

УДК 582.26

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОМЕРНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИНАМИКИ БИОМАССЫ ПЛАНКТОННЫХ СИНЕ-ЗЕЛЕННЫХ, ДИАТОМОВЫХ И ЗЕЛЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЧУДСКО-ПСКОВСКОГО ОЗЕРА

С. Г. Михалап^{1*}, Е. М. Воробьева¹, Д. Н. Судницына¹, В. В. Борисов²

¹ Псковский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ПсковНИРО») (ул. Максима Горького, 13, Псков, Россия, 180007), *bibpskniorh@gmail.com

² Псковский государственный университет (пл. Ленина, 2, Псков, Россия, 180000)

В представленной работе на примере трех таксономических групп микроводорослей Псковского озера (сине-зеленых, зеленых и диатомовых) рассматривается влияние комплексных гидролого-гидрохимических условий среды на многолетнюю динамику биомассы. Кластерный анализ, выполненный на основе данных по многолетней динамике биомассы фитопланктона в Псковском озере, показал, что сине-зеленые водоросли отличаются наибольшим своеобразием, в то время как диатомовые и зеленые водоросли имеют значительное сходство. Приводится обоснование применения метода главных компонент как процедуры, позволяющей выполнить редукцию данных и создать независимые компоненты, при помощи которых значительно легче описать происходящие в системе закономерности. Перед проведением процедуры анализа производится проверка на мультиколлинеарность данных при помощи корреляционного анализа. В ходе анализа выявлено пять главных компонент, определяющих закономерности изменения биомассы фитопланктона. Показано, что сине-зеленые водоросли имеют наибольшую зависимость от температурного режима озера и содержания в воде растворенных минеральных и органических соединений, что вполне согласуется с данными, полученными другими авторами. Зеленые водоросли, по сравнению с сине-зелеными, более чувствительны к кислотно-щелочному балансу водной среды, а для комплекса диатомовых водорослей существенное значение имеет лишь уровенный режим и продолжительность подледного периода.

Ключевые слова: Чудско-Псковское озеро; фитопланктон; факторный анализ; биомасса

Для цитирования: Михалап С. Г., Воробьева Е. М., Судницына Д. Н., Борисов В. В. Использование многомерных методов анализа при изучении динамики биомассы планктонных сине-зеленых, диатомовых и зеленых водорослей в южной части Чудско-Псковского озера // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 6. С. 133–141. doi: 10.17076/lim1626

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, грант № 20-64-46018.

**S. G. Mikhalap^{1*}, E. M. Vorob'eva¹, D. N. Sudnitsyna¹, V. V. Borisov².
APPLICATION OF MULTIDIMENSIONAL ANALYSIS METHODS IN STUDYING
THE DYNAMICS OF PLANKTONIC CYANOBACTERIA, DIATOMS AND
CHLOROPHYTA BIOMASS IN THE SOUTHERN PART OF LAKE PEIPUS**

¹ Pskov Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (PskovNIRO) (13 Maksima Gor'kogo St., 180007 Pskov, Russia), *bibpskniorh@gmail.com

² Pskov State University (2 Lenin Sq., 180000 Pskov, Russia)

The influence of hydrological and hydrochemical conditions on the long-term biomass dynamics is studied using three taxonomic groups of microalgae in Lake Peipus (Cyanobacteria, Chlorophyta and Diatoma). Cluster analysis based on long-term phytoplankton biomass dynamics in the lake showed that blue-green algae stood apart, while diatoms and green algae were quite similar to each other. The rationale for the application of principal components analysis is that this procedure allows reducing the data set and creating independent components, making it much easier to describe patterns in the systems. Before the analysis, data were checked for multicollinearity using correlation analysis. Analysis revealed five principal components which determined the patterns of change in phytoplankton biomass. It is shown that Cyanobacteria depend the most on the lake temperature regime and the content of dissolved mineral and organic compounds in the water, which is in full agreement with the data reported by other authors. Chlorophyta, compared with blue-green algae, are more sensitive to the acid-base balance of the water. As for diatoms, only the water level and the duration of the ice-covered period matter.

Keywords: Lake Peipus; phytoplankton; factor analysis; biomass

For citation: Mikhalap S. G., Vorobieva E. M., Sudnitsyna D. N., Borisov V. V. Application of multidimensional analysis methods in studying the dynamics of planktonic cyanobacteria, diatoms and chlorophyta biomass in the southern part of Lake Peipus. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 6. P. 133–141. doi: 10.17076/lim1626

Funding. The study was funded by Russian Science Foundation grant # 20-64-46018.

Введение

Чудско-Псковское озеро, один из крупнейших водоемов Европы, включает в себя три части: северную – Чудское озеро площадью 2611 км³, южную – Псковское озеро площадью 708 км³ и соединяющий их пролив – Теплое озеро (236 км³). Этот мелководный эвтрофный водоем, имеющий трансграничный статус, относится к хорошо изученным как в России, так и в Эстонии. Результаты его исследований, продолжающихся с середины XIX века, подробно излагались в монографиях и многочисленных статьях. Последняя коллективная монография «Peipsi», подготовленная совместно эстонскими и российскими специалистами, издана в 2008 г. (перевод на русский язык с дополнениями – в 2012 г.). История изучения состояния водоема по показателям фитопланктона за период с 1970 по 2010 гг. подробно охарактеризована в монографии В. В. Ястремского [2016].

Чудско-Псковское озеро относится к планктонному типу, где первичная продукция фитопланктона превышает продукцию других вод-

ных растительных сообществ, а именно макрофитов, фитоперифитона и фитобентоса [Лаугасте и др., 2012]. В составе сообщества планктонных микроводорослей водоема выявлено более 1000 видов, из них в пелагической части – около 500. В пелагиали южной части озера отмечено 374 вида [Ястремский, 2016].

Основу фитопланктона Псковского озера, как и всего озера, составляют 3 таксона: диатомовые, сине-зеленые и зеленые водоросли. Водоросли других отделов (динофитовые, криптофитовые, эвгленовые и желто-зеленые) играют незначительную роль в фитопланктоне, но в отдельные годы и сезоны некоторые из них, особенно крупноклеточные формы из динофитовых и эвгленовых, вносят значительный вклад в общую продукцию.

Основные проблемы Чудско-Псковского озера по-прежнему связаны с антропогенным эвтрофированием, несмотря на то, что поступление питательных веществ после 90-х годов прошлого столетия несколько сократилось. В последнее время в водоеме

главными источниками поступления биогенов, в первую очередь фосфора, стали донные отложения [Игнатьева, 2012; Tammeorg et al., 2020], поэтому для водоема характерно некоторое превышение биогенной нагрузки (фосфорной в 1,15 раза, азотной в 2 раза) [Лозовик, Фруммин, 2018]. В южной части озерного комплекса – в Псковском озере, которое почти полностью располагается на территории России, содержание биогенов выше, чем в Чудском. По данным О. Tammeorg [2020], за период 2003–2016 гг. среднемноголетнее содержание биогенных веществ в поверхностном слое Псковского озера составило: 0,77 мг/дм³ общего азота и 0,086 мг/дм³ общего фосфора.

В последние годы в связи с глобальными климатическими изменениями, сопровождающимися повышением теплообеспеченности водных масс, в сезонной динамике ряда лимнологических процессов на Чудско-Псковском водоеме стали проявляться определенные отклонения, например, температурные аномалии, изменение сроков ледостава и т. п., влияющие на продолжительность и экологические особенности биологических сезонов. Как справедливо отмечает В. В. Ястремский [2016], при высокой обеспеченности биогенными элементами основными факторами, влияющими на уровень развития гидробионтов, становятся климатические. Это усугубляется тем, что водосбор Чудско-Псковского озера располагается в зоне переходного климата от морского к континентальному [Слинчак, 2012]. Нельзя также не отметить и значительное косвенное воздействие климатических факторов, которое заключается во влиянии на гидрологические и гидрохимические процессы в водоемах, в том числе и на круговороты биогенных элементов [Pant, 2007; Breton et al., 2020 и др.].

Многолетними исследованиями установлено, что из климатических факторов, определяющих сезонные и межгодовые различия в развитии фитопланктона Чудско-Псковского озера, выделяются колебания уровня и температуры воды. Влияние уровня воды на последующее состояние фитопланктона довольно хорошо изучено. По данным В. В. Ястремского [1983], в Псковском озере в многоводную фазу происходит снижение биомассы фитопланктона. Особенно отчетливо отрицательное влияние этого фактора проявляется в отношении сине-зеленых и зеленых водорослей.

Что касается температурного фактора, то по результатам многолетних исследований установлено его положительное влияние на рост и развитие сине-зеленых водорослей Псковского озера.

В настоящей работе авторами предпринята попытка проследить, как климатические факторы и связанные с ними параметры среды влияют на многолетнюю динамику развития трех основных таксонов фитопланктона в южной части Чудско-Псковского водоема – Псковском озере – в период с 1980 по 2021 гг.

Материалы и методы

Изучение Чудско-Псковского озерного комплекса проводится регулярно на постоянных станциях. В российской части акватории гидрохимические и гидробиологические пробы отбирались ежемесячно с мая по октябрь на 5 станциях в Чудском озере и 4 станциях в Псковском.

Непосредственно на станциях лимнологических наблюдений осуществлялось измерение глубины, температуры воды, ее прозрачности, цветности, величины рН, а также фиксация проб кислорода. Последующие анализы проб воды проводились по общепринятым методикам лимнологических исследований [Алекин, 1973; Унифицированные..., 1977].

Учитывая высокую гидродинамическую активность водной толщи Чудско-Псковского озера, вследствие его мелководности и большой акватории, отбор проб воды батометром Рутнера производился обычно с поверхностного горизонта, и лишь во время максимального прогрева воды (июль-август) осуществлялся дополнительный отбор проб с придонного горизонта в центральных частях Чудского и Псковского озер. Всего в дальнейшем анализе использовалось 12 гидрологических и гидрохимических параметров среды.

Отбор проб фитопланктона осуществляли с поверхности воды в пробоотборники объемом 0,5 л и фиксировали 40%-м раствором формалина. После концентрации осадочным методом пробы просчитывали в камере Нажотта объемом 0,01 мл. Биомассу определяли общепринятым счетно-объемным методом.

Выявление взаимосвязи фитопланктонных организмов со средовыми характеристиками и степени тесноты этих связей выполнялось с применением методов корреляционного и регрессионного анализов. Поскольку большая часть из использованных в анализе переменных среды не подчиняется закону нормального распределения, для расчета степени связи между ними был использован ранговый коэффициент корреляции Спирмена, который позволяет рассчитывать силу связей между переменными вне зависимости от типа распределения [Пузаченко, 2004].

Для выявления степени сходства многолетней динамики биомассы основных рассматриваемых групп водорослей был выполнен иерархический кластерный анализ.

С целью выявления комплексных зависимостей между характеристиками среды и показателями биомассы фитопланктона, а также для сокращения числа рассматриваемых переменных был выполнен факторный анализ, а именно метод главных компонент, главной задачей которого является отображение исходной системы переменных среды во вновь получаемых ортогональных (независимых) координатах. Благодаря этой процедуре нам удалось сократить количество переменных, используемых в анализе, без существенной потери данных [Пузаченко, 2004].

Главные компоненты не коррелируют между собой, т. е. целью метода главных компонент является отображение исходной системы в ортогональных координатах и выявление строго независимых направлений изменчивости переменных. В отличие от МГК в факторном анализе выполняется поворот осей главных компонент с целью максимизировать наибольшие нагрузки и обнулить незначительные (так называемые итеративные методы), в результате чего факторы могут коррелировать друг с другом. Данная процедура проводится для наибольшей контрастности групп зависимых переменных. В этом случае факторный анализ позволяет выявить более естественные группы переменных среды, но главным недостатком является то, что они зачастую связаны между собой (коллинеарны) [Пузаченко, 2004; Коросов и др., 2007].

При определении количества главных компонент (факторов), достаточных для описания существующей системы взаимосвязей между тремя группами микроводорослей и характеристиками среды, использован критерий Кайзера [Braeken, van Assen, 2017], согласно которому для дальнейшего анализа используются только те главные компоненты, собственные значения которых больше 1, т. е. если они выделяют дисперсию, эквивалентную по крайней мере дисперсии одной переменной. Главные компоненты, не отвечающие этим требованиям, опускаются. В нашем случае для дальнейшего анализа были выбраны 5 главных компонент, и все последующие процедуры выполнялись именно с ними. Также следует отметить, что другой критерий оценки количества главных компонент, достаточных для описания системы, – критерий «каменистой осыпи» – дал тождественные результаты.

Все этапы обработки и визуализации данных производились при помощи программ MS Excel и программы обработки данных Statistica 13.

Результаты и обсуждение

Предварительный анализ структуры данных, использованных в анализе, показал, что большая часть из них не подчиняется закону нормального распределения, что не позволяет корректно применять ряд параметрических статистических критериев, в частности корреляцию Пирсона [Пузаченко, 2004]. Произведенный расчет коэффициентов корреляции Спирмена между переменными показал высокую зависимость между цветностью и перманганатной окисляемостью ($R = 0,71$; $p < 0,05$), поэтому было принято решение об исключении характеристики цветности из дальнейшей процедуры для устранения эффекта мультиколлинеарности.

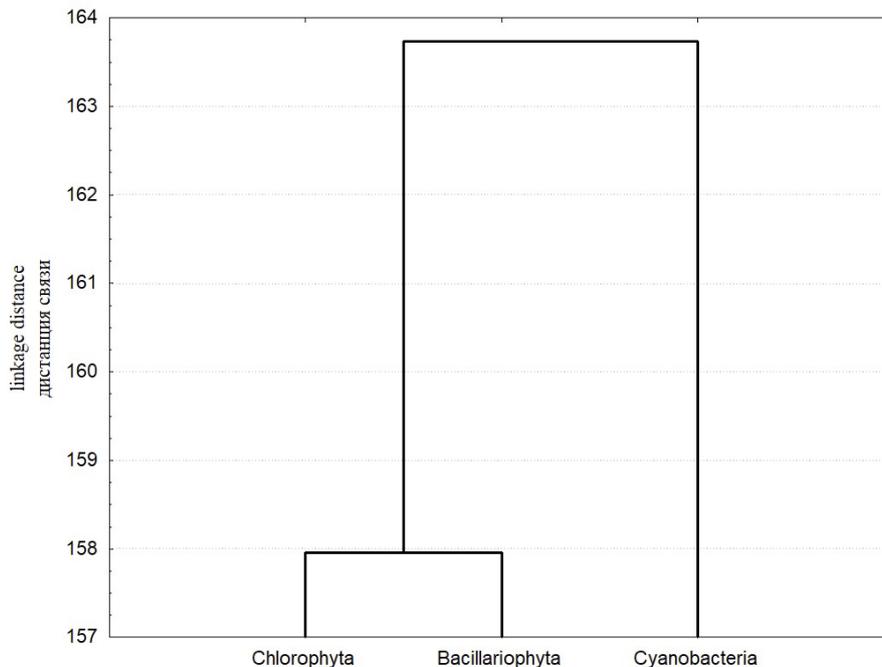
По особенностям многолетней динамики биомассы в Псковском озере сине-зеленые водоросли отличаются наибольшим своеобразием, в то время как диатомовые и зеленые водоросли имеют значительное сходство в динамике биомассы (рис.). Скорее всего, данное обстоятельство обусловлено более сильной зависимостью цианобактерий от средовых флуктуаций, в частности от температурного режима и концентрации растворенных веществ.

Выявление комплексной взаимосвязи фитопланктона со средовыми характеристиками и степени тесноты этих связей выполнялось с применением методов корреляционного анализа, являющегося своего рода «разведочным» методом, позволяющим определить направление и силу связей между переменными среды и биомассой основных групп микроводорослей, и регрессионного анализа, который позволяет установить вид зависимости признака от нескольких других признаков и помогает ответить на вопрос, какая из характеристик среды является наиболее значимой для развития групп фитопланктона.

Кроме того, с целью контрастирования взаимосвязей между характеристиками среды и показателями биомассы фитопланктона и редукции данных был применен метод главных компонент (МГК). После проведения анализа МГК определялся физический смысл выделенных главных компонент. Для этой цели были рассчитаны коэффициенты корреляции между вновь созданными главными компонентами и использованными для их получения переменными среды (табл. 1). В таблице 1 представле-

ны значения коэффициентов корреляции между значениями переменных среды и собственными значениями вновь выделенных главных компонент. При анализе данной таблицы важна в первую очередь сила связи, а также ее направление, поскольку экологическая интерпре-

тация главных компонент возможна только при понимании характера размещения переменных среды во вновь созданном редуцированном пространстве, «осями» которого как раз и выступают полученные главные компоненты [Пущаченко, 2004].



Дендрограмма сходства многолетней динамики биомасс основных таксонов фитопланктона в Псковском озере

Similarity dendrogram of long-term biomass dynamics of the main phytoplankton taxa in Lake Pskovskoye

Таблица 1. Значения факторных нагрузок выделенных главных компонент (ГК)

Table 1. Values of factor loadings of the selected principal components (PC)

Переменные среды Environment variables	ГК 1 PC 1	ГК 2 PC 1	ГК 3 PC 1	ГК 4 PC 1	ГК 5 PC 1
Температура / Temperature	-0,37	-0,71	-0,26	0,04	-0,14
Уровень воды / Water level	-0,09	0,01	-0,32	-0,78	-0,10
Прозрачность / Transparency	-0,22	-0,40	-0,36	-0,09	0,57
Растворенный кислород Dissolved oxygen	-0,18	-0,58	0,50	0,15	0,16
pH	0,05	0,23	0,81	-0,19	0,16
Фотосинтез / Photosynthesis	-0,84	0,37	0,08	0,06	0,05
Деструкция / Destruction	-0,23	-0,63	0,18	0,03	-0,46
Сумма ионов / Sum of ions	-0,88	0,26	-0,10	0,02	-0,00
Перманганатная окисляемость Permanganate oxidizability	-0,85	0,33	-0,02	-0,07	0,09
БПК ₅ / Biochemical oxygen demand (BOD)	-0,45	-0,59	0,29	-0,17	-0,01
Продолжительность подледного периода (дней) Ice period duration (days)	0,38	-0,08	0,21	-0,62	0,11

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее значимые коэффициенты корреляции.

Note. The most significant correlation coefficients are given in bold.

Таблица 2. Физический смысл полученных главных компонент и их вклад в описание дисперсии рассматриваемых переменных

Table 2. Physical meaning of the obtained principal components and their contribution to the description of the variables variance

Фактор (ГК) Factor (PC)	Описание Description	% описания % of variance description
ГК 1 PC 1	Содержание в воде минеральных веществ, в том числе и окисляемых автохтонных Content of mineral substances in water, including oxidizable autochthonous ones	27,6
ГК 2 PC 2	Термический режим, содержание органических веществ и биогенов в воде Thermal regime, content of organic substances and nutrients in water	17,7
ГК 3 PC 3	Содержание в воде растворенного кислорода и повышение щелочности среды Content of dissolved oxygen in water and alkalinity of the environment	13,4
ГК 4 PC 4	Уровенный режим и продолжительность ледостава Water level regime and ice-period duration	9,6
ГК 5 PC 5	Прозрачность воды Water transparency	6,7

Следует обратить внимание на то, что по мере снижения порядкового номера главной компоненты ее корреляции с переменными снижаются и становятся все более специфичными. Это закономерный процесс процедуры получения главных компонент, т. к. они выделяются последовательно и содержат все меньше и меньше общей дисперсии. В совокупности все выделенные главные компоненты описывают 75,8 % происходящих в системе закономерностей. Интерпретация физического смысла полученных главных компонент и их вклад в общее описание рассматриваемой системы представлены в таблице 2. Полученные главные компоненты практически не связаны между собой. Лишь между второй и пятой главными компонентами наблю-

дается незначительная отрицательная связь ($R = -0,17$; $p < 0,05$).

Для выявления влияния полученных главных компонент на динамику биомассы рассматриваемых групп водорослей выполнен корреляционный анализ, результаты которого представлены в таблице 3.

Данные таблицы 3 показывают, что диатомовые водоросли меньше всех остальных таксонов связаны с гидролого-гидрохимическими особенностями среды. Уровень биомассы этих водорослей зависит лишь от уровня режима и продолжительности подледного периода, которые в совокупности обуславливают степень полноводности озера и, как правило, способствуют снижению концентрации растворенных веществ в водных массах.

Таблица 3. Значения коэффициентов корреляции Спирмена между значениями главных компонент и показателями биомассы основных групп фитопланктона

Table 3. Spearman correlation coefficients between the values of the principal components and the algae groups biomass

	Сине-зеленые Cyanobacteria	Диатомовые Diatoma	Зеленые Chlorophyta
ГК 1 PC 1	-0,41	-0,05	-0,24
ГК 2 PC 2	-0,61	-0,03	-0,43
ГК 3 PC 3	-0,42	-0,27	-0,57
ГК 4 PC 4	0,02	-0,70	-0,08
ГК 5 PC 5	0,15	0,03	0,54

Примечание. Жирным шрифтом выделены достоверные значения ($p < 0,05$).

Note. Significant ones are given in bold ($p < 0.05$).

Для сине-зеленых водорослей главную роль играет вторая главная компонента, но значимыми также являются первая и третья. Таким образом, цианобактерии находятся в наиболее комплексной зависимости от условий среды. В реальности это означает, что данная группа микроводорослей наиболее интенсивно развивается в прозрачной воде, богатой растворенными в ней минеральными и органическими соединениями. Прозрачность необходима для осуществления процессов фотосинтеза, а минеральные и органические соединения служат строительным материалом для клеток водорослей. Продуктивность сине-зеленых водорослей возрастает в теплые периоды маловодной фазы и особенно в штилевую погоду, так как на прозрачность воды в мелководном Псковском озере большое влияние оказывают взвешенные вещества, концентрация которых повышается при ветровых воздействиях.

Сходными предпочтениями обладают и зеленые водоросли, однако для данной группы большое значение имеет рН среды и содержание в воде растворенного кислорода. В целом можно предположить, что, несмотря на довольно высокую схожесть динамики биомасс зеленых и сине-зеленых водорослей, последние гораздо более зависимы от содержания в воде растворенных органических и минеральных соединений, в то время как зеленые водоросли более чувствительны к кислотно-щелочному балансу водной среды.

Уровенный режим и продолжительность ледостава, по-видимому, напрямую не влияют на динамику биомассы сине-зеленых и зеленых водорослей, а отрицательную связь диатомовых с четвертой главной компонентой можно объяснить достаточно высокой «холодолюбивостью» данной группы по сравнению с двумя предыдущими.

Заключение

Полученные авторами данные по влиянию комплексных гидролого-гидрохимических условий среды на многолетнюю динамику биомассы трех таксонов водорослей позволили выявить ведущие комплексы переменных среды, которые в совокупности определяют степень развития в Псковском озере определенных таксономических групп микроводорослей. Показано, что в ряду главных характеристик среды, определяющих развитие сине-зеленых и в меньшей степени зеленых водорослей, находятся температурный режим и содержание в воде биогенов и легко-

окисляемых органических соединений, которые в процессе деструкции выступают в качестве дополнительных источников поступления в воду азота и фосфора. Полученные данные по сине-зеленым водорослям вполне согласуются с результатами эстонских исследователей [Laugaste et al., 2013]. Также показано отрицательное влияние на вышеперечисленные таксоны увеличения содержания в воде растворенного кислорода, который играет важную роль при аэробном разложении органики и снижает долю легкоокисляемых веществ в воде. Повышение температуры воды и маловодность последнего десятилетия стали возможной причиной усиления интенсивности «цветения» сине-зеленых водорослей в Псковском озере, увеличения их вклада в общую биомассу фитопланктона (до 90 % в июле 2021 г.). Следует отметить, что высокие показатели сине-зеленых водорослей в 2021 г. и определенные изменения в составе и структуре всего сообщества планктонных водорослей не нарушили его стабильности, определяемой по величине амплитуды колебаний среднемесячной биомассы ($V_{\text{макс}}/V_{\text{мин}}$) [Трифенова, 1986]. Зеленые водоросли также зависимы от содержания в воде биогенных веществ и органики, но более чувствительны к кислотно-щелочному балансу водной среды.

Вышеперечисленные факторы не оказывают существенного влияния на комплекс диатомовых водорослей, для которых значение имеет лишь уровенный режим и продолжительность подледного периода.

Литература

- Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 269 с.
- Игнатъева Н. В. Роль донных отложений в круговороте фосфора в Псковско-Чудском озере // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: Матер. V Всерос. симпозиума с междунар. участием (Петрозаводск, 10–14 сентября 2012 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 99–103.
- Коросов А. В., Горбач В. В. Компьютерная обработка биологических данных: метод. пособие. Петрозаводск: ПетрГУ, 2007. 76 с.
- Лаугасте Р., Ныгес Т., Ястремский В., Тынно И. Водоросли // Псковско-Чудское озеро. Тарту: Eesti Loodusfoto, 2012. С. 263–283.
- Лозовик П. А., Фрумин Г. Т. Современное состояние и допустимые биогенные нагрузки на Псковско-Чудское озеро // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 3. С. 3–10. doi: 10.17076/lim626

Пузаченко Ю. Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях: учеб. пособ. для студ. вузов, обучающихся по геогр. и экологич. специальностям. М.: Academia, 2004. 408 с.

Слинчак А. И. Природные и антропогенные предпосылки развития ландшафтов Восточного Причудья // Псковский региональный журнал. 2012. № 143. С. 85–88.

Трифонов И. С. Сезонная и основная сукцессии озерного фитопланктона // Гидробиологический журнал. 1986. Т. 22, № 3. С. 21–28.

Унифицированные методы исследования качества вод: Методы химического анализа вод / СЭВ, Соевещ. руководителей водохоз. органов стран – членов СЭВ. 3-е изд., перераб. и доп. М., 1977. 176 с.

Ястремский В. В. Водоросли планктона Псковско-Чудского озера и их продукция в многоводные 1979–1980 гг. // Растительный покров Псковской области и вопросы его охраны. Л., 1983. С. 25–34.

Ястремский В. В. Структура и продуктивность фитопланктона Псковско-Чудского озера. СПб.: Изд-во ГосНИОРХ, 2016. 247 с.

Braeken J., van Assen M. A. L. M. An empirical Kaiser criterion // *Psychological Methods*. 2017. Vol. 22 (3). P. 450–466. doi: 10.1037/met0000074

Breton C., Blanchet P., Amor B., Beauregard R., Chang W.-S. Assessing the climate change impacts of biogenic carbon in buildings: A critical review of two main dynamic approaches // *Sustainability*. 2018. No. 10(6). Art. 2020. doi: 10.3390/su10062020

Laugaste R., Panksep K., Haldna M. Dominant cyanobacterial genera in Lake Peipsi (Estonia/Russia): Effect of weather and nutrients in summer months // *Estonian Journal of Ecology*. 2013. Vol. 62(4). P. 229–243. doi: 10.3176/eco.2013.4.01

Pant H. K. Nonlinear effects of climate change on phosphorus stability in wetlands: Concept and estimation // *J. Agric. Food Environ.* 2007. Vol. 5(1). P. 295–301. doi: 10.1234/4.2007.777

Tammeorg O., Nürnberg G., Horppila J., Haldna M., Niemistö J. Redox-related release of phosphorus from sediments in large and shallow Lake Peipsi: Evidence from sediment studies and long-term monitoring data // *J. Great Lakes Res.* 2020. Vol. 46(6). P. 1595–1603. doi: 10.1016/j.jglr.2020.08.023

References

Alekin O. A., Semenov A. D., Skopintsev B. A. Guidelines for chemical analysis of land water. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1973. 269 p.

Braeken J., van Assen M. A. L. M. An empirical Kaiser criterion. *Psychological Methods*. 2017;22(3):450–466. doi: 10.1037/met0000074

Breton C., Blanchet P., Amor B., Beauregard R., Chang W.-S. Assessing the climate change impacts of biogenic carbon in buildings: A critical review of two main

dynamic approaches. *Sustainability*. 2018;10(6):2020. doi: 10.3390/su10062020

Ignat'eva N. V. The role of bottom sediments in the phosphorus cycle in Lake Peipus. *Organicheskoe veshchestvo i biogennye elementy vo vnutrennikh vodoemakh i morskikh vodakh: Mat-ly V Vseros. simpoziuma s mezhdunar. uchastiem (Petrozavodsk, 10–14 sentyabrya 2012 g.) = Organic matter and biogenic elements in inland waters and sea waters: Proceed. V All-Russian symposium with int. participation (Petrozavodsk, Sept. 10–14, 2012)*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2012. P. 99–103.

Korosov A. V., Gorbach V. V. Computer processing of biological data: Guidelines. Petrozavodsk: PetrGU; 2007. 76 p.

Laugaste R., Nyges T., Yastremskii V., Tynno I. Algae. *Pskovsko-Chudskoe ozero = Lake Peipus*. Tartu: Eesti Loodusfoto; 2012. P. 263–283.

Laugaste R., Panksep K., Haldna M. Dominant cyanobacterial genera in Lake Peipsi (Estonia/Russia): Effect of weather and nutrients in summer months. *Estonian Journal of Ecology*. 2013;62(4):229–243. doi: 10.3176/eco.2013.4.01

Lozovik P. A., Frumin G. T. Present-day state and permissible nutrient loadings on Lake Peipus. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2018;3:3–10. doi: 10.17076/lim626

Pant H. K. Nonlinear effects of climate change on phosphorus stability in wetlands: Concept and estimation. *J. Agric. Food Environ.* 2007;5(1):295–301. doi: 10.1234/4.2007.777

Puzachenko Yu. G. Mathematical methods in ecological and geographical research: A textbook for geography and ecology students. Moscow: Academia; 2004. 408 p.

Slinchak A. I. Natural and anthropogenic preconditions of development of landscapes of Eastern Prichudye. *Pskovskii regionologicheskii zhurnal = Pskov Journal of Regional Studies*. 2012;143:85–88.

Tammeorg O., Nürnberg G., Horppila J., Haldna M., Niemistö J. Redox-related release of phosphorus from sediments in large and shallow Lake Peipsi: Evidence from sediment studies and long-term monitoring data. *J. Great Lakes Res.* 2020;46(6):1595–1603. doi: 10.1016/j.jglr.2020.08.023

Trifonova I. S. Seasonal and main succession of lake phytoplankton. *Gidrobiologicheskii zhurnal = Journal of Hydrobiology*. 1986;22(3):21–28.

Unified methods for studying water quality: Methods of chemical analysis of waters. 3rd ed., rev. and enl. Moscow; 1977. 176 p.

Yastremskii V. V. Plankton algae of Lake Peipus and their production in high-water years in 1979–1980. *Rastitel'nyi pokrov Pskovskoi oblasti i voprosy ego okhrany = Vegetation cover of the Pskov Region and issues of its protection*. Leningrad; 1983. P. 25–34.

Yastremskii V. V. Structure and productivity of phytoplankton in Lake Peipus. St. Petersburg: Izd-vo GosNIORKh; 2016. 247 p.

Поступила в редакцию / received: 08.06.2022; принята к публикации / accepted: 02.10.2022.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Михалап Сергей Геннадьевич

руководитель

e-mail: bibpskniorh@gmail.com; mikhailap_vniro@mail.ru

Воробьева Екатерина Михайловна

специалист

e-mail: katerinka0908@yandex.ru

Судницына Диана Николаевна

канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник

e-mail: diana.sudnitsyna@yandex.ru; pskovniro@vniro.ru

Борисов Владимир Валентинович

канд. биол. наук, доцент кафедры зоологии и экологии

e-mail: pq17@yandex.ru

CONTRIBUTORS:

Mikhailap, Sergey

Head of PskovNIRO

Vorob'eva, Ekaterina

Specialist

Sudnitsyna, Diana

Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher

Borisov, Vladimir

Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor at the Department of Zoology and Ecology