

А. Ю. Карпаева*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь,
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com***ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ФИТОПЛАНКТОНА
В ОЗЕРАХ РАЗНОГО ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ**

Аннотация. Рассмотрены особенности сезонной динамики фитопланктонных сообществ в озерах различного трофического статуса Белорусского Поозерья. Материалом для анализа послужили 66 проб, отобранных на 11 озерах в период с мая по сентябрь 2023–2025 гг. Объектом исследования являлся фитопланктон озер разного трофического статуса Белорусского Поозерья. Для оценки различий между сообществами и визуализации данных применялись многомерные статистические методы (кластерный анализ и неметрическое многомерное шкалирование NMDS на основе расстояний Брея–Кертиса). Показано, что характер сезонной динамики и степень сходства фитопланктонных сообществ существенно зависят от трофического состояния водоемов. Мезотрофные озера с чертами олиготрофии отличаются наибольшей устойчивостью и высоким сходством сообществ между собой во все сезоны, мезотрофные озера занимают переходное положение, демонстрируя максимальное сходство с менее трофными системами весной и наибольшие различия в позднелетний период. Эвтрофные озера наиболее похожи между собой летом, в период максимальной продуктивности. Гиперэвтрофные водоемы отличаются наибольшей сезонной изменчивостью и минимальным сходством с другими типами озер, особенно в позднелетний период. NMDS-ординация показала, что сезонный эффект усиливается с ростом трофности озер, летние и позднелетние состояния фитопланктонных сообществ являлись наиболее различимыми, весенние сообщества характеризовались большим сходством между озерами различного трофического статуса.

Ключевые слова: фитопланктон, трофический статус, сезонная динамика, Белорусское Поозерье

А. Yu. Karpaeva*Scientific and Practical Center for Bioresources, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com***FEATURES OF SEASONAL PHYTOPLANKTON DYNAMICS IN LAKES WITH DIFFERENT TROPHIC STATUS
IN THE BELARUSIAN LAKE REGION**

Abstract. The seasonal dynamics of phytoplankton communities in lakes of varying trophic status in the Belarusian Lake District are examined. Sixty-six samples, collected from 11 lakes between May and September 2023–2025, served as the material for analysis. The study focused on phytoplankton from lakes of varying trophic status in the Belarusian Lake District. Multivariate statistical methods (cluster analysis and non-metric multidimensional scaling (NMDS) based on Bray–Curtis distances) were used to assess differences between communities and to visualize the data. It is shown that the nature of seasonal dynamics and the degree of similarity of phytoplankton communities significantly depend on the trophic state of the water bodies. Mesotrophic lakes with oligotrophic features are characterized by the greatest stability and high similarity between communities in all seasons. Mesotrophic lakes occupy a transitional position, demonstrating maximum similarity to less trophic systems in spring and the greatest differences in late summer. Eutrophic lakes are most similar in the summer, during the period of maximum productivity. Hypereutrophic lakes exhibit the greatest seasonal variability and minimal similarity to other lake types, especially in late summer. NMDS ordination showed that the seasonal effect increases with increasing lake trophic status. Summer and late summer phytoplankton communities were the most distinct, while spring communities were characterized by greater similarity between different trophic statuses.

Keywords: phytoplankton, trophic status, seasonal dynamics, Belarusian Lake Region

А. Ю. Карпаева*Навукова-практычны цэнтр Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі па біярэсурсах, Мінск, Беларусь,
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com***АСАБЛІВАСЦІ СЕЗОННАЙ ДЫНАМІКІ ФІТАПЛАНКТОНУ ў АЗЁРАХ РОЗНАГА ТРАФІЧНАГА СТАТУСУ
БЕЛАРУСКАГА ПААЗЕР'Я**

Анотацыя. Разгледжаны асаблівасці сезоннай дынамікі фітапланктонных супольнасцяў у азёрах рознага трафічнага статусу Беларускага Паазер'я. Матэрыялам для аналізу паслужылі 66 проб, адабраных на 11 азёрах у перыяд з мая па верасень 2023–2025 гг. Аб'ектам даследавання з'яўляўся фітапланктон азёр рознага трафічнага статусу Беларускага Паазер'я. Для ацэнкі адрозненняў паміж супольнасцямі і візуалізацыі даных ужываліся шматмерныя статыстычныя метады (кластарны аналіз і неметрычнае шматмернае шкаляванне NMDS на аснове адлегласцяў Брая–Кертиса). Паказана, што характар сезоннай дынамікі і ступень падабенства фітапланктонных супольнасцяў істотна залежаць ад трафічнага стану вадаёмаў. Мезатрофныя азёры з рысамі алігатрафіі адрозніваюцца найбольшай устойлівасцю і высокім падабенствам супольнасцяў паміж сабой ва ўсе сезоны, мезатрофныя азёры займаюць пераходнае

становішча, дэманструючы максімальнае падабенства з менш трэфнымі сістэмамі вясной і найбольшыя адрозненні ў познегадовы перыяд. Эўтрофныя азёры найбольш падобныя паміж сабой летам, у перыяд максімальнай прадуктыўнасці. Гіперэўтрофныя вадаёмы адрозніваюцца найбольшай сезоннай зменлівасцю і мінімальным падабенствам з іншымі тыпамі азёр, асабліва ў познегадовы перыяд. NMDS-ардынацыя паказала, што сезонны эффект узмацняецца з ростам трэфнасці азёр, летнія і познегадовыя станы фітапланктонных супольнасцяў з'яўляліся найбольш адрознымі, вясновыя супольнасці характарызаваліся вялікім падабенствам паміж азёрамі рознага трафічнага статусу.

Ключавыя словы: фітапланктон, трафічны статус, сезонная дынаміка, Беларускае Паазер'е

Введение. Сезонная динамика фитопланктона в озерах разного трофического статуса на протяжении многих десятилетий является объектом интенсивных гидробиологических исследований. Данному вопросу посвящено значительное число работ, выполненных в различных регионах мира, включая озеро Нарочанской группы [1]. Существенный вклад в изучение сезонных изменений фитопланктонных сообществ внесли исследования, в которых подробно охарактеризованы общие закономерности смены доминирующих таксонов, пиков численности и биомассы в течение вегетационного периода [2–4].

Вместе с тем большинство опубликованных работ ориентировано преимущественно на описание самих особенностей сезонной динамики и значительно в меньшей степени – на их сравнительный анализ с точки зрения практической диагностики трофического статуса водоемов. До настоящего времени остается недостаточно раскрытым вопрос о том, в какие именно сезоны различия между озерами разного трофического статуса проявляются наиболее отчетливо, а в какие, наоборот, сглаживаются.

Актуальность проблемы существенно возрастает в условиях климатических изменений [5, 6] и ускоренных процессов эвтрофирования. Сравнение современных данных с литературными источниками прошлых десятилетий [7] свидетельствует о заметных сдвигах сезонной динамики фитопланктона. Так, если ранее, по данным И. С. Трифионовой, летний максимум развития фитопланктона в озерах умеренной зоны приходился преимущественно на июль, а осенний период начинался в конце августа, то в настоящее время пик вегетации нередко смещается на конец августа – начало сентября и характеризуется менее выраженной амплитудой сезонных максимумов.

Таким образом, цель настоящего исследования – выявление особенностей сезонной динамики фитопланктона в озерах различного трофического статуса, а также определение оптимальных временных промежутков, в которые различия между типами водоемов по трэфности проявляются наиболее отчетливо.

Материалы и методы исследования. Проведен анализ таксономического состава и биомассы фитопланктона в 66 пробах, собранных на 11 озерах разного трофического статуса Белорусского Поозерья с мая по сентябрь 2023–2025 гг.

Пробы в поздневесенний, летний и позднелетний периоды отбирали в 2023 г. из четырех озер Ушачской группы (оз. Чертсвятское, Вечелье, Отолово, Кривое), в 2024 г. – из пяти озер Браславской группы (оз. Потех, Горушка, Обстерно, Волос Северный, Волос Южный), в 2025 г. – из гиперэвтрофных оз. Ильменок и Великое также Браславской группы.

Отбор проб проводили батометром системы Молчанова объемом 8 л последовательно с поверхности, половины прозрачности и двойной прозрачности, смешивая затем в одну интегральную. Отбирали также одну поверхностную пробу. Пробы воды фиксировали раствором Утермея. Концентрировали фитопланктон методом отстаивания от изначального объема 0,5 л. Для подсчета численности использовали стандартные гидробиологические методы [8]. Биомассу определяли обычным счетно-объемным методом [9]. Видовой состав фитопланктона определяли с помощью светового микроскопа фирмы CarlZeiss (модель Axiostarplus) при увеличении $\times 100$, $\times 200$ и $\times 400$. Видовую идентификацию проводили с помощью отечественных [10] и зарубежных определителей [11].

Для количественной оценки различий в сообществах фитопланктона между водоемами и объективного выделения групп озер со сходной структурой фитопланктона был применен кластерный анализ на основе построенной матрицы расстояний Брея–Кертиса. Для наглядного представления многомерных данных было проведено неметрическое многомерное шкалирование (NMDS). В качестве исходной также использовалась матрица расстояний Брея–Кертиса.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследования были рассмотрены мезотрофные озера с чертами олиготрофии (оз. Кривое, Волос Северный, Волос Южный), которые характеризовались низкими значениями биомассы фитопланктона. Средние значения биомассы колебались от 0,4 до 1 мг/л. При этом в сезонной динамике наблюдали наибольший пик биомассы в поздневесенний период (май) до 1,1 мг/л в среднем для всех озер. Далее биомасса постепенно снижалась и в позднелетний период (август – сентябрь) достигала значения 0,5 мг/л (рис. 1).

В литературе отмечено, что для таких озер характерен либо один, либо два пика вегетации – весенний и осенний [2, 3]. Нами отчетливо был выделен только весенний пик, обусловленный массовой вегетацией диатомей, хризофитовых и криптофитовых преимущественно за счет видов родов *Cyclotella* (Kütz.) Breb., *Dinobryon* Ehr. и *Rhodomonas* G. Karsten. В течение остальной части вегетационного сезона указанные таксоны сохраняли доминирующее положение при незначительном увеличении доли синезеленых в позднелетний период.

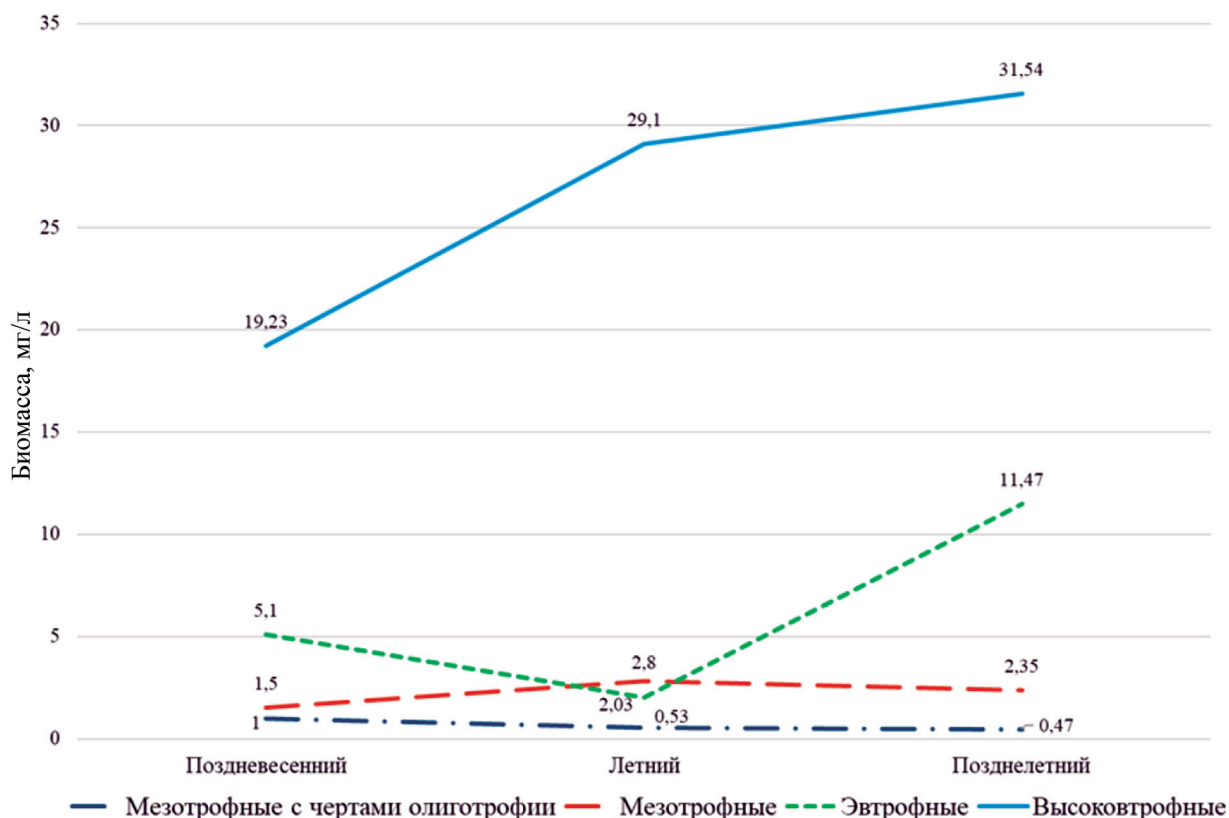


Рис. 1. Динамика биомассы фитопланктона в озерах разного трофического статуса по сезонам

Мезотрофные озера (оз. Вечелье, Обстерно) отличались более сложной структурой сезонной динамики и характеризовались наличием трех и более пиков вегетации. Помимо весеннего и осеннего максимумов для них был типичен дополнительный летний пик, связанный с развитием синезеленых, что ранее отмечалось в литературе [2]. Вследствие сокращения периодов депрессии биомассы между пиками различия средних сезонных значений биомассы были выражены слабо. Так, в поздневесенний период биомасса достигала 1,5 мг/л, летом возрастала до 2,8 мг/л, а в позднелетний период составляла в среднем 2,35 мг/л (см. рис. 1).

Несмотря на относительную стабильность значений биомассы, в течение сезона наблюдалась отчетливая смена видового состава. Весной доминировали диатомовые водоросли, доля которых составляла 43–66 % за счет видов *Synedra acus* Kütz. и *Stephanodiscus* Ehr. sp., тогда как вклад зеленых водорослей не превышал 11 %, а синезеленых – 3–7 %. К концу лета происходило значительное увеличение доли синезеленых, прежде всего *Aphanothece clatrata* West & G. S. West 1906 (в среднем до 37 %), сопровождавшееся снижением вклада диатомовых (до 15–30 %) и зеленых водорослей (4–13 %).

Эвтрофные озера (оз. Потех, Горушка, Отолово) характеризовались высокими значениями биомассы фитопланктона на протяжении всего вегетационного сезона. При этом в их динамике отмечался кратковременный спад биомассы в период «чистой воды» (в среднем до 2,03 мг/л), за которым следовал резкий подъем, достигающий 11,47 мг/л (см. рис. 1). Весной в составе фитопланктона наряду с синезелеными водорослями существенную роль играли диатомовые водоросли (*Stephanodiscus* sp.). В раннелетний период сохранялось присутствие диатомей на фоне развития мелкоклеточных синезеленых (*Aphanothece clatrata*), к концу лета наблюдался резкий рост биомассы за счет видов *Limnotrix planctonica* (Woloszyńska) Meffert, *Planktolyngbya limnetica* Lemm. и *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault.

Высокоэвтрофные озера (оз. Чертсвятское, Ильменок, Великое) отличались непрерывным нарастанием биомассы фитопланктона с момента вскрытия озер с достижением максимальных значений в позднелетний период (в среднем 31,54 мг/л) (см. рис. 1). На протяжении всего сезона в фитопланктоне устойчиво доминировали синезеленые, преимущественно *Aphanizomenon flos-aquae* и *Limnotrix planctonica*. В оз. Ильменок дополнительно отмечалась локальная вспышка развития *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о четкой зависимости сезонной динамики биомассы и видового состава фитопланктона от трофического статуса озер, при этом степень выраженности различий между водоемами существенно варьирует в течение вегетационного сезона.

Для объективной оценки степени сходства и различий между озерами разного трофического статуса, а также для выявления наиболее информативных сезонных интервалов представляется целесообразным применение методов многомерного анализа, в частности кластерного анализа и ординационных методов.

Анализ кластерной структуры озер в поздневесенний, летний и позднелетний периоды выявил формирование трех устойчивых кластеров в каждом из рассматриваемых сезонов (рис. 2).

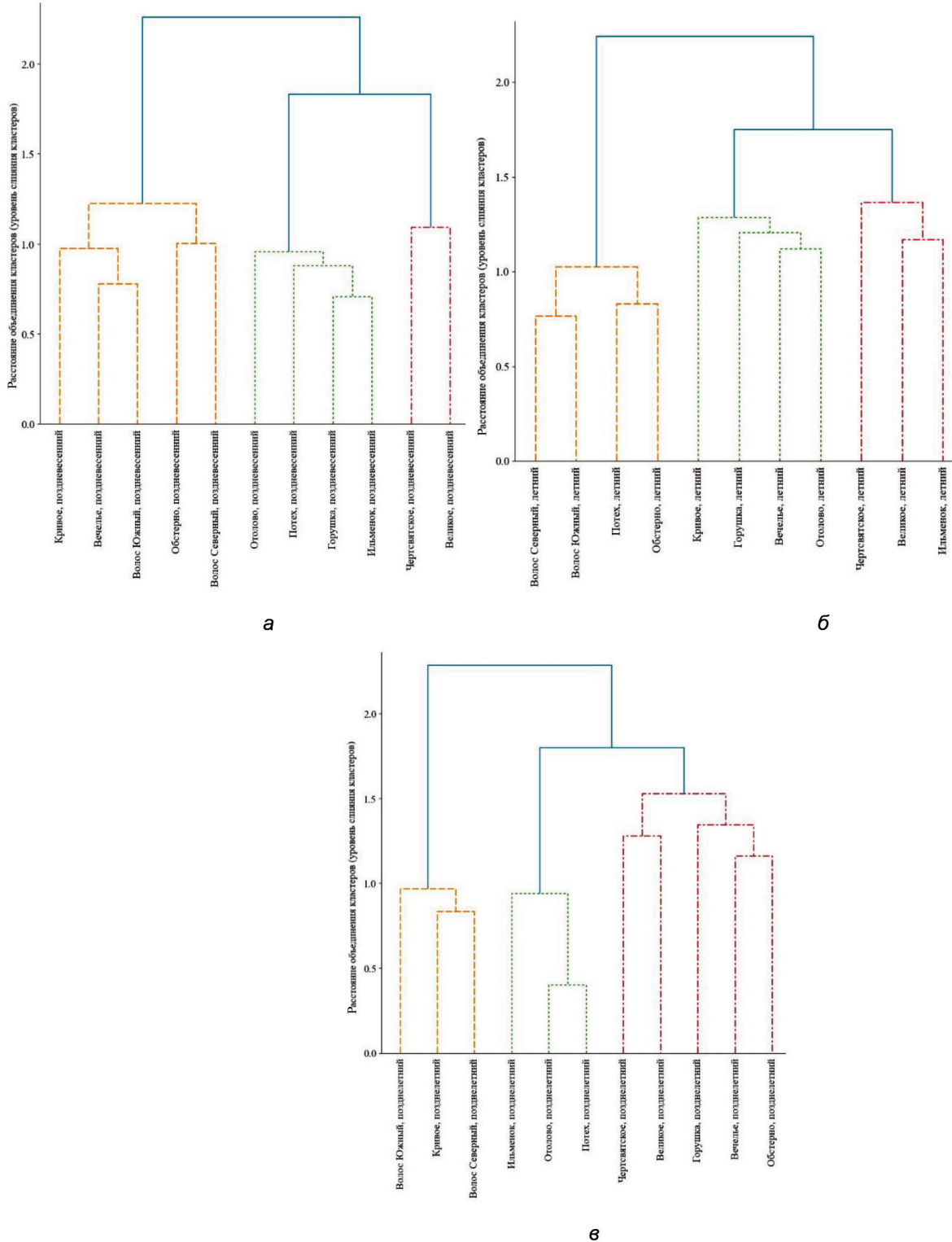


Рис. 2. Кластерный анализ сходства водоемов разного трофического статуса: а – поздневесенний период, б – летний период, в – позднелетний период

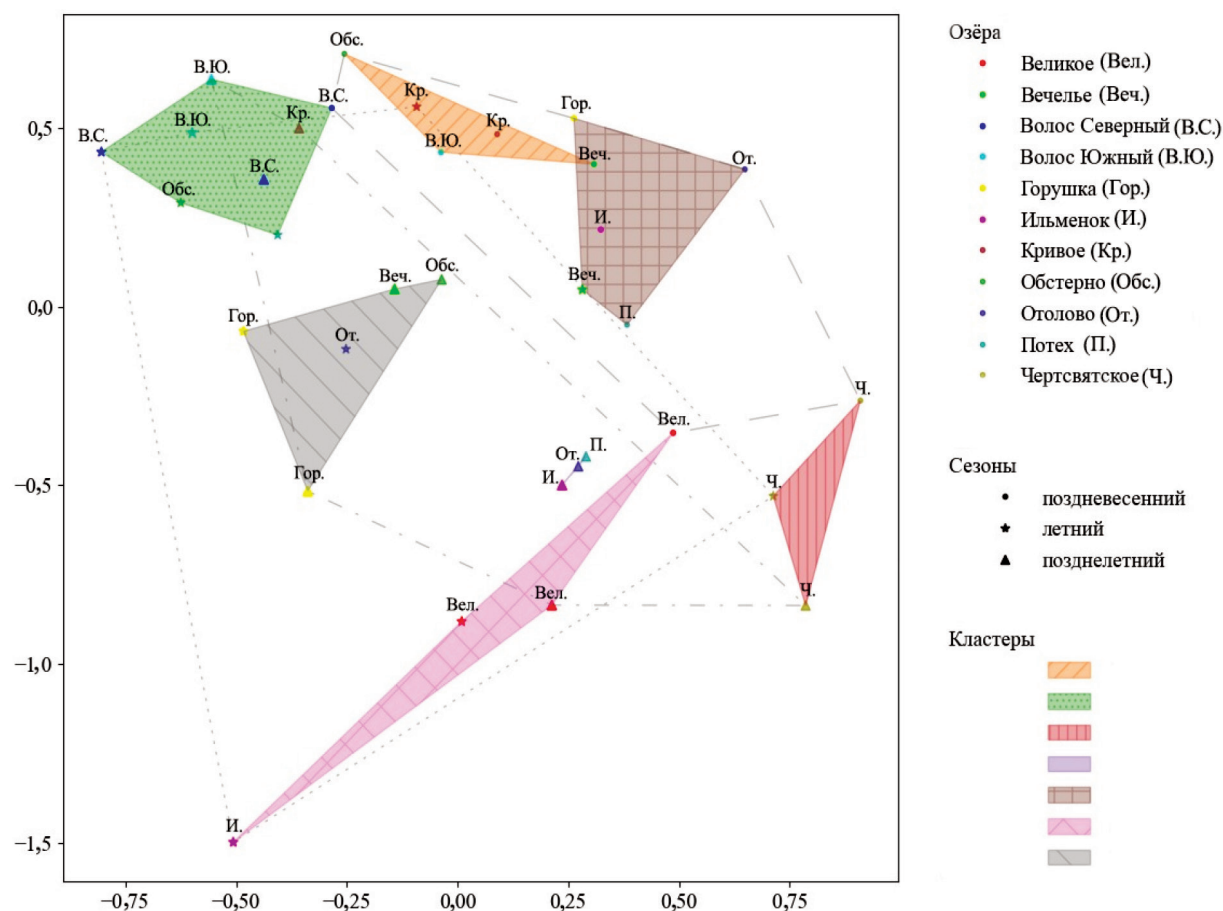


Рис. 3. NMDS-анализ по биомассе

В поздневесенний период образовались три основных кластера. В первый попали все мезотрофные (оз. Обстерно, Вечелье) и мезотрофные с чертами олиготрофии (оз. Кривое, Северный и Южный Волос) озера. Второй кластер образовали все эвтрофные (оз. Потех, Отолово, Горушка) и одно гиперэвтрофное (оз. Ильменок) озера. Последний кластер образован исключительно гиперэвтрофными озерами (оз. Чертсвятское, Великое).

В раннелетний период наблюдалось перераспределение озер между кластерами. В первый кластер вошли мезотрофные с чертами олиготрофии, одно мезотрофное (оз. Обстерно) и одно эвтрофное (оз. Потех) озера. Второй кластер объединял озера всех трофических типов с преобладанием эвтрофных, тогда как третий кластер сохранял однородность и был представлен исключительно гиперэвтрофными озерами (оз. Чертсвятское, Великое, Ильменок).

В позднелетний период кластерная структура вновь изменилась. Первый кластер включал только мезотрофные озера с чертами олиготрофии, второй – эвтрофные и одно гиперэвтрофное (оз. Ильменок) озера. Третий кластер был наиболее неоднородным и подразделялся на два подкластера: гиперэвтрофные озера (оз. Чертсвятское, Великое); эвтрофное оз. Горушка и мезотрофные оз. Вечелье и Обстерно.

Полученные результаты свидетельствуют о выраженной сезонной изменчивости озер по уровню трофности. Наиболее четкое разделение мезотрофных озер с чертами олиготрофии наблюдается в позднелетний период (август – сентябрь). Это обусловлено тем, что в таких водоемах чаще всего наиболее выражены только два пика – весенний и осенний. В это время данные озера могут быть ошибочно приняты за мезотрофные или даже эвтрофные [2].

Гиперэвтрофные озера, наоборот, наиболее однозначно идентифицируются в раннелетний период, поскольку для них не характерно интенсивное нарастание биомассы сразу после вскрытия, а также отсутствует выраженный период «чистой воды» в отличие от эвтрофных и мезотрофных водоемов [12].

NMDS-ординация, выполненная на основе матрицы расстояний по видовой биомассе фитопланктона, подтвердила результаты кластерного анализа, а также выявила ряд других закономерностей в зависимости от трофического статуса озер и сезона наблюдений.

На рис. 3 хорошо заметно, что сезонные различия усиливаются с ростом трофности озер. В мезотрофных с чертами олиготрофии (оз. Кривое, Волос Северный, Волос Южный) и мезотрофных водоемах

(оз. Вечелье, Обстерно) точки, соответствующие различным сезонам, располагаются компактно и характеризуются незначительными смещениями в NMDS-пространстве, что свидетельствует об относительной стабильности структуры фитопланктонных сообществ по биомассе в течение вегетационного периода. И наоборот, в эвтрофных (оз. Потех, Горушка, Отолово) и гиперэвтрофных (оз. Ильменок, Чертсвятское, Великое) водоемах наблюдались протяженные сезонные траектории, отражающие существенные изменения биомассы и состава доминирующих групп фитопланктона от поздней весны к лету и позднему лету.

Наиболее выраженные различия между озерами были зафиксированы для летних и позднелетних состояний фитопланктонных сообществ. Особенно отчетливо данный эффект проявлялся в более трофных озерах, где летне-позднелетние состояния резко отличались от весенних.

Кроме того, интересно образование отдельных кластеров на высокоэвтрофных оз. Чертсвятское и Великое, что отражает их уникальную структуру.

В то же время поздневесенние сообщества фитопланктона характеризовались большей сходностью между озерами различного трофического статуса. Точки, соответствующие поздневесенним пробам, располагались относительно близко друг к другу в NMDS-пространстве, что свидетельствует о более сходной структуре фитопланктонных сообществ в этот период. Вероятно, это отражает доминирование похожих по экологическим требованиям таксонов и влияние общих лимитирующих факторов в начале вегетационного сезона.

Несмотря на то что наиболее точным для гидробиологических исследований является всесезонный мониторинг, практические задачи оперативной диагностики трофического статуса водоемов часто ограничиваются возможностью единичного выезда в полевую сезон. В связи с этим ключевой практической целью исследования было определение наиболее информативного сезона для определения временного интервала, в котором структурные различия фитопланктонных сообществ между типами озер выражены максимально отчетливо, обеспечивая тем самым повышенную надежность экспресс-оценки.

Проведенное исследование демонстрирует, что сезонная динамика фитопланктона отражает особенности озер в зависимости от трофического статуса. Результаты данной работы в полной мере подтверждают классические работы [2, 13], показывая, что общая схема PEG-модели модифицируется в зависимости от уровня трофности, а это, в свою очередь, приводит к формированию уникальных сезонных сообществ для каждого типа водоемов.

Наиболее важным выводом является неравномерная выраженность трофических различий в течение сезона. Наши данные, согласующиеся с выводами французских ученых [14], показывают, что поздневесенний период является наименее информативным для различения озер по трофности. В это время сообщества всех типов озер демонстрируют высокое сходство, обусловленное доминированием диатомовых и других групп, преобладающих в недостаточно прогретой воде (*Cyclotella*, *Dinobryon*, *Synedra*). Этот период экологического выравнивания подтверждает риск, описанный в методологических руководствах [15], о том, что единичная весенняя проба может привести к занижению оценки трофического уровня, особенно для эвтрофных систем. То же было отмечено и для раннелетнего сезона в период «чистой воды».

Летний и в особенности позднелетний периоды выступают ключевыми для диагностики. Именно в это время максимально проявляется специфика трофических условий, различия между типами озер достигают максимума, что четко фиксируется методами кластерного анализа и NMDS.

Мезотрофные озера с чертами олиготрофии наиболее надежно идентифицируются в позднелетний период (август – сентябрь). В данное время их низкая биомасса (0,5 мг/л) и стабильный состав, лишенный выраженного летнего пика синезеленых, резко контрастируют с другими типами. Их диагностика весной осложнена сходством с мезотрофными водоемами.

Мезотрофные озера занимают переходное положение. Их сезонная динамика характеризуется более сложной структурой с несколькими пиками, самый крупный из которых приходится на позднелетний период, когда увеличение доли синезеленых водорослей (до 37–40 %) определяет их более высокий трофический потенциал. Весной они сливаются с менее трофными системами.

Эвтрофные озера проявляют наибольшее внутреннее сходство и наиболее четко дифференцируются от других типов в позднелетний период: у них наблюдается характерная динамика с прохождением фазы «чистой воды», последующим резким доминированием синезеленых (*Limnotrix*, *Aphanizomenon*) и ростом биомассы.

Гиперэвтрофные озера могут быть диагностированы уже в раннелетний период. Ключевым диагностическим признаком, выявленным в нашем исследовании, является отсутствие у них выраженного весеннего пика диатомовых и фазы «чистой воды», характерных для менее трофных озер. Непрерывный рост биомассы с доминированием синезеленых с самого начала сезона (*Aphanizomenon*, *Limnotrix*) создает легко узнаваемую сезонную динамику.

В контексте изменения климата и антропогенного эвтрофирования [5] полученные результаты приобретают особую актуальность. Смещение сезонных фенологических событий (более раннее прогревание, более длительный период стагнации) может усиливать выявленные закономерности: летне-осенний период диагностики может становиться более продолжительным и выраженным. Особое внимание в мониторинге следует уделять именно позднелетнему сезону, который показал максимальную силу разделе-

ния трофических типов. Это соответствует и логике нормативных подходов, например Рамочной водной директиве ЕС, где для оценки часто используется период индекса, приходящийся на летние месяцы [16]. Однако стоит отметить, что для оперативной идентификации гиперэвтрофных условий информативен уже раннелетний отбор проб.

Заключение. Проведенное исследование показало, что сезонная динамика фитопланктонных сообществ в озерах Белорусского Поозерья определяется трофическим статусом водоемов и проявляется в различной амплитуде изменений биомассы и степени сезонной перестройки видового состава.

Мезотрофные озера с чертами олиготрофии характеризуются наибольшей устойчивостью фитопланктонных сообществ и высоким уровнем сходства между водоемами на протяжении всего вегетационного периода. Средние значения биомассы фитопланктона в этих озерах варьировали в узком диапазоне: от 0,4 до 1,1 мг/л с максимальными значениями в поздневесенний период (в среднем до 1,1 мг/л) и снижением к позднему лету до 0,5 мг/л. В ординационном пространстве NMDS сезонные смещения были минимальны, что отражает относительную стабильность структуры сообществ. Наиболее четко данные озера идентифицируются в позднелетний период (конец августа – начало сентября), до наступления весеннего и осеннего пиков развития фитопланктона.

Мезотрофные озера занимают переходное положение в градиенте трофности и демонстрируют более сложную сезонную динамику. Средние значения биомассы составляли около 1,5 мг/л в поздневесенний период, увеличивались до 2,8 мг/л летом и оставались высокими в позднелетний период (в среднем 2,35 мг/л). Весной данные водоемы проявляли наибольшее сходство с менее трофными системами, тогда как в позднелетний период различия между мезотрофными и олиготрофными озерами достигали максимума, что сопровождалось ростом доли синезеленых водорослей до 35–40 %.

Эвтрофные озера характеризуются высокими значениями биомассы фитопланктона на протяжении всего вегетационного сезона. В период «чистой воды» биомасса временно снижалась в среднем до 2,03 мг/л, после чего наблюдался резкий подъем, достигающий в среднем 11,47 мг/л. Наибольшее сходство между эвтрофными озерами отмечено в летний период, когда структура фитопланктонных сообществ по биомассе становилась наиболее унифицированной за счет доминирования синезеленых водорослей (*Limnотrix planctonica*, *Planktolyngbya limnetica*, *Aphanizomenon flos-aquae*).

Гиперэвтрофные озера отличаются наибольшей сезонной изменчивостью фитопланктонных сообществ и минимальным сходством с другими типами водоемов. Для них характерно непрерывное нарастание биомассы с момента вскрытия озер и достижение максимальных значений в позднелетний период (в среднем до 31,54 мг/л). В отличие от мезо- и эвтрофных озер период «чистой воды» здесь отсутствует, а высокая биомасса фитопланктона сохраняется уже в раннелетний период, что позволяет надежно идентифицировать гиперэвтрофные водоемы на ранних этапах вегетационного сезона.

Результаты кластерного анализа и NMDS-ординации показали, что летние и позднелетние состояния фитопланктонных сообществ являлись наиболее различимыми, тогда как весенние сообщества характеризовались большим сходством между озерами различного трофического статуса.

Список использованных источников

1. Михеева, Т. М. Направленность и характер многолетних изменений фитоценотической структуры и показателей количественного развития фитопланктонных сообществ Нарочанских озер в ходе эволюции их трофического статуса / Т. М. Михеева, Е. В. Лукьянова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2006. – Т. 8, № 1. – С. 125–140.
2. Трифонова, И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона : монография / И. С. Трифонова. – Л. : Наука, 1990. – 182 с.
3. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters / U. Sommer, Z. M. Gliwicz, W. Lampert, A. Duncan // Hydrobiologie. – 1986. – Vol. 106, № 4. – P. 433–471.
4. Reynolds, C. S. The Ecology of Phytoplankton / C. S. Reynolds. – New York : Cambridge University Press, 2006. – 535 p.
5. Winder, M. Phytoplankton response to a changing climate / M. Winder, U. Sommer // Hydrobiologia. – 2012. – Vol. 698, № 1. – P. 5–16.
6. Beyond the Plankton Ecology Group (PEG) Model: Mechanisms Driving Plankton Succession / U. Sommer, R. Adrian, L. De [et al.] // Annual Review of Ecology Evolution and Systematics. – 2012. – Vol. 43, № 1. – P. 429–448.
7. Трифонова, И. С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка / И. С. Трифонова. – Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1979. – 168 с.
8. Мордухай-Болтовский, Ф. Д. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Ф. Д. Мордухай-Болтовский. – М. : Наука, 1975. – 240 с.
9. Mikheyeva, T. M. Methods of quantitative enumeration of nanophytoplankton (review) / T. M. Mikheyeva // Hydrobiological Journal. – 1989. – Vol. 25. – P. 3–21.
10. Определитель пресноводных водорослей СССР : в 14 т. / М. М. Голлербах [и др.] ; науч. ред. В. П. Савич. – Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1951–1983.
11. Komarek, J. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Cyanoprokaryota. Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Cyanoprokaryota. Oscillatoriales / J. Komarek, K. Anagnostidis. – München : Elsevier Spektrum Akademischer Verlag, 2005. – 759 S.

12. Еремкина, Т. В. Структура и функционирование фитопланктона озер северной части Увильдинской зоны (Челябинская область) в условиях антропогенного эвтрофирования : автореф. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Еремкина Татьяна Владимировна ; Рос. акад. наук, Ин-т биологии внутр. вод. – Борок, 2010. – 40 с.
13. Hutchinson, G. E. A treatise on limnology. Introduction to lake biology and the limnoplankton / G. E. Hutchinson. – Minnesota : Wiley, 1967. – 1115 с.
14. Temporal mapping of phytoplankton assemblages in Lake Geneva: Annual and interannual changes in their patterns of succession / O. Anneville, S. Souissi, F. Ibanez [et al.] // Limnology and Oceanography. – 2002. – Vol. 47, № 5. – P. 1355–1366.
15. Wetzel, R. G. Limnological Analyses / R. G. Wetzel, G.E. Likens. – New York : Springer, 2000. – 444 p.
16. Benthic macroinvertebrates in lake ecological assessment: A review of methods, intercalibration and practical recommendations / S. Poikane, R. K. Johnson, L. Sandin [et al.] // Science of The Total Environment. – 2015. – Vol. 543. – P. 123–134.

Поступила 04.02.2026