

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ГОРОДСКОГО ПРУДА по ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Проведены четырехлетние наблюдения за динамикой растительности и зоопланктона в пруду, расположенном на парковой территории г. Ярославля. Структура сообществ гидробионтов свидетельствует о большой трофности воды и β-мезосапробных условиях. Положительный эффект применения биопрепарата Микрозим™ «Понд трит» для улучшения качества воды в пруду был кратковременным вследствие интенсивного оборота биогенных веществ в экосистеме исследуемого водоема. Внесение препарата необходимо сочетать с мероприятиями по механической очистке.

Введение

Городские пруды, расположенные на парковой территории — место отдыха горожан. Сохранение декоративности таких водоемов и пригодности для рекреационных целей в значительной степени обуславливается качеством их воды. К примеру, накопление иловых отложений, снижение прозрачности воды, водорослевое «цветение» — явления, тесно связанные с качеством воды, нежелательны для городских прудов. Гидробиологические исследования водоема позволяют определить трофический статус экосистемы, выявить степень загрязнения, провести качественный анализ биоты и на его основе сделать выводы о развитии отдельных звеньев гидроэкосистемы и сбалансированности продукционно-деструкционных процессов в ней.

В последние годы для улучшения состояния небольших водоемов используют препарат Микрозим™ «Понд трит». Он содержит комплекс 6–12 видов естественных аэробных и факультативных мезофильных микроорганизмов и гранулы ферментов. Его применение призвано способствовать интенсификации процессов самоочищения водоема, очистке донных отложений и воды от органического и биогенного загрязнения

[1, 2]. Исследования структуры высшей водной растительности и зоопланктона водоемов, подвергающихся обработке данным биопрепаратом, ранее не проводили.

Цель работы — провести мониторинг состояния водных растений и зоопланктона в пруду, расположенном в рекреационной зоне, и оценить качество воды и эффективность мероприятий по биологической очистке исследуемого водоема, используя структурные показатели изучаемых сообществ.

Материал и методы исследования

И.Ю. Ершов*,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук

С.А. Курбатова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук

Наблюдения проводили в течение четырех лет (2008–2011 гг.) в пруду парка отдыха «Нефтяник» г. Ярославля. Площадь водного зеркала пруда составляет ~ 4 га, преобладающие глубины 1,5–2,5 м. Грунты по механическому составу глинистые, покрытые черным илом с множеством растительных остатков, значительная доля которых создается отмирающими водными растениями и опадом древесных насаждений парка. Питание пруда осуществляется за счет грунтовых вод и поверхностного стока с окружающей местности. Уровень воды в вегетационный период изменяется незначительно, его снижение часто наблюдается в августе–сентябре. Водоем используется для прогулок на водных велосипедах, любительского лова рыбы, купания, несмотря на официальный запрет купания из-за несоответствия воды санитарным нормам. В период открытой воды пруд заселен утками. Временами вода приобретает мутно-серый цвет, гнилостный запах, со дна поднимаются пузырьки газа. Для улучшения качества воды в 2008 и в 2011 гг. администрацией парка в пруд вносился биопрепарат «Понд трит», по схеме, рекомендованной в инструкции по его применению [1].

Материалы по динамике растительности были получены путем натурных наблюдений в разные годы: составлением повторных описаний, фотографированием и картированием

*Адрес для корреспонденции: ershov@ibiw.yaroslavl.ru

[3]. Проводили сравнение состояния растительности в исследуемый четырехлетний период с ранее сделанными в 2005 г. описаниями.

Пробы зоопланктона отбирали один раз в месяц: в 2008 г. с июля по октябрь, в 2009 г. с июня по сентябрь, в 2010 г. в июне–августе, в 2011 г. в августе. Процеживали 50 л прудовой воды через сачок (газ с размером ячеи 64 мкм) с концентратом. Пробы фиксировали в 4 % формалине. Определяли видовой состав зоопланктона, его численность, биомассу. По показателям зоопланктона рассчитывали степень трофии [4, 5] и индекс сапробности [6].

Интенсивность развития водорослей оценивали по содержанию хлорофилла *a*. Для этого воду профильтровывали через мембранные фильтры ФМНЦ-3.0 («Владисарт»). Концентрацию хлорофилла определяли в ацетоновой вытяжке спектрофотометрическим методом [7]. Рассчитывали индекс трофического состояния (ИТС) [8].

Результаты и их обсуждение

Растительность

Акватория пруда занята сообществами классов Potametea, Lemnetea и Phragmitetea ассоциаций Elodeetum canadensis, Potametum perfoliati, Ceratophylletum demersi, Lemnetum trisulcae, Lemno-Spirodeletum, Persicarietum amphibii, Typhetum latipholiae, Sparganietum erecti, Butometum umbellatae, Eleocharitetum palustris, Oenanthro-Rorippetum, Sagittario-Sparganietum emersi (суб-асс. sagittarietosum), Equisetetum fluviatilis, Cicuto-caricetum pseudocyperii.

Состав растительности пруда приведен в табл. 1. Наибольшего развития достигают погруженные растения. Степень зарастания пруда гидрофитами *Elodea canadensis*, *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton perfoliatus* составляет около 80 %. Сообщества укорененных растений с плавающими на поверхности воды листьями развиты слабо и сохраняются только в местах, недоступных для механического воздействия водных велосипедов. Сообщества прибрежных растений из-за особенностей морфометрии берегов занимают малые площади. Небольшие куртины сильно угнетены, т.к. водоем находится в окружении деревьев, создающих тень, они вытаптываются отдыхающими и

Таблица 1

Растительный покров пруда

Жизненные формы растений	Виды
Погруженные укорененные	<i>Elodea canadensis</i> <i>Potamogeton perfoliatus</i> <i>P. trichoides</i> <i>P. pectinatus</i>
Плавающие на поверхности воды	<i>Lemna minor</i> <i>Spirodela polyrhiza</i>
Плавающие в толще воды	<i>Ceratophyllum demersum</i> <i>Lemna trisulca</i>
С плавающими на поверхности воды листьями	<i>Persicaria amphibia</i>
Воздушно-водные	<i>Rorippa amphibia</i> <i>Equisetum fluviatile</i> <i>Sium latifolium</i> <i>Butomus umbellatus</i> <i>Alisma plantago-aquatica</i> <i>Sagittaria sagittifolia</i> <i>Eleocharis palustris</i> <i>Scirpus radicans</i> <i>Glyceria fluitans</i> <i>Sparganium erectum</i> <i>Typha latifolia</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Cicuta virosa</i> <i>Carex</i> sp. <i>Lycopus europaeus</i> <i>Mentha aquatica</i> <i>Bidens tripartita</i> <i>Epilobium palustre</i> <i>Lisimachia vulgaris</i> <i>Poa annua</i>

рыбаками. В 2011 г. прибрежная растительность была скошена.

По сравнению с наблюдениями 2005 г. меньшего развития достигали популяции *Lemna minor* и *Spirodela polyrhiza*.

Значительных изменений растительности пруда за четырехлетний период наблюдений отмечено не было.

Зоопланктон

В зоопланктоне за весь период наблюдений было зарегистрировано 28 видов коловраток, 18 видов ветвистоусых рачков и 8 — веслоногих. Увеличение общего количества видов происходило в августе — сентябре из-за возрастания разнообразия коловраток и появления в планктонных пробах рачков сем. Chydoridae.

Численность зоопланктона изменялась в пределах 99–682 тыс. экз./м³, биомасса 129,4–3302,4 мг/м³. В первый год применения препарата «Понд трит» зоопланктонное сообщество состояло, в основном, из веслоногих ракообразных и коловраток.

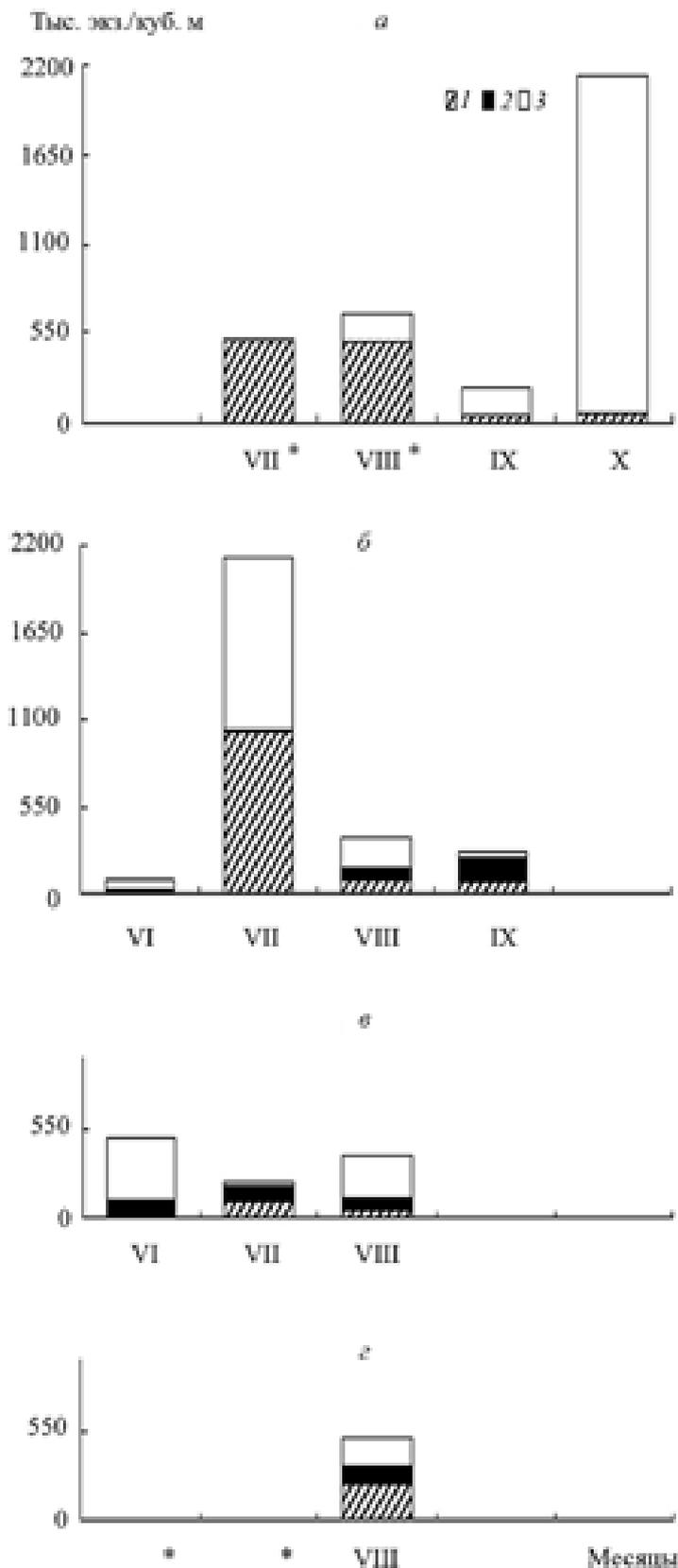


Рис. 1. Численность зоопланктона в 2008 (а), 2009 (б), 2010 (в), 2011 (г) гг. 1 – Соперода, 2 – Cladocera, 3 – Rotifera. Звездочками указаны периоды внесения препарата «Понд-трит».

В октябре 2008 г. регистрировали вспышку численности и биомассы зоопланктона (2128 тыс. экз./м³, 31570,2 мг/м³) (рис. 1), которая была обусловлена массовым развитием коловраток *Asplanchna priodonta*, *Keratella quadrata*, *K. cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*. В июле следующего года (2009) отмечали второй пик (2112 тыс. экз./м³, 5980,9 мг/м³). В этот период в равном количестве в планктоне развивались веслоногие рачки младших возрастных стадий и коловратки *Keratella quadrata*, *K. cochlearis*, *Asplanchna priodonta* и *Brachionus calyciflorus*. Доля ветвистоусых ракообразных была очень мала в первый год наблюдений, в последующем она увеличилась (рис. 1). Максимальной численности среди Cladocera достигали *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia quadrangula*, *Chydorus sphaericus*, *Diaphanosoma brachyurum* и *Polyphemus pediculus*.

Расчет степени трофии по Мяземтс и по Наккари показал максимальные значения индексов в 2008 г. (рис. 2), характеризующие условия в пруду как эвтрофные, а иногда как гипертрофные (в августе). В последующие годы наблюдений индексы трофии стали меньше.

Индекс сапробности, рассчитанный по зоопланктону, в большинстве случаев принимал значения от 1,43 до 1,6, что отражает β-мезосапробные условия (рис. 3) [6].

Хлорофилл

Концентрация хлорофилла *a* значительно изменялась и составляла от 2 до 67 мкг/л (рис. 4).

В соответствии с комплексной экологической классификацией качества поверхностных вод суши [9] в 2008 г. с июля по сентябрь содержание хлорофилла было характерным для мезотрофных вод, в октябре – для эвтрофных. На следующий после внесения биопрепарата год концентрация хлорофилла была невелика и свидетельствовала о снижении трофности (рис. 4 б). Небольшое увеличение данного показателя происходило в июле. В июле и августе 2010 г. и в августе 2011 г. содержание хлорофилла *a* вновь возросло до значений, обычно свойственных эвтрофным водам (рис. 4 в, г). Рассчитанный по хлорофиллу ИТС показывает снижение трофности в 2009 г. (табл. 2) и ее увеличение в дальнейшем.

Оценивая структуру растительности и зоопланктона исследуемого пруда, можно заключить, что водоем характеризуется как высокотрофный. Значительная часть

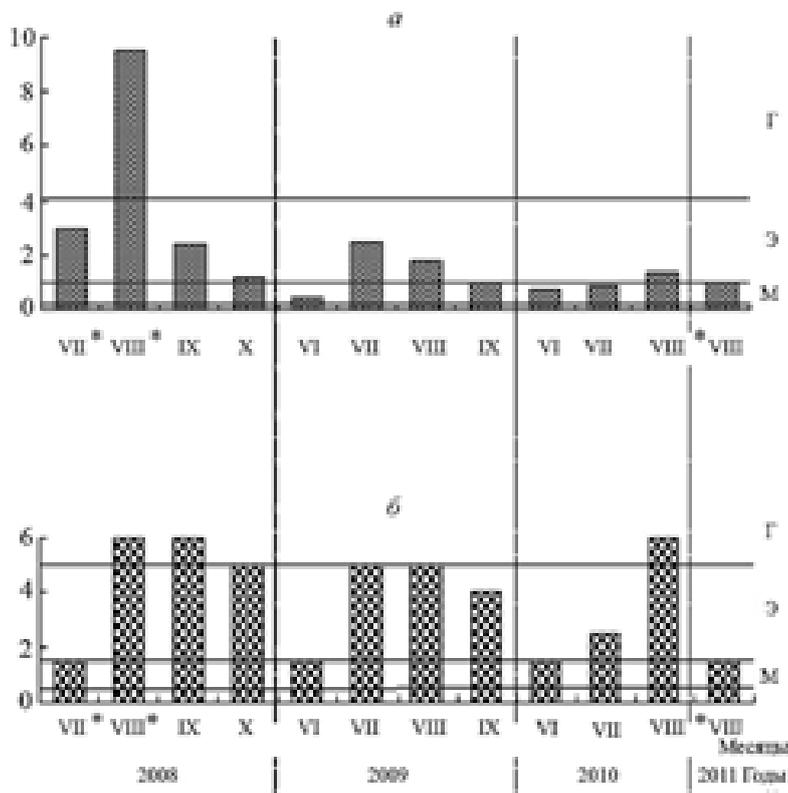


Рис. 2. Значения индексов трофии по Мяземтс (а) и по Наккари (б), рассчитанные по зоопланктону. Горизонтальными линиями обозначены интервалы значений индексов для мезотрофных (М), эвтрофных (Э) и гипертрофных (Г) условий. Звездочками указаны периоды внесения препарата «Понд трит».

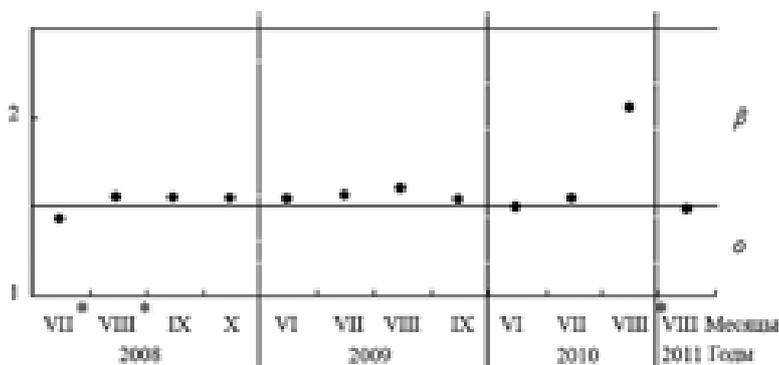


Рис. 3. Индекс сапробности по зоопланктону: о — олигосапробная, β — β-мезосапробная зона. Звездочками указаны периоды внесения препарата «Понд трит».

акватории занята погруженными гидрофитами. Видам, получившим массовое развитие в пруду, присущ интенсивный рост и обмен веществ, повышенное требование к содержанию минеральных соединений в воде и грунтах [10]. Известно [4], что *Elodea canadensis* и *Ceratophyllum demersum* характеризуются как «эвтрофенты» и обильно развиваются в водоемах с постоянным, но

умеренным притоком биогенных веществ. *Potamogeton perfoliatus* хорошо вегетирует в условиях умеренного эвтрофирования и исчезает при интенсивном [10]. По сравнению с наблюдениями 2005 г. произошло снижение обилия других эвтрофентов — *Lemna minor* и *Spirodela polyrhiza*. Меньшее развитие рясок может быть обусловлено применением биопрепарата, а также выеданием этих растений утками, которые в большем количестве стали селиться на пруду. Продуктивность и жизнеспособность популяций некоторых видов воздушно-водных растений (*Equisetum fluviatile*, *Rorippa amphibia*, *Sium latifolium*, *Typha latifolia*, *Cicuta virosa*) резко снижается при усилении эвтрофирования водоемов [10]. Повышенная трофность воды и грунтов исследуемого пруда, наряду с механическим воздействием, по-видимому, объясняет угнетенное состояние этих гелофитов.

Высшие водные растения конкурируют с фитопланктоном за питательные вещества. Большой разброс в концентрации хлорофилла *a* свидетельствует о нестабильности путей утилизации биогенных веществ в исследуемой водной экосистеме. Вспышка численности фитопланктона, вероятно, происходит, когда гидрофиты не справляются с биогенной нагрузкой.

Структуре зоопланктона исследованного пруда свойственны некоторые черты сообщества эвтрофных водоемов [11]: значительная доля коловраток, мелкие размеры ракообразных и уменьшение средней индивидуальной массы зоопланктона, обильное развитие видов-индикаторов эвтрофных условий — *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Brachionus quadridentatus*, *B. calyciflorus*, *Keratella quadrata*. После внесения биопрепарата несколько увеличилась доля ветвистоусых ракообразных в сообществе, что можно отнести к положительным изменениям в зоопланктоне. Однако, показатели степени трофии, рассчитанные по зоопланктону, подтверждают статус пруда как эвтрофного водоема. Именно значительное количество биогенных соединений — основная проблема экологического состояния данного пруда. Загрязнение органическим веществом в нем умеренное. На это указывает индекс сапробности, значения которого оставались близкими на протяжении всего периода наблюдений за исключением августа 2010 г., когда индекс, рассчитанный по зоопланктону, повысился, и это совпало с

Таблица 2.

Индекс трофического состояния (ИТС).

Год	Месяц	ИТС	Статус
2008*	июль	61,4	Э
	август	60,2	Э
	сентябрь	64,7	Э
	октябрь	74,1	Э
2009	июнь	52,4	М
	июль	61,2	М
	август	56,4	М
	сентябрь	46,8	М
2010	июнь	53,3	М
	июль	68,6	Э
	август	76,6	Э
2011*	август	73,2	Э

Примечание: Э — эвтрофный, М — мезотрофный.

Звездочками отмечены годы применения биопрепарата для очистки воды.

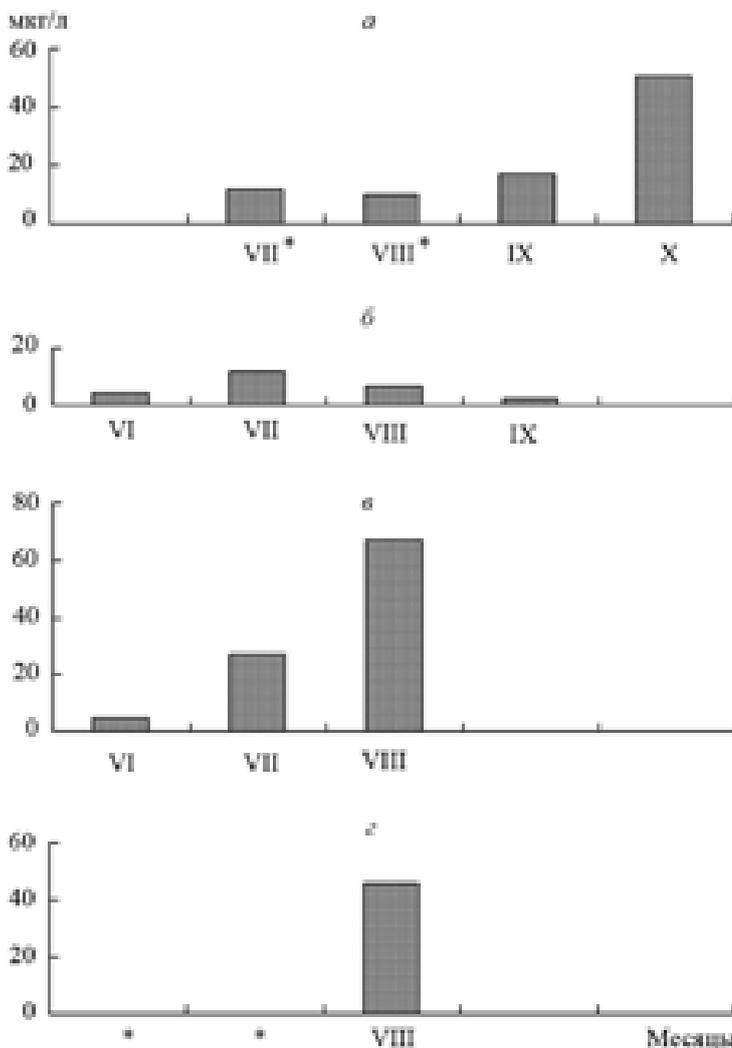


Рис. 4. Содержание хлорофилла *a* в воде пруда в 2008 (а), 2009 (б), 2010 (в), 2011 (г) гг. Звездочками указаны периоды внесения препарата «Понд трит».

высокими показателями содержания хлорофилла в воде (рис. 3, 4).

Функционирование всех сообществ водных экосистем взаимосвязано. В исследуемом водоеме между различными трофическими уровнями циркулирует большое количество биогенных веществ. Одна из главных ролей в этом процессе принадлежит погруженным растениям, занимающим до 80 % площади пруда. Укорененные — элодея, рдест активно изымают питательные вещества из грунта. В процессе прижизненного метаболизма этих видов, а также не укореняющегося роголистника и после отмирания гидрофитов биогены вновь попадают в воду [12]. Кроме того, немалый вклад в обогащение воды биогенными веществами вносят рыбы (в частности, караси, обитающие в пруду), которые в результате жизнедеятельности выделяют соединения азота и фосфора [13], активно взмучивают ил, вызывая тем самым повторный переход части биогенов из донных отложений в воду. Для данного водоема, не имеющего проточности, внесение биопрепарата оказалось недостаточным средством для снижения трофического статуса. При добавлении бактериального препарата произошла интенсификация круговорота биогенов, но они остались в экосистеме и вновь включились в следующий цикл. Это подтверждает зарегистрированное в октябре первого года наблюдений увеличение концентрации хлорофилла в воде и одновременно значительное возрастание численности коловраток. В последующем, очевидно, существенное количество биогенных веществ перешло из толщи воды в грунт, чему способствовали наступление холодного периода и завершение вегетационного сезона. Поэтому на следующий год отмечали более низкие концентрации хлорофилла *a* и уменьшение показателей степени трофии по зоопланктону. Однако эффект не был длительным, и в дальнейшем, судя по возросшей концентрации хлорофилла *a*, вновь проявилась тенденция к увеличению трофности. Очевидно, что для улучшения качества воды водоема такого размера и с таким объемом накопленных донных осадков недостаточно только внесение биопрепарата. Чтобы добиться желаемого результата, возможно, необходимо изменить режим его применения (дозу, кратность, длительность) и изъять значительную массу погруженных растений и части грунта.

Заключение

Гидробиологические исследования показывают, что вода в пруду, расположенном в рекреационной зоне г. Ярославля, характеризуется высокой трофностью. Наибольшего развития достигают погруженные растения *Elodea canadensis*, *Ceratophyllum demersum* и *Potamogeton perfoliatus*, что свидетельствует о значительном содержании биогенных элементов в воде. Сообщество зоопланктона имеет черты, характерные для эвтрофных водоемов: значительная доля коловраток, мелкие размеры ракообразных и небольшая средняя индивидуальная масса зоопланктона, обильное развитие видов-индикаторов эвтрофных условий. Загрязнение органическим веществом умеренное. Мероприятия по биологической очистке воды в пруду не привели к значимым изменениям в структуре растительности, в зоопланктоне увеличилась доля ветвистоусых ракообразных, но показатель степени трофии, снизившийся на следующий после применения биопрепарата год, затем вновь увеличился. Для улучшения качества воды в пруду необходимо внесение биопрепарата сочетать с мероприятиями по механической очистке.

Литература

1. Восстановление водоемов. Понд трит. Электронный ресурс: www.microzym.ru/pondtreatment.htm.
2. Средство для очистки водоемов Микрозим Понд Трит. Электронный ресурс: www.planetsad.ru/понд_трит_250.
3. Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. Л.: Наука, 1981. 187 с.

Ключевые слова: водная растительность, зоопланктон, качество воды, трофность, сапробность

4. Антропогенное воздействие на малые озера / Под ред. И.С. Коплан-Дикс, Е.А. Стравинской. Л.: Наука, 1980. 172 с.
5. Hakkaril L. On the productivity and ecology of zooplankton and its role as food for fish in some lakes in Central Finland // Biol. Res. Rep. Univ. Juväskylä. 1978. №4. P. 3-84.
6. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод. Л.:ЗИН, 1974. 60 с.
7. Сиренко Л.А. Определение содержания хлорофилла в планктоне пресных водоемов. Методические рекомендации / Л.А. Сиренко, А.В. Курейшевич. Киев: Наукова думка, 1982. 52 с.
8. Бульон В.В. Первичная продукция планктона и классификация озер // Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем / Под ред. А.Ф. Алимова. Л.: Наука, 1987. С. 45-51.
9. Окснюк О.П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.П.Окснюк, В.Н.Жукинский, Л.П.Брагинский, П.Н. Линник, М.И. Кузьменко, В.Г. Кленус // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. №4. С. 62-76.
10. Макрофиты — индикаторы изменений природной среды / Под ред. С. Гейны, К.М. Сытник. Киев: Наукова думка, 1993. 436 с.
11. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
12. Щепански А. О макрофитах озер и их роли в круговороте веществ // Гидробиол. журн. 1977. Т. 13. №6. С. 23-27.
13. Jeppesen E. Fish-induced changes in zooplankton grazing on phytoplankton and bacterioplankton: a long-term study in shallow hypertrophic Lake Søbygaard / E. Jeppesen, M. Søndergaard, J.P. Jensen, E. Mortensen, O. Sortkjaer // Plankton Res. J. 1996. V.18. №9. P. 1605-1625.

I.Yu. Ershov, S.A. Kurbatova

EVALUATION OF WATER QUALITY OF A TOWN POND BASED ON HYDROBIOLOGICAL PARAMETERS

Four years observations of vegetation and zooplankton dynamics in a pond located in the territory of the Yaroslavl town were carried out. Structure of hydrobiont community demonstrates high water trophicity and β -mesosaprobien conditions. Positive effect of use of biopreparation Mikrozim™ «Pond treat» destined for water quality improvement was short in consequence of intensive cycle of biogenic matters in this pond. It is necessary to combine addition of the biopreparation and mechanic treatment.

Key words: aquatic vegetation, zooplankton, water quality, trophicity, saprobity