

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ НАРОЧАНСКИХ ОЗЕР (БЕЛАРУСЬ)

The results of investigations of species composition, size structure, quantitative development of total phytoplankton, the degree of «colonization» and mass of its average representative and separately of the representative of diatom and blue-green communities, biodiversity and succession of structure forming species of phytoplankton communities of Naroch group lakes (mesotrophic Naroch L., weakly eutrophic Myastro L. and eutrophic Batorino L.) in the period from 1968 till 2009 are presented. During that period the lakes have passed different stages of eutrophication in their evolutionary development: the period of relatively undisturbed state (up to 1976 – I), the period of anthropogenic eutrophication (1976–1991 – II) and the period of oligotrophization (from 1992 till up to-day – III). The directed changes of studied indices on different stages of eutrophication are followed. The simplification of phytoplankton communities' structure in the period of oligotrophization was detected. The conclusion has been made that phytoplankton communities at present time are still in unstable state and that rebuilding processes in their structure are continued.

В период с 1968 по 2009 г. проводилось изучение видового и размерного состава, количественного развития общего фитопланктона, степени «колониальности» и массы среднего представителя фитопланктонного сообщества в целом и отдельно диатомового и синезеленого сообществ, биоразнообразия и сукцессии структурообразующих видов фитопланктонных сообществ Нарочанских озер (мезотрофного оз. Нарочь, слабоэвтрофного оз. Мястро и эвтрофного оз. Баторино), прошедших в своем эволюционном развитии разные этапы эвтрофирования: период относительно ненарушенного состояния их экосистем (до 1976 г. – I), период антропогенного эвтрофирования (1976–1991 гг. – II) и период олиготрофизации (с 1992 г. по настоящее время – III). Прослежены направленные изменения изученных показателей на разных этапах эвтрофирования.

В видовом составе альгофлоры озер Нарочь, Мястро, Баторино по результатам исследований до 1980 г. – периода до начала эвтрофирования озер и пяти лет (1976–1980 гг.) начала антропогенного эвтрофирования (рис. 1) насчитывалось 361, 314 и 404 вида, разновидности и формы соответственно. Включение данных по указанным пяти годам, в течение которых антропогенное эвтрофирование озер было весьма значительным, привело к существенному

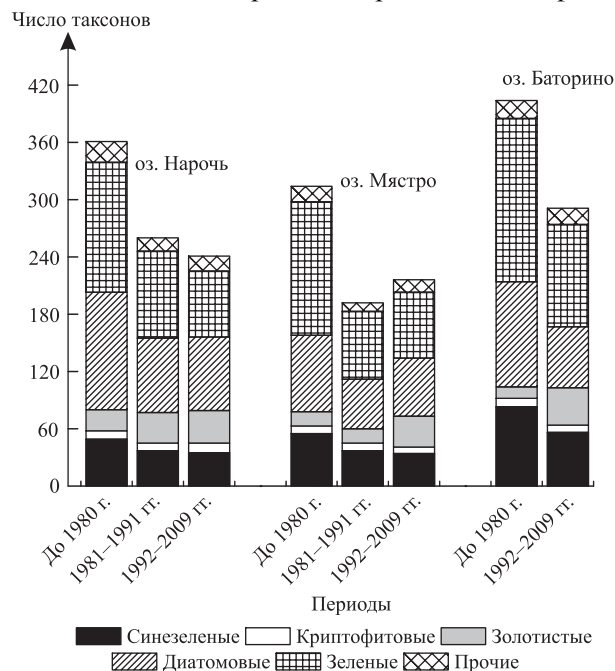


Рис. 1. Таксономическая структура фитопланктона Нарочанских озер в разные периоды

увеличению богатства видового состава фитопланктона, отмечавшегося до начала эвтрофирования [1]. По сравнению со «стартовыми» годами до 1968 г. оно выросло в оз. Нарочь в 4,6, в озерах Мясро и Баторино – в 3,6 раза [2].

В составе фитопланктона озер до 1980 г. включительно первое место по числу таксонов во всех трех озерах приходилось на долю зеленых водорослей (свыше 40 %), около 30 % составляли диатомовые и около 17 % – синезеленые. В сумме эти группы водорослей насчитывали 85÷90 % от общего числа видовых и внутривидовых таксонов. В оз. Нарочь таксономическое богатство диатомовых и золотистых водорослей по абсолютным величинам и по их долевному участию было выше, чем в двух других озерах. Наоборот, богатство зеленых (прежде всего хлорококковых и десмидиевых) и синезеленых водорослей возрастало с увеличением трофического статуса озер. Представленность других отделов была примерно одинаковой и не выходила за пределы 1,1÷3,6 % от общего числа таксонов в озере.

С 1981 по 1991 г. (продолжение периода эвтрофирования) и с 1992 по 2009 г. (период олиготрофизации) происходило снижение таксономического богатства всех отделов и групп водорослей, за исключением золотистых, богатство которых выросло по сравнению с периодом до 1980 г. особенно заметно в озерах Баторино (с 12 до 28) и Мясро (с 15 до 25 таксонов) [3]. В годы деэвтрофирования произошло сближение трофического статуса озер, в частности Нарочь и Мясро, и различие между озерами по видовому богатству фитопланктона стало менее выраженным (см. рис. 1). В нашей работе [4] приведено сравнение видового состава фитопланктона Нарочанских озер за всю историю его изучения до конца периода их эвтрофирования (по 1991 г.) и в последовавший за ним период деэвтрофирования.

Периодически в озерах отмечалось исчезновение существовавших ранее в планктоне видов и появление новых, в том числе редких, не указывавшихся для территории бывшего СССР.

К числу наиболее значимых структурообразующих видов в оз. Нарочь отнесено 29, Мясро – 40, Баторино – 33 вида. Из них до начала эвтрофирования в оз. Нарочь не отмечалось 15, Мясро – 26 и Баторино – 25 видов. Появившись в период эвтрофирования, большинство из них достигло в этот период и максимальной численности.

В течение последних лет периода олиготрофизации из состава структурообразующих видов во всех трех озерах выпадали синезеленые *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Microcystis pulvereae* (Wood.) Elenk., представитель диатомовых *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz., в оз. Баторино также *Fragilaria crotonensis* Kitt., а в оз. Нарочь – хлорококковые *Nephrochlamys willeana* (Prinz.) Korschik., *Dictyosphaerium pulchellum* Wood., представитель вольвоксовых *Trachelomonas volvocina* Ehrh. и желтозеленых – *Centrtractus belenophorus* Lemm.; в оз. Мясро – синезеленые *Lyngbya limnetica* Lemm., *Gloeoapsa minor* (Kütz.) Hollerb., *Oscillatoria limnetica* Lemm., представитель диатомовых *Achnanthes minutissima* Kütz. и хлорококковых – *D. pulchellum*. Отмеченные изменения в разнообразии планктонных водорослей Нарочанских озер в процессе эволюции их трофического статуса, выражающиеся в инвазии новых и исчезновении аборигенных видов, несомненно, можно отнести на счет меняющихся экологических условий их существования, складывающихся как в каждом из озер в отдельности, так и в экосистеме озер в целом.

При несколько более высоком видовом разнообразии фитопланктонное сообщество эвтрофного в настоящее время, а в более ранние годы – высокоэвтрофного оз. Баторино по-прежнему остается наименее выравненным по сравнению с озерами Мясро и Нарочь, о чем свидетельствуют индексы видового разнообразия (Шеннона), выравненности (Пиелу) и показатели доминирования (Симпсона, Кожовой) [3].

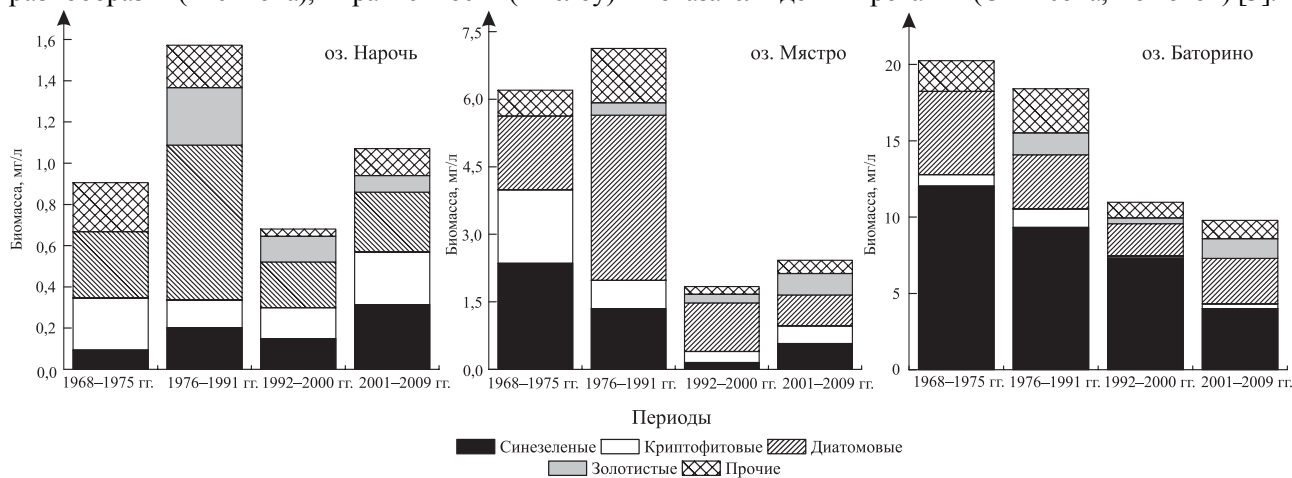


Рис. 2. Биомасса фитопланктона и структурный состав фитопланктонного сообщества озер Нарочь (а), Мясро (б), Баторино (в) за весь период наблюдений (1968–2009 гг.)

Показателями количественного развития фитопланктона являются его численность и биомасса, а также содержание хлорофилла [5]. Уровень среднесезонных значений величин общей биомассы фитопланктона в разные периоды эволюции каждого из трех озер представлен на рис. 2.

Как можно видеть, во времена наиболее выраженного антропогенного эвтрофирования общая численность и биомасса фитопланктона заметно увеличились, а в период деэвтрофирования – существенно снизились (ниже уровня его значений до начала эвтрофирования). В ряду многолетних наблюдений в оз. Баторино количественное развитие фитопланктона было подвержено наибольшим межгодовым флуктуациям.

Во II периоде существенное увеличение уровня развития фитопланктона как по числу клеток, так и по биомассе по сравнению с I периодом наблюдалось в озерах Нарочь и Мясро, в Баторино – по числу клеток, тогда как биомасса фитопланктона в нем даже несколько снизилась.

В период деэвтрофирования, наоборот, во всех озерах происходило снижение абсолютных величин как общей биомассы, так и составляющих ее отделов водорослей, при этом наиболее значительным снижением по сравнению со II периодом было в оз. Мясро, где биомасса синезеленых уменьшилась в 7,7, диатомовых – в 3,5; криптофитовых и золотистых – в 2,6 раза.

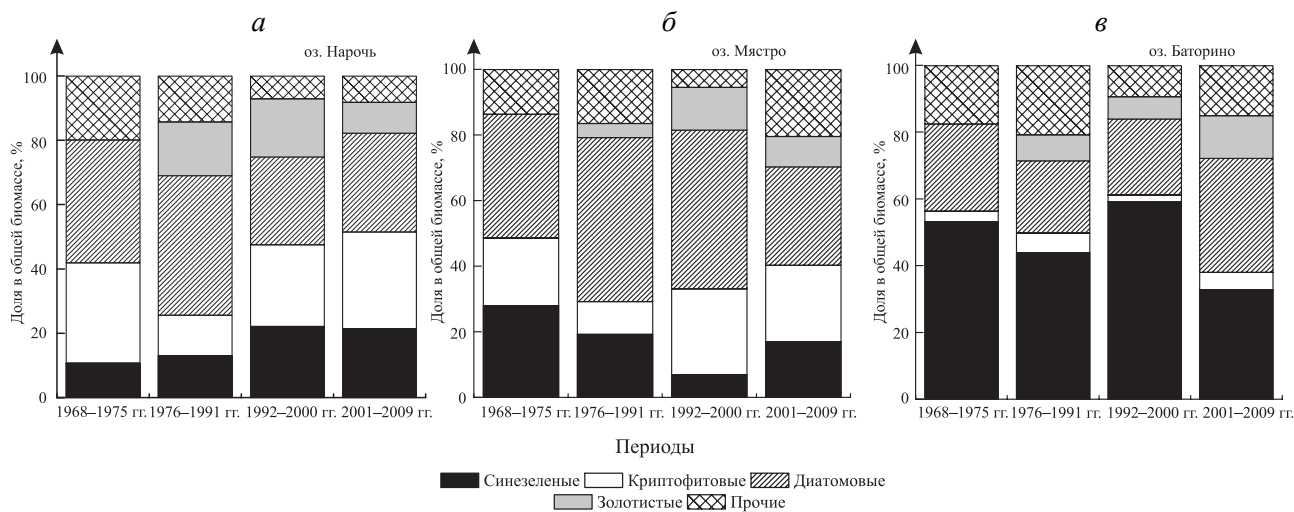


Рис. 3. Доля разных отделов водорослей в общей биомассе фитопланктона

В озерах Нарочь и Мясро во все периоды по относительному участию в общей биомассе фитопланктона первое место занимали диатомовые водоросли (рис. 3), в оз. Баторино – синезеленые, за исключением последнего периода (2001–2009 гг.), когда в оз. Баторино доля диатомовых сравнялась с долей синезеленых. Доля диатомовых водорослей в оз. Нарочь особенно заметно снизилась в 1990-е гг. (от 43 до 28 %). В оз. Мясро их относительное значение в общей биомассе фитопланктона стало последовательно снижаться со II периода до последних лет (от 50 до 30 %), замещаясь криптофитовыми и золотистыми. В оз. Баторино также прослеживается тенденция уменьшения доли диатомовых водорослей в биомассе в период эвтрофирования (22 %) и ее увеличения в период олиготрофизации (34 %). Больше относительное значение во II и III периодах в показателях количественного развития фитопланктона озер стали приобретать золотистые водоросли, которые принято считать показателями чистых вод. Эти водоросли стали отмечаться в качестве доминантов в III периоде в начале вегетационного сезона и в оз. Баторино. Между тем относительное значение криптофитовых, часто рассматриваемых в качестве обитателей более трофных и даже загрязненных вод, во II периоде стало заметно меньшим в оз. Нарочь, в оз. Мясро их доля выросла только в общей численности организмов.

Диатомовые водоросли считаются наиболее чувствительными к изменению трофического состояния и качества воды водоемов и водотоков. Со степенью развития цианопрокариот (синезеленых водорослей) в водных экосистемах обычно также связывается качество их вод. Сравнительные результаты количественного развития этих основных отделов в озерах Нарочь, Мясро, Баторино, имеющих разный трофический статус, с его эволюцией в разные периоды дают хорошую возможность оценить достоверность этих утверждений. В табл. 1 приведены средневегетационные значения количества общего фитопланктона и доли диатомовых и синезеленых водорослей в пелагиали озер на протяжении 1968–2009 гг.

Показатели количественного развития общего фитопланктона и доли диатомовых и синезеленых водорослей озер Нарочь, Мястро, Баторино в разные периоды исследований

Периоды	Общая численность, млн кл./л	Процент в общей численности клеток		Общая биомасса, мг/л	Процент в общей биомассе	
		синезеленых	диатомовых		синезеленых	диатомовых
Оз. Нарочь						
1968–1975	5,35±4,97	43,5±23,9	20,2±12,4	0,96±0,38	10,7±3,4	38,2±12,9
1976–1991	22,89±17,20	58,7±12,5	8,5±5,6	1,58±0,67	13,0±3,6	43,4±7,5
1992–2000	29,11±21,83	56,8±14,2	8,2±6,6	0,68±0,32	22,1±10,3	27,3±14,2
2001–2009	26,41±13,42	59,7±9,2	10,6±3,5	1,07±0,34	21,3±7,9	30,7±11,1
Оз. Мястро						
1968–1975	57,17±73,33	70,2±19,4	10,3±8,1	6,31±3,37	28,0±19,7	37,7±15,2
1976–1991	102,32±83,26	74,4±15,4	7,0±4,4	7,20±3,41	19,2±13,7	50,0±12,8
1992–2000	16,59±9,10	41,8±14,1	18,8±10,1	1,83±1,26	6,9±4,7	48,4±11,7
2001–2009	16,82±10,57	48,3±12,3	13,3±5,5	2,53±0,79	16,9±14,9	30,0±15,8
Оз. Баторино						
1968–1975	315,69±376,20	80,9±15,0	4,3±2,9	21,69±10,10	53,1±10,3	26,1±11,7
1976–1991	877,12±508,08	92,3±6,3	1,2±0,7	18,84±5,99	43,9±10,8	21,6±9,6
1992–2000	1366,30±521,42	96,5±1,9	1,2±1,1	10,98±3,86	59,1±7,8	22,7±7,0
2001–2009	744,96±584,26	85,4±13,9	6,4±7,4	9,79±5,15	32,7±15,9	34,1±11,3

В оз. Нарочь общая численность клеток фитопланктона в ряду рассматриваемых периодов увеличивалась (см. табл. 1), абсолютная численность клеток диатомовых водорослей, как и их биомасса, была максимальной (0,81±0,34) в период эвтрофирования (1976–1991 гг.), в период деэвтрофирования эти показатели снизились в два раза (0,40±0,20 млн кл./л), а их доля резко упала в 1976–1991 гг. (8,5 %) и к настоящему времени постепенно возрастает, не достигнув, однако, уровня 1968–1975 гг. (20,2 %).

Численность клеток общего фитопланктона и диатомовых водорослей в оз. Мястро была максимальной в период эвтрофирования (102,32 и 2,97 млн кл./л), в период деэвтрофирования – минимальной. В настоящее время общая численность клеток фитопланктона держится на уровне 16 млн кл./л.

В оз. Баторино максимальные величины численности клеток общего фитопланктона отмечены в период деэвтрофирования: численность диатомовых была сходной с таковой в период эвтрофирования (около 4,5 млн кл./л). Их доля в общей численности составила 1,2 %. В настоящее время уровень численности диатомовых водорослей возрастает (6,4 млн кл./л).

Наиболее толерантной к изменению трофических и наблюдавшихся в экосистеме озер и на их водосборе экологических условий, к примеру, из центрических диатомовых водорослей, существенно представленных в различающихся по трофности Нарочанских озерах, оказалась постоянно в них обитающая *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Simonsen. В период деэвтрофирования в отдельные годы в том или другом озере не отмечались *A. italica* (Kütz.) Simonsen, *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round, *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Cyclotella melosiroides* (Kirchn.) Lemm. Только в оз. Нарочь отмечены, помимо *C. antiqua* W. Sm., *C. atomus* Hustedt (в период эвтрофирования), *C. narochanica* Genkal et Mikheeva, *C. pseudostelligera* Hustedt (в период деэвтрофирования) и *Thalassiosira pseudonana* Hasle et Heimdal (в оба эти периода). Только в оз. Баторино во все периоды не отмечен *Stephanodiscus binderanus* (Kütz.) Krieger. В озерах Нарочь и Мястро в период деэвтрофирования не было зафиксировано находок *Rhizosolenia longiseta* Zacharias., а *C. melosiroides* (Kirchn.) Lemm. – в оз. Баторино. В последнем во все периоды не встречался *Acanthoceras zachariasii* (Brun.) Simonsen, постоянно отмечаемый в озерах Нарочь и Мястро в небольших количествах.

В ряду: до начала эвтрофирования – эвтрофирование – олиготрофизация во всех трех озерах происходило снижение таксономического разнообразия всех отделов и групп водорослей, за исключением золотистых. Видовое богатство синезеленых уменьшалось в этом ряду в следующем порядке: оз. Нарочь – 49–37–35, оз. Мястро – 55–37–34, оз. Баторино – 83–56 с выпадением в разные годы из состава структурообразующих видов *Gomphosphaeria lacustris* Chod., *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Bréb., *A. spiroides* Kleb., *A. scheremetievi* Elenk., *Microcystis pulvereae*, *Lyngbya limnetica*, *Gloeocapsa minor*, *Oscillatoria limnetica* и некоторых других и выходом в доминанты иных представителей отдела: *Aphanothece clathrata* W. et G.S. West, *Gloeotrichia echinulata* (J.S. Smiht) P. Richt., *A. lemmermannii* P. Richt., а также спорадическим появлением новых видов: *Planktothrix agardhii* Komárek., *Gloeotilla spiralis* Chod., *Lemmermanniella parva* Hindak, *Aphanocapsa nubulum* Komárek et Kling., *Cyanodicytion planctonicum* Meyer.

В оз. Баторино изменения в структуре фитопланктона происходили главным образом за счет степени участия в показателях количественного развития колониальных крупно- и мелкоклеточных организмов (основным доминантом в период эвтрофирования Нарочанских озер, в том числе и оз. Баторино, являлся представитель синезеленых *A. clathrata*). В ряду многолетних наблюдений в оз. Баторино количественное развитие фитопланктона было подвержено наибольшим межгодовым флуктуациям.

В оз. Нарочь доля цианопрокариот в общей биомассе фитопланктона в III периоде возросла в два раза и сохраняется на данном уровне до настоящего времени. В оз. Мястро она снизилась до четырех раз в период олиготрофизации, а в IV периоде снова возросла (в 2,5 раза). В оз. Баторино доля синезеленых, как и общая биомасса фитопланктона, продолжает снижаться.

Несмотря на намечающиеся тенденции стабилизации трофического статуса озер в последнее 10-летие, показатели количественного развития общего фитопланктона и синезеленых, в частности, свидетельствуют о более низком, чем до начала их эвтрофирования, трофическом статусе озер.

Изменение трофического статуса озер сказалось также на размерной структуре фитопланктона [6, 7]: отчетливо прослеживается уменьшение средней массы фитопланктонной единицы и степени «колониальности» фитопланктонных сообществ в ходе эволюции озер (рис. 4).

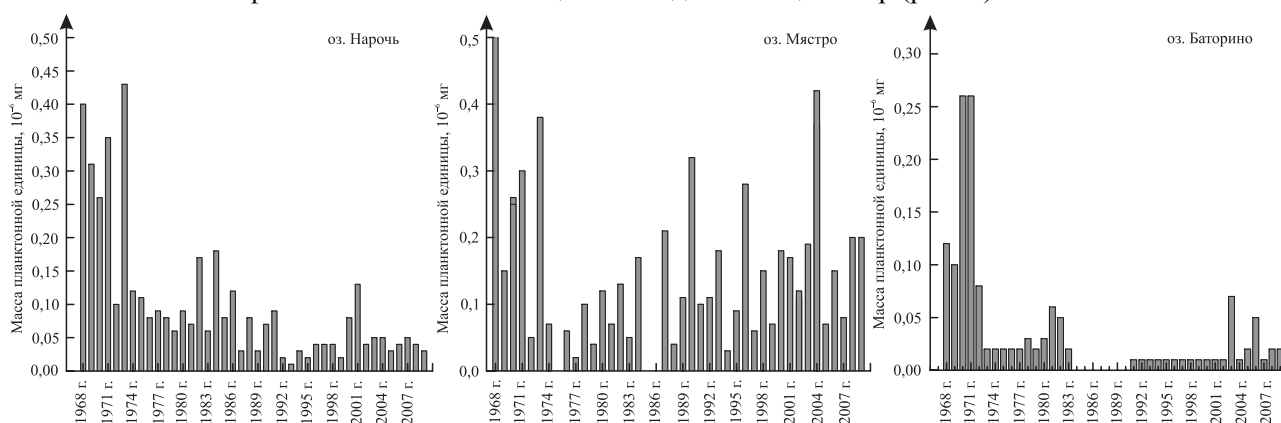


Рис. 4. Масса единицы фитопланктонных сообществ озер Нарочь (а), Мястро (б), Баторино (в) за весь период наблюдений (1968–2009 гг.)

Независимо от трофического статуса озера в период эвтрофирования возрастает средняя масса «диатомовой единицы» (табл. 2). В период деэвтрофирования наблюдается снижение этого показателя, а в 2001–2009 гг. в озерах Нарочь и Мястро отмечается тенденция к увеличению числа крупноклеточных организмов, в то время как в оз. Баторино и в настоящее время продолжается процесс снижения массы диатомовой единицы.

Таблица 2

Сравнение степени «колониальности» и массы ($\times 10^{-6}$ мг) среднего представителя фитопланктонного сообщества в целом, диатомового и синезеленого сообществ («диатомовой» и «синезеленой единицы») в озерах Нарочь, Мястро, Баторино в разные периоды эволюции озер

Периоды	Озеро		
	Нарочь	Мястро	Баторино
Масса «планктонной единицы»			
1968–1975	0,26	0,27	0,12
1976–1991	0,09	0,11	0,03*
1992–2000	0,03	0,13	0,01
2001–2009	0,05	0,19	0,02
Масса «диатомовой единицы»			
1968–1975	0,54	1,13	1,11
1976–1991	0,94	1,40	0,82*
1992–2000	0,48	0,76	0,82
2001–2009	0,70	0,85	0,63
Масса «синезеленой единицы»			
1968–1975	0,07	0,07	0,07
1976–1991	0,02	0,02	0,01*
1992–2000	0,01	0,04	0,01
2001–2009	0,01	0,04	0,01

Примечание. *Расчет для 1991 г.

Сравнение степени «колониальности» диатомовых водорослей в разные периоды эволюции трофического статуса озер показывает, что во всех трех озерах идет процесс развития менее колониальных видов.

Представленные материалы по развитию фитопланктонных сообществ, которые одними из первых реагируют на изменения окружающей среды, указывают на замедление процесса деэвтрофирования озер, наблюдавшегося с 1990 г., и позволяют высказать предположение о начале нового повышения уровня их трофического состояния. В настоящее время, несмотря на намечающуюся стабилизацию ситуации, уровень общей биомассы фитопланктона в озерах Мястро и Баторино не достиг значений до начала эвтрофирования. Наибольшее отставание присуще оз. Мястро, что может быть связано с сукцессией разных видов в озерах на протяжении изучавшегося периода их эволюции, изменением степени «колониальности», размерного состава и средней массы единицы фитопланктонного сообщества. В то же время в оз. Нарочь общая биомасса фитопланктона ($1,07 \pm 0,34$) фактически уже сравнялась с ее значениями до начала эвтрофирования озера ($0,96 \pm 0,38$ мг/л). Существенное снижение числа видов, индекса Шеннона и уменьшение индекса сходства альгофлоры Жаккара между озерами [3] свидетельствует о произошедшем в период олиготрофизации упрощении структуры фитопланктонных сообществ во всех озерах.

На основании полученных результатов можно сделать заключение, что Нарочанские озера все еще пребывают в нестабильном состоянии, перестроечные процессы в их фитоценозах продолжаются и что в последние годы наблюдается тенденция некоторого повышения уровня трофического состояния озер.

1. Михеева Т. М. // Экологическая система Нарочанских озер. Мн., 1985. С. 33.
2. Михеева Т. М. // Биопродуктивность озер Белоруссии. Мн., 1971. С. 48.
3. Михеева Т. М., Лукьянова Е. В. // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. 2006. Т. 8. № 1 (15). С. 125.
4. Лукьянова Е. В., Михеева Т. М. // Бюл. экол. состояния озер Нарочь, Мястро, Баторино (2008 год) / А.П. Остапеня, Т.В. Жукова, Т.М. Михеева и др.; Под общ. ред. А.П. Остапени. Мн., 2009. С. 66.
5. Михеева Т. М., Ковалевская Р. З., Лукьянова Е. В. // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии: Сб. науч. работ по материалам докл. на Междунар. конф. «Водная экология на заре XXI века», посвящ. столетию со дня рождения профессора Г.Г. Винберга. М., 2006. С. 199.
6. Михеева Т. М. // Гидробиол. журн. 1998. Т. 34. № 2. С. 9.
7. Михеева Т. М. // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Материалы Междунар. науч. конф., Минск – Нарочь, 20–25 сент. 1999 г. Мн., 2000. С. 253.

Поступила в редакцию 18.05.10.

Тамара Михайловна Михеева – доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник НИЛ гидроэкологии.
Елена Васильевна Лукьянова – научный сотрудник НИЛ гидроэкологии.