

## МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАРОЧАНСКИХ ОЗЕР

**Б. В. АДАМОВИЧ<sup>1)</sup>, Т. М. МИХЕЕВА<sup>1)</sup>, Р. З. КОВАЛЕВСКАЯ<sup>1)</sup>, Т. В. ЖУКОВА<sup>2)</sup>, Н. В. ДУБКО<sup>1)</sup>,  
Е. В. ЛУКЬЯНОВА<sup>1)</sup>, Л. В. НИКИТИНА<sup>1)</sup>, О. А. МАКАРЕВИЧ<sup>1)</sup>, В. С. КАРАБАНОВИЧ<sup>1)</sup>,  
Т. А. МАКАРЕВИЧ<sup>1)</sup>, А. А. ЖУКОВА<sup>1)</sup>, И. В. САВИЧ<sup>1)</sup>, Ю. К. ВЕРЕС<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2)</sup>Учебно-научный центр «Нарочанская биологическая станция им. Г. Г. Винберга»,  
ул. Набережная, 8, 222395, Минская область, Мядельский район, к. п. Нарочь, Республика Беларусь

### Образец цитирования:

Адамович Б. В., Михеева Т. М., Ковалевская Р. З., Жукова Т. В., Дубко Н. В., Лукьянова Е. В., Никитина Л. В., Макаревич О. А., Карабанович В. С., Макаревич Т. А., Жукова А. А., Савич И. В., Верес Ю. К. Многолетние изменения основных гидроэкологических показателей Нарочанских озер // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2016. № 3. С. 107–112.

### For citation:

Adamovich B. V., Mikheeva T. M., Kovalevskaya R. Z., Zhukova T. V., Dubko N. V., Lukyanova E. V., Nikitina L. V., Makarevich O. A., Karabanovich V. S., Makarevich T. A., Zhukava H. A., Savich I. V., Veres J. K. Long-term changes of the basic hydroecological indices of Naroch lakes. *Vestnik BGU. Ser. 2, Khimiya. Biol. Geogr.* 2016. No. 3. P. 107–112 (in Russ.).

### Авторы:

**Борис Владиславович Адамович** – кандидат биологических наук; заведующий научно-исследовательской лабораторией гидроэкологии биологического факультета.

**Тамара Михайловна Михеева** – доктор биологических наук, доцент; главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии биологического факультета.

**Раиса Зеноновна Ковалевская** – старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии биологического факультета.

**Татьяна Васильевна Жукова** – доктор биологических наук; начальник.

**Наталья Владимировна Дубко** – научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии биологического факультета.

**Елена Васильевна Лукьянова** – научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии биологического факультета.

**Людмила Владимировна Никитина** – научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии биологического факультета.

**Олег Анатольевич Макаревич** – научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии биологического факультета.

**Валентина Станиславовна Карабанович** – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии биологического факультета.

**Тамара Александровна Макаревич** – кандидат биологических наук; доцент кафедры общей экологии и методики преподавания биологии биологического факультета.

**Анна Анатольевна Жукова** – кандидат биологических наук; доцент кафедры общей экологии и методики преподавания биологии биологического факультета.

**Ирина Васильевна Савич** – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии биологического факультета.

**Юлия Константиновна Верес** – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии биологического факультета.

### Authors:

**Boris Adamovich**, PhD (biology); head of the research laboratory of aquatic ecology, faculty of biology.

*belaqualab@gmail.com*

**Tamara Mikheeva**, doctor of science (biology), docent; principal researcher at the research laboratory of aquatic ecology, faculty of biology.

*mikheeva@tut.by*

**Raisa Kovalevskaya**, senior researcher at the research laboratory of aquatic ecology, faculty of biology.

*lakes@tut.by*

**Tatjana Zhukova**, doctor of science (biology); head.

*tvzhukova@tut.by*

**Natalya Dubko**, researcher at the research laboratory of aquatic ecology, faculty of biology.

*lakes@tut.by*

**Elena Lukyanova**, researcher at the research laboratory of aquatic ecology, faculty of biology.

*elena\_lukyanova@tut.by*

**Ludmila Nikitina**, researcher at the research laboratory of aquatic ecology, faculty of biology.

*lakes@tut.by*

**Oleg Makarevich**, researcher at the research laboratory of aquatic ecology, faculty of biology.

*lakes@tut.by*

**Valentina Karabanovich**, junior researcher at the research laboratory of aquatic ecology, faculty of biology.

*lakes@tut.by*

**Tamara Makarevich**, PhD (biology); associate professor at the department of general ecology and methods of biology teaching, faculty of biology.

*makarta@tut.by*

**Hanna Zhukava**, PhD (biology); associate professor at the department of general ecology and methods of biology teaching, faculty of biology.

*lakes@tut.by*

**Iryna Savich**, junior researcher at the research laboratory of aquatic ecology, faculty of biology.

*veres.julia.naroch@gmail.com*

**Julia Veres**, PhD (biology); senior researcher at the research laboratory of aquatic ecology, faculty of biology.

*veres.julia.naroch@gmail.com*

Рассмотрена многолетняя динамика экологического состояния Нарочанских озер. По результатам наблюдений за последние 60 лет выделены несколько этапов эволюции структурной и функциональной организации экосистем озер. В прошлом активное сельскохозяйственное производство обусловило прогрессирующее эвтрофирование водоемов. Затем целенаправленное снижение биогенной нагрузки в результате программы экологического оздоровления привело к снижению трофности водоемов. Кроме того, озера Нарочь, Мястро, Баторино ощутили на себе результаты вселения и массового развития моллюска-фильтратора *Dreissena polymorpha* Pallas. Отмечена роль мониторинговых исследований для решения фундаментальных, прикладных и образовательных задач.

**Ключевые слова:** Беларусь; Нарочанские озера; многолетние временные ряды данных; гидроэкологические показатели; эвтрофирование; бентификация; моделирование.

## LONG-TERM CHANGES OF THE BASIC HYDROECOLOGICAL INDICES OF NAROCH LAKES

**V. V. ADAMOVICH<sup>a</sup>, T. M. MIKHEEVA<sup>a</sup>, R. Z. KOVALEVSKAYA<sup>a</sup>, T. V. ZHUKOVA<sup>b</sup>, N. V. DUBKO<sup>a</sup>,  
E. V. LUKYANOVA<sup>a</sup>, L. V. NIKITINA<sup>a</sup>, O. A. MAKAREVICH<sup>a</sup>, V. S. KARABANOVICH<sup>a</sup>,  
T. A. MAKAREVICH<sup>a</sup>, H. A. ZHUKAVA<sup>a</sup>, I. V. SAVICH<sup>a</sup>, J. K. VERES<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

<sup>b</sup>Research Centre «Naroch biological station named after G. G. Vinberg»,  
Naberezhnaja street, 8, 222395, Naroch, Myadel district, Minsk region, Republic of Belarus

The long-term dynamics of ecological state of Naroch lakes is shown. Several stages of ecosystems evolution are marked according to data of monitoring of structural and functional characteristics of the lakes. Intensive agricultural activity brought to growing eutrophication of lakes. Subsequently, decrease of external nutrient load as a result of restoration program brought to decrease of trophic state. Moreover, lakes Naroch, Myastro, Batorino were undergo of influence of invasive species *Dreissena polymorpha* Pallas. The role of investigations in the solving of fundamental, practical and educational problems is shown.

**Key words:** Belarus; Naroch lakes; long-term data series; hydroecological indices; eutrophication; benthification; modeling.

Нарочанские озера расположены на северо-западе Беларуси, принадлежат бассейну р. Неман и представляют собой систему из трех водоемов, имеющих общую водосборную территорию и соединенных между собой протоками (рис. 1). Озера являются полимиктическими, но несколько различаются по геоморфологическим характеристикам (таблица). Трофность водоемов понижается от первого в каскаде – оз. Баторино к последнему – оз. Нарочь. Морфометрические особенности озер (относительно большая площадь и небольшая средняя глубина) способствуют интенсивному динамическому перемешиванию водной массы.

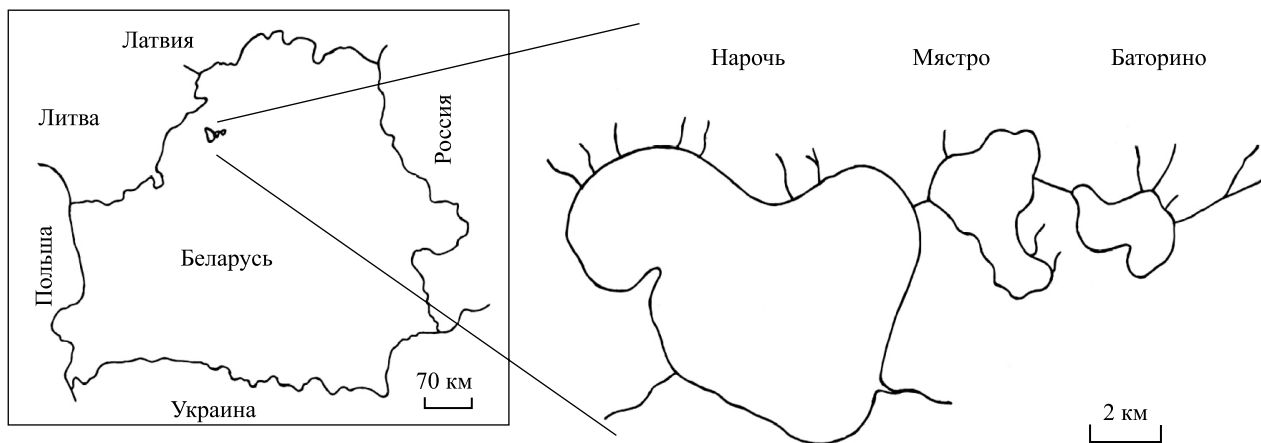


Рис. 1. Система Нарочанских озер

## Основные характеристики Нарочанских озер

Характеристики	Баторино	Мястро	Нарочь
Площадь водного зеркала, км <sup>2</sup>	6,3	13,1	79,6
Объем водной массы, млн м <sup>3</sup>	18,7	70,1	710,0
Глубина, м (средняя/максимальная)	2,4/5,5	5,4/11,3	8,9/24,8
Время водообмена, количество лет	1,0	2,5	10–11

Нарочь – крупнейший водоем в Беларуси общей площадью 79,2 км<sup>2</sup>. Ряд природных особенностей делают озеро национальным достоянием, и его защита от загрязнения и эвтрофирования является задачей государственного масштаба. В течение долгого времени озеро использовалось в рекреационных целях. С 1960-х гг. оз. Нарочь стало центром главного республиканского курортного региона. После аварии на ЧАЭС большое число жителей пострадавших районов проходят реабилитацию в оздоровительных учреждениях Нарочанского края, практически не затронутого чернобыльской катастрофой.

Начиная с 1999 г. оз. Нарочь становится ключевым элементом созданного под эгидой государства Национального парка «Нарочанский», на территории которого находится 37 деревень и два города с общим количеством населения около 15 тыс. человек. В настоящее время по берегам трех названных озер располагается много санаториев, пансионатов, кемпингов, агроусадеб и т. п. В течение года Нарочанский регион посещают 100–120 тыс. туристов как из Беларуси, так и из-за рубежа. Водные объекты парка активно используются туристами в целях спортивной рыбалки, лодочного и парусного спорта, других видов отдыха.

На оз. Нарочь в 1946 г. была основана Нарочанская биологическая станция Белорусского государственного университета (ныне – учебно-научный центр «Нарочанская биологическая станция имени Г. Г. Винберга» БГУ) и начаты системные гидроэкологические исследования, ведущую роль в которых в настоящее время играет научно-исследовательская лаборатория (НИЛ) гидроэкологии биологического факультета, организованная в 1965 г. по инициативе ученого с мировым именем, член-корреспондента АН СССР Г. Г. Винберга. НИЛ гидроэкологии и Нарочанская биологическая станция представляют собой единый комплекс, научными исследованиями в котором в течение многих лет (с 1967 по 2012 г.) руководил член-корреспондент НАН Беларуси А. П. Остапеня.

С 1978 г. по единой программе ведется круглогодичный мониторинг озер Нарочь, Мястро и Баторино, позволивший к настоящему времени собрать уникальную базу гидроэкологических данных. Методика отбора и анализа основных параметров подробно описана в [1–5]. С 1999 г. материалы мониторинговых наблюдений и проводимых исследований ежегодно публикуются в Бюллетене экологического состояния озер Нарочь, Мястро, Баторино, где отражаются современное состояние экосистем озер и наблюдаемые тенденции его изменений.

Мониторинг состояния Нарочанских озер позволил установить, что в последние 60 лет имеют место несколько этапов в эволюции структурной и функциональной организации экосистем. Был выделен ряд внешних факторов, в значительной мере определивших этапы эволюции экосистемы Нарочанских озер и ее современное состояние [6]. Активное сельскохозяйственное производство и, как следствие, усиление биогенной нагрузки на водосбор привели к прогрессирующему эвтрофированию водоемов в середине 1970-х гг.

С начала 1980-х гг. отмечен период устойчивого снижения трофности во всех трех озерах. Наиболее отчетливо это видно по динамике индекса Карлсона (TSI – trophy state index) (рис. 2). Трофические условия в озерах в различные периоды изменялись от высокоэвтрофных (оз. Баторино) до олиготрофных (оз. Нарочь). С конца 1970-х гг. до 2013 г. средние для вегетационного сезона значения TSI верхнего в системе озер – оз. Баторино – опустились с границы высокоэвтрофной зоны (70) к условной границе эвтрофной и мезотрофной зон (50) (см. рис. 2). В оз. Мястро среднесезонный TSI опустился ниже границы эвтрофной и мезотрофной зон в конце 1980-х гг. В оз. Нарочь TSI практически на протяжении всего рассматриваемого периода находился в области мезотрофных значений, в отдельные месяцы последних лет опускаясь ниже 30 в олиготрофную область. Минимальное значение TSI было отмечено в оз. Нарочь в июле 2012 г. – 29,6; максимальное – 76,7 – в августе 1983 г. в оз. Баторино [5].

В период активного эвтрофирования озер (середина 1970-х – середина 1980-х гг.) средние за вегетационный сезон концентрации общего фосфора в оз. Баторино составляли 80–107 мкг/л, достигая в отдельные месяцы 188 мкг/л. К 2013 г. средняя концентрация общего фосфора в этом озере снизилась до 22,3 мкг/л. В наименее трофном оз. Нарочь среднесезонная концентрация общего фосфора в указанный период наблюдений находилась в пределах 11–44 мкг/л, также заметно снизившись в последние годы по сравнению с периодом эвтрофирования. В оз. Мястро, занимающем по трофности промежуточное

положение, диапазон колебаний среднесезонных показателей общего фосфора составил 23–71 мкг/л. Содержание в воде общего азота за рассматриваемый период находилось в пределах 0,14 (оз. Нарочь) – 3,00 мг/л (оз. Баторино), диапазон среднесезонных величин составил от 0,32 мг/л (оз. Нарочь, 1994 г.) до 2,32 мг/л (оз. Баторино, 1979 г.). С начала 1990-х гг. отмечено увеличение прозрачности воды и снижение концентрации азота и фосфора [5].

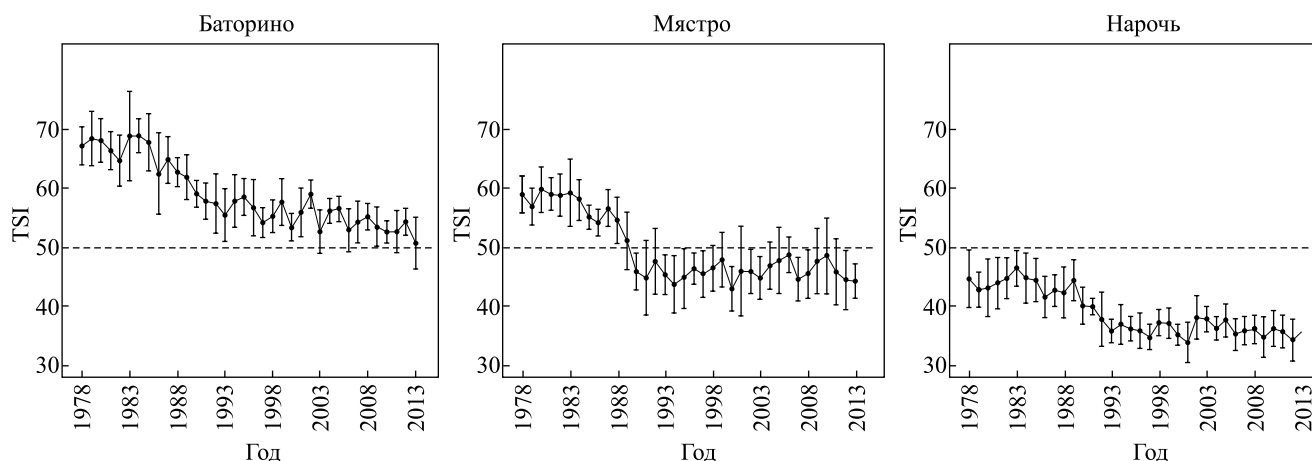


Рис. 2. Многолетние изменения TSI и стандартные отклонения для его значений в Нарочанских озерах (пунктирная линия обозначает условную границу эвтрофной и мезотрофной зон) [5]

Проведенный анализ временных рядов содержания в воде сестона показал, что в его динамике отчетливо проявляются два периода (эвтрофирование и деэвтрофирование (см. рис. 2)), отличающихся друг от друга по характеру изменений. Первый из них характеризуется высокоамплитудными колебаниями и более высокой средней концентрацией. В течение второго периода амплитуда колебаний и средняя концентрация сестона существенно ниже. Анализ с помощью моделей авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС) показал, что, помимо сезонных флуктуаций, для всех озер Нарочанской группы имело место относительно резкое антропогенное воздействие (интервенция), приведшее к быстрому уменьшению содержания и снижению абсолютных колебаний концентрации сестона. Для озер Баторино и Мястро основной отклик на это воздействие приходится на 1990 г., для оз. Нарочь – на 1990 и 1991 гг. Интересным является разное время реакции экосистем озер на интервенцию. Можно предположить, что продолжительная реакция на интервенцию оз. Баторино связана с изначально наблюдавшейся высокой трофностью озера. Высокие коэффициенты корреляции между содержанием в воде взвешенного вещества и биомассой фитопланктона, концентрацией хлорофилла, общего органического вещества и биохимическое потребление кислорода за 5 сут (БПК<sub>5</sub>) дают основание предположить, что рассмотренные тенденции справедливы и для этих гидроэкологических параметров. Слабая корреляция с относительным содержанием во взвеси фитопланктона и хлорофилла *a* свидетельствует о неправомерности экстраполяции тенденций в многолетней динамике сестона на эти относительные показатели.

На фоне уменьшения содержания основных биогенных элементов (азот и фосфор) снизились показатели, характеризующие количественное развитие основных биологических сообществ толщи воды – хлорофилла и биомассы фито-, зоо- и бактериопланктона. Это позволило говорить о том, что в озерах Нарочанской группы проявились явные признаки олиготрофизации, или деэвтрофирования, водоема в общепринятом понимании. При этом если период эвтрофирования был вызван усилением антропогенного влияния, то изменения, произошедшие в последующие периоды, в наибольшей степени были связаны с двумя факторами – снижением примерно на 30 % внешней биогенной нагрузки на экосистему озер в результате реализации государственной программы экологического оздоровления в середине 1980-х гг. и вселением в конце 1980-х гг. в озера мощнейшего фильтраатора – моллюска *Dreissena polymorpha* Pallas. Данные меры привели к смещению процессов трансформации вещества из толщи воды в придонный слой [6, 7], или бентификации, вызывающей сложные перестройки на всех уровнях функционирования экосистемы [7–10].

Влияние дрейссены неодинаково сказалось на озерах, что выразилось в том числе в дивергенции динамики хлорофилла в воде озер Нарочанской группы. Проведенный анализ показал [2], что реакция всех трех озер на интенсивную биогенную нагрузку (1978–1983) и последующее ее снижение (1984–1990) в результате природоохранных мероприятий была скоррелирована. В то же время различная степень влияния на озера вселенца, моллюска *Dreissena polymorpha*, инвазия которого



существенно трансформирует экосистемные процессы, вызвала дивергенцию динамики хлорофилла в 1991–2013 гг., что проявилось в резком уменьшении корреляции между колебаниями концентрации хлорофилла в каждом из озер. Различия в интенсивности воздействия обусловлены преимущественно геоморфологией озер и наличием пригодного субстрата для колонизации дрейссены. Результаты исследований [11] показали, что наибольшие величины биомассы дрейссены в оз. Мястро, по сравнению с двумя другими озерами, могут объясняться наличием в относительно большем количестве стабильного субстрата для колонизации (незаиленного песка и камней) и, как следствие, лучшей выживаемостью моллюсков и сохранением в популяции крупных особей.

Использование мониторинговых данных Нарочанских озер позволило выявить закономерности в динамике количественных показателей развития планктонных сообществ с использованием математического инструментария нелинейного анализа. На основании многолетних данных по биомассам фито- и зоопланктона проведены численные оценки важных динамических характеристик нерегулярных процессов, в том числе доминантного показателя Ляпунова и энтропии Реньи, и таким образом оценена степень хаотичности и прогнозируемость исследуемой популяционной динамики [4].

Проанализированы данные о температурном режиме трех Нарочанских озер и температуре воздуха в Нарочанском регионе за последние 50 лет. С помощью корреляционного анализа показано наличие слабых тенденций к многолетнему увеличению температуры для верхних (до 8 м) горизонтов оз. Нарочь и поверхностных (0,5 м) горизонтов озер Мястро и Баторино. Отмечена прямая сильная связь между температурой воздуха и температурой воды на небольших и средних глубинах. Анализ Фурье, вычисление автокорреляций, построение и сравнение моделей АРПСС свидетельствуют об отсутствии выраженного тренда в изменении температуры воздуха на протяжении рассматриваемого периода [3].

Проводимые НИЛ гидроэкологии и Нарочанской биологической станцией многолетние исследования на Нарочанских озерах позволили получить фундаментальные научные знания для понимания процессов самоочищения и анализа современного состояния и прогноза дальнейшего развития экосистем озер, в том числе изменений, вызванных деятельностью человека. Исследования, отражающие многолетние тенденции развития экосистем различных типов озер в условиях антропогенной деятельности и глобальных климатических изменений, могут рассматриваться как национальное достояние Беларуси. Полученные результаты также необходимы для развития системы водного менеджмента и экологических программ, направленных на сохранение и восстановление уникальных особенностей Нарочанских озер, защиту биоразнообразия, улучшение качества воды. Так, в результате проведенных исследований были установлены основные пути поступления различных загрязнителей и биогенных элементов в оз. Нарочь и оценено их количество. Эти материалы послужили научной основой для разработки и реализации практических мероприятий по защите озера от органического загрязнения в рамках программы «План комплексного использования и защиты водных и земельных ресурсов бассейна озера Нарочь». Исполнение положений этого плана позволило существенно снизить эвтрофирование озера, что подтвердило научные теории, положенные в основу разработанных мероприятий.

Еще один не менее важный аспект – это то, что исследования, проводимые на Нарочанских озерах, являются в том числе научной базой для образования студентов, магистрантов и аспирантов, повышения квалификации преподавателей.

История организации и проведения многолетнего мониторинга состояния оз. Нарочь учеными БГУ, объединившая в себе обучение студентов и аспирантов, подготовку диссертационных работ и при этом эффективное участие в решении практических экологических задач, говорит о рациональности такого подхода и является примером сотрудничества научной и образовательной среды с государственными структурами в сфере охраны природы и водного менеджмента.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК (REFERENCES)

1. Жукова Т. В. Многолетняя динамика фосфора в Нарочанских озерах и факторы, ее определяющие // Водные ресурсы. 2013. Т. 40, № 5. С. 468–476 [Zhukova T. V. Mnogoletnyaya dinamika fosfora v Narochanskikh ozerakh i faktory, ee opredelyayushchie. *Vodnye resursy*. 2013. Vol. 40, No. 5. P. 468–476 (in Engl.)].

2. Адамович Б. В., Ковалевская Р. З., Радчикова Н. П., Жукова Т. В., Михеева Т. М., Медвинский А. Б., Нуриева Н. И., Русаков А. В. Дивергенция динамики хлорофилла в Нарочанских озерах // Биофизика. 2015. Т. 60, № 4. С. 769–776 [Adamovich B. V., Kovalevskaya R. Z., Radchikova N. P., Zhukova T. V., Mikheyeva T. M., Medvinsky A. B., Nuriyeva N. I., Rusakov A. V. The divergence of chlorophyll dynamics in the Naroch lakes. *Biofizika*. 2015. Vol. 60, No. 4. P. 769–776 (in Engl.)].

3. Жукова Т. В., Радчикова Н. П., Адамович Б. В., Михеева Т. М., Верес Ю. К., Медвинский А. Б. Температурный режим Нарочанских озер на фоне многолетних климатических изменений // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2014. № 2. С. 26–35 [Zhukova T. V., Radchikova N. P., Adamovich B. V., Mikheyeva T. M., Veres J. K., Medvinsky A. B. The temperature conditions of Naroch lakes against a background of long-term climatic changes. *Vestnik BGU. Ser. 2, Khimiya. Biol. Geogr.* 2014. No. 2. P. 26–35 (in Russ.)].

4. Medvinsky A. B., Adamovich B. V., Chakraborty A., Lukyanova E. V., Mikheyeva T. M., Nurieva N. I., Radchikova N. P., Rusakov A. V., Zhukova T. V. Chaos far away from the edge of chaos: A recurrence quantification analysis of plankton time series // *Ecol. Complex.* 2015. Vol. 23. P. 61–67 [Medvinsky A. B., Adamovich B. V., Chakraborty A., Lukyanova E. V., Mikheyeva T. M., Nurieva N. I., Radchikova N. P., Rusakov A. V., Zhukova T. V. Chaos far away from the edge of chaos: A recurrence quantification analysis of plankton time series. *Ecol. Complex.* 2015. Vol. 23. P. 61–67 (in Engl.)].

5. Адамович Б. В., Жукова Т. В., Михеева Т. М., Ковалевская Р. З., Лукьянова Е. В. Многолетние изменения индекса трофического состояния Нарочанских озер и его связь с основными гидроэкологическими параметрами // *Водные ресурсы.* 2016. Т. 43, № 5. С. 809–817 [Adamovich B. V., Zhukova T. V., Mikheeva T. M., Kovalevskaya R. Z., Luk'yanova E. V. Long-term variations of the trophic state index in the Narochanskie lakes and its relation with the major hydroecological parameters. *Water resour.* 2016. Vol. 43, No. 5. P. 809–817 (in Engl.)].

6. Остапеня А. П., Жукова Т. В., Михеева Т. М., Ковалевская Р. З., Макаревич Т. А., Жукова А. А., Лукьянова Е. В., Никитина Л. В., Макаревич О. А., Дубко Н. В., Карабанович В. С., Савич И. В., Верес Ю. К. Бентификация озерной экосистемы: причины, механизмы, возможные последствия, перспективы исследований // *Тр. БГУ. Сер.: Физиол., биохим. и мол. основы функционирования биосистем.* 2012. Т. 7, ч. 1. С. 135–148 [Ostapenya A. P., Zhukova T. V., Mikheyeva T. M., Kovalevskaya R. Z., Makarevich T. A., Zhukova A. A., Lukyanova E. V., Nikitina L. V., Makarevich O. A., Dubko N. V., Karabanovich V. S., Savich I. V., Veres Ju. K. Benthification of lake ecosystem: causes, mechanisms, possible consequences, prospect for future research. *Tr. BGU. Ser.: Fiziol., biokhimicheskie i molekulyarnye osnovy funkcionirovaniya biosistem.* 2012. Vol. 7, part 1. P. 135–148 (in Russ.)].

7. Остапеня А. П. Нарочанские озера: от эвтрофирования до бентификации // *Научное наследие А. П. Остапени.* Минск, 2014. С. 258–263.

8. Mayer C. M., Keats R. A., Rudstam L. G., Mills E. L. Scale-dependent effects of zebra mussels on benthic invertebrates in a large eutrophic lake // *J. North Am. Benthol. Soc.* 2002. Vol. 21, № 4. P. 616–633 [Mayer C. M., Keats R. A., Rudstam L. G., Mills E. L. Scale-dependent effects of zebra mussels on benthic invertebrates in a large eutrophic lake. *J. North Am. Benthol. Soc.* 2002. Vol. 21, No. 4. P. 616–633 (in Engl.)].

9. Mills E. L., Casselman J. M., Dermott R., Fitzsimons J. D., Gal G., Holeck K. T., Hoyle J. A., Johannsson O. E., Lantry B. F., Makarewicz J. C., Millard E. S., Munawar I. F., Munawar M., O'Gorman R., Owens R. W., Rudstam L. G., Schaner T., Stewart T. J. Lake Ontario: food web dynamics in a changing ecosystem (1970–2000) // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2003. Vol. 60, № 4. P. 471–490 [Mills E. L., Casselman J. M., Dermott R., Fitzsimons J. D., Gal G., Holeck K. T., Hoyle J. A., Johannsson O. E., Lantry B. F., Makarewicz J. C., Millard E. S., Munawar I. F., Munawar M., O'Gorman R., Owens R. W., Rudstam L. G., Schaner T., Stewart T. J. Lake Ontario: food web dynamics in a changing ecosystem (1970–2000). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2003. Vol. 60, No. 4. P. 471–490 (in Engl.)].

10. Mayer C. M., Burlakova L. E., Eklöv P., Fitzgerald D., Karatayev A. Y., Ludsins S. A., Millard S., Mills E. L., Ostapenya A. P., Rudstam L. G., Zhu B., Zhukova T. V. Benthification of freshwater lakes: exotic mussels turning ecosystems upside down. Quagga and Zebra mussels. Biology, impact and control / ed. by T. F. Nalepa, D. W. Schloesser. 2<sup>nd</sup> ed. London ; N. Y., 2014. Chapter 36. P. 575–585.

11. Burlakova L. E., Karatayev A. Y., Padilla D. K. Changes in the distribution and abundance of *Dreissena polymorpha* within lakes through time // *Hydrobiologia.* 2006. Vol. 571. P. 133–146 [Burlakova L. E., Karatayev A. Y., Padilla D. K. Changes in the distribution and abundance of *Dreissena polymorpha* within lakes through time. *Hydrobiologia.* 2006. Vol. 571. P. 133–146 (in Engl.)].

Статья поступила в редколлегию 22.06.2016.  
Received by editorial board 22.06.2016.