

# СРАВНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА И КАЧЕСТВА ВОДЫ ОЗЁР, ЗАСЕЛЁННЫХ И НЕЗАСЕЛЁННЫХ *DREISSENA POLYMORPHA* (PALLAS)

© 2015 Разлуцкий В.И.<sup>1</sup>, Сысова Е.А.<sup>1</sup>, Бусева Ж.Ф.<sup>1</sup>, Фенёва И.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГНПО «Научно практический центр НАН Беларуси по биоресурсам».  
Беларусь, Минск, 220072, ул. Академическая, 27. [vladimirrazl@gmail.com](mailto:vladimirrazl@gmail.com)

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН.  
Москва, 119279, Ленинский проспект, 33. [Feniova@mail.ru](mailto:Feniova@mail.ru)

Поступила в редакцию 13.02.2014

*Dreissena polymorpha* – один из видов двустворчатых моллюсков, оказывающих огромное влияние на среду обитания, состав и структуру сообществ водных организмов, что может привести к изменению экологического состояния водоёмов. Для того, чтобы сравнить качество воды озёр, заселённых и незаселённых дрейссеной, и установить причины различий, нами проведены исследования на примере пяти белорусских озёр. Оз. Обстерно с естественным термическим режимом и водоём-охладитель оз. Лукомльское заселены данным моллюском. В озёрах Горушка и Нобисто с естественным термическим режимом и в водоём-охладителе оз. Белое он отсутствует. Для определения классов качества использовали индексы, основанные на физико-химических параметрах и характеристиках фитопланктона и сообществ Cladocera, адаптированные в соответствии с требованиями Европейской Водной Рамочной Директивы, а также индекс сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека. По мнению многих исследователей, прозрачность воды, в большинстве случаев, является хорошим показателем экологического состояния озёр. По данным о прозрачности самый высокий экологический статус имеют озёра Обстерно и Лукомльское. Тем не менее, оценки, полученные с помощью биотических индексов, различались не так значительно, как величины прозрачности в исследуемых озёрах. Расчёты показывают, что несоответствие различий в прозрачности озёр, заселённых и незаселённых дрейссеной, с различиями в оценках экологического качества биотическими индексами может достигать более 70% при использовании индекса сапробности и более 50% – другими биотическими индексами. Это позволяет говорить о том, что, несмотря на увеличение прозрачности и снижение биомассы фитопланктона, изменения в планктонных сообществах не соответствуют улучшению экологического качества вод при вселении дрейссены.

**Ключевые слова:** *Dreissena polymorpha*, экологический статус, биотические индексы, структура сообществ фитопланктона, Cladocera.

## Введение

Дрейссена речная (*Dreissena polymorpha* Pallas) – один из видов двустворчатых моллюсков-фильтраторов, которые оказывают огромное воздействие на водные экосистемы [Karatajev et al., 2007]. Она активно распространяется как в Европе, так и в Америке, и часто является

определяющим фактором функционирования сообществ водных организмов. Этого моллюска относят к видам-инженерам экосистем, способным изменять биотические и абиотические условия среды [Jones et al., 1994; 1997]. Благодаря своему массовому развитию и фильтрационной активности дрейссена способна профильтровывать

весь объём воды заселённого водоёма за короткое время. Например, весь объём оз. Нарочь ( $V=710.4$  млн  $m^3$ ) она профильтровывает за 123 дня [Karatajev et al., 2005]. В результате она оказывает огромное опосредованное и прямое воздействие на планктонные сообщества, осуществляя контроль от верхних трофических уровней к нижним (top-down control). Моллюски влияют на концентрацию биогенных элементов, потребляя органические и неорганические вещества [Strayer et al., 1999; Vanni, 2002; Newell, 2004] и выделяя фосфаты и аммоний в водную толщу, что приводит к изменениям в составе и биомассе фитопланктона. В мелководной части оз. Эри в результате фильтрационной активности дрейссены было зарегистрировано снижение обилия диатомовых и зелёных водорослей [Makarewicz et al., 1999]. Таким образом, данный моллюск, изменяя, как концентрацию биогенных веществ, так и состав и обилие фитопланктона, может оказывать влияние на нижестоящие трофические уровни.

Кроме того, эти моллюски способны непосредственно влиять на состав зоопланктона. Для р. Гудзон показано, что дрейссена может потреблять мелкие и медленно плавающие зоопланктонные виды, удовлетворяя до 25% энергетических потребностей своей популяции в пищу [Wong et al., 2003]. В экспериментальных мезокосмах, с планктоном из Рыбинского водохранилища, под воздействием этого моллюска снижалась биомасса коловраток и копепод, биомасса кладоцер не менялась, однако, менялось соотношение между их мелкими и крупными видами [Лаптева и др., 2006]. В экспериментальных мезокосмах в р. Миссисипи дрейссена снижала биомассу коловраток, копепод и кладоцер [Thorp, Casper, 2003]. Подавление зоопланктона было отмечено и в оз. Эри [Johannsson et al., 2000]. Из приведённых примеров следует, что в результате вселения

дрейссены может меняться состояние всего планктонного сообщества.

В целом после её вселения происходит снижение концентрации сестона, растворённого органического вещества (BOD), снижение численности фитопланктона и содержания хлорофилла *a* [обзоры Karatajev et al., 1997, 2002; Vanderploeg et al., 2002; Kelly et al., 2010]. В результате этих процессов происходит увеличение прозрачности воды. Дрейссена продолжает активно распространяться в различных регионах мира [Pollux et al., 2010]. При её вселении происходят увеличение прозрачности воды и изменения в функционировании всей экосистемы водоёмов, что не может не сказываться на их экологическом статусе.

Основной целью нашего исследования было сравнение экологического состояния и качества воды озёр, заселённых и незаселённых дрейссеной, на основании данных о гидрофизических, гидрохимических характеристиках и составе планктонных сообществ. Исследования были проведены в пяти мелководных озёрах на территории Беларуси.

Для оценки качества воды использовали модифицированный индекс сапробности [Sladecsek, 1973], который является одним из основных методов, применяющихся для этих целей в России. В странах ЕС в настоящее время для оценки экологического статуса водоёмов и качества их вод (ecological water quality) используется методология сравнения с эталонными водными объектами, принятая в рамках Водной Рамочной Директивы (ВРД) [Directive..., 2000, 2008]. Одной из обязательных биологических групп, которая используется для оценки экологического статуса озёр, является фитопланктон. Поскольку специально для белорусских озёр индексов, основанных на фитопланктоне, не разработано, мы использовали мультиметрический индекс PSI

[Mischke et al., 2008], который позволял адекватно оценивать экологическое качество воды в стране с близкими природно-климатическими условиями, в мелких польских озёрах [Pasztales, Poniewozik, 2010]. Также для оценки использовали мультиметрический индекс, разработанный в соответствии с ВРД для белорусских лентических водоёмов, основанный на показателях сообществ *Cladocera* [Семенченко, Разлуцкий, 2007].

### Материалы и методы

Исследования проводили в озёрах Перебродской группы, расположенных на северо-западе Беларуси. Оз. Обстерно и оз. Нобисто непосредственно сообщаются через короткую (около 50 м) протоку. Оз. Горушка расположено в 500 м от этих озёр, но непосредственно с ними не связано. В оз. Обстерно дрейссена появилась в середине 1990-х гг. и в настоящее время её биомасса составляет около 100 г/м<sup>2</sup>. Так в 2012 г. средняя ( $\pm$  стандартное отклонение) для озера численность и биомасса были 346.1 $\pm$ 347.7 экз./м<sup>2</sup> и 116.0 $\pm$ 129.4 г/ м<sup>2</sup> соответственно. Из этих данных видно, что численность и биомасса очень сильно варьировали в разных участках озера. Поскольку эти данные не опубликованы, приводим методику отбора проб. Пробы отбирали по трансекте от береговой линии в пелагиаль озера. До глубины 2 м пробы отбирали, облавливая определённую площадь дна стандартным гидробиологическим скребком (ширина захвата 0.25 м ISO 7828), на больших глубинах – дночерпателем Экмана (площадь захвата 0.025 м). Оз. Обстерно неглубокое, участки с глубинами менее 4 м составляют 52% его общей площади. В связи с этим пробы отбирали до глубины 5 м, на станциях глубиной 0.5–1.0, 1.5–2.0, 2.5–3.0, 4–5 м. Также проведены исследования в двух озёрах-охладителях. В оз. Лукомльское – охладителе Лукомльской ГРЭС дрейссена была обнаружена в 1972 г.,

предполагается, что она появилась там в середине 1960-х. В конце 1980-х её средняя для озера численность стабилизировалась на уровне около 180 г/м<sup>2</sup> [Каратаев, Бурлакова, 1995]. Средняя биомасса в 2003–2005 гг. в конце летнего сезона составляла 179 г/м<sup>2</sup> [Митрахович и др., 2008]. В оз. Белое – охладителе Берёзовской ГРЭС дрейссены нет и практически нет других видов двустворчатых моллюсков. В таблице 1 даны основные морфологические характеристики исследуемых озёр и концентрации биогенных элементов в период обследования.

Для определения трофического статуса озёр использовали индекс Карлсона (TSI) [Carlson, 1977], который рассчитывали исходя из величин прозрачности по формуле [Carlson, Simpson, 1996]:

$$TSI = 60 - 14.41 \ln (\text{прозрачность, м})$$

Трофический статус водоёма (олиготрофный, мезотрофный, эвтрофный, гипертрофный) соответствует определённому диапазону величин индекса [Carlson, Simpson, 1996]. Для оценки качества вод по прозрачности, гидрохимическим показателям и индексу сапробности использовали комплексную классификацию поверхностных вод [Оксиюк и др., 1993]. По этой классификации выделяются следующие градации качества: предельно чистые (пч), очень чистые (оч), вполне чистые (вч), достаточно чистые (дч), слабо загрязнённые (слз), умеренно загрязнённые (уз), сильно загрязнённые (сз), весьма грязные (вг), предельно грязные (пг).

Пробы фито- и зоопланктона отбирали в пелагической, а фитопланктона – и в литоральной зоне озёр (литорали без растительности – ЧЛ и в зарослях тростника – Тр). *Dreissena polymorpha* встречается в наибольших количествах в прибрежной части озёр на твёрдых грунтах. По нашим

наблюдениям, в оз. Обстерно её численность и биомасса максимальные на глубинах от 1 до 3 м. Поэтому мы полагали, что наибольшее влияние на качество воды моллюск может оказывать именно в литоральных биотопах. Пробы были отобраны в близкие сроки 15–17 июля во всех озёрах. В открытой части озёр пробы фитопланктона отбирали батометром Рутнера (объёмом 2 л) через каждый метр. Затем отобранные пробы объединяли в одну и фиксировали формалином 0.5 л. Определение и оценку численности проводили в камере Фукс-Розенталя, биомассу определяли методом подобия геометрическим фигурам [Hillebrand et al., 1999].

Пробы зоопланктона отбирали в пелагиали озера сетью Джеди, протягивая от дна до поверхности. Одновременно измеряли прозрачность воды по диску Секки и отбирали пробы для химического анализа. Определение концентрации растворённых биогенных элементов ( $N-NH_4^+$ ,  $N-NO_3^-$ ,  $P-PO_4^{3-}$ ) определяли колориметрическими методами в соответствии с инструкциями к мультипараметрическому флуориметру (Hanna C 205, HI-8300).

**Индекс сапробности** рассчитывали методом Пантле-Бука [Pantle, Buck, 1955] в модификации Сладечека [Sladecsek, 1973] по формуле:

$$S = \frac{\sum s * h}{\sum h},$$

где S – степень сапробности водоёма; s – сапробное значение организма-сапробионта; h – частота встречаемости сапробионта в пробе. Сапробную значимость отдельных видов водорослей определяли по спискам индикаторных видов [Унифицированные методы..., 1977; Баринаова и др., 2006].

**Индекс загрязнения.** Немецкая система оценки экологического качества озёр на основе фитопланктона

сводится к расчёту величины мультиметрического индекса, Phyto-See-Index (PSI, индекс загрязнения) [Mischke et al., 2008]. Для оценки экологического статуса вод исследуемых озёр использовали соответствующие их типу варианты PTS индекса. Все исследуемые нами озёра соответствовали одному типу – 14 (низинные, полимиктические, мелкие озёра с отношением объёма воды в озере к площади водосбора ( $V/Q < 1.5$ ), выделенному в PSI. В соответствии с ВРД он классифицирует озёра по пяти градациям качества: высокое (в), хорошее (х), посредственное (пс), низкое (н) и плохое (п). Индекс загрязнения состоит из трёх обязательных метрик: «биомасса», «классы водорослей» и «Phytoplankton-Taха-Seen-Index» (PTSI). Все три метрики калиброваны по стрессовому фактору «эвтрофикация» и приведены в соответствие с эталонными участками и их трофическими условиями. Метрика «биомасса» рассчитывается как среднее из трёх параметров: общей биомассы фитопланктона, концентрации хлорофилла *a* и максимальной его концентрации. Метрика «классы водорослей» составлена из двух или трёх различных параметров в зависимости от типа озера. Для типа 14 при оценке качества используется суммарная биомасса «Dinophyta + Cyanophyta», по ней рассчитывается параметр «у» по формуле:

$$y = 1.3659Ln(x) + 1.3696,$$

где x – суммарная биомасса этих групп водорослей. Границами классов качества в/х; х/пс; пс/н; н/п являются величины 1.1; 2.29; 4.75 и 9.9 соответственно. Для расчёта также используется биомасса «Chlorophyta», если она больше 1 мг/л, то оценка может быть только 5 [Mischke et al., 2008, табл. 4–10].

Индекс PTSI рассчитывается аналогично индексу сапробности. При его расчёте используются бальная

оценка категории обилия каждого таксона в зависимости от его биомассы, его трофический статус и индикаторный вес. Величина индекса рассчитывается как сумма произведений категории обилия, трофического статуса и индикаторного веса таксонов, делённая на сумму произведений категорий обилия и индикаторного веса этих таксонов:

$$PTSI = \frac{\sum_1^i (Ok_i \cdot Trc_i \cdot I_i)}{\sum_1^i (Ok_i \cdot I_i)},$$

где  $Ok_i$  – категория обилия [Mischke et al., 2008, табл. 4.4.8],  $Trc_i$  – трофический статус,  $I_i$  – индикаторный вес  $i$ -го таксона. Полученные величины индекса сравниваются с эталонными величинами для соответствующего типа озёр.

Отдельные метрики и PSI индекс могут использоваться для оценки экологического качества вод по шкале от 0.5 до 5.5. Границы классов качества: 0.5–1.5 – высокое; 1.51–2.5 – хорошее; 2.51–3.5 – посредственное; 3.51–4.5 – низкое; 4.51–5.5 – плохое.

**Мультиметрический индекс (MI)** учитывает как структуру (относительное обилие видов), так и качественный (видовой) состав пелагических сообществ клadoцер, поскольку основан на сравнении этих характеристик в исследуемом и эталонном водоёмах. [Семенченко, Разлуцкий, 2007; 2010]. В качестве эталонного было выбрано сообщество клadoцер из оз. Юж. Волос в период наиболее высокой прозрачности – 7.0 м (1995 г.). Юж. Волос – мезотрофное с признаками олиготрофии озеро, расположенное на территории Национального парка «Браславские озёра» и в тот период не подвергавшееся рекреационной и хозяйственной нагрузке. За весь период наблюдений его трофический статус и видовой состав пелагического зоопланктона не претерпевали существенных изменений [Вежновец и

др., 2005]. Индекс представляет собой среднее из суммы величин логарифма числа видов, индекса видового разнообразия Маргалефа и величины количественного индекса сходства Чекановского-Серенсена [Песенко, 1982] исследуемого водоёма с сообществом Cladocera эталонного озера (оз. Северный Волос, мезотрофное с признаками олиготрофии):

$$MI = (\log n + M + Ч - С) / 3,$$

где  $n$  — число видов,  $M$  — индекс Маргалефа,  $Ч - С$  — индекс Чекановского-Серенсена.

Индекс калиброван в соответствии с требованиями ВРД [Wallin M. et al., 2003]. Границы классов качества: 1.0–0.8 – высокое; 0.79–0.6 – хорошее; 0.59–0.4 – посредственное; 0.39–0.2 – низкое; < 0.2 – плохое.

Метод определения индекса PSI, основанный на фитопланктоне, предполагает отбор проб несколько раз в течение периода вегетации. Расчёт индексов производится для каждой отдельной даты, а затем рассчитывается средняя величина для всех отборов проб. Мы использовали данные только одного отбора проб. Использование этих данных для расчёта индексов можно считать оправданным по следующим причинам. Пробы для всех водоёмов были собраны примерно в одни сроки (в течение 3 дней). Для оценки экологического статуса водоёмов используются функциональные группы и индикаторные виды фитопланктона. Поскольку водоёмы обследовались в один сезон, в одинаковые сроки и для оценки применялись одинаковые методы, представляется, что для сравнительных целей такой подход вполне может быть правомерен. По требованиям ВРД при оценке обилия фитопланктона необходимо использовать такой показатель как содержание хлорофилла  $a$ . В то же время, последний показатель применяется для характеристики биомассы фитопланктона. Авторы

индекса PSI допускают использование для расчёта метрики «биомасса» величины биомассы фитопланктона и определяют границы для выделения классов качества воды по этому показателю [Mischke et al., 2008].

В присутствии дрейссены наблюдается снижение биомассы фитопланктона и повышение прозрачности воды, что служит признаками более высокого экологического качества водоёмов [Directive..., 2000, 2008; Mischke et al., 2008; Peeters et al., 2009]. Такие же процессы наблюдались и в исследуемых нами озёрах. В то же время повышение прозрачности и снижение общей биомассы фитопланктона не сопровождалось сопоставимыми изменениями в планктонных сообществах, соответствующими более высокому экологическому качеству воды, что будет показано ниже. Для того, чтобы количественно оценить это несоответствие, мы использовали разность (в %) в отклонении величин прозрачности и биотических индексов оз. Обстерно и оз. Лукомльское, заселённых дрейссеной, от этих показателей в озёрах, не заселённых ею.

## Результаты

### **Физико-химические и биотические характеристики**

Все исследуемые озёра могут быть отнесены к мелким озёрам, поскольку они нестратифицированные с небольшой средней глубиной (табл. 1). Озёра достаточно сильно различаются по прозрачности, от 0.65 м в оз. Белое до 3.7 м в оз. Обстерно. Прозрачность отрицательно связана с биомассой фитопланктона (коэффициент корреляции =  $-0.859$ ,  $P < 0.05$ ). По активной реакции воды (рН) все озёра относятся к щелочным, рН варьирует в небольших пределах от 6.99 в пелагиали оз. Лукомльского до 8.55 в оз. Белое. Проводимость воды (TDS) мало различалась в озёрах Перебродской группы. От 105 мСи/см в оз. Нобисто до 131 в оз. Горушка. В озёрах-

охладителях она была значительно выше. Наблюдаются существенные различия во многих физико-химических показателях, как разных озёр, так и в пелагических и литоральных биотопах одного озера. Содержание фосфатного фосфора в оз. Обстерно соответствовало очень чистым водам в пелагиали и увеличивалось в прибрежных биотопах до величин, соответствующих слабо загрязнённым. В озёрах Нобисто и Горушка, напротив, концентрация фосфатов была меньше в прибрежье. В целом наблюдается увеличение концентрации фосфатов и аммиачного азота по мере снижения прозрачности и увеличения биомассы фитопланктона (табл. 3). По содержанию нитратного азота такой закономерности не наблюдается, поскольку в оз. Белое нитраты не обнаруживались. Несмотря на высокую прозрачность в оз. Обстерно, его концентрации соответствовали загрязнению от слабого до сильного. В оз. Горушка, с относительно низкой прозрачностью, концентрации нитратного азота соответствовали предельному загрязнению. По содержанию аммиачного азота наиболее загрязнёнными были озёра Горушка и Белое.

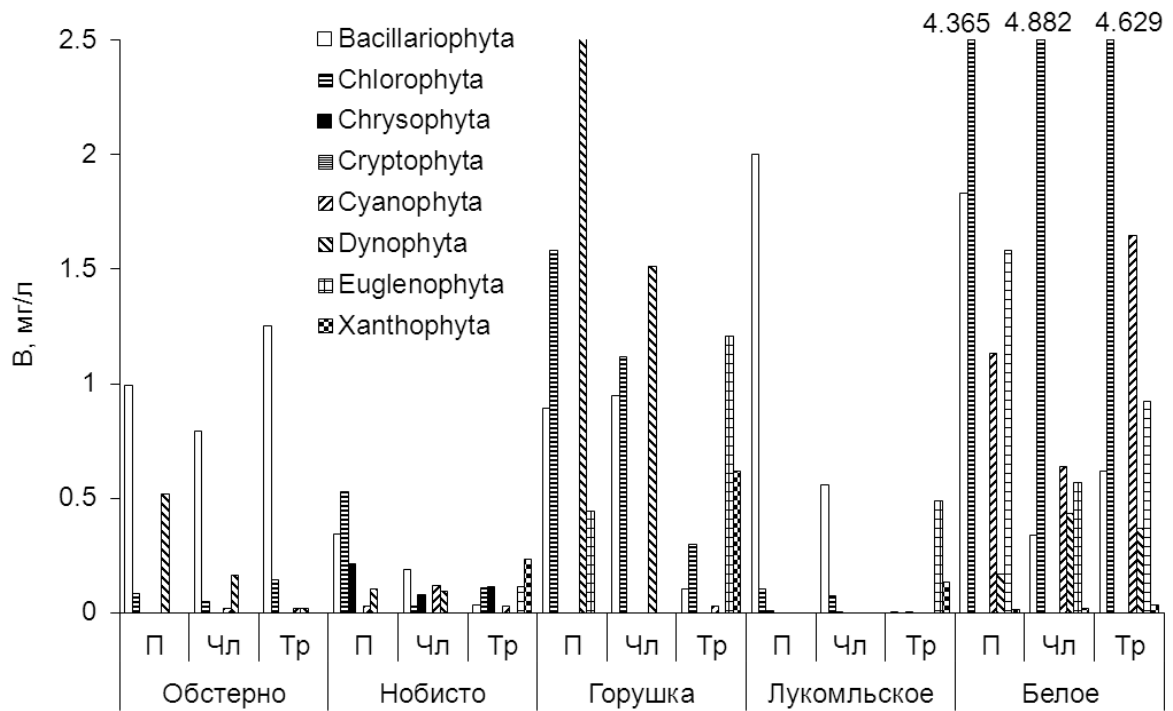
### **Фитопланктон**

В период исследования было обнаружено более 100 видов фитопланктона. Исследуемые озёра существенно различались по биомассе различных отделов водорослей (рис. 1). Во всех биотопах оз. Обстерно наибольшую биомассу имели диатомовые водоросли. Среди них в пелагиали (Пел) доминировали такие виды, как *Stephanodiscus* sp., *Fragilaria crotonensis*, в открытой литорали (Чл) эти же виды были представлены в обратной последовательности, а в тростнике (Тр) наибольшую биомассу имела *F. crotonensis*. На втором месте по биомассе в Пел и Чл находился представитель диатомовых водорослей *Ceratium hirundinella*, в Тр – зелёные водоросли *Cosmarium meneghinii* и

**Таблица 1.** Характеристики исследуемых озёр. Пел – пелагиаль, чл – открытая литораль, тр – заросли тростника. Градации качества воды [Оксинок и др., 1993]: предельно чистые (пч), очень чистые (оч), вполне чистые (вч), достаточно чистые (дч), слабо загрязнённые (слз), умеренно загрязнённые (уз), сильно загрязнённые (сз), весьма грязные (вг), предельно грязные (пг).

Параметр	оз. Обстерно			оз. Нобисто			оз. Горушка			оз. Лукомльское			оз. Белое		
	пел	чл	тр	пел	чл	тр	пел	чл	тр	пел	чл	тр	пел	чл	тр
Пл., км <sup>2</sup>	9.89			3.75			0.18			37.71			5.69		
Объём воды, млн м <sup>3</sup>	50.0			4.37			0.50			249.0			45.02		
V/Q <sup>1</sup>	0.44			0.03			0.25			1.39			1.05		
Глубина макс., м	12			2.8			6.9			11.5			13.2		
Глубина средняя, м	5.1			1.2			2.8			4.5			7.9		
Глубина станции отбора проб, м	5.5	1.5	1.5	2.0	1.5	1.5	4.0	1.5		4.0	1.5		3.0	1.5	1.5
Прозрачность	3.7 пч			2.2 оч			1.7 оч			3.0 оч			0.65 дч		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг N/л	0.8 уз	1.8 сз	0.6 слз	0	0.8 уз		4.1 пг	4.1 пг		1.7 сз	0.8 уз		0	0	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг N/л	0.09 оч	0.04 оч	0.09 оч	0.11 вч	0.1 вч		0.41 сз	0.41 сз		0.25 вч	0.05 оч		0.43 сз	0.44 сз	
pH	7.85	7.85	8.15	7.88	7.71		7.96	8.0		6.99	7.72		8.55	8.50	
TDS	123	122	123	105	109	103	131	131	130	167	156	157	223	219	218
T, °C	20.3	20.1	20.2	21.0	20.9		22.1	22.0	22.3	28.5	29.0	26.9	32.0	30.2	32.5
Nф, 10 <sup>3</sup> кл./л	553.75	891.3	1126.6	1715.1	9453.1		7120.3	7284.4		2393.4	1099.7		12285.0		
NCIadoceta, 10 <sup>3</sup> экз./л	28.1			37.0			145.1			23.5			1.4		

<sup>1</sup> Отношение объёма озера к его водосборной площади



**Рис. 1.** Биомассы водорослей из различных отделов в исследуемых озёрах (П – пелагиаль, Чл – литораль без растительности, Тр – тростник).

*Staurostrum* sp. В оз. Лукомльское также доминировали диатомовые водоросли, основу их биомассы составляла в основном *F. crotonensis*. В Пел оз. Нобисто в наибольших количествах встречались зелёные (*Dictiosphaerium echrenbergii*), диатомовые (*F. crotonensis*) и хризифитовые (*Dinobryon*) водоросли. В Чл больше всего было диатомовых (*Amphora ovalis*), сине-зелёных (*Gloeocapsa minuta*) и динофитовых (*Glenodinium pygmaeum*) водорослей. В озёрах с более высокой общей биомассой фитопланктона с большим отрывом преобладали разные его отделы. В оз. Горушка в Пел и Чл доминировал представитель динофитовых *C. hirundinella*, но он отсутствовал в Тр, и зелёные водоросли (*Crucigenia tetrapedia*, *Dictiosphaerium echrenbergii*) с биомассой более 1 мг/л во всех биотопах. В оз. Белое наиболее многочисленными были эвгленовые (*Trachelomonas* sp.), диатомовые (*Stephanodiscus* sp.) и зелёные водоросли (*Scenedesmus quadricauda*).

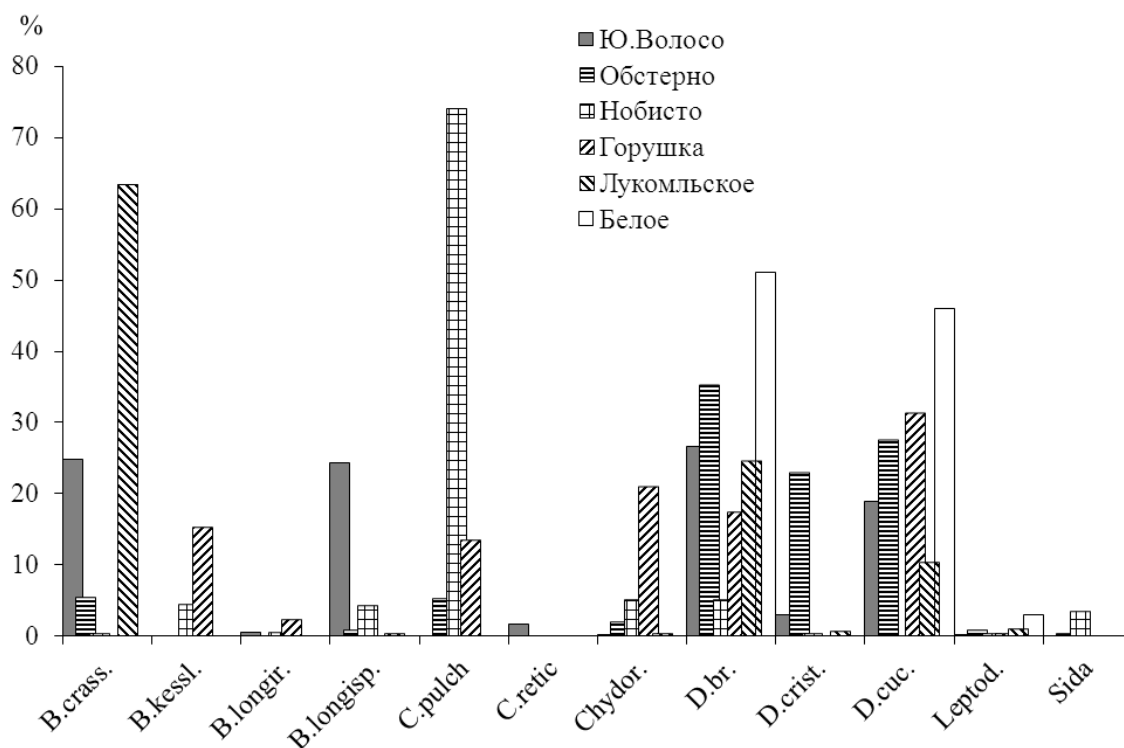
### Зоопланктон

Всего в пелагиали исследуемых озёр было обнаружено достаточно большое количество видов кладоцер – 29. В оз. Обстерно 15 видов, доминировали *Diaphanosoma brachyurum*, *Daphnia cristata* и *D. cucullata*; в Нобисто – 24, доминировала *Ceriodaphnia pulhella*; в Горушке – 10, доминировали *D. cucullata*, *D. brachyurum*, *Chydorus sphaericus* и *Bosmina keslery*; в Лукомльском – 12, доминировали *Bosmina crassicornis*, и *D. brachyurum*; в оз. Белое – 3, доминировали *D. brachyurum* и *D. cucullata* (рис. 2). Наибольшая общая численность кладоцер в пелагиали наблюдалась в оз. Горушка, а наименьшая – в оз. Белое. В остальных озёрах различия по этому показателю были сравнительно небольшими (табл. 1).

### Экологический статус озёр Индекс сапробности

Несмотря на существенные различия между озёрами по многим параметрам, величины индекса сапробности мало





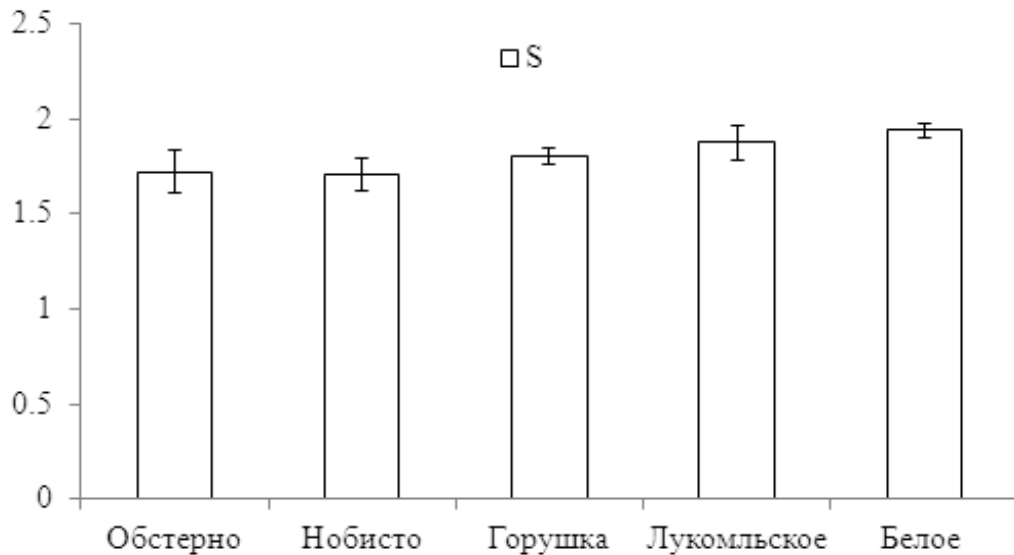
**Рис. 2.** Процент численности отдельных видов кладоцер в их общей численности в исследуемых озёрах и в эталонном оз. Южный Волос. (*B. crass.* – *Bosmina crassicornis* (O.F. Müller), *B. kessl.* – *B. kessleri* (Uljanin), *B. longir.* – *B. longirostris* (O.F. Müller), *B. longisp.* – *B. longispina* (Leydig), *C. pulch.* – *Ceriodaphnia pulchella* (Sars), *C. retic.* – *C. reticulata* (Jurine), *Chydor.* – *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller), *D. br.* – *Diaphanosoma brachyurum* (Levin), *D. crist.* – *Daphnia cristata* (Sars), *D. cuc.* – *D. cucullata* (Sars), *Leptod.* – *Leptodora kindti* (Foske), *Sida* – *Sida crystallina* (O.F. Müller).

различались (рис. 3). Величины индекса во всех озёрах укладывались в диапазон соответствующий классу – достаточно чистая (табл. 2) [Оксиук и др., 1993]. Наиболее высокие значения наблюдались в оз. Белое, статистически недостоверными были различия только с оз. Лукомльское. Всего было выявлено 10 групп сапробионтов (рис. 4). Реже всего встречались ксеносапробионты – индикаторы низкого органического загрязнения, которые отмечены в озёрах Нобисто и Лукомльское и были представлены *Navicula cryptocephala*. В то же время во всех озёрах отсутствовали полисапробионты, характерные для сильно загрязнённых органикой вод. В озёрах Обстерно, Нобисто и Лукомльское, с достаточно высокой прозрачностью, в больших количествах встречались представители ксено-, олиго-, мезосапробионтов и,

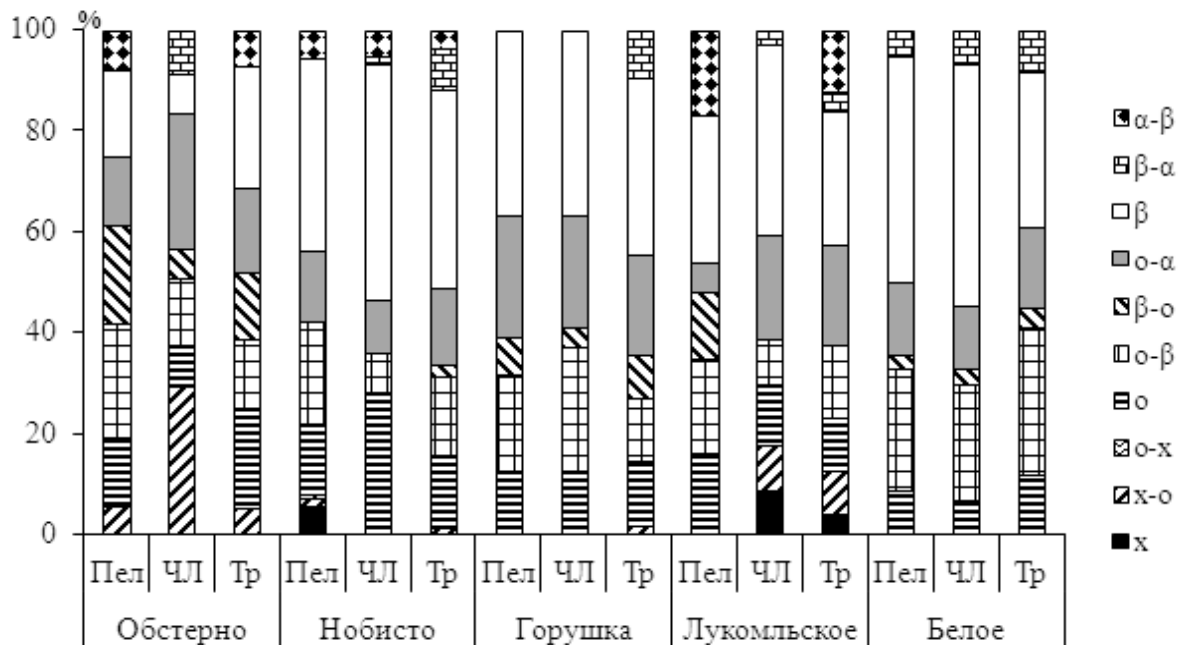
в то же время, достаточно много было индикаторов значительного органического загрязнения. В озёрах Горущка и Белое, с низкой прозрачностью, отсутствовали ксеносапробионты, но было много олиго- и мезосапробионтов. Этим объясняются достаточно близкие величины индексов сапробионности во всех озёрах.

#### Индекс загрязнения PSI

Разные метрики PSI индекса дали достаточно сходные оценки качества воды (табл. 2). В период проведения исследований в озёрах Обстерно, Нобисто и Лукомльское наблюдалась очень низкая общая биомасса фитопланктона, что соответствовало по уровню высокому классу качества. Суммарная биомасса Dinophyta и Cyanophyta также оказалась низкой в этих озёрах, что соответствовало



**Рис. 3.** Величины индекса сапробности (S), рассчитанные по данным о составе фитопланктона.



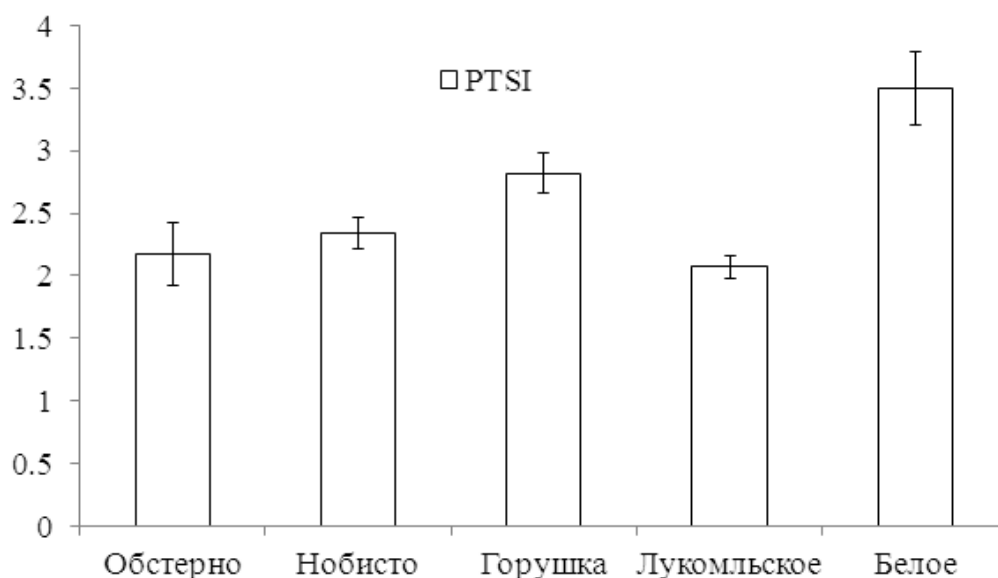
**4.** Процент групп фитопланктона с различной сапробной значимостью в общей биомассе фитопланктона исследуемых озёр.

высокому классу качества. В оз. Горушка этот показатель соответствовал низкому качеству, кроме того биомасса Chlorophyta значительно превышала 1 мг/л, за исключением биотопа с зарослями тростника (Тр). В оз. Белое биомасса Dinophyta и Суанophyta была небольшой, но очень обильно развивались Chlorophyta. В результате в этих двух озёрах класс качества был в основном низким.

Метрика PTSI, величина которой зависит от категории обилия, индикаторного веса и трофического статуса отдельных таксонов, дала более строгую оценку качества воды в озёрах Обстерно, Нобисто и Лукомльское и, напротив, несколько более высокие оценки для оз. Горушка. Самое низкое качество в соответствии с этой метрикой наблюдается в оз. Белое (рис. 5).

**Таблица 2.** Величины прозрачности, индекса Карлсона [Carlson, 1977], рассчитанные по прозрачности ( $TSI_{пр}$ ), концентраций биогенных элементов, индекса сапробности [S, Sladecsek, 1973] и соответствующий класс чистоты (пч – предельно чистые, оч – очень чистые, вч – вполне чистые, дч – достаточо чистые, слз – слабо загрязнённые, уз – умеренно загрязнённые, сз – сильно загрязнённые, вг – всяьма грязная, пг – предельно грязная [Оксиюк и др., 1993]), метрик индекса PSI [Mischke et al., 2008] и MI [Семенченко, Разлуцкий, 2007] и соответствующее экологическое качество воды озёр [Digestive..., 2000] (в – высокое; х – хорошее; пс – посредственное; н – низкое; п – плохое).

Параметр	оз. Обстерно			оз. Нобисто			оз. Горушка			оз. Лукомльское			оз. Белое		
	пел	чл	тр	пел	чл	тр	пел	чл	тр	пел	чл	тр	пел	чл	тр
$TSI_{пр}$	42.4 х			48.6 х			52.4 пс			44.2 х			66.2 н		
Вф, мг/л	1.62 дч	0.809 вч	1.731 дч	1.236 дч	0.515 вч	0.642 вч	7.809 уз	3.584 слз	2.263 слз	2.12 слз	0.638 дч	0.628 дч	9.10 уз	6.875 уз	8.221 уз
S	1.73 дч	1.6 дч	1.83 дч	1.75 дч	1.61 дч	1.75 дч	1.83 дч	1.96 дч	1.78 дч	1.88 дч	1.96 дч	1.98 дч	1.96 дч	1.92 дч	1.92 дч
PSIBф	1.15 в	0.50 в	1.24 в	0.79 в	0.50 в	0.50 в	3.29 пс	2.23 х	1.6 х	1.52 х	0.50 в	0.50 в	3.50 н	3.12 н	3.36 н
PSI классы	0.52 в	0.5 в	0.5 в	0.5 в	0.5 в	0.5 в	5.5 п	5.5 п	1.94 х	0.5 в	0.5 в	0.5 в	5.5 п	5.5 п	5.5 п
PTSI	2.31 х	2.32 х	1.88 в	2.47 х	2.27 х	2.34 х	2.79 пс	2.67 х	2.99 пс	2.09 в	2.15 в	1.97 в	3.37 н	3.83 н	3.29 н
PSI	1.11 в	1.11 в	1.21 в	1.25 в	1.09 в	1.11 в	3.86 н	3.46 пс	2.18 х	1.37 в	1.05 в	0.99 в	4.12 н	4.15 н	4.05 н
Log n	1.18			1.38			1.00			1.08			0.48		
Маргалефа	0.95			1.52			0.52			0.76			0.19		
Ч-С	0.50			0.03			0.30			0.60			0.22		
MI	0.87 х			0.98 в			0.61 х			0.81 х			0.29 н		



**Рис. 5.** Величины индекса PTSI, основанного на индикаторных видах фитопланктона [Mischke et al., 2008].

**Таблица 3.** Коэффициенты корреляции прозрачности, индекса Карлсона, рассчитанного по прозрачности ( $TSI_{пр}$ ), и гидрохимических показателей с биомассой фитопланктона ( $B_f$ ) и индексами: сапробности S, PTSI, PSI. Жирным шрифтом – статистически достоверные коэффициенты ( $P < 0.05$ ), для прозрачности и  $TSI_{пр}$   $df = 3$ , для остальных  $df = 8$ .

Параметр	$B_f$	S	PTSI	PSI	MI
Прозрачность	<b>-0.859</b>	-0.469	<b>-0.926</b>	<b>-0.886</b>	0.799
$TSI_{пр}$	<b>0.933</b>	0.508	<b>0.974</b>	<b>0.918</b>	<b>-0.889</b>
$PO_4^{3-}$ , P мг/л	0.461	0.332	0.283	0.521	<b>-0.922</b>
$NO_3^-$ , мг N/л	0.293	0.093	0.152	0.276	-0.068
$NH_4^-$ , мг N/л	<b>0.875</b>	<b>0.623</b>	<b>0.765</b>	<b>0.959</b>	<b>-0.890</b>

По величинам всех метрик индекса PSI наиболее высокое качество получила вода в озёрах Лукомльское и Нобисто, несколько хуже оно в пелагиали оз. Обстерно, низкое и посредственное в оз. Горوشка и плохое в оз. Белое (см. табл. 2). Индекс имеет статистически достоверную связь с величинами прозрачности,  $TSI_{пр}$  и содержанием аммонийного азота (табл. 3).

#### Мультиметрический индекс (MI)

Индекс MI рассчитывается как среднее из трёх характеристик, все они представлены в таблице 2. Можно видеть, что в наибольшей степени величины индекса определяли величины логарифма числа видов и индекса Маргалефа. Индекс сходства Чекановского-Серенсена имел существ-

венный вклад в величины индекса в озёрах Обстерно и Лукомльское. На рисунке 2 можно сравнить процент видов, которые встречались в эталонном водоёме и в исследуемых озёрах. Например, очень близким с эталонным был процент таких видов как *Daphnia cristata* и *D. cucullata* в оз. Обстерно, доминирующего вида *B. crassicornis* в оз. Лукомльское, что объясняет более высокие индексы сходства. Величины индекса имеют тесную корреляцию с величинами прозрачности и индексом Карлсона (табл. 3). В соответствии с индексом наиболее хорошее качество воды наблюдается в оз. Нобисто, что можно объяснить большим количеством видов. Хорошее качество воды в озёрах Обстерно и Лукомльское, на границе

**Таблица 4.** Разница в отклонении величин прозрачности и биотических индексов оз. Обстерно и оз. Лукомльское, заселённых дрейссеной, от этих показателей для озёр, не заселённых ею.

	% Пр	%PTSI	отклонение	% S	отклонение	% MI	отклонение
Обстерно							
Нобисто	-40.54	7.82	-32.92	-0.97	-41.51	12.64	-53.18
Горушка	-54.05	29.60	-23.89	7.95	-46.10	-29.89	-24.16
Белое	-82.43	60.89	-21.54	12.40	-70.03	-66.67	-15.76
среднее			-26.12		-52.55		-31.04
ст. откл.			6.01		15.31		19.63
Лукомльское							
Нобисто	-26.67	-13.20	-13.47	12.20	-14.47	-20.99	-47.66
Горушка	-43.33	-36.07	-7.26	4.30	-39.03	24.69	-18.64
Белое	-78.33	-68.92	-9.41	0.34	-77.99	64.20	-14.13
среднее			-10.04		-43.83		-26.81
ст. откл.			3.15		32.03		18.19

хорошего и посредственного – в оз. Горушка и на границе низкого и посредственного – в оз. Белое (табл. 2).

Расчёты показывают, что различия между величинами прозрачности озёр Обстерно и Лукомльское, заселённых дрейссеной, с величинами прозрачности остальных озёр были больше, чем различия в величинах биотических индексов. Наибольшими эти различия были для индекса сапробности, поскольку различия с прозрачностью оз. Белое достигали 78–82%, а величины индекса S различались максимум на 12.4%. Для остальных индексов также получены достаточно большие отклонения в различиях прозрачности и их величин (табл. 4).

### Обсуждение

Одним из самых заметных проявлений изменений водных экосистем в результате вселения дрейссены является увеличение прозрачности воды. В озёрах хорошо изученной Нарочанской системы (северо-запад Беларуси) в результате снижения внешней биогенной нагрузки и вселения дрейссены снизились концентрации взвешенных веществ и хлорофилла, общего азота и фосфора, уменьшились биомассы фито- и зоопланктона. Средняя за вегетационный сезон прозрачность в

оз. Нарочь возросла с  $4.5 \pm 1.08$  м в 1981 г. до  $6.9 \pm 1.1$  м в 2006 г. [Остапеня, 2007]. Биомасса дрейссены после стабилизации её численности мало изменялась. По данным с 1993 по 2002 г. различия в биомассе были статистически недостоверными, и она составляла около  $100 \text{ г/м}^3$  [Burlakova et al., 2006]. Для того, чтобы профильтровать весь объём оз. Нарочь, дрейссене требуется 123 дня [Karataev et al., 2005]. В результате вселения этого моллюска в оз. Лукомльское прозрачность увеличилась в два раза [Каратаев, Бурлакова, 1995], а биомасса дрейссены начиная с 1988 г. составляет около  $180 \text{ г/м}^2$  [Митрахович и др., 2008]. Расчёты показывают, что весь объём оз. Лукомльское *Dreissena polymorpha* может профильтровывать за 17 дней [Каратаев, Бурлакова, 1995]. По нашим данным, биомасса моллюска в оз. Обстерно составляет около  $100 \text{ г/м}^2$ , а объём воды в нём значительно меньше, чем в озёрах Нарочь и Лукомльское. По результатам разных исследований, скорость фильтрации дрейссены в среднем составляет 38 мл/ч на 1 г сырого веса моллюсков [Каратаев, Бурлакова, 1995]. Тогда при средней биомассе  $116 \text{ г/м}^3$  она способна профильтровывать весь объём оз. Обстерно (табл. 1) за 5.2 дня. Поскольку среднюю биомассу моллюска мы

получили по данным для участков с глубинами до 5 м, можно предположить, что она может быть меньше для всего водоёма с учётом более глубоких частей озера. Площадь озера под глубинами больше 4 м составляет около 48%. Тем не менее, даже если допустить, что биомасса дрейссены в оз. Обстерно в 2 раза меньше, чем полученные нами величины, моллюску требуется около 10 дней, чтобы профильтровать весь объём водоёма. Эта величина почти в 2 раза меньше, чем для оз. Лукомльское, в котором после вселения *Dreissena polymorpha* прозрачность увеличилась в 2 раза [Каратаев, Бурлакова, 1995]. По нашим наблюдениям, популяция достигла обильного развития в середине 1990-х гг., поэтому увеличение прозрачности в летние месяцы с  $2.32 \pm 0.09$  м в период с 1990 по 1995 г. до  $3.68 \pm 0.76$  м в последующие годы вполне можно объяснить вселением этого моллюска.

По оценкам ряда исследователей, основанным на данных о 86 озёрах из разных регионов Европы, в 78% случаев экологическое качество воды мелких озёр находится в соответствии с её прозрачностью [Peeters et al., 2009]. Рассчитанные по прозрачности величины индекса TSI<sub>пр</sub> для наших озёр соответствовали хорошему экологическому качеству воды в озёрах Обстерно, Лукомльское и Нобисто и посредственному и низкому в озёрах Горушка и Белое соответственно. Этим грациям качества вполне соответствовали концентрации фосфатов и аммонийного азота, оценённые с использованием комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши [Оксиюк, 1993] (табл. 1). С прозрачностью и TSI<sub>пр</sub> достаточно тесно коррелировали биомасса фитопланктона и все использованные биотические индексы (табл. 3). Относительно низкие величины связи были только для индекса сапробности. В целом этот индекс оказался менее

чувствительным поскольку, несмотря на существенные различия по разным абиотическим и биотическим параметрам исследуемых озёр, он оценил их органическое загрязнение как соответствующее одному классу – достаточно чистые (табл. 2). Наблюдается статистически достоверная корреляция всех биотических индексов с содержанием аммонийного азота (табл. 3). Таким образом, оценки качества воды, полученные различными индексами, вполне соответствовали гидрофизическим и гидрохимическим характеристикам озёр.

В литорали оз. Обстерно отмечались концентрации фосфора, в несколько раз превышающие его содержание в пелагиали (см. табл. 1). Наиболее обильное развитие популяции дрейссены наблюдается в прибрежной зоне озера. В разных исследованиях указывается на различную направленность воздействия моллюска на содержание биогенных элементов в озёрной воде. Так увеличение концентрации фосфора в оз. Эри после его снижения в результате специальных превентивных мер, регулирующих его поступление с водосбора, объясняют повышенной ресуспензией и потреблением органических материалов, и выделением питательных веществ моллюсками [Pelley, 2003; Conroy, Culver, 2004]. В то же время в системе Нарочанских озёр наблюдается снижение концентраций общего азота и фосфора. Особенно оно выражено в слабо эвтрофном оз. Мястро, где концентрация этих элементов снизилась более чем в 2 раза [Остапеня, 2000]. В экспериментах [Dzialowski, Jessie, 2009] показано, что дрейссена может оказывать сдерживающий эффект на массовое развитие фитопланктона при внесении дополнительных питательных веществ. В мезокосмах с ней увеличения биомассы фитопланктона, как в вариантах опыта без моллюсков, не происходило. Возможно, такой же эффект наблюдался и в оз. Обстерно.

В целом индекс загрязнения (PSI) оценивает качество воды в озёрах Обстерно, Нобисто и Лукомльское как высокое, несмотря на существенные различия в прозрачности. Объясняется это низкими биомассами фитопланктона и небольшой долей в составе фитопланктона динофитовых водорослей и цианобактерий. Более строгую оценку даёт индекс PTSI. В соответствии с его величинами, наиболее высокое качество воды имеет оз. Лукомльское, а не оз. Обстерно с самой высокой прозрачностью. Величины индекса PTSI для этого озера достоверно не отличаются от величин для оз. Нобисто с прозрачностью меньше на 1.5 м. Также более низкое качество воды в оз. Обстерно по сравнению с Нобисто, показывает индекс MI, основанный на характеристиках сообществ кладоцер (см. табл. 2).

Таким образом, качество воды оз. Обстерно, заселённого дрейссеной, имеющего наиболее высокую прозрачность и низкую биомассу фитопланктона, оценивается не как самое высокое. Следует отметить, что, по нашим многолетним наблюдениям, до вселения в оз. Обстерно *Dreissena polymorpha* максимальная прозрачность воды составляла 2–2.5 м. Соединяющееся с ним оз. Нобисто, где массового развития этого моллюска не наблюдается и прозрачность значительно (более чем на 1 м) ниже, имеет более высокий экологический статус по оценке всеми использованными индексами. Оз. Лукомльское, заселённое дрейссеной, имеет достаточно высокую прозрачность и по всем оценкам высокое экологическое качество. В составе фитопланктона основу биомассы составляют диатомовые водоросли, характерные для чистых озёр. В оз. Белое наибольшая общая биомасса фитопланктона с доминированием зелёных водорослей, в зоопланктоне только 2–3 мелких вида кладоцер, что и объясняет его низкий

экологический статус по оценкам всеми индексами.

Расчёты показали, что несоответствие различий в прозрачности заселённых дрейссеной озёр с различиями в оценках экологического качества биотическими индексами может достигать более 70% при использовании индекса сапробности и более 50% другими биотическими индексами (табл. 4). Это позволяет говорить о том, что, несмотря на увеличение прозрачности и снижение биомассы фитопланктона, изменения в планктонных сообществах не соответствуют улучшению экологического качества вод при вселении дрейссены. Расширение ареалов любых инвазивных чужеродных видов – нежелательное явление. Тем не менее, сейчас наблюдается экспансия как минимум четырёх видов двустворчатых моллюсков, помимо *Dreissena polymorpha*, вызывающих кардинальные изменения в водных экосистемах [Karatayev et al., 2007]. Поэтому, если мы не можем предотвратить вселение чужеродных видов, то надо знать, какие последствия для экологического статуса водоёмов оно будет иметь, и использовать положительные моменты, если такие есть.

### Выводы

Использованные биотические индексы, адаптированные к требованиям Водной Рамочной Директивы, давали достаточно адекватную оценку экологического состояния исследуемых водоёмов в соответствии с их гидрофизическими, гидрохимическими характеристиками. Менее чувствительным методом оказался индекс сапробности.

Исследования показывают, что обычно высокая прозрачность воды соответствует высокому экологическому качеству озёр. Озёра, заселённые дрейссеной, имели наибольшую прозрачность, но экологическое качество, оцениваемое

по составу индикаторных видов планктонных сообществ, не обязательно соответствовало максимальной прозрачности.

Несоответствие величин биотических индексов величинам прозрачности в озёрах, заселённых названным моллюском, составляло более 10–50%.

Экологическое качество воды озера-охладителя, заселённого дрейссеной было значительно выше, чем озера-охладителя без неё.

### Благодарности

Исследования проводились при поддержке Российского и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект №Б12Р-98). Мы очень благодарны анонимному рецензенту, замечания которого способствовали улучшению рукописи.

### Литература

- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Русское издательство, 2006. 499 с.
- Вежновец В.В., Гигиняк Ю.Г., Разлуцкий В.И. Мониторинг водных беспозвоночных // В сб.: Мониторинг животного мира Беларуси (основные принципы и результаты) / Под ред. Л.М. Сущени, В.П. Семенченко. Минск: Бел НИЦ «Экология», 2005. С. 32–55.
- Каратаев А.Ю., Бурлакова Л.Е. Роль дрейссены в озёрных экосистемах // Экология. 1995. №3. С. 232–236.
- Лаптева Н.А., Курбатова С.А. Изменения в планктонных сообществах, происходящие при интродукции в мезокосмы рыб и дрейссены // В сб.: Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. Мат. межд. конф. / Под ред. А.Ф. Алимова, В.В. Бульона. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. С. 266–278.
- Митрахович П.А., Самойленко В.М., Карташевич З.К., Свирид А.А., Козлов Е.А., Королёв Г.Н., Папко Н.А. Экосистема водоёма-охладителя Лукомльской ГРЭС / Белгосуниверситет. Минск: Право и экономика, 2008. 144 с.
- Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–77.
- Остапеня А.П. Нарочанские озёра: проблемы и прогнозы // В сб.: Озёрные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды. Мат. Междунар. науч. конф. / Под ред. Т.М. Михеевой. Минск: БГУ, 2000. С. 282–292.
- Остапеня А.П. Деэвтрофикация, или бентификация // В сб.: Озёрные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды. Мат. III международной научной конференции / Под ред. Т.М. Михеевой. Минск: Изд. Центр БГУ, 2007. С. 31–32.
- Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.
- Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. Новый мультиметрический индекс для оценки трофического статуса и экологического состояния лентических водоёмов // ДАН Беларуси. 2007. Т. 51. № 1. С. 72–74.
- Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. Экологическое качество поверхностных вод. Минск: Беларус. навука, 2010. 329 с.
- Унифицированные методы исследования качества вод. Атлас сапробных организмов. М., 1977. 227 с.
- Burlakova L.E., Karatayev A.Y., Padilla D.K. Changes in the distribution and abundance of *Dreissena polymorpha* within lakes through time // Hydrobiologia. 2006. 571: 133–146.



- Carlson R.E. A trophic state index for lakes // *Limnology and Oceanography*. 1977. V. 22. № 2. P. 361–369.
- Carlson R.E., Simpson J. A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods // North American Lake Management Society. 1996. V. 96.
- Conroy J.D., Culver D.A. Do dreissenid mussels affect Lake Erie ecosystem stability processes? // *Am. Midl. Nat.* 2004. 153: 20–32.
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // *Official Journal* 2000. L. 327. P. 1–73.
- Directive 2008/32/EC of the European Parliament and of the Council of 11 March 2008 amending Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy, as regards the implementing powers conferred on the Commission // *Official Journal of the European Union*. 2008. L. 164. P. 20–40.
- Dzialowski A.R., Jessie W. Zebra mussels negate or mask the increasing effects of nutrient enrichment on algal biomass: a preliminary mesocosm study // *Journal of plankton research*. 2009. V. 31. № 11. P. 1437–1440.
- Hillebrand H., Dürselen C.D., Kirschtel D., Pollinger U., Zohary T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae // *J. Phycol.* 1999. V. 35. P. 403–424.
- Johannsson O.E., Dermott R., Graham D.M., Dahl J.A., Millard E.S., Myles D.D., LeBlanc J. Benthic and pelagic secondary production in Lake Erie after the invasion of *Dreissena* spp. with implications for fish production // *J. Great Lakes Res.* 2000. V. 26. P. 31–54.
- Jones C.G., Lawton J.H., Shachak M. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*. 1994. V. 69. P. 373–386.
- Jones C.G., Lawton J.H., Shachak M. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers // *Ecology*. 1997. V. 78. P. 1946–1957.
- Karatayev A.Y., Burlakova L.E., Padilla D.K. The effects of *Dreissena polymorpha* (Pallas) invasion on aquatic communities in eastern Europe // *J. Shellfish Res.* 1997. V. 16. P. 187–203.
- Karatayev, A. Y., Burlakova L.E., Padilla D.K. Impacts of zebra mussels on aquatic communities and their role as ecosystem engineers // In: *Invasive Aquatic Species of Europe – Distribution, Impacts and Management* / Eds E. Leppäkoski, S. Gollasch, S. Olenin. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002. P. 433–446.
- Karatayev, A.Y., Burlakova L.E., Padilla D.K. Contrasting distribution and impacts of two freshwater exotic suspension feeders, *Dreissena polymorpha* and *Corbicula fluminea* // In: *The Comparative Roles of Suspension Feeders in Ecosystems*. NATO Science Series: IV – Earth and Environmental Sciences / Eds R. Dame, S. Olenin. Springer, 2005. P. 239–262.
- Karatayev A., Padilla D.K., Minchin D., Boltovskoy D., Burlakova L.E. Changes in global economics and trade: the potential spread of exotic freshwater bivalves // *Biol. Invasions*. 2007. V. 9. P. 161–180.
- Kelly D.W., Herborg L.M., MacIsaac H.J. Ecosystem changes associated with *Dreissena* invasions: recent developments and emerging issues // In: *The zebra mussel in Europe*. Chapter 20 / Eds G. Van der Velde, S. Rajagopal, A. Bij de Vaate. Backhuys Publishers, Leiden: Margraf Publishers, Weikersheim, 2010. P. 199–210.
- Makarewicz J.C., Lewis T.W., Bertram P. Phytoplankton composition and biomass in the offshore waters of Lake Erie: Pre- and post-*Dreissena* introduction (1983–1993) // *J. Great Lakes Res.* 1999. V. 25. P. 135–148.

- Mischke U., Riedmuller U., Hoehn E. Schonfelder I., Nixdorf B. Description of the German system for phytoplankton-based assessment of lakes for implementation of the EU Water Framework Directive (WFD) // In: Gewasserreport 10, Aktuelle Reihe. Bad Saarow, Freiburg, Berlin. Univ. Cottbus, Lehrstuhl Gewässerschutz, 2008. P. 117–146.
- Newell R.I.E. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: A review // *J. Shellfish Res.* 2004. V. 23. P. 51–61.
- Pantle F., Buck H. Die Biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gas- und Wasserfach. 1955. Bd. 96, H. 18. 604 s.
- Pasztaleniec, A., Poniewozik, M. Phytoplankton based assessment of the ecological status of four shallow lakes (Eastern Poland) according to Water Framework Directive – a comparison of approaches // *Limnologica*. 2010. V. 40. P. 251–259.
- Peeters E.T.H.M., Franken R.J.M., Jeppesen E., Moss B., Bécares E., Hansson L.-A., Romo S., Kairesalo T., Gross E.M., van Donk E., Nõges T., Irvine K., Kornijów R., Scheffer M. Assessing ecological quality of shallow lakes: Does knowledge of transparency suffice? // *Basic and Applied Ecology*. 2009. V. 10. P. 89–96.
- Pelley J. Multiple stressors behind Lake Erie decline // *Environ Sci Tech.* 2003. V. 37. P. 383a–384a.
- Pollux B.J.A., Van der Velde G., Bij de Vaate A. A perspective on global spread of *Dreissena polymorpha*: a review on possibilities and limitations // In: *The zebra mussel in Europe*. Chapter 4 / Eds Van der G. Velde, S. Rajagopal, A. Bij de Vaate. Backhuys Publishers, Leiden: Margraf Publishers, Weikersheim, 2010. P. 45–58.
- Sladeczek V. System of water quality from the biological point of view // *Arch. Hydrobiol., Beih. Ergebn. Limnol.* 1973. H. 7. P. 1–218.
- Strayer D.L., Caraco N.F., Cole J.J., Findlay S., Pace M.L. Transformation of freshwater ecosystems by bivalves – A case study of zebra mussels in the Hudson River // *BioScience*. 1999. V. 49. P. 19–28.
- Thorp J.H., Casper A.F. Importance of biotic interactions in large rivers: An experiment with planktivorous fish, dreissenid mussels and zooplankton in the St Lawrence River // *Riv Res Applic.* 2003. V. 19. P. 265–279.
- Vanni M.J. Nutrient cycling by animals in freshwater ecosystems // *Ann Rev. Ecol Syst.* 2002. V. 33. P. 341–370.
- Vanderploeg H.A., Nalepa T.F., Jude D.J., Mills E.L., Holeck K.T., Liebig J.R., Grigorovich I.A., Ojaveer H. Dispersal and emerging ecological impacts of Ponto-Caspian species in the Laurentian Great Lakes // *Can J Fish Aquat Sci.* 2002. V. 59. P. 1209–1228.
- Wallin M., Wiederholm T., Johnson R.K. Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters // *CIS Working Group*. 2003. T. 2. №. 3. P. 93.
- Wong W.H., Levinton J.S., Twining B.S., Fisher N.S. Assimilation of micro- and mesozooplankton by zebra mussels: A demonstration of the food web link between zooplankton and benthic suspension feeders // *Limnol Oceanogr.* 2003. V. 48. P. 308–312.

# COMPARISON OF ECOLOGICAL STATUS AND WATER QUALITY BETWEEN THE LAKES INHABITED AND NON-INHABITED BY *DREISSENA POLYMORPHA* (PALLAS)

© 2015 Razlutskiy V.I.<sup>1</sup>, Sysova E.A.<sup>1</sup>, Buseva Z.F.<sup>1</sup>, Feniova I.Y.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> The Scientific and Practical Center for Bioresources, the National Academy of Sciences of Belarus, str. Akademicheskaya, 27, 220072 Minsk, Republic of Belarus, [vladimirrazl@gmail.com](mailto:vladimirrazl@gmail.com)

<sup>2</sup> A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, the Russian Academy of Sciences, Leninsky pr., 33, 119071 Moscow, Russia, [Feniova@mail.ru](mailto:Feniova@mail.ru)

*Dreissena polymorpha* is one of the bivalve species that have a great impact on the environment, composition and structure of aquatic communities, thus being an effective driver of the ecological state of the lakes. Five Belorussian lakes were studied in order to find discrepancies of the water quality between the lakes inhabited and non-inhabited by zebra mussel. Lake Obsterno with natural thermal regime and the heated lake Lukolmskoe were inhabited by zebra mussel. Lakes Gorushka and Nobisto with natural thermal regime and the heated lake Beloe were lack of zebra mussel. To determine water quality class, we used water quality indices based on physicochemical parameters, phytoplankton and Cladocera community characteristics in line with requirements of the EU Water Frame Directive and saprobity index calculated by Pantle – Buck method in modification of Sladeczek. It is commonly accepted that transparency is a good predictor for ecological state of the lake. Judged only from transparency data, the highest ecological status belongs to Obsterno and Lukolmskoe lakes. However, estimates of biotic indices differed not so much as transparency values in the studied lakes. The range of discrepancy in transparency values between the lakes inhabited and non-inhabited by zebra mussel were not in accordance with the range of discrepancies found with saprobity index, and this mismatch exceeded 70%, and with other biotic indices it was over 50%. To conclude, regardless higher transparency values and reduction of phytoplankton biomass, zebra mussel introduction does not improve water quality through the changes of plankton communities.

**Key words:** *Dreissena polimorpha*, ecological status, biotic indexes, phytoplankton community structure, Cladocera.