



УДК 574.52

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ЧУДСКО-ПСКОВСКОГО ОЗЕРА

ШАРОВ
Андрей Николаевич

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр
экологической безопасности РАН, sharov_an@mail.ru

АНДРЕЕВА
Ирина Витальевна

ФГБУ "Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды", ir-andr@yandex.ru

Ключевые слова:

фитопланктон
биомасса
видовой состав
хлорофилл «а»
климатическая изменчивость

Аннотация: В статье анализируются результаты исследования фитопланктона на 16 станциях Чудско-Псковского озера в весенний (май), летний (август) и осенний (октябрь) периоды 2012–2015 гг. В фитопланктоне идентифицировано 186 видов. Приводится список массовых таксонов. Отмечено, что биомасса фитопланктона имела широкую амплитуду среднегодовых значений: для оз. Чудского 0.3–23.0 мг/л, для оз. Псковского 0.4–34.0 мг/л и для оз. Тёплого (август) 3.4–25.1 мг/л. По видовому составу, структурообразующим комплексам и уровню биомассы фитопланктона озеро, как и в предыдущие годы наблюдений, относится к водоемам мезотрофного типа с чертами эвтрофии. Качество вод на различных участках Чудско-Псковского озера соответствовало условно чистым водам (I класс качества) и слабо загрязненным (II класс качества). Обнаружена корреляция между характеристиками фитопланктона и факторами среды (температура, уровень воды, прозрачность, концентрация Р и N в воде).

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 23 июня 2016 года

Подписана к печати: 14 декабря 2016 года

Введение

Первые сведения о фитопланктона Чудско-Псковского озера были опубликованы в начале прошлого века в работах зоолога Тартуского университета Н. А. Самсонова (1912, 1914). История изучения водорослей озера подробно описана Д. Н. Судницыной (2007). Особо следует выделить работы Р. А. Лаугасте (1966, 1968) и В. В. Ястремского (1986), заложившие основы систематических исследований фитопланктона Чудско-Псковского озера, которые с 1980 г. носят мониторинговый характер и продолжаются по настоящее время. Государственный гидробиологический мониторинг российской части Чудско-Псковского озера начал осуществляться с середины 90-х годов прошло-

го столетия единично, а начиная с 2004 г. на постоянной основе. В данной работе основное внимание удалено результатам, полученным на 16 станциях мониторинга в период открытой воды 2012–2015 гг.

Пространственно-временная неоднородность распределения структурных и функциональных показателей планктона больших озер формируется в зависимости от ряда глобальных факторов, в первую очередь таких, как изменение климата и антропогенное воздействие. Несмотря на ряд публикаций, свидетельствующих о влиянии климатической изменчивости на различные водные экосистемы Европы (Adrian et al., 1995; Adrian et al., 1999; Nõges and Nõges, 1998; Markensten, 2006; Jeppesen et al., 2009; Филатов и др., 2012,

Sharov et al., 2014 и др.), немногие из них касаются реакции фитопланктона на изменение климата, особенно в больших озерах. Основной целью данной работы является анализ современного состояния и реакции фитопланктона Чудско-Псковского озера на изменения окружающей среды.

Материалы

Чудско-Псковское озеро (Peipus) — крупный озерный комплекс на границе между Эстонией и Псковской и Ленинградской областями России. Относится к бассейну Балтийского моря и состоит из трех частей: северное Чудское озеро — площадь

2611 км² (73 %); южное Псковское озеро — площадь 708 км² (20 %); срединное Теплое озеро — площадь 236 км² (7 %). Площадь Чудско-Псковского озера составляет 3555 км², объем — 25 км³. Средняя глубина — 7.1 м, наибольшая — 15 м.

Пробы фитопланктона отбирали в мае, августе и октябре 2012–2015 гг. на 16 станциях, выбранных в соответствии со схемой (рис. 1), утвержденной совместной Российской-Эстонской комиссией по охране и рациональному использованию трансграничных вод для организации мониторинга. Всего было отобрано 165 количественных проб.

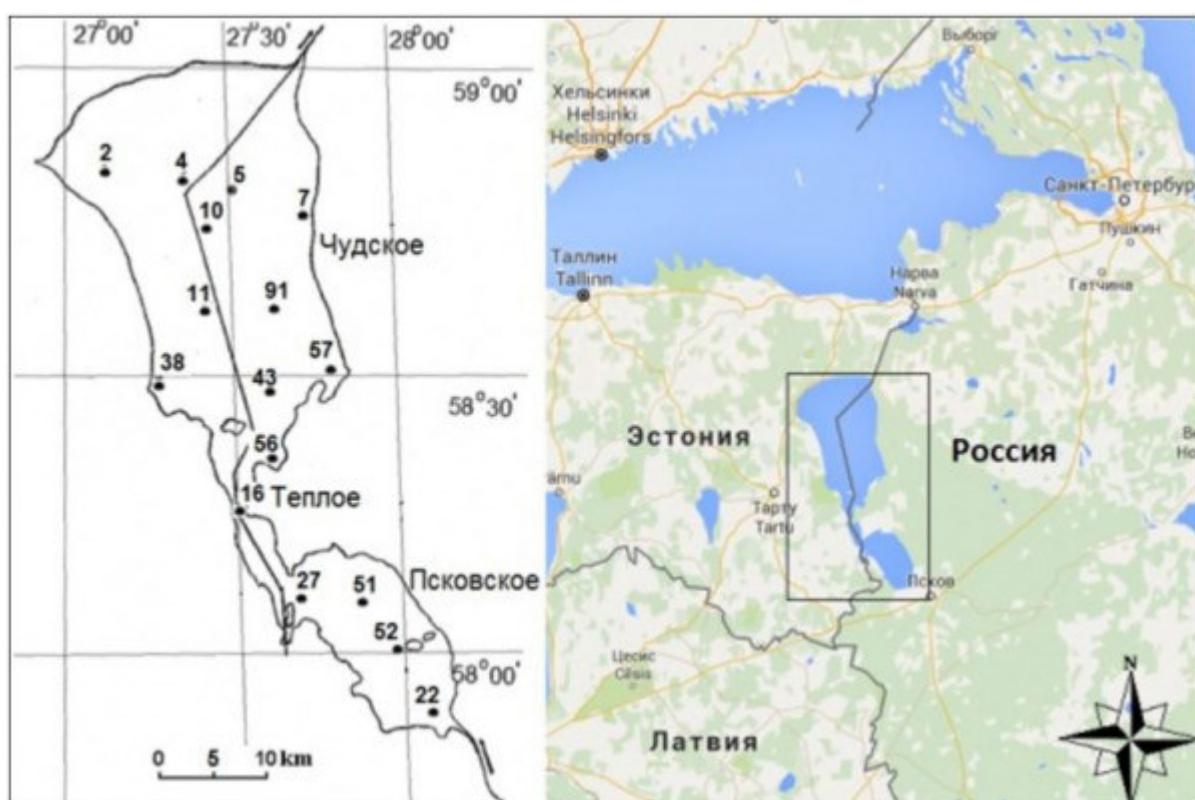


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб в Чудско-Псковском озере

Fig. 1. Schematic map of the sampling stations in the Lake Peipus

Температура воды в августе 2004–2015 гг. была в диапазоне 18.8–25.8 °С (21.3 ± 0.3 °С). Исключение составило очень жаркое лето 2010 г., когда температура воды достигала 28 °С. Прозрачность воды в августе варьировала от 0.5 до 2.5 м (1.2 ± 0.1 м). Среднегодовое колебание уровня воды (разница максимального и минимального уровня) составило 137 см. Величина стандартного отклонения от среднего уровня воды в 2014–2015 гг. — 27.4 см.

Содержание азота (N) и фосфора (P) в воде Псковского озера закономерно выше, чем в Чудском. В период наших исследований в Чудском озере содержание биогенных элементов относительно стабильно (N 0.54 ± 0.13 мг/л, P 0.018 ± 0.004 мг/л). В Псковском озере отмечается незначительная тенденция к уменьшению концентрации P (0.031 ± 0.006 мг/л) и такая же слабая тенденция к росту содержания N (0.71 ± 0.18).

Методы

Пробы воды отбирали батометром Рутнера интегрально через один метр от поверхности до глубины утроенной прозрачности (по диску Секки), на мелководье – до дна. Интегральная проба воды помещалась в 10-литровую пластиковую емкость и перемешивалась.

Часть пробы (0.5 литра) наливали в темную пластиковую бутылку, фиксировали раствором Люголя и после концентрирования осадочным методом (Методические рекомендации..., 1988) использовали для подсчета и видовой идентификации водорослей в микроскопе проходящего света «Ломо МБИ-6» при увеличении $\times 250$ -800. Для подсчета численности водорослей использовали счетную камеру Нажотта (0.02 мл). При расчете численности и биомассы фитопланктона учитывали рекомендации для определения объемов клеток водорослей (Olenina et al., 2006). К доминирующему относили виды, составляющие более 10 % от общей численности и биомассы в пробе. Для оценки сапробности воды использовали метод индикаторных организмов Пантле и Букк в модификации Сладечека (Sládeček, 1973). Оценку качества воды производили согласно РД 52.24.309-2011.

Вторую часть пробы воды для определения хлорофилла «а» (1.0 л) помещали в матовую пластиковую бутылку не фиксировали и фильтровали (в течение часа после отбора) через мембранные фильтры № 5 (Мытищи) с диаметром пор 1.2 мкм по 1–2 фильтра на одну пробу воды (насос HIBLOW 0.15–0.2 атм). Экстрагирование пигментов осуществляли 96 % этанолом в темноте в пластиковых пробирках в течение 18–24 часов. Пробы центрифугировали (центрифуга СМ-6М ЕЛМИ) в течение 20 минут при 4000 оборотах. Измерение оптических плотностей этаноловых экстрактов проводили на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ на длинах волн 750 и 665 нм в кварцевых кюветах. Расчет концентрации хлорофилла «а» осуществляли в соответствии с рекомендациями ХЕЛКОМ (HELCOM, 1988) и согласно РД 52.24.784-2013.

Для выявления общих глобальных и региональных особенностей климата и изменений экосистем озера в результате его вариаций были проанализированы ряды наблюдений (2004–2015 гг.) Росгидромета. Для оценки влияния климатической изменчивости был использован метод непара-

метрической корреляции Спирмена. Расчитаны коэффициенты связи между характеристиками фитопланктона и региональными факторами (температурой, уровнем воды, прозрачностью, Р и N в воде), а также глобальными показателями климатической изменчивости (индексы североатлантического колебания NAO). Значения индекса NAO были взяты с интернет-сайта <http://climatedataguide.ucar.edu>.

Результаты

В период исследований в фитопланктоне Чудско-Псковского озера нами обнаружено 186 видов: Cyanobacteria – 43, Dinophyta – 2, Cryptophyta – 9, Chrysophyta – 2, Xanthophyta – 1, Bacillariophyta – 44, Chlorophyta – 84, Euglenophyta – 1. По числу видов в планктоне всех трех частей озера преобладали зеленые водоросли, наибольшим богатством отличались хлорококковые водоросли. Максимальное видовое разнообразие отмечено для родов *Scenedesmus* и *Closterium*. Практически во всех пробах встречались *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová 1969, *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson in Brébisson & Godey 1835, *S. semperflorens* Chodat 1913, *Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini 1840, *P. duplex* Meyen 1829. Из диатомовых водорослей наиболее разнообразными были роды *Aulacoseira* и *Fragilaria*. Почти на всех станциях в планктоне трех озер часто встречались *Asterionella formosa* Hassall 1850, виды родов *Aulacoseira* и *Cyclotella*. Довольно часто встречались крупные водоросли из родов *Surirella* и *Gyrosigma*. В планктоне всех изученных водоемов было отмечено значительное видовое разнообразие мелкоклеточных колониальных цианобактерий из порядка Chroococcales. Почти на всех станциях встречались виды *Aphanocapsa planctonica* (G. M. Sm.) Komárek & Anagn. 1995, *Aphanocapsa delicatissima* West & G. S. West 1912, *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault 1886, *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) J. Komárková-Legnerová & G. Cronberg 1992, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing 1846 и *Woronichinia naegeliana* (Unger) Elenkin 1933. Среди динофитовых было идентифицировано два вида – *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin 1841 и *Peridinium* sp. Криптomonады *Komma caudata* (Geitler) Hill

1991 и виды родов *Chroomonas* и *Cryptomonas* присутствовали во всех пробах, составляя иногда (в 2015 г.) более 10 % общей биомассы фитопланктона. Желто-зеленая водоросль *Tribonema affine* (Kützing) G. S. West 1904 встречалась в планктоне исследованных озер практически на всех станциях водной системы в августе, хотя и не входила в состав доминантов.

Анализ видового состава фитопланктона исследованных озер показал, что в Чудско-Псковском озере он довольно однороден (коэффициент видового сходства Сёренсена 71–76 %). Значение индекса видового разнообразия Шеннона, рассчитан-

ное по биомассе фитопланктона, варьировало от 2.03 до 4.36 бит/г. Средние величины индекса Шеннона 2.87 ± 0.18 бит/г. Максимальные значения индекса разнообразия было в оз. Псковское.

В период исследования фитопланктона Чудско-Псковского озера преобладали виды-индикаторы олиго- и б-мезосапробных условий. Оценка качества вод по индексам сапробности (по численности) водорослей фитопланктона свидетельствует о том, что качество вод на различных участках Чудско-Псковского озера соответствовало условно чистым водам, I класс качества, и слабо загрязненным, II класс качества (табл. 1).

Таблица 1. Оценка качества вод (РД 52.24.784-2013) Чудско-Псковского озера по индексам сапробности фитопланктона (2014–2015 гг. по численности)

Класс качества воды	Степень загрязненности воды	Индекс сапробности	Станции
Май			
I	Условно чистая	до 1.5	51, 57, 91, 10, 5
II	Слабо загрязненная	> 1.5 до 2.5	22, 52, 27, 56, 7
Август			
I	Условно чистая	до 1.5	51
II	Слабо загрязненная	> 1.5 до 2.5	22, 52, 27, 56, 57, 16, 17, 43, 91, 92, 10 5, 7, 2, 4, 38
Октябрь			
I	Условно чистая	до 1.5	–
II	Слабо загрязненная	> 1.5 до 2.5	22, 52, 51, 27, 56, 57, 91, 10, 5, 7

Биомасса фитопланктона имела широкую амплитуду пространственно-временных значений: для оз. Чудское 0.3–23.0 мг/л, для оз. Псковское 0.4–34.0 мг/л и для оз. Терлое (август) 3.4–25.1 мг/л. Максимальная биомасса цианобактерий была в августе 2014 г.: в Псковском озере достигала 1.96 мг/л (ст. 52), в Чудском – 16.5 мг/л (ст. 56) и в Терлом 12.8 мг/л (ст. 17). Цианобактерии составляли от 4 до 66 % от общей биомассы фитопланктона, доминируя в Псковском озере в 2013 и 2014 гг., а в Чудском – в 2014 и 2015 гг. (рис. 2).

Обсуждение

Среднее значение биомассы фитопланктона в период наблюдений (2012–

2015 гг.) составляло в Чудском озере 2.1 ± 0.2 мг/л, в Псковском озере 5.4 ± 1.4 мг/л и в Терлом озере 6.1 ± 1.2 мг/л и было значительно ниже, чем в период с 2006 по 2011 г. (рис. 3).

На протяжении многих лет исследований в фитопланктоне Чудско-Псковского озера по биомассе преобладали диатомовые, криптофитовые, динофитовые водоросли и цианобактерии (Ежегодник..., 2002–2014). С 2008 по 2013 г. из состава фитопланктона практически исчезли криптофитовые водоросли, достаточно обильные в предыдущие годы. В 2014 г. криптофитовые водоросли *Komma caudata*, *Chroomonas* sp., *Cryptomonas marsonii* Skuja 1948, *Katablepharis ovalis* Skuja 1948 и *Cryptomonas* sp. встречались практически

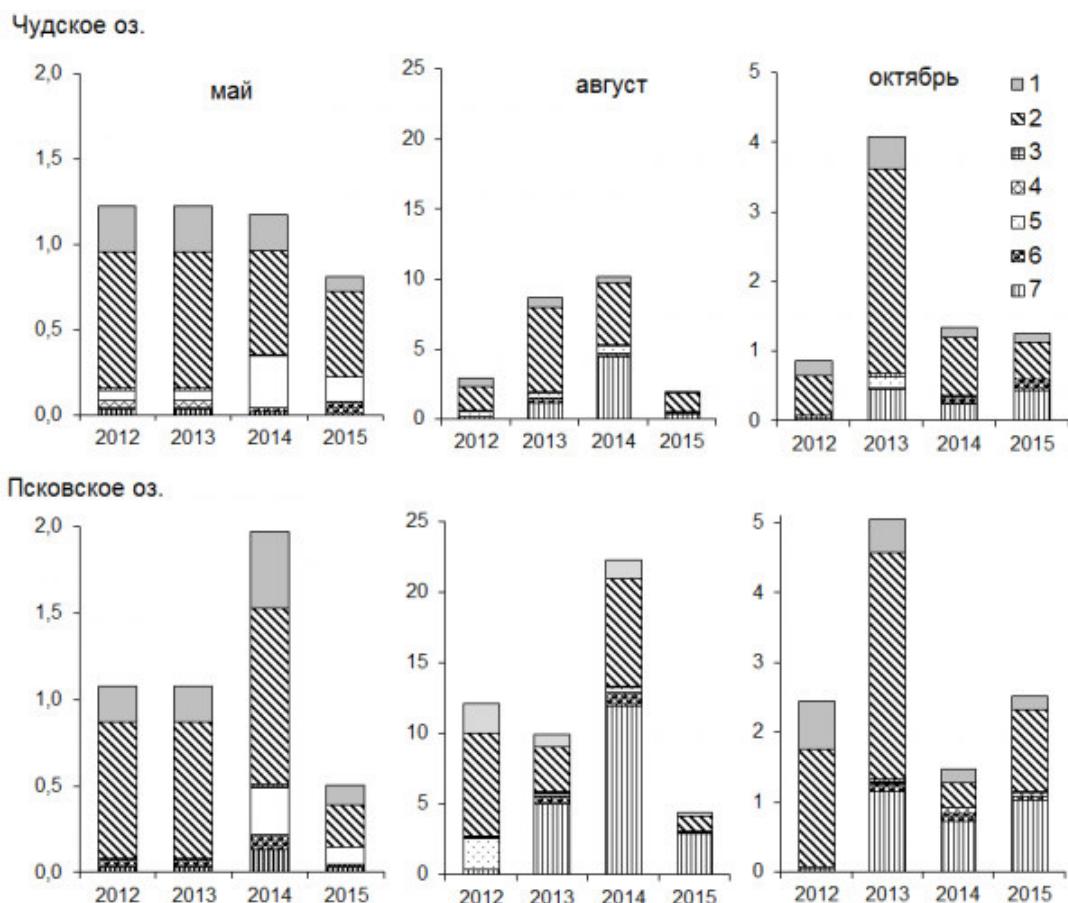


Рис. 2. Структура биомассы (мг/л) фитопланктона в Чудском и Псковском озерах в разные сезоны 2012–2015 гг.: 1 – Chlorophyta, 2 – Bacillariophyta, 3 – Xanthophyta, 4 – Dinophyta, 5 – Chrysophyta, 6 – Cryptophyta, 7 – Cyanobacteria

Fig. 2. The structure of phytoplankton biomass (mg/l) of in the lakes Peipus and Pskov in different seasons of 2012–2015: 1 – Chlorophyta, 2 – Bacillariophyta, 3 – Xanthophyta, 4 – Dinophyta, 5 – Chrysophyta, 6 – Cryptophyta, 7 – Cyanobacteria

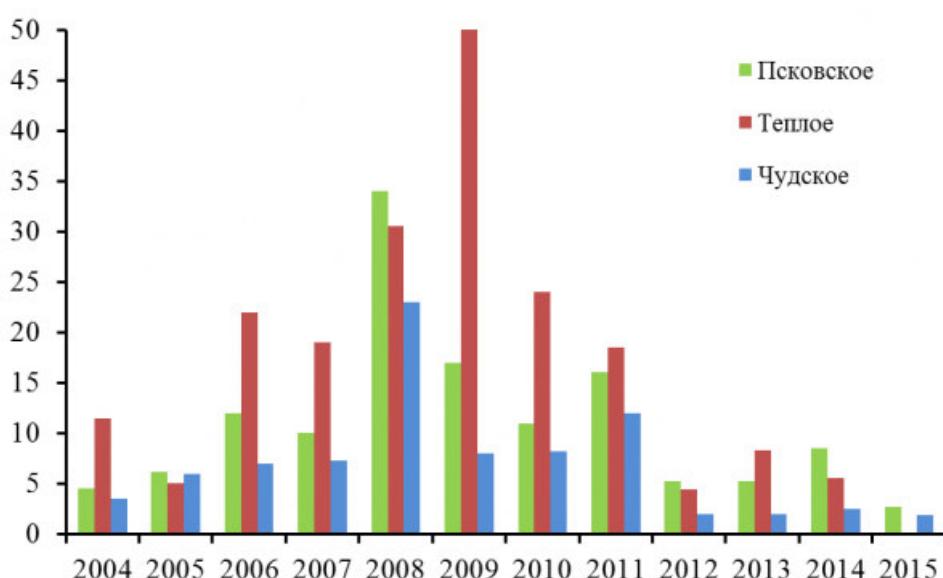


Рис. 3. Межгодовая изменчивость биомассы (мг/л) фитопланктона в различных частях Чудско-Псковского озера в 2004–2015 гг. (2004–2011 гг. по: Ежегодник..., 2005–2012)

Fig. 3. The interannual variability of phytoplankton biomass (mg/l) in different parts of the Peipsi Lake in 2004–2015

во всех пробах, составляя до 6 % общей биомассы, а в 2015 г. *Cotoma caudata* и *Cryptomonas* sp. были обычными и даже доминировали по биомассе в планктоне Чудского озера весной и осенью.

Таксономическая структура в 2012–2015 гг. в целом была сходна с наблюдаемой в предыдущие годы, и состав доминантного комплекса изменился незначительно. По видовому составу, структурообразующим комплексам и биомассе фитопланктона Чудско-Псковское озеро, как и в предыдущие годы наблюдений, относится к водоемам мезотрофного типа с чертами эвтрофии.

Наблюдается значительная межгодовая изменчивость биомассы фитопланктона, что, возможно, связано с антропогенными и природными факторами. Это подтверждает результаты более ранних наблюдений (Лаугасте, 1966; Ястремский, 1986), в которых отмечались межгодовые различия сезонной динамики биомассы в зависимости от климатических особенностей года. Кроме того, в последнее время биомасса фитопланктона в оз. Псковское не всегда выше по сравнению с другими частями системы, как это было в 1970–1980 гг. (Ястремский, 1986).

Интенсивное развитие водорослей планктона было замечено еще в конце XIX и в XX вв. в разных частях Чудско-Псковского озера (Laugaste et al., 2001). По данным Кангура с соавторами (Kangur et al., 2003), структура фитопланктона значительно изменилась и его биомасса (в частности цианобактерии) имела тренд к увеличению в оз. Чудское в период 1992–2001 гг. Характерной особенностью фитопланктона в 2015 г. (как и в 2014 г.) было массовое развитие цианобактерий *Aphanizomenon flos-aquae*. Высокие значения численности клеток фитопланктона в 2015 г. по сравнению с предыдущими исследованиями связаны с обилием мелких колониальных видов цианобактерий: *Aphanocapsa delicatissima* и *Aphanocapsa planctonica*, на долю которых приходилось до 55 % от суммарной численности.

Прямая зависимость биомассы фитопланктона от уровня воды ранее была отмечена для больших неглубоких озер (Nõges and Nõges, 1998). Для Чудско-Псковского озера данные о слабых положительных корреляционных связях среднегодовых значений Северо-Атлантического индекса NAO с температурой воды вегета-

ционного периода ($R = 0.28, p = 0.046$) и биомассой фитопланктона в оз. Псковское ($r = 0.38, p = 0.027$) и отрицательной корреляции с уровнем воды в вегетационный период ($r = -0.48, p = 0.011$) были отмечены Лаугасте с соавторами (Laugaste et al., 2001).

Среднегодовой уровень воды в 1885–1902 и 1918–1921 гг. был реконструирован на основе среднего уровня воды летом в районе г. Тарту (Eipre, 1964). Амплитуда колебания среднего объема воды Чудско-Псковского озера в последние 100 лет изменялась от +11 до -15 % (Karapen et al., 2007). Perez-Peraza с соавторами (2005) показали связь между объемом воды Чудско-Псковского озера и солнечной активностью. Внешние факторы могут быть одной из определяющих, что подтверждают вариации индекса Североатлантического колебания (NAO). Индекс NAO, начиная с конца 1960-х годов, свидетельствует о достоверном 8-летнем колебании (Appenzell et al., 1998). Для Чудско-Псковского озера имеются многолетние данные о среднегодовом объеме воды и расчет скользящей средних с 8-летнем его колебанием на основе данных гидрометрической станции Tiirikoja. Цикличные периоды изменения объема воды продолжительностью 2–3, 5–6, 10–11, 21–22, 26–28, 33 и 80–90 лет с использованием разных методов ранее были выделены для Чудско-Псковского озера (Догановский, 1982; Glazacheva, 1977).

Содержание хлорофилла «а» (Chl a) в 2013–2014 гг. в Чудском озере изменилось от 5.12 до 26.91 мкг/л (в среднем 13.4 ± 1.5 мкг/л) и было меньше, чем в Псковском озере, где значения варьировали от 14.16 до 84.54 мкг/л (34.8 ± 6.9 мкг/л).

В период исследования 2012–2015 гг. выявлены близкие корреляционные связи между Chl a, биомассой фитопланктона ($R = 0.63, p = 0.001$) и прозрачностью воды ($R = -0.83, p = 0.000$). Биомасса диатомовых водорослей в августе имеет отрицательную связь с температурой воды ($R = -0.80, p = 0.001$) и глубиной станций мониторинга ($R = -0.76, p = 0.002$). Среднегодовое содержание N связано с уровнем воды в озере ($R = 0.74, p = 0.002$). Очевидно, что в маловодные годы с водосбора поступает меньше биогенных веществ в озеро, чем в многоводные годы. Однако для Р достоверная связь с уровнем воды не обнаружена.

Отмечены тесные положительные связи ($R = 0.64\text{--}0.83$, $p < 0.002$) между концентрацией Р в воде в августе и летним индексом NAO, а отрицательные с NAO в марте ($R = -0.82$, $p = 0.001$). Индекс NAO отражает крупномасштабный атмосферный процесс, определяющий климатическую изменчивость в Северном полушарии. При положительных значениях индекса преобладают сильные западные ветры, несущие теплый и влажный воздух на север Европейского континента, что особенно ярко проявляется в зимнее время. При положительном индексе NAO увеличиваются осадки, которые повышают сток в озеро с водосбора. Ясная погода в марте (отрицательный индекс NAO) приводит к интенсивному таянию снега и выносу биогенов. Уровень воды в Чудском озере связан ($R = 0.54$, $p = 0.003$) со среднемесячным индексом NAO в августе.

Заключение

Структура фитопланктона Чудско-Псковского озера в 2012–2015 гг. в целом была сходна с предыдущими годами ис-

следования, состав доминантного комплекса изменился незначительно. По видовому составу, структурообразующим комплексам и уровню биомассы фитопланктона озера, как и в предыдущие годы наблюдений, относятся к водоемам мезотрофного типа с чертами эвтрофии. Средняя биомасса фитопланктона составляла в Чудском оз. 2.1 ± 0.2 мг/л, Псковском – 5.4 ± 1.4 мг/л, Теллом – 6.1 ± 1.2 мг/л. Оценка качества воды озер по индексам сапробности фитопланктона свидетельствует о том, что на различных участках Чудско-Псковского озера в 2014–2015 гг. оно соответствовало условно чистым водам (I класс качества) и слабо загрязненным (II класс качества).

Наличие достоверных связей между климатическими, гидрохимическими, гидрологическими и биологическими показателями свидетельствует о заметных влияниях климатических колебаний на экосистемы озера. Климатические изменения влияют на фитопланктон Чудско-Псковского озера преимущественно опосредованно через изменение концентрации биогенных веществ и температуры воды.

Библиография

- Догановский А. М. Циклические колебания уровня воды в озерах в течение прошлого века // География и природные ресурсы. 1982. Вып. 3. С. 152–156.
- Ежегодник состояния экосистем поверхностных вод России (по гидробиологическим показателям). Росгидромет, 2002–2014.
- Лаугасте Р. А. Данные об альгофлоре и сезонной динамике водорослей Чудско-Псковского озера // Гидробиология и рыбное хозяйство Псковско-Чудского озера. Таллин: Валгус, 1966. С. 49–68.
- Лаугасте Р. А. Фитопланктон Чудско-Псковского озера : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тарту, 1968. 30 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Фитопланктон и его продукция / Ред. Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ, ЗИН АН СССР, 1988. 32 с.
- РД 52.24.309-2011. Руководящий документ. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши . Ростов н/Д: Росгидромет: ФБГУ «ГХИ», 2011. 67 с.
- РД 52.24.784-2013. Руководящий документ. Массовая концентрация хлорофилла «а». Методика измерений спектрофотометрическим методом с экстракцией этанолом . Ростов н/Д: Росгидромет: ФБГУ «ГХИ», 2013. 14 с.
- Самсонов Н. А. Планктон Псковского водоема. Весенний и летний планктон // Труды промыслового научной экспедиции по изучению Псковского водоема, 1. Вып. 4. 1914. С. 1–18.
- Самсонов Н. А. Планктон Псковского водоема. Зимний планктон // Труды промыслового-научной экспедиции по изучению Псковского водоема, 1. Вып. 1. 1912. С. 15–30.
- Судницына Д. Н. Разнообразие водорослей озер и рек Псковской области // Доклады Академии наук РАН. 2012. Т. 444. № 5. С. 554–557.
- Ястребский В. В. Закономерности формирования пространственно-временной структуры и продуктивности фитопланктона пелагиали крупных мелководных озер Северо-Запада (на примере Псковско-Чудского водоема) : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1986. 23 с.

- Adrian R., Deneke R., Mischke U., Stellmacher R., Lederer P. A long-term study of the Heilgensee (1975–1992). Evidence for effects of climatic change on the dynamics of eutrophied lake ecosystems // Arch. Hydrobiol. 1995. Vol. 133. P. 315–337.
- Adrian R., O'Reilly C., Zagarese H., Baines S. B., Hessen D. O., Keller W., Livingstone D. M., Sommaruga R., Straile D., Donk E. V., Weyhenmeyer G. A., Winder M. Lakes as sentinels of climate change // Limnol. Oceanogr. 2009. Vol. 54. № 6. P. 2283–2297.
- Appenzeller C., Stocker T., Anklin M. North Atlantic Oscillation Dynamics Recorded in Greenland Ice Cores // Science. 1998. Vol. 282. P. 446–449.
- Eipre T. State of Lake Peipsi // Estonian Geographical Union annual book 1963. Tallinn, 1964. P. 34–54.
- Glazačeva L. I. Cycles of natural processes and water levels of the lakes and rivers. Riga, 1977. 50 p.
- HELCOM Guidelines for the Baltic monitoring programme for the third stage. Part D. Biological determinants // Baltic Sea Environment Proceedings. 1988. 27D. P. 1–161.
- Jeppesen E., Kronvang B., Meerhoff M., Sondergaard M., Hansen K. M., Andersen H. E., Lauridsen T. L., Beklioglu M., Ozen A. O., Olesen J. E. Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations // J. Environ. Qual. 2009. Vol. 38 (5). P. 1030–1041.
- Kangur K., Möls T., Milius A., Laugaste R. Phytoplankton response to changed nutrient level in Lake Peipsi (Estonia) in 1992–2001 // Hydrobiologia. 2003. Vol. 506–509. P. 265–272.
- Kapanen G., Punning J.-M., Blinova I., Kangur K. The Roles of Natural and Anthropogenic Factors of Ecological State in the Lake Peipus // International Journal of Applied Science, Engineering and Technology. 2007. Vol. 7. P. 133–138.
- Laugaste R., Noges T., Noges P., Jastremskij V., Milius A., Ott I. Algae // Lace Peipsi Flora and Fauna. 2001. Tartu, 2001. P. 31–49.
- Markensten H. Climate effects on early phytoplankton biomass over three decades modified by the morphometry in connected lake basins // Hydrobiologia. 2006. Vol. 559. P. 319–329.
- Nõges P., Nõges T. The effect of fluctuating water level on the ecosystem of Lake Võrtsjärv, central Estonia // Proceedings of the Academy of Sciences, Estonia. 1998. Ecology Series 47. P. 98–113.
- Olenina I., Hajdu S., Edler L., Andersson A., Wasmund N., Busch S., Göbel J., Gromisz S., Huseby S., Huttunen M., Jaanus A., Kokkonen P., Ledaine I., Niemkiewicz E. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea. HELCOM Balt. Sea Environ. Proc. 2006. № 106. 144 p.
- Perez-Peraza J., Leyva-Contreras A., Valdes-Barron M., Libin I., Yudakhin K., Jaani A. Influence of solar activity on hydrological processes // Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss. 2005. Vol. 2. P. 605–637.
- Sharov A. N., Berezina N. A., Nazarova L. E., Poliakova T. N., Chekryzheva T. A. Links between biota and climate-related variables in the Baltic region using Lake Onega as an example // Oceanologia. 2014. Vol. 56 (2). P. 291–306.
- Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // Adv. Limnol. 1973. Vol. 7. P. 1–28.

SPATIO-TEMPORAL ORGANIZATION OF PHYTOPLANKTON IN PEIPSI LAKE

SHAROV
Andrey Nikolaevich

*Saint-Petersburg Scientific Research Center for Ecological Safety
Russian Academy of Sciences, sharov_an@mail.ru*

ANDREEVA
Irina Vitalievna

North-West Administration Hydrometeorology and Environmental Monitoring of the Russian Federation, ir-andr@yandex.ru

Key words:
phytoplankton
biomass
species composition
chlorophyll «a»
climatic variability

Summary: In the article, the results of the study of phytoplankton received at 16 stations of the Lake Peipsi in the spring (May), summer (August) and autumn (October) within the period of 2012–2015 were analyzed. 186 phytoplankton species were found. The list of mass taxa is given. It was noted that phytoplankton biomass had wide amplitude of annual average values in different lakes: Lake Peipsi/Chudskoe 2.1 ± 0.2 (0.3–23.0) mg / L; Lake Pihkva/Pskovskoe 5.4 ± 1.4 (0.4–34.0) mg / L and Lake Lämmijärvi/Teploe 6.1 ± 1.2 (3.4–25.1) mg / L. According to species composition, structure and biomass of phytoplankton the lake belongs to the mesotrophic reservoirs with eutrophic features, as it was in previous years of observation. The water quality in the different parts of Lake Peipsi corresponded to conditionally pure water (1st quality class) and slightly polluted one (2nd quality class). Correlation between characteristics of phytoplankton and the environmental factors (temperature, water level, transparency, N and P concentration in water) was detected.

Received on: 23 June 2016

Published on: 14 December 2016

References

- Doganovskiy A. M. Cyclic fluctuations of the water level in the lakes during the past century, *Geografiya i prirody resursy*. 1982. Vyp. 3. P. 152–156.
- Yearbook of the ecosystems condition of surface waters in Russia (on hydrobiological indicators). Rosgidromet, 2002–2014.
- Laugaste R. A. Data on the algal flora and seasonal dynamics of algae in the Lake Peipus-Pskov, *Gidrobiologiya i rybnoe hozyaystvo Pskovsko-Chudskogo ozero*. Tallin: Valgus, 1966. P. 49–68.
- Laugaste R. A. Phytoplankton in the Lake Peipsi: Avtoref. dip. ... kand. biol. nauk. Tartu, 1968. 30 p.
- Guidelines for the collection and processing of materials in hydrobiological research on freshwater reservoirs. Phytoplankton and its products, Red. G. G. Vinberg, G. M. Lavrent'eva. L.: GosNIORH, ZIN AN SSSR, 1988. 32 p.
- Guidance document. Organization and carrying out routine observations of the condition and pollution of surface water. Rostov n/D: Rosgidromet: FBGU «GHI», 2011. 67 p.
- Guidance document. The mass concentration of chlorophyll a. Methods of measuring by spectrophotometric method using extraction with ethanol. Rostov n/D: Rosgidromet: FBGU «GHI», 2013. 14 p.
- Samsonov N. A. Plankton in the Lake Pskov . Spring and summer plankton, *Trudy promyslovo-nauchnoy ekspedicii po izucheniyu Pskovskogo vodoema*, 1. Vyp. 4. 1914. P. 1–18.
- Samsonov N. A. Plankton in the Lake Pskov . Winter plankton, *Trudy promyslovo-nauchnoy ekspedicii po izucheniyu Pskovskogo vodoema*, 1. Vyp. 1. 1912. P. 15–30.
- Sudnicyna D. N. A variety of algae in lakes and rivers of the Pskov region, *Doklady Akademii nauk RAN*. 2012. T. 444. No. 5. P. 554–557.
- Yastremskiy V. V. Patterns of the space-time structure formation and productivity of the pelagic phytoplankton of large shallow lakes in the North-West (for example, the Peipsi): Avtoref. dip. ... kand. biol. nauk. L., 1986. 23 p.
- Adrian R., Deneke R., Mischke U., Stellmacher R., Lederer P. A long-term study of the Heiligensee (1975–1992). Evidence for effects of climatic change on the dynamics of eutrophied lake ecosystems, *Arch. Hydrobiol.* 1995. Vol. 133. P. 315–337.
- Adrian R., O'Reilly C., Zagarese H., Baines S. B., Hessen D. O., Keller W., Livingstone D. M., Sommaruga R., Straile D., Donk E. V., Weyhenmeyer G. A., Winder M. Lakes as sentinels of climate change, *Limnol. Oceanogr.* 2009. Vol. 54. No. 6. P. 2283–2297.

- Appenzeller P., Stocker T., Anklin M. North Atlantic Oscillation Dynamics Recorded in Greenland Ice Cores, *Science*. 1998. Vol. 282. P. 446–449.
- Eipre T. State of Lake Peipsi, Estonian Geographical Union annual book 1963. Tallinn, 1964. P. 34–54.
- Glazačeva L. I. Cycles of natural processes and water levels of the lakes and rivers. Riga, 1977. 50 p.
- HELCOM Guidelines for the Baltic monitoring programme for the third stage. Part D. Biological determinants, *Baltic Sea Environment Proceedings*. 1988. 27D. P. 1–161.
- Jeppesen E., Kronvang B., Meerhoff M., Sondergaard M., Hansen K. M., Andersen H. E., Lauridsen T. L., Beklioglu M., Ozen A. O., Olesen J. E. Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations, *J. Environ. Qual.* 2009. Vol. 38 (5). P. 1030–1041.
- Kangur K., Möls T., Milius A., Laugaste R. Phytoplankton response to changed nutrient level in Lake Peipsi (Estonia) in 1992–2001, *Hydrobiologia*. 2003. Vol. 506–509. P. 265–272.
- Kapanen G., Punning J. M., Blinova I., Kangur K. The Roles of Natural and Anthropogenic Factors of Ecological State in the Lake Peipus, *International Journal of Applied Science, Engineering and Technology*. 2007. Vol. 7. P. 133–138.
- Laugaste R., Noges T., Noges P., Jastremskij V., Milius A., Ott I. *Algae, Lace Peipsi Flora and Fauna*. 2001. Tartu, 2001. P. 31–49.
- Markensten H. Climate effects on early phytoplankton biomass over three decades modified by the morphometry in connected lake basins, *Hydrobiologia*. 2006. Vol. 559. P. 319–329.
- Nõges P., Nõges T. The effect of fluctuating water level on the ecosystem of Lake Võrtsjärv, central Estonia, *Proceedings of the Academy of Sciences, Estonia*. 1998. Ecology Series 47. P. 98–113.
- Olenina I., Hajdu S., Edler L., Andersson A., Wasmund N., Busch S., Göbel J., Gromisz S., Huseby S., Huttunen M., Jaanus A., Kokkonen P., Ledaine I., Niemkiewicz E. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea. *HELCOM Balt. Sea Environ. Proc.* 2006. No. 106. 144 p.
- Perez-Peraza J., Leyva-Contreras A., Valdes-Barron M., Libin I., Yudakhin K., Jaani A. Influence of solar activity on hydrological processes, *Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss.* 2005. Vol. 2. P. 605–637.
- Sharov A. N., Berezina N. A., Nazarova L. E., Poliakova T. N., Chekryzheva T. A. Links between biota and climate-related variables in the Baltic region using Lake Onega as an example, *Oceanologia*. 2014. Vol. 56 (2). P. 291–306.
- Sládeček V. System of water quality from the biological point of view, *Adv. Limnol.* 1973. Vol. 7. P. 1–28.