

ВЛИЯНИЕ РЫБЫ-СЕСТОФАГА БЕЛОГО ТОЛСТОЛОБИКА *HYPOPHTHALMICHTHYS MOLITRIX* НА СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В БЕРЕШКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

В статье рассмотрены структурные характеристики фитопланктона и ихтиофауны Берешского водохранилища. Категория трофности воды водохранилища за вегетационный период 2002–2007 гг., определенная по средней биомассе фитопланктона (48 ± 27 мг/л), относится к высокой градации политрофного класса; по уровню развития водорослей отмечена 3-умеренная степень «цветения». Биомасса фитопланктона за июнь–август этого периода характеризует воду водохранилища как загрязненную и сильно загрязненную. Вселение толстолобика в 2002–2006 гг. привело к снижению степени «цветения» в водоеме-охладителе к 2007 г., смене доминирующих комплексов микроводорослей (в 2007 г. синезеленые уже не выступали доминантами в летние месяцы).

Ключевые слова: фитопланктон, водохранилище, рыба, белый толстолобик, водоросли, загрязнение.

V.A. Zadelenov, L.A. Schyur

FISH-SESTOFAG OF WHITE SILVER CARP *HYPOPHTHALMICHTHYS MOLITRIX* INFLUENCE ON THE PHYTOPLANKTON CONDITION IN THE BERESHK WATER BASIN (KRASNOYARSK REGION)

The structural characteristics of the Bereshsk water basin phytoplankton and ichthyofauna are considered in the article. The category of water basin waters trophness for the 2002–2007 vegetative period defined on the phytoplankton average biomass (48 ± 27 mg/l) belongs to the high gradation of polytrophic class. On the level of seaweed development the 3-moderated degree of "flowering" is noted. The phytoplankton biomass for June–August of this period characterises water basin water as polluted and strongly polluted. Immigration of silver carp in 2002–2006 led to the decrease in degree of "flowering" in a reservoir-cooler by 2007 and to the change of the dominating complexes of microseaweed (blue-green did not act as dominants in summer months any more in 2007).

Key words: phytoplankton, water basin, fish, white silver carp, seaweed, pollution.

Введение. Актуальность работы определяется значимостью водоема-охладителя Березовской ГРЭС (Берешского водохранилища) для работы тепловой станции, а также его рыбохозяйственным и рекреационным значением. Проведение биологической мелиорации водоемов-охладителей для улучшения режима охлаждающих систем станции представляет большой интерес для хозяйствующих объектов. Для депрессии «гиперцветения» воды во многих странах применяют рыб-сестофагов, которые, трансформируя первичную продукцию в ихтиомассу (с последующим изъятием последней из водоёма), не только уменьшают количество фитопланктона, но и повышают продуктивность экосистемы. Рыбы обладают хорошо развитой способностью к термической акклиматизации, повышающей пороги у эвритермных форм на $5\text{--}10^\circ\text{C}$ [10]. Это позволяет многим видам обитать в зонах подогрева. Действие подогрева может иметь различные, иногда непредсказуемые последствия для экологии водоемов. В связи с этим влияние «теплового загрязнения» следует оценивать на каждом конкретном водоеме. Поскольку экосистемы водоемов-охладителей находятся под постоянным антропогенным воздействием, сукцессионные процессы в них в значительной степени зависят от особенностей режима эксплуатации, ввода новых мощностей, реконструкции водоемов и т.п. [7]. Поэтому контроль изменений гидробиологических показателей этих водоемов должен осуществляться постоянно.

Цель исследований: оценка состояния фитопланктона, разработка и реализация мероприятий, направленных на улучшение состояния экосистемы водоема-охладителя Березовской ГРЭС.

Материалы и методы исследований. Берешское водохранилище расположено в Шарыповском районе Красноярского края. Водоем создан зарегулированием стока р. Береш в районе впадения в нее рек Базыр и Кадат. Наполнение водохранилища началось в 1986 г. Основные характеристики водоема-охладителя: площадь зеркала при НПУ – $33,4 \text{ км}^2$; полный объем – $0,193 \text{ км}^3$; средняя глубина – $5,79 \text{ м}$, максимальная – $15,0 \text{ м}$; площадь мелководий с глубиной не более трех метров – $19,0 \text{ км}^2$; водообмен в маловодные годы – один раз в год. Это политрофный водоем с содержанием свободной углекислоты в пределах $0,4\text{--}11,0 \text{ мг/л}$, слабощелочной реакцией среды ($\text{pH } 7,0\text{--}8,8$) и общей минерализацией $261\text{--}598 \text{ мг/л}$. За 2002–2007 гг. значения ХПК_(бихр.) составляли $11\text{--}51$; БПК₅ – $1,9\text{--}7,3 \text{ мгО}_2/\text{л}$ в зависимости от года и месяца исследований.

Отбор и обработку проб фитопланктона проводили по общепринятым методам. Концентрирование проб для анализа видового и количественного состава – фильтрационным методом на мембранных фильтрах Владипор № 9 (диаметр пор $0,90 \text{ мкм}$), подсчет водорослей – в камере Навотта объемом $36,5 \text{ мм}^3$. Био-

массу рассчитывали по среднему объему, приравнивая форму клеток к близкому геометрическому телу. Степень сложности водорослевого сообщества определяли по разнообразию его структуры через индекс Шеннона (H_b) по биомассе, который полнее отражает разнообразие их функциональных связей. Сравнение видового состава разных лет проводили через коэффициент флористического сходства (КФС) Серенсена [9]. Принадлежность водорослей к различным условиям существования (местообитание, распространение, галобность, отношение к pH, сапробность) определяли по [3]. Качество воды оценивали через индекс сапробности (ИС) с учетом критериев Пантле и Букка в модификации Сладечека [3; 8; 11].

Отлов рыбы производился стандартным набором ставных сетей с ячейей 22 – 60 мм (площадь каждой сети 50 м²) в пределах всех 4-х зон, лов велся в течение 2–4-х суток каждой биосъемки, время экспозиции – 6 часов. После отлова каждая рыба подвергалась биологическому анализу [12].

В связи с температурной неоднородностью в водохранилище пробы отбирались в условно выделенных 4-х зонах. Зона 1 – зона мелководья, включающая районы влияния рек Базыр, Береш и Кадат, с температурой воды летом < 20°C. Зона 2 – центральная зона; температура воды в летний период здесь достигает 23°C. Зона 3 – приплотинная зона с изменениями температуры воды с июня по сентябрь в пределах 17–24°C. Зона 4 – зона влияния сбросных теплых вод ГРЭС, температура воды здесь превышает температуру в остальной части водоема (вода подогревается от 13 до 27°C).

Результаты исследований и их обсуждение. За годы исследований в Берешском водохранилище выделено 339 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 7 отделам, 9 классам, 18 порядкам, 48 семействам и 119 родам. Наиболее богаты видами и внутривидовыми таксонами зеленые (140), диатомовые (68) и синезеленые водоросли (49 таксонов). Максимальное число видов и разновидностей зеленых водорослей относится к порядку хлорококковых (93), являющихся представителями евтрофных и гипертрофных водоемов [15]. По видовому богатству выделяются 6 родов: *Scenedesmus* (12 видов и разновидностей); *Anabaena*, *Chromulina* и *Closterium* (по 11); *Cryptomonas* и *Euglena* (по 10 таксонов рангом ниже рода), что составляет 20 % от общего видового состава. Остальные 112 родов являются маловидовыми, из них 55 представлены одним таксоном, 22 – двумя. Видовой состав альгофлоры водохранилища в межгодовом масштабе претерпевает изменения, однако форма общего распределения сохраняется (рис. 1): звездчатая диаграмма имеет постоянную конфигурацию, вытянутую в сторону зеленых водорослей, которые доминировали по количеству таксонов. Их доля в альгофлоре колебалась от 57 % в 2003 г. до 31 % в 2006 г.

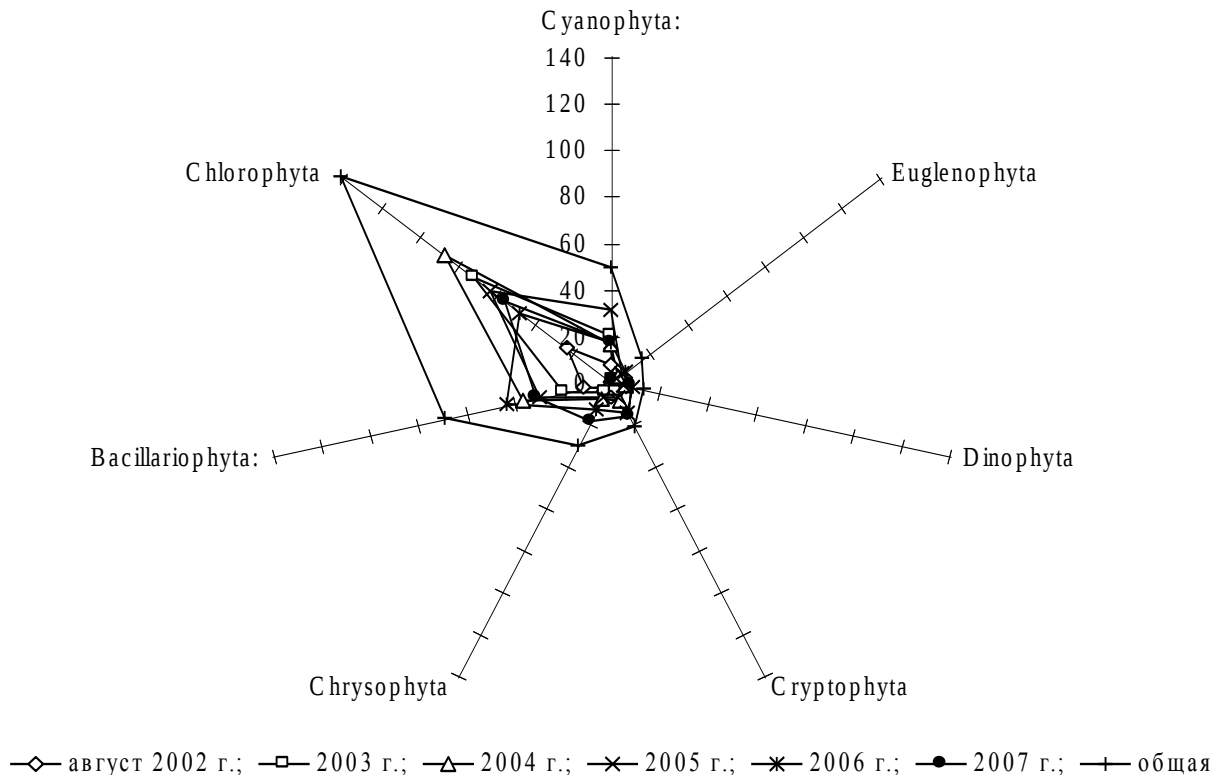


Рис 1. Изменение таксономического состава альгофлоры Берешского водохранилища

В биогеографическом отношении большинство найденных организмов (234 таксона рангом ниже рода) широко распространены в водоёмах мира. Выявлено 13 бореальных организмов – обитателей умеренных широт (6 из них относятся к отделу Bacillariophyta), 1 – северо-альпийский (*Synedra tenera* W. Sm.) и 1 – аркто-альпийский (*Rhodomonas lens* Pasch.). По отношению к pH среды 51 таксон рангом ниже рода (41 из них относится к отделу Bacillariophyta) – алкалифилы.

Флористическое сходство видового состава (КФС) в разные годы исследований колебалось от 0,39 (2003–2005 гг.) до 0,58 (2004–2005 гг.), более высокие значения отмечены между близлежащими годами.

Формирование водорослевых ценозов в водохранилищах – процесс длительный, поэтому достаточным критерием для анализа состояния водоема является список видов, полученный при исследовании в течение многих лет их сезонной динамики. Критерием системности для альгофлористических исследований предлагается соблюдение зависимости Виллиса, который установил, что в хорошо изученных флорах распределение числа видов по числу родов является закономерным и графически выражается в виде гиперболической кривой [2]. Распределение числа видов по числу родов (зависимость Виллиса) имеет форму прогнутой кривой без плавного падения, что является одним из показателей антропогенного загрязнения водоема (рис.2) [3]. Берешское водохранилище испытывает сильный антропогенный пресс из-за сброса подогретых вод во время работы ГРЭС и сточных вод городов Дубинино и Шарыпово в р. Кадат.

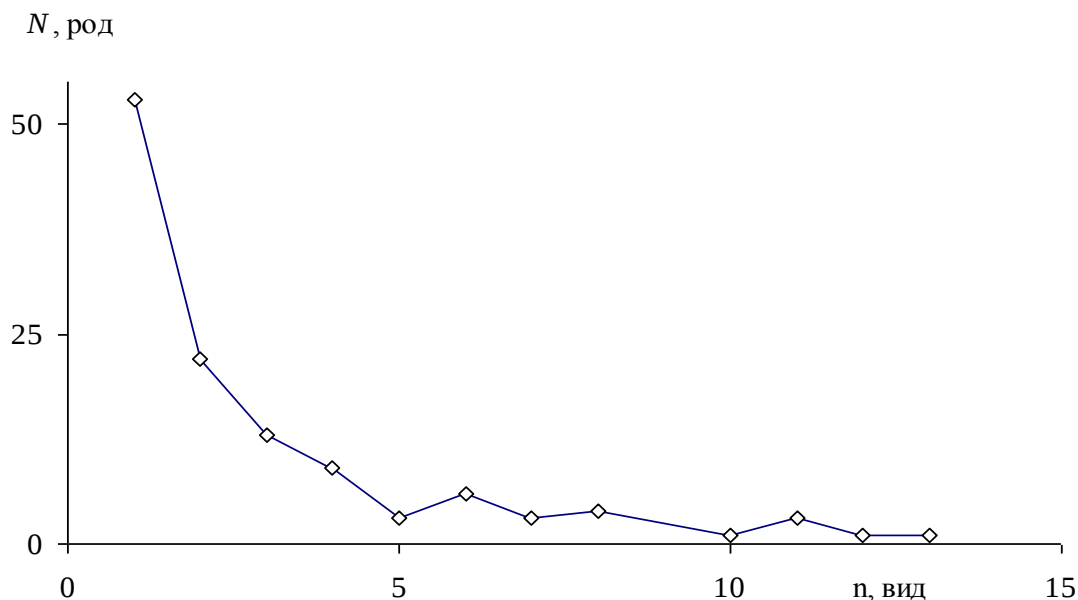


Рис 2. Зависимость Виллиса для альгофлоры Берешского водохранилища

Основной вклад в биомассу зимнего альгоценоза (январь, март) вносили диатомовые водоросли: нанопланктонные формы рода *Stephanodiscus* и его крупный представитель *Stephanodiscus agassizensis* Håk. et Kling. В весеннем ценозе (апрель, май) в различные годы доминантами выступали алкафилы *Asterionella formosa* Hass. и *Synedra acus* Kütz.

В июне пространственная неоднородность развития фитопланктона выглядела следующим образом. В зонах 1 и 4 доминировали зеленые водоросли *Coelastrum microporum* Nag. или *Pandorina charkoviensis* Korsch. В зонах 2 и 3 – синезеленые (виды рода *Anabaena*, *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Microcystis aeruginosa* Kutz. Emend. Elenk.) или диатомовые (*S. agassizensis*, *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim.). В июле и августе в биомассе в разные годы превалировали либо синезеленые (*M. aeruginosa*; *A. flos-aquae*), либо диатомовые (*S. agassizensis*). В сентябре преобладали виды отдела Cryptophyta и *S. agassizensis*, в октябре – виды рода *Cryptomonas*, в ноябре – нанопланктонные формы рода *Stephanodiscus* или виды рода *Cryptomonas* (рис. 3).

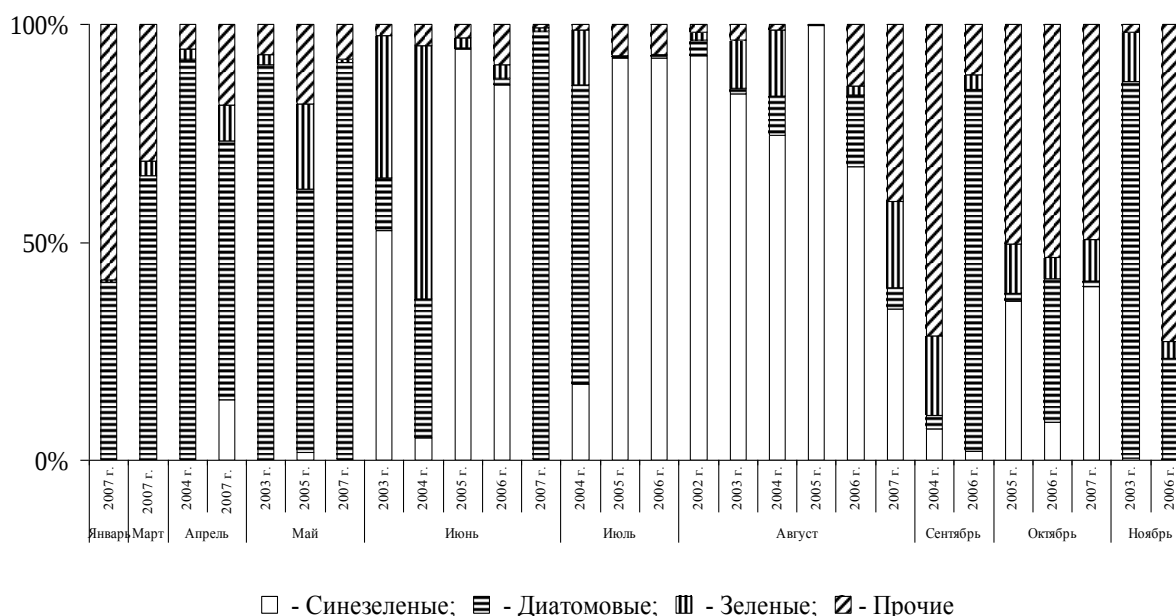


Рис 3. Вклад в биомассу отдельных групп водорослей в сезонной динамике

В межгодовой динамике выделяются 2002 и 2005 годы с высокими значениями биомассы фитопланктона в вегетационный период (табл. 1).

Таблица 1

Межгодовая динамика биомассы фитопланктона (В, мг/л) в вегетационный период

Год исследований	Среднее значение биомассы за июнь-август (В, мг/л)
2002	40±29 (август)
2003	3,24±1,21
2004	4,28±0,87
2005	181±120
2006	16±6
2007	4,09±1,25

По акватории водоема наблюдалась резкая межгодовая вариабельность биомассы фитопланктона (максимальные значения отличались от минимальных в 43–495 раз) за исключением зоны 4 (не более чем в 11 раз). Для зон 1–3 в августе 2002 г. и 2005 г. отмечены максимальные значения биомассы (соответственно 84±41 и 725±611 мг/л). Коэффициенты вариаций оценены как «большие» (от 24 % в январе 2007 г. до 192% – в августе 2005 г.), что свидетельствует о значительной неоднородности в распределении фитопланктона по акватории водохранилища. Биомассы в разные годы в апреле, мае и ноябре не имели достоверных различий. Достоверные отличия отмечены в июне (2003 и 2006 гг. – соответственно 1,31 и 16,6 мг/л), июле (2004 и 2005 гг. – 3,83 и 51 мг/л), августе (2005 и 2006 гг. – 439 и 5,17 мг/л), сентябре (2004 и 2006 гг. – 1,94 и 8,32 мг/л) и октябре (2006 и 2007 гг. – 1,38 и 5,48 мг/л).

В водоемах в течение некоторого времени наблюдается рост всех популяций, но доминирующими становятся виды с высокими скоростями роста [1–2]. Поэтому степень сложности альгоценозов, рассчитанная на примере индекса видового разнообразия по Шеннону (H_b), варьировала в пределах 0,08–4,06. Низкие значения H_b (0,08–1,50) характерны для сообществ с высоким уровнем доминирования в биомассе одного - двух видов водорослей. Количество этих проб составляло 27 % в весенних фитоценозах при доминировании *A. formosa*; в отдельные годы – в летних доминирующих комплексах *S. agassizensis* или *A. flos-aquae*, *M. aeruginosa* (среднее значение $H_b=1,26\pm0,07$). Высокие значения H_b ($2,75\pm0,06$) получены для 54 % иссле-

дованных проб и были характерны в переходные периоды сукцессий. Среднее значение N_b для всех лет исследований равно $2,07 \pm 0,08$ при среднеквадратичном отклонении $\sigma = 0,92$, что подтверждает отсутствие отклоняющихся вариантов в данной совокупности (минимальных (0,08) и максимальных (4,06)).

Берешское водохранилище – политрофный водоем, что указывает на отсутствие ограничения питания для фитопланктона. Лимитирующими параметрами в его развитии могут быть такие физические факторы, как температура воды и воздуха. Анализ сезонных колебаний этих факторов предполагает, что массовое развитие синезеленых водорослей в водоеме может определяться среднесуточной положительной температурой воздуха, а динамика и степень их развития – потоком солнечной радиации [4] или спуском подогретых вод ГРЭС [5]. Выделяются годы с высокими и низкими температурами воздуха (табл. 2).

Таблица 2

Распределение температуры воды по акватории водоема и температуры воздуха (t), °C

Год	Месяц	Зона 1	Зона 2	Зона 3	Зона 4	Температура воздуха
2002 г.	Август	-	-	-	-	$23 \pm 0,93$
2003 г.	Август	21	19	20	25	$25 \pm 0,75$
2004 г.	Июнь	16	17	-	18	$25 \pm 1,02$
	Июль	16	18	-	-	$26 \pm 0,55$
	Август	19	20	20	21	$23 \pm 0,87$
2005 г.	Июнь	18	18	20	22	$24 \pm 0,86$
	Июль	24	24	24	27	$28 \pm 0,64$
	9 августа	22	24	24	29	25
	30 августа	16	18	18	18	18
	Август	-	-	-	-	$25 \pm 0,92$
2006 г.	Июнь	-	-	16	-	$27 \pm 0,80$
	Июль	18	18	20	-	$25 \pm 0,84$
	Август	17	17	-	20	$19 \pm 1,02$
2007 г.	Июнь	-	17	-	-	$20 \pm 0,84$
	Июль	-	20	-	-	$29 \pm 0,57$
	Август	-	21	-	-	$23 \pm 0,76$

В июне более высокие температуры воздуха отмечены в 2003, 2005 и 2007 гг., более низкие в 2004 и 2006 гг. и т.д. Достоверных различий температур воздуха за летний период в более теплые ($25,1 \pm 0,3^\circ\text{C}$) и более холодные годы ($24,3 \pm 0,3^\circ\text{C}$) не отмечено ($t_{\text{ст}}=1,05$ против $t_{\text{ст(табл)}}=1,96$).

Изучение влияния «теплого загрязнения» на биоту осложняется тем, что температурное воздействие в этих водоемах сочетается обычно с сопряженным действием целого ряда других императивных антропогенных факторов. Так, водоемы-охладители загрязняются аллохтонными органическими веществами, различными отходами производства электроэнергии, гидрологический режим их существенно меняется вследствие зарегулированности стока и т.д. [10; 16].

Температура воды в районе сбросного канала теплых вод (зона 4) в летние месяцы отдельных лет была выше, чем в остальных районах водоема. В августе 2003 г. и с июля по 9 августа 2005 г. Березовская ГРЭС осуществляла спуск воды в водохранилище, температура которой превышала на 3–5 градусов температуру остальной акватории (табл. 2). В летние месяцы отмечены более высокие температуры поверхностного слоя воды в 2003, 2005 и 2007 гг. (средняя температура за июнь-август составила $21,3 \pm 1,5^\circ\text{C}$) и более низкие – в 2002, 2004 и 2006 гг. (средняя температура за июнь-август – $18,2 \pm 0,4^\circ\text{C}$) при достоверном их отличии ($t_{\text{ст}}=3,27$ против $t_{\text{ст(табл)}}=2,03$).

За весь период исследований сумма тепла в вегетационный период (май-сентябрь), выраженная в градусо-днях, сопоставима (от 2400 (2007 г.) до 2800 (2004 г.)). Из-за нестабильной работы Березовской

ГРЭС в летние месяцы 2003–2007 гг. и климатических особенностей каждого года исследований очевидно, что на основании этих данных сложно оценить вклад сбрасываемой тепловой энергии на экосистему водоема. Биомассы фитопланктона за летний период в теплые и холодные годы составляли 33 ± 13 и 14 ± 5 мг/л соответственно. Проверка сравнения этих двух эмпирических рядов по критерию лямбда показала отсутствие достоверной разницы между сравниваемыми совокупностями: $\lambda^2 = 0,87$ против $\lambda^2_{(табл.)} = 1,84$ (5 %-й уровень значимости) и $\lambda^2_{(табл.)} = 2,65$ (1 %-й уровень значимости).

Двухфакторный дисперсионный анализ влияния температур воды и воздуха на результативный признак «биомасса фитопланктона» показал, что доля влияния температуры воды составила 4 %, или недостоверное влияние фактора по критерию Фишера: $F_{факт} < F_{st}$ ($F_{факт} = 1,59$ против $F_{st} = 5,99$). Доля влияния температуры воздуха – 7 %, что также недостоверно: $F_{факт} < F_{st}$ ($F_{факт} = 5,67$ против $F_{st} = 234$). Совокупное влияние этих факторов составляло 3 %, что также указывает на недостоверное влияние ($F_{факт} = 1,19$ против $F_{st} = 247$). Доля остаточного фактора – 58 %, в которые могут входить влияние изменений уровня воды водохранилища, концентрации биогенных элементов и другие неучтенные факторы. Так, вспышка биомассы фитопланктона в 2005 г. за счет развития *M. aeruginosa* может являться следствием манипулирования уровнем воды водоема, в результате чего произошел дополнительный приток биогенных элементов. Об этом свидетельствуют достоверные отличия БПК₂₀, которые в 2004 г. в среднем составляли $4,71 \pm 0,56$ в сравнении с 2005 г. ($7,96 \pm 1,05$ мг О₂/л); аналогичная ситуация была с различными формами азота. Шварцкопф и Гергенрадер [19] в исследованиях на водохранилищах показали, что на развитие фитопланктона большее влияние оказывают химические факторы (ХПК, азот, фосфор, щелочность, жесткость), чем физические, такие, как прозрачность и мутность. Маргалеф [18] считает, что в развитии фитопланктона одним из контролируемых физических факторов является динамика водных масс. Таким образом, в воде Берешского водохранилища в 2005 г. из-за манипулирования уровнем воды произошло увеличение концентрации органических веществ, которые легко усваиваются гидробионтами. Вероятно, в связи с этим и произошло более интенсивное развитие фитопланктона.

Количество видов-индикаторов сапробности, показателей санитарно-экологического состояния составляли 62 % их общего числа. Из них на долю β-мезо-, α-мезо-, р-полисапробы (с индивидуальным показателем сапробности таксона выше 1,6) приходилось 70 % индикаторных видов и 44 % общего количества таксонов. Среднее значение ИС составило $1,93 \pm 0,02$ и $1,92 \pm 0,03$ (вегетационный период – июнь–август). Судя по биомассе фитопланктона (28 ± 15 мг/л – 2002–2007 гг. и 48 ± 27 мг/л – вегетационный период), вода водохранилища относится к категории загрязненная, сильно загрязненная 4-го класса качества.

Классы трофности по биомассе фитопланктона в разные месяцы и годы были следующие: ниже средней градации мезотрофного класса; средняя градация евтрофного класса; выше средней градации евтрофного класса; высокая градация политрофного класса; очень высокая градация политрофного класса; предельно высокая градация гипертрофного класса. Категория трофности воды Берешского водохранилища за вегетационный период (июнь–август) 2002–2007 гг., определенная по средней биомассе фитопланктона (48 ± 27 мг/л), относится к высокой градации политрофного класса. Для всего периода исследований (январь–ноябрь) 2002–2007 гг. категория трофности воды водохранилища является высокой, политрофной (табл. 3).

Максимальные биомассы фитопланктона отмечены в июне в 2006 г. (17 мг/л); в июле – в 2005 (51 мг/л) и 2006 гг. (26 мг/л); в августе – в 2002 (44 мг/л) и 2005 гг. (546 мг/л). Особо высокие биомассы фитопланктона, наблюдаемые в августе 2005 г., обеспечивали в этот год 4-ую степень «цветения» (по классификации 14).

Ихтиоценоз водоема сформирован на базе автохтонной фауны Палеарктики и представлен общесибирским набором представителей бореального равнинного комплекса. Кроме них встречаются и представители понтокаспийского комплекса. По структуре ихтиоценоз водохранилища относится к окунево-плотвичному типу. Доминируют в уловах по численности (около 80 %) и биомассе (около 80 %) плотва и окунь. По сравнению с первыми годами функционирования водохранилища (по материалам 1989 г. [13]) в водоеме произошли изменения, вызванные тепловой эвтрофикацией и наносами торфов. Наиболее существенно это явление проявилось в уменьшении количества видов рыб, первоначально составляющих ихтиоценоз вновь образованного Берешского водохранилища, – исчезли реофильные stenothermные виды – хариус, таймень, налим. Основу настоящих уловов составляют малоценные в пищевом отношении виды рыб.

Таблица 3

**Класс качества и градация трофности воды с учетом индексов сапробности (ИС)
и биомассы фитопланктона (В_ф, мг/л)**

Месяц и год исследований	ИС	В _ф , мг/л	Класс, разряд качества	Зона са- пробности	Градация, класс трофно- сти
Январь 2007 г.	2,50	1,13	1	β-м-с	А
Март 2007 г.	2,62	1,92	1	β-м-с	А
Апрель 2004 г.	1,60	4,21	1	β-м-с	Б
Апрель 2007 г.	1,84	1,97	1	β-м-с	А
Май 2003 г.	1,61	2,78	2	β-м-с	Б
Май 2005 г.	2,21	2,48	2	β-м-с	Б
Май 2007 г.	1,72	5,83	2	β-м-с	В
Июнь 2003 г.	2,05	1,31	1	β-м-с	А
Июнь 2004 г.	1,73	1,70	1	β-м-с	А
Июнь 2005 г.	1,90	9,13	2	β-м-с	В
Июнь 2006 г.	1,88	17	2	β-м-с	Г
Июнь 2007 г.	2,12	1,34	2	β-м-с	А
Июль 2004 г.	1,74	3,83	2	β-м-с	Б
Июль 2005 г.	1,85	51	3	α-м-с	Д
Июль 2006 г.	2,03	26	2	β-м-с	Г
Август 2002 г.	1,92	44	3	α-м-с	Г
Август 2003 г.	2,00	5,17	2	β-м-с	В
Август 2004 г.	2,01	7,77	2	β-м-с	В
9 августа 2005 г.	2,03	546	4	α-м-с	Е
30 августа 2005 г.	1,99	97	3	α-м-с	Д
Август 2006 г.	2,04	3,91	1	β-м-с	Б
Август 2007 г.	1,95	6,83	2	β-м-с	В
Сентябрь 2004 г.	1,79	1,94	1	β-м-с	А
Сентябрь 2006 г.	1,69	8,32	2	β-м-с	В
Октябрь 2005 г.	2,00	4,06	2	β-м-с	Б
Октябрь	1,94	1,39	1	β-м-с	А
Октябрь 2007 г.	1,92	5,47	2	β-м-с	В
Ноябрь 2003 г.	2,63	1,40	2	β-м-с	А
Ноябрь 2006 г.	2,30	1,32	1	β-м-с	А
Среднее за 2002–2007 гг.	1,93	28	2	β-м-с	Г
Среднее за июнь–август 2002–2007 гг.	1,92	48	2	β-м-с	Г

Примечание. Класс и разряд качества воды: 1 – 3-й класс качества – удовлетворительной чистоты, достаточно чистая; 2 – 3-й класс качества – удовлетворительной чистоты, слабо загрязненная; 3 – 4-й класс качества – загрязненная, умеренно загрязненная; 4 – 4-й класс качества – загрязненная, сильно загрязненная.

Зона сапробности: β-м-с – β-мезосапробная; α-м-с – α-мезосапробная.

Оценка трофности: А – ниже средней градации мезотрофного класса; Б – средняя градация евтрофного класса; В – выше средней градации евтрофного класса; Г – высокая градация политрофного класса; Д – очень высокая градация политрофного класса; Е – предельно высокая градация гипертрофного класса.

На рис. 4 показано как вселение толстолобика с накоплением его биомассы влияло на биомассу микроводорослей. Вспышка биомассы фитопланктона (2005 г.) – следствие манипулирования уровнем водоема, в результате которого произошел дополнительный приток биогенов в водоем. К этому времени толстолобик имел небольшую индивидуальную массу в своем большинстве и, как следствие, общую биомассу. С накоплением биомассы уже к 2006 г. начал сказываться эффект толстолобика как биомелиоратора. К тому же у

крупной рыбы коэффициент конвертации пищи выше, чем у молоди [6], то есть, образно говоря, один большой толстолобик в год потребляет пищу эффективнее, чем два мелких, но сопоставимых с ним по общей массе. На рис. 4 приведена рассчитанная биомасса толстолобика. В действительности она ниже на коэффициент промыслового изъятия, который может составлять 0,2–0,5. Пересечение линий трендов биомассы толстолобика и фитопланктона показывает минимальную биомассу рыбы, при которой она начинает эффективно оказывать влияние на водорослевый ценоз водоема-охладителя.

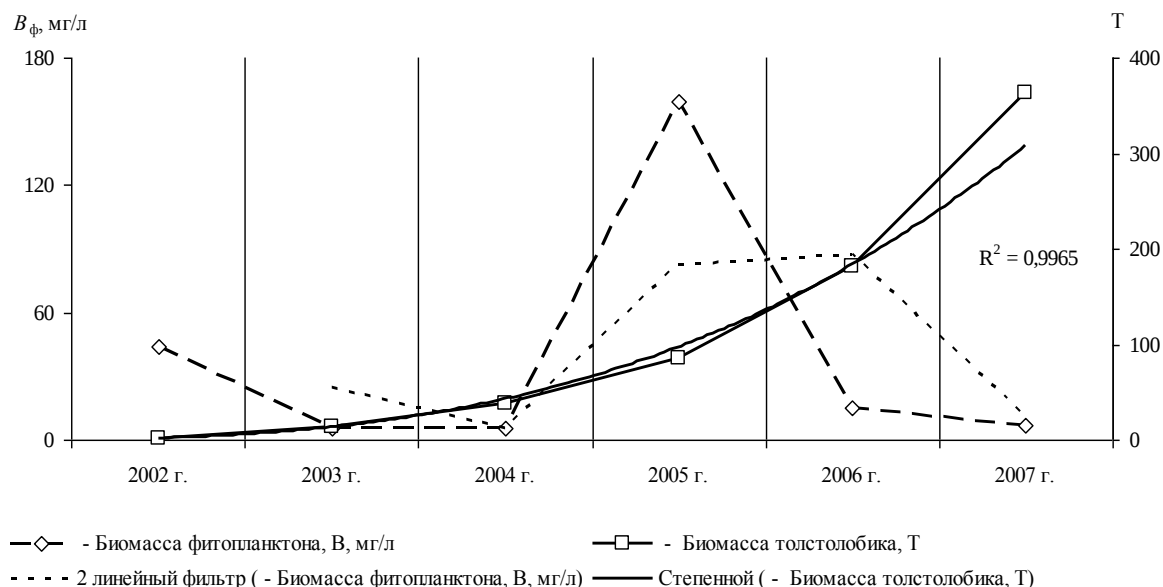


Рис. 4. Влияние толстолобика на биомассу фитопланктона в водоеме-охладителе БГРЭС-1

Таким образом, запуск толстолобика в 2002–2006 гг. привел к снижению «цветения» в водоеме-охладителе Березовской ГРЭС в 2007 г. Теоретические предпосылки, сформулированные о реальном влиянии биомассы толстолобика на водорослевый ценоз [17], оправдались.

Заключение. Видовой состав альгофлоры водохранилища в процессе формирования водоема претерпевает изменения при сохранении общей формы распределения в сторону зеленых водорослей порядка хлорококковых, являющихся представителями евтрофных и гипертрофных водоемов. Родо-видовая зависимость (распределение Виллиса) по форме кривой указывает на наличие антропогенного загрязнения. Значения биомассы в межгодовой динамике в апреле, мае и ноябре не имели достоверных различий; в июне–октябре их различия достоверны. Степень сложности альгоценозов водохранилища варьировала от 0,08 до 4,06: низкие значения (0,08–1,50, всего 27 % от всех проб) характерны в весенне-летнем планктоне, высокие (2,00–4,06, 54 % всех проб) – в переходные периоды сукцессий. Категория трофности воды Берешского водохранилища за июнь–август 2002–2007 гг. по средней биомассе фитопланктона (48 ± 27 мг/л) относится к высокой градации политрофного класса; по уровню развития водорослей отмечена 3 умеренная степень «цветения». Биомасса фитопланктона и ИС за июнь–август 2002–2007 гг. характеризует воду водохранилища 4-м классом, как загрязненную, сильно загрязненную, β -мезосапробную.

Вселение толстолобика в 2002–2006 гг. привело к снижению степени «цветения» в водоеме-охладителе Березовской ГРЭС к 2007 г. и смене доминирующих комплексов микроводорослей (в 2007 г. синезеленые уже не выступали доминантами в летние месяцы).

Литература

1. Алимов, А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем / А.Ф. Алимов. – СПб.: Наука, 2001. – 147 с.
2. Барина, С.С. Критерии достаточности видового состава для сравнительно-флористического анализа водорослей / С.С. Барина, О.В. Анисимова // Развитие сравнительной флористики в России: вклад школы А.И. Толмачева: мат-лы VI раб. совещания по сравнительной флористике (Сыктывкар, 2003 г.). – Сыктывкар, 2004. – С. 180–185.

3. *Баринава, С.С.* Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / *С.С. Баринава, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова.* – Тель-Авив, 2006. – 498 с.
4. Межгодовая и сезонная динамика фитопланктона высокоэвтрофного водоема-охладителя Березовской ГРЭС-1 (Красноярский край) / *Н.А. Гаевский, С.М. Чупров, В.И. Колмаков* [и др.] // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: мат-лы III Междунар. науч. конф. (17–22 сент. 2007 г., Минск – Нарочь). – Минск: Изд-во БГУ, 2007. – С. 48–49.
5. *Гиляров, А.М.* Соотношение биомассы и видового разнообразия в планктонном сообществе / *А.М. Гиляров* // Зоол. журнал. – 1969. – Т. 48. – № 4. – С. 27–35.
6. Изучение современного состояния экосистемы водоема-охладителя Березовской ГРЭС-1 // Отчет о НИР (этап 2005 г.) / НИИ ЭРВНБ; рук. В.А. Заделенов. – Красноярск, 2004. – 123 с.
7. Структура и функциональные характеристики пелагических и контурных группировок гидробионтов в водоеме-охладителе Запорожской АЭС / *Р.А. Калинин, О.А. Сергеева, А.А. Протасов* [и др.] // Гидробиол. журн. – 1998. – Т. 34. – № 1. – С. 15–25.
8. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации или зон экологического бедствия. – М., 1992. – 50 с.
9. Методики изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – 240 с.
10. *Мордухай-Болтовской, Ф.Д.* Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов (обзор) / *Ф.Д. Мордухай-Болтовской* // Экология организмов водохранилищ-охладителей. – Л.: Наука, 1975. – С. 7–69.
11. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / *О.Н. Оксик* [и др.] // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 62–76.
12. *Правдин, И.Ф.* Руководство по изучению рыб / *И.Ф. Правдин.* – М.: Пищевая пром-сть, 1966. – 376 с.
13. Разработать мероприятия по комплексному рыбохозяйственному использованию водоема-охладителя Березовской ГРЭС-1 // Отчет о НИР / КО Востсибрыбниипроект; рук. И.М. Романова. – Красноярск, 1989. – Т. 349. – 64 с.
14. *Сиренко, Л.А.* «Цветение» воды и евтрофирование (Методы его ограничения и использование сестона) / *Л.А. Сиренко, М.Я. Гавриленко.* – Киев: Наукова думка, 1978. – 232 с.
15. *Трифенова, И.С.* Экология и сукцессия озёрного фитопланктона / *И.С. Трифенова.* – Л.: Наука, 1990. – 180 с.
16. *Шуйский, В.Ф.* Тепловое воздействие на макрозообентос песчаной литорали водоема-охладителя Рязанской ГРЭС / *В.Ф. Шуйский, И.И. Евдокимов, Е.И. Домпальм* // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. – СПб., 1995. – Вып. 314. – С. 70–81.
17. Экологический анализ водоема-охладителя филиала «Березовская ГРЭС» ОАО «ОГК-4» // Отчет о НИР / ФГНУ «НИИЭРВ»; рук. В.А. Заделёнов. – Красноярск, 2006. – 109 с.
18. *Margalef, R.* Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment / *R. Margalef* // Oceanol. Acta. – 1978. – Vol. 1. – № 4. – P. 493–509.
19. *Schwartzkopf, S.H.* A comparative analysis of the relationship between phytoplankton standing crops and environmental parameters in four eutrophic prairie reservoirs / *S.H. Schwartzkopf, G.L. Hergenrader* // Hydrobiologia. – 1978. – Vol. 59. – №3. – P. 261–273.

