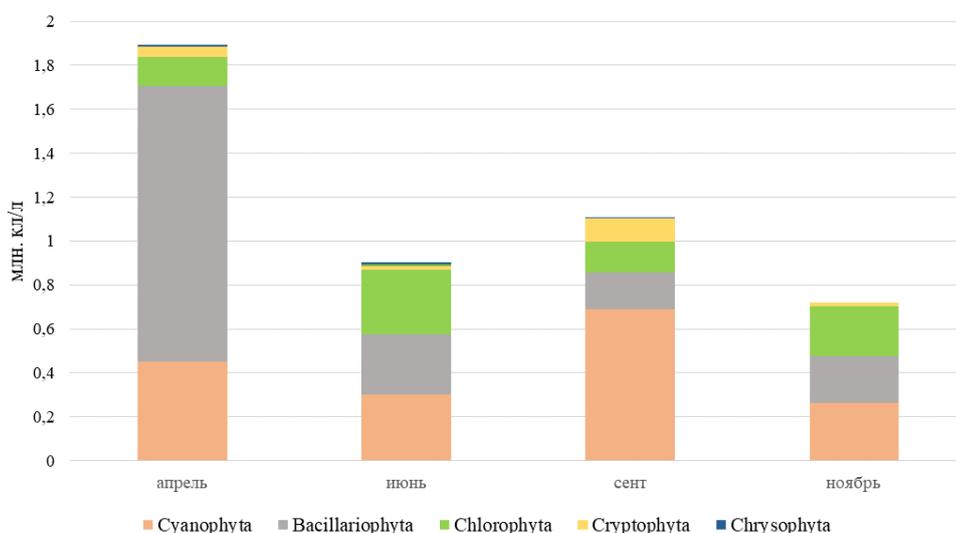


Рис. 1. Сезонные изменения средней численности разных отделов в фитопланктоне для всех станций оз. Лукомское

дали *Pediastrum tetras* (Ralfs, J. 1845), а также виды рода *Oocystis*. Средняя численность в этот период составила 1,11 млн кл./л.

К ноябрю количественные показатели снижались. Численность в подогреваемой пелагиале была максимальной и составила 1,06 млн кл./л, в среднем по озеру она равнялась 0,72 млн кл./л. Снижалась доля *Суанорphyta*, хотя их численность была значительно выше, чем в прошлые годы. Это также можно объяснить высокими для ноября средними температурами (+8,5 °С). Из диатомовых преобладали *A. formosa*, *Cyclotella sp.*, *F. crotonensis*.

**Сезонная динамика видового состава и численности фитопланктона в подогреваемой и не подогреваемой зонах оз. Лукомское.** Для исследования влияния подогреваемых вод ГРЭС на фитопланктонные сообщества проводили отбор проб на четырех станциях: подогреваемой и не подогреваемой пелагиале и в подогреваемой и не подогреваемой литорали.

**Апрель.** В апреле обе зоны практически не отличались по численности и видовому составу. Численность в подогреваемой и не подогреваемой пелагиале составила 1,87 и 1,90 млн кл./л соответственно.

Видовой состав на станциях отличался незначительно. В подогреваемой зоне доля отдела *Chlorophyta* была несколько выше (30 % от общего количества видов), чем в не подогреваемой

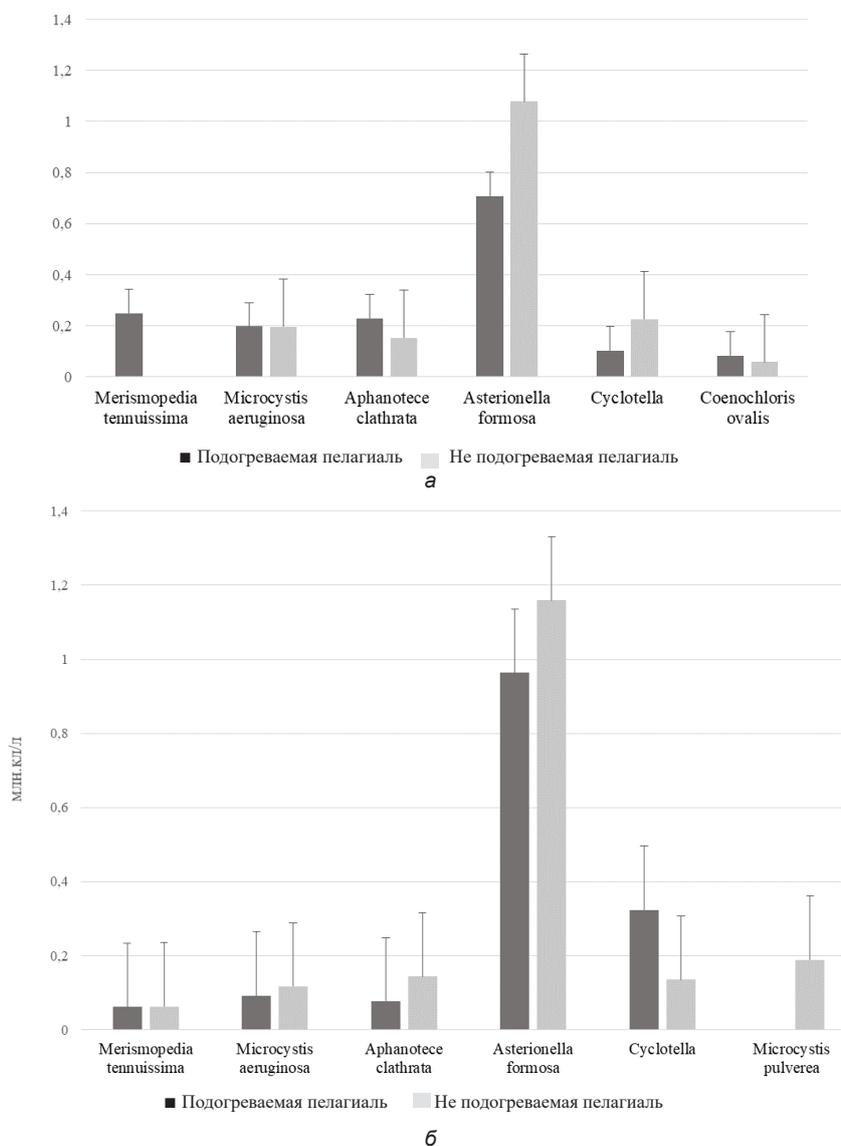


Рис. 2. Численность некоторых видов фитопланктона в апреле на разных станциях: а – литораль, б – пелагиаль

(19 % от общего количества). Количество обнаруженных видов на не подогреваемой станции было меньше, чем на подогреваемой и составило 16 и 12 видов соответственно.

На всех станциях в этот период по численности доминировали диатомовые. Наибольшая численность была характерна для *A. formosa*, 0,96 млн кл./л на станции с подогревом и 1,16 млн кл./л на станции без подогрева. Численность *Cyclotella sp.* составила 0,32 млн кл./л на станции с подогревом и 0,135 млн кл./л на станции без подогрева.

Такие же закономерности были характерны и для литоральной зоны. Численность в подогреваемой и не подогреваемой литорали составила 1,86 и 1,96 млн кл./л соответственно. В подогреваемой зоне доля диатомовых была ниже (30 % от общего количества видов), чем в не подогреваемой (47 % от общего количества). На станции с подогревом по количеству видов преобладали зелёные водоросли – 6 видов и только 4 вида диатомовых. Общее количество обнаруженных видов на подогреваемой станции было меньше, чем на не подогреваемой и составило 15 и 17 видов соответственно. Однако эти отличия не являются значительными.

Наибольшая численность на литоральных станциях была характерна для *A. formosa*, 0,1 млн кл./л на станции с подогревом и 1,07 млн кл./л на станции без подогрева; *Cyclotella sp.* – 0,1 млн кл./л на станции с подогревом и 0,22 млн кл./л на станции без подогрева (рис. 2).

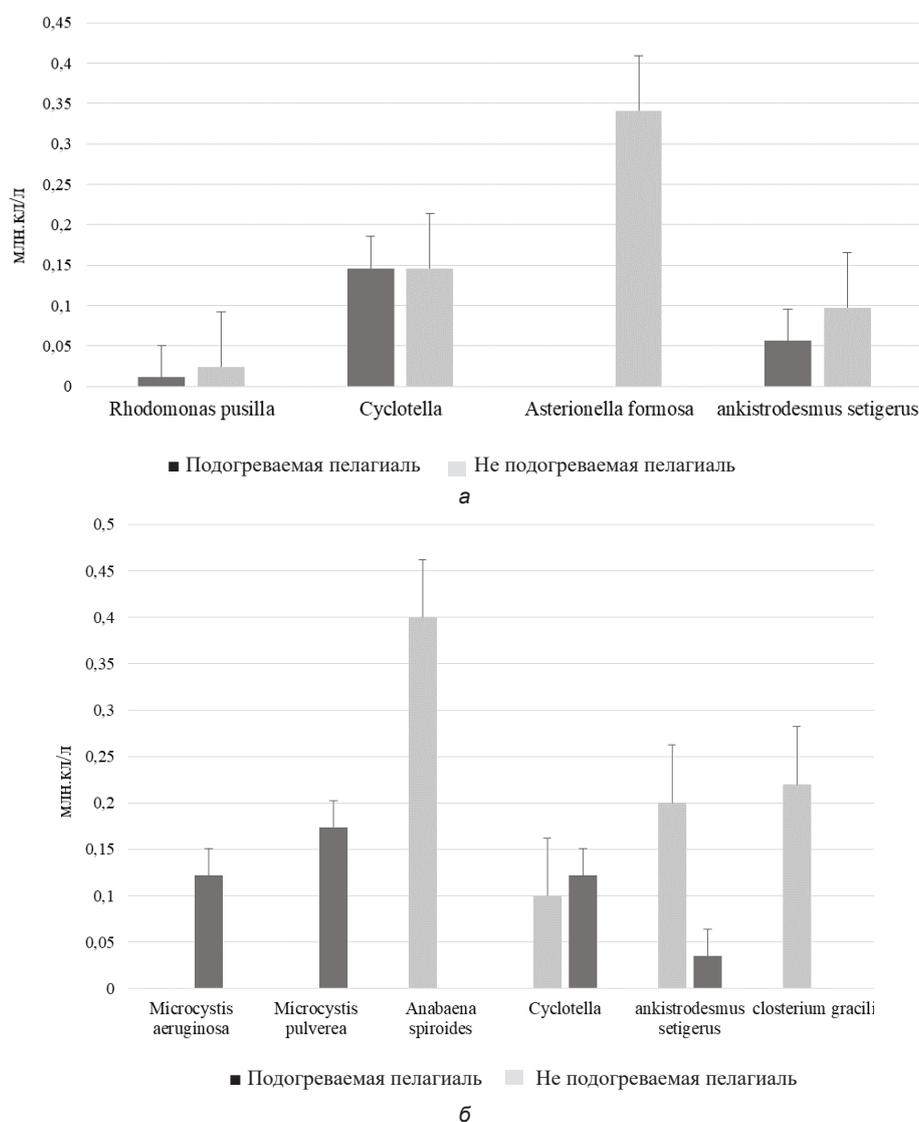


Рис. 3. Численность некоторых видов фитопланктона в июне на разных станциях: а – литораль, б – пелагиаль

Таким образом, можно сделать вывод, что станция с естественным температурным режимом характеризуется большим видовым разнообразием и численностью диатомовых, чем зона с подогревом. Кроме того, количество видов синезелёных также выше в зоне с подогревом.

**Июнь.** Для июньского фитопланктона в целом характерна небольшая численность и небольшое видовое богатство. По видовому составу водоросли исследуемых зон озера отличались незначительно. Количество видов в подогреваемой пелагиале – 11, не подогреваемой – 10. Общая численность фитопланктона составила 1,14 и 0,65 млн кл./л для подогрева и зоны с естественным температурным режимом соответственно.

В зоне с подогревом по численности и количеству видов преобладали зелёные водоросли, в то время как на не подогреваемой доминировали диатомовые. Численность синезелёных также была выше в зоне подогрева – 0,4 млн кл./л у *A. spiroides*. В зоне без подогрева численность синезелёных составила 0,29 млн кл./л (рис. 3).

Для июньского фитопланктона были характерны те же закономерности, что наблюдались в апреле. Показатели видового разнообразия и выровненности ниже, чем в предыдущем месяце (индекс Шеннона): 0,81 для подогреваемой зоны и 0,86 для не подогреваемой. Дисперсии выборок различаются статистически незначимо.

Для литоральной зоны характерны следующие закономерности: подогреваемая зона характеризуется более высоким видовым разнообразием, количество видов на ней составило – 17, в не подогреваемой – 10. Численность в зоне с подогревом составила 0,84 млн кл./л, в зоне без подогрева несколько больше – 0,99 млн кл./л за счет преобладания *A. formosa*, численность которой составила 0,34 млн кл./л.

Процентное соотношение отделов в этих зонах также различается. В зоне подогрева преобладают зелёные – 39 % и диатомовые – 22 %. В зоне без подогрева диатомовые составили 37% от общего количества видов, зелёные – 27 %. В целом наибольшая численность характерна для двух видов диатомовых: *Cyclotella sp.* и *A. formosa*.

Таким образом, между подогреваемой и не подогреваемой зонами наблюдаются заметные различия. В зоне без подогрева как в литорали, так и в пелагиали доминируют диатомовые как по численности, так и по количеству видов. В зоне с подогревом по количеству видов преобладает отдел Chlorophyta.

**Сентябрь.** В сентябре на всех станциях в фитопланктоне преобладали цианобактерии, однако ярко выраженного пика цветения не наблюдалось. Максимальная численность составила 1,5 млн кл./л в литоральной зоне с естественным температурным режимом.

Видовой состав фитопланктона пелагиали в обеих температурных зонах был практически идентичен. По количеству представленных видов выделялся отдел Bacillariophyta (41 % общего количества видов в зоне подогрева и 37 % в не подогреваемой зоне). Кроме того, по количеству видов выделялся отдел Chlorophyta: 29 и 27 % для подогрева и без соответственно.

Цианобактерии в сентябре преобладали по численности. Среди них доминировали *M. aeruginosa*, численность которых была выше в зоне с естественным температурным режимом и составила 0,5 млн кл./л, а также *A. clathrata*, численность также была выше в не подогреваемой зоне (0,34 млн кл./л). В подогреваемой численность *M. aeruginosa* и *A. clathrata* составила 0,24 и 0,25 млн кл./л соответственно (рис. 4).

Что касается фитопланктона литоральной зоны, он характеризуется значительно большей численностью и видовым разнообразием. Общая численность фитопланктона в подогреваемой зоне составила 1,14 млн кл./л, в не подогреваемой – 1,5 млн кл./л. По видовому богатству в литоральной зоне синезелёные являются доминантами, их доля на обеих станциях составляет 36 % общего числа видов. На втором месте находится отдел Bacillariophyta.

К доминирующим по численности видам также относятся синезелёные: *M. aeruginosa*, *M. pulvereae*, *A. clathrata*, *A. spiroides*. В качестве субдоминантов выступала криптофитовая водоросль *Rhodomonas pusilla* (H. Bachm.). Численность этих видов была несколько выше в зоне с естественным температурным режимом (рис. 4).

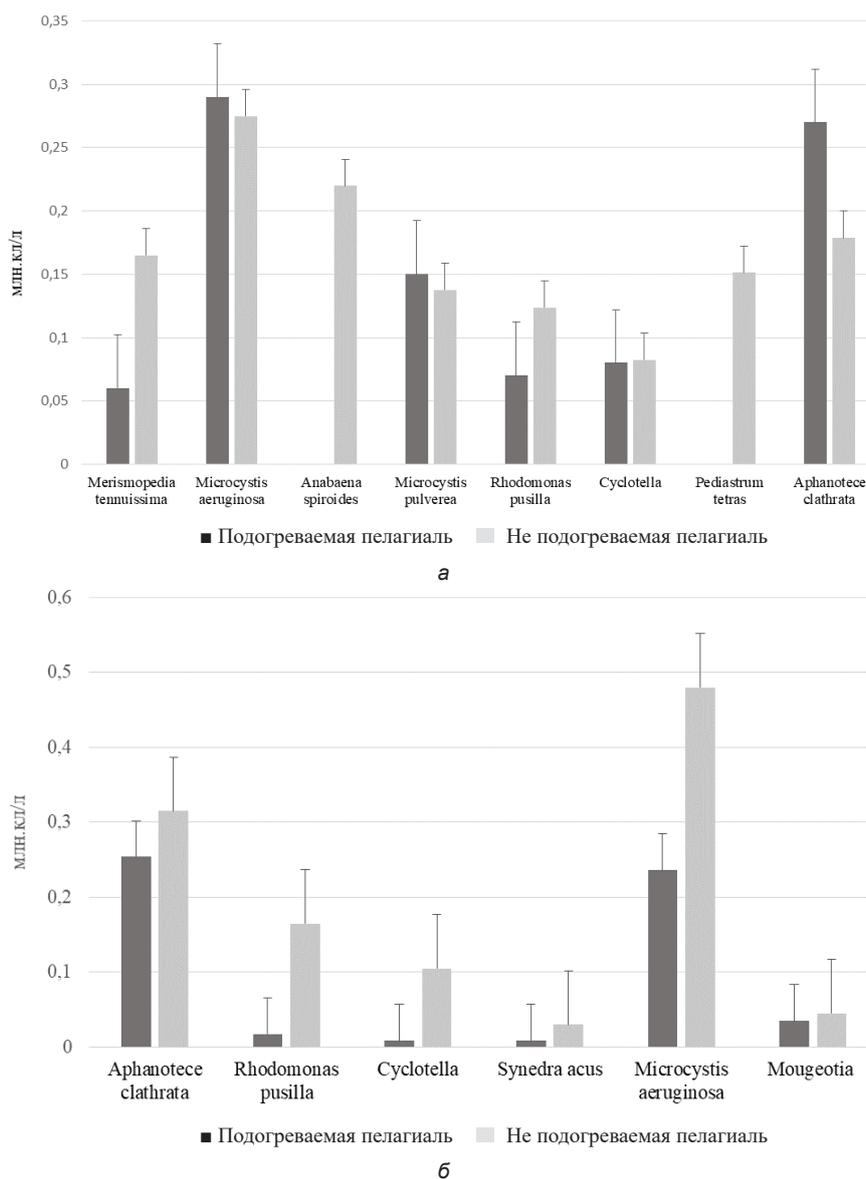


Рис. 4. Численность некоторых видов фитопланктона в сентябре на разных станциях: а – литораль, б – пелагиаль

Анализ сентябрьского фитопланктона показал, что сезонная динамика для озера в целом свойственна большинству естественных водных экосистем. Литоральная зона является лучше прогреваемой зоной озера и местом концентрации большого количества биогенных элементов, в связи с этим численность в этой зоне всегда выше. Кроме того, подтверждается тот факт, что развитие фитопланктона на протяжении большей части вегетационного сезона выше в зоне с естественным температурным режимом.

**Ноябрь.** В ноябре средняя численность во всех зонах заметно снизилась. Доминантами по численности в пелагиале обеих зон стали диатомовые. Однако по количеству представленных видов на диатомовые приходилось 33 %, на отдел Chlorophyta – 33 %. В не подогреваемой зоне диатомовые составили 50 % общего числа видов.

Цианобактерии в зоне с подогревом по численности и количественному разнообразию видов заметно преобладали по сравнению с не подогреваемой зоной. Эту закономерность можно объяснить влиянием подогрева на развитие синезелёных. Однако различия на двух станциях пелагиали были небольшие. Из доминантов выделялись *A. formosa* и *F. crotonensis*. В зоне

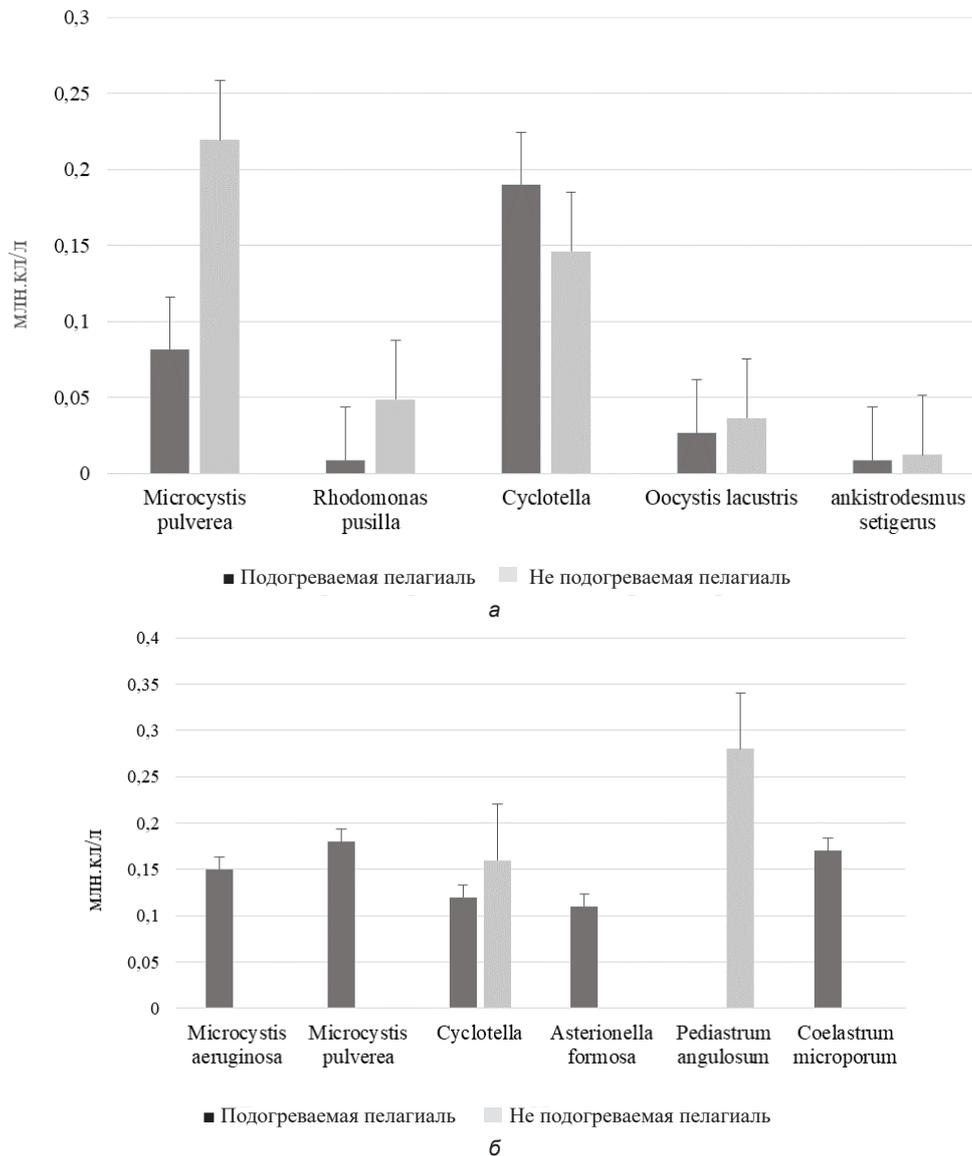


Рис. 5. Численность некоторых видов фитопланктона в ноябре на разных станциях: а – литораль, б – пелагиаль

подогреваемой пелагиали к числу субдоминантов можно отнести *Coelastrum microporum* (Nägeli 1855) (рис. 5).

Что касается литоральной зоны, то здесь разница между станциями выражена еще меньше. Численность в подогреве составила 0,58 млн кл./л, численность в не подогреваемой зоне – 0,62 млн кл./л.

Соотношение числа видов в разных отделах было практически одинаковое. Диатомовые водоросли доминировали. И на обеих станциях максимальная численность характерна для *Cyclotella sp.* Ярко выраженных субдоминантов не наблюдалось (рис. 5).

Пелагиаль и литораль в этом месяце имели заметные различия. Общее количество видов и численность были выше в пелагической зоне за счет преобладания диатомовых.

**Заключение.** Таким образом, можно сделать вывод, что для всего озера в целом характерны те же закономерности, что и для водных экосистем с естественным температурным режимом. Однако на станциях с различной степенью подогрева в каждый из сезонов имеются свои особенности.

Численность фитопланктона была выше в зонах с подогревом только в ноябре и практически одинаковой в апреле. В эти же месяцы (апрель, ноябрь) в подогреваемой зоне интенсивнее развивались синезелёные и менее интенсивно – диатомовые.

В летний период общая численность фитопланктона была выше в зоне с естественным температурным режимом. Кроме того, в зоне с естественным температурным режимом преобладал отдел Суанophyta.

#### Список использованных источников

1. *Самойленко, В. М.* Изменения фитопланктона водоема-охладителя Лукомской ТЭС / В. М. Самойленко, Г. Г. Вежновец // *Environment. Technology. Resources.* – 1999 – № 2. – С. 170–176.
2. *Самойленко, В. М.* Многолетние изменения фитопланктона водоема-охладителя / В. М. Самойленко, А. А. Свирид // *Альгология.* – 2014. – № 24 (3). – С. 371–375.
3. *Самойленко, В. М.* Фитопланктон водоема-охладителя Лукомльской ГРЭС в условиях изменяющейся антропогенной нагрузки / В. М. Самойленко, А. А. Свирид // *Вопросы современной альгологии.* – 2020. – № 2(23). – С. 33–39.
4. *Mikheyeva, T. M.* Methods of quantitative enumeration of nanophytoplankton (review) / Т. М. Mikheyeva // *Hydrobiological Journal.* – 1989. Vol. 25. – P. 3–21.
5. Экосистема водотма-охладителя Лукомльской ГРЭС / П. А. Митраховичи [др.]; Бел. гос. ун-т. – Минск: Правоиэкономика, 2008. – 144 с.
6. *Михеева, Т. М.* Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог (справ. пособие) / Т. М. Михеева. – Минск: БГУ, 1999. – 396 с.
7. *Дрозденко, Т. В.* Видовая структура и разнообразие фитопланктона дельты реки Великой (Псковская область, Россия) / Т. В. Дрозденко, С. Г. Михалап, Н. В. Бугеро // *Принципы экологии.* – 2020. – № 3. – С. 98–112.

Поступила 16.02.2022