

Выявление взаимосвязей химического состава воды Новосибирского водохранилища и характеристик зоопланктона

С. Я. ДВУРЕЧЕНСКАЯ, Н. И. ЕРМОЛАЕВА

Институт водных и экологических проблем СО РАН
630090, Новосибирск, Морской просп., 2
E-mail: dvur@iwer.nsc.ru

Статья поступила 24.11.2013

АННОТАЦИЯ

На основе анализа многолетних данных гидрохимического и гидробиологического мониторинга Новосибирского водохранилища выявлено взаимное влияние химического состава воды и качественных и количественных характеристик зоопланктона. Влияние гидрохимических факторов на зоопланктон связано с особенностями гидрологического режима водохранилища. Установлены высокие корреляции между численностью зоопланктонных организмов и значениями рН, концентрациями нитритов и нитратов, значениями БПК₅.

Выявлены три основные части водохранилища, отличающиеся степенью влияния гидрологических факторов и внутриводоемных процессов на гидрохимические и гидробиологические характеристики экосистемы водоема. Показано, что в целом внутриводоемные процессы, происходящие в водохранилище, улучшают качество воды по многим гидрохимическим показателям.

Ключевые слова: Новосибирское водохранилище, качество воды, гидрохимические характеристики, зоопланктон, гидрология.

Решение проблемы взаимного влияния гидрохимических характеристик воды и качественных и количественных показателей гидробионтов особенно актуально для разработки стратегии водопользования и охраны водных ресурсов. Комплексный гидролого-гидрохимический и гидробиологический мониторинг Новосибирского водохранилища – самого крупного искусственного водоема на юге Западной Сибири – необходим для решения проблемы качества воды в Новосибирском водохранилище, которая стала особенно актуальна в последние годы, когда возросла его роль как источника питьевой воды. Это повлекло более серьезные требования не только к рациональному количественно-

му распределению воды, но и к ее качественному составу, как правило, связанному с интенсивным хозяйственным освоением территорий, прилегающих к водохранилищу.

Из всего комплекса внешних факторов для функционирования водных экосистем и формирования качества воды в водохранилищах наиболее существенны следующие: изменение гидрологического режима реки при регулировании ее стока, что отражается на резком замедлении течений, изменении морфометрии, снижении водообмена; водность отдельных лет; сезонная и суточная динамика внутриводоемных процессов, связанных с действием физико-химических (температура, прозрачность, процессы сорбции, десорбции,

седиментации, выщелачивание и др.) факторов; биологические показатели (численность и видовой состав гидробионтов, их миграция, функционирование и др.). В результате происходят сложные изменения в экосистеме водоема, при этом быстрота и характер их проявления зависят от объема водохранилища, его гидрологического режима, интенсивности использования водных и биологических ресурсов [Авакян и др., 1987].

Как известно, самоочищение водоемов осуществляется в результате биотического круговорота веществ, включающего процессы создания органического вещества, трансформации и разрушения. Зоопланктон является одним из звеньев трансформации вещества и энергии в водоеме. Он представляет собой важный фактор формирования качества воды. Diaptomidae и мирные Rotifera и Cladocera, составляющие основу зоопланктонного сообщества Новосибирского водохранилища, являются по типу питания биофильтраторами и способствуют самоочищению водоема.

Цель данной работы – выявление взаимосвязей изменений химического состава воды Новосибирского водохранилища и качественных и количественных характеристик зоопланктона. Предполагается, что определяющими факторами для формирования видового состава и структуры зоопланктонного сообщества Новосибирского водохранилища в значительной степени являются биогенные вещества, органические соединения, а также гидрологические параметры.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Натурные исследования проводили с 1990 по 2012 г. на основных створах в верхней, средней и нижней частях водохранилища и в устьях основных притоков. Отбор проб воды на химические анализы проводили батометром Молчанова с борта теплохода, а в зимнее время – со льда с глубины $0,6h$, где h – глубина водохранилища в точке отбора. В отдельных случаях пробы отбирали с нескольких глубин (двух- или трехточечным методом) [Двуреченская, 2006]. Пробы воды отбирали, как правило, ежемесячно, в ряде случаев – 2–3 раза в месяц. Химико-аналитические работы выполняли в аккредитованном отделе по контролю качества природных и

сточных вод ФГУ “ВерхнеОбьрегионводхоз” Минприроды РФ по стандартным методикам анализа пресных вод, т. е. по официально издаваемым методикам выполнения измерений (МВИ) для целей государственного и производственного контроля в области природопользования и охраны окружающей среды в соответствии с ПНД Ф (Перечень методик, внесенных в государственный реестр методик количественного химического анализа (на 01.02.2009). Ч. I: Количественный химический анализ вод (http://www.gosnadzor.ru/about/p_1.doc)). Для оценки роли Новосибирского водохранилища в формировании качества воды его нижнего бьефа проведено сопоставление среднесезонных среднесезонных концентраций химических ингредиентов во входном створе и нижнем бьефе практически за весь период его существования (по данным Западно-Сибирского Межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды).

Пробы планктона собирали в разные сезоны 1990–2012 гг. на 10 створах Новосибирского водохранилища одновременно с отбором проб воды на химический анализ. Отбор проб проводили с использованием сети Джеджи с диаметром входного отверстия 20 см, размер ячеек 65 мкм. Пробы планктона обрабатывали по общепринятым в гидробиологии методикам [Киселев, 1969]. Индексы сапробности вод различных участков Новосибирского водохранилища рассчитывали по методу Пантле и Букк в модификации Сладечека [Sladeček, 1973; Унифицированные..., 1977]. При расчетах фильтрационной активности зоопланктона использовали среднюю для мезотрофных водоемов скорость фильтрации ракообразных (F), равная $200 \text{ мл}/(\text{мг} \cdot \text{сут})$ при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ [Гутельмахер, 1986]. В тех случаях, когда температура воды отличалась от $20 \text{ }^\circ\text{C}$, скорость фильтрации корректировалась с использованием температурного коэффициента $Q = 2,3^{0,1(t-20)}$, где t – реальная температура водоема [Винберг, 1983].

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета программ “STATISTICA v 5.5 A”. Рассчитаны коэффициенты корреляции между рядом гидрохимических показателей и численностью и биомассой отдельных групп зоопланктона. Для расчета использован массив гидрохимических

и гидробиологических данных за 1990–2012 гг. (более 600 сопряженных проб). Достоверность значений коэффициентов корреляции оценивали по критерию Стьюдента при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности формирования химического состава воды Новосибирского водохранилища. Содержание биогенных и органических веществ в воде водохранилища зависит от поступления этих соединений в водоем из различных источников и образования в результате биологических процессов, а также от удаления их из водной среды со стоком в виде конечных продуктов минерализации органических веществ растительного и животного происхождения, седиментации в результате комплексо- и осадкообразования, потребления водными организмами и выноса с их биомассой. К источникам обогащения водохранилищ биогенными и органическими веществами как природного, так и антропогенного происхождения относятся сток основной реки, питающей водохранилище, и притоков; смывы с водосборного бассейна; поступления с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами; сток с сельскохозяйственных угодий и животноводческих комплексов; рекреационные нагрузки, атмосферные осадки, эрозия и абразия берегов, внутриводоемные процессы.

Химический состав воды в Новосибирском водохранилище формируется в основном за счет основного притока – р. Оби. Поступление химических веществ с водой р. Оби преобладает в приходной статье баланса (около 95 %) [Подлипский, 1985]. На долю боковой приточности приходится не более 5 % привноса химических веществ. В гидрологическом годовом балансе притоки Новосибирского водохранилища также составляют менее 5 %, при этом основной вклад приходится на р. Бердь, впадающую в водохранилище непосредственно вблизи верхнего бьефа. Остальные притоки очень малы, отличаются высокими скоростями течений.

Основное поступление аллохтонного зоопланктона также происходит со стоком р. Оби, оказывая значительное влияние на его видовой состав в верхней части водохранилища. Ниже по течению формирование

происходит за счет автохтонного развития зоопланктона на различных по гидрологическому и гидрохимическому режиму участках. В боковых притоках зоопланктон весьма обеднен, представлен, как правило, единичными экземплярами Copepoda и Rotifera, практически не влияющими на видовой и количественный состав зоопланктонного сообщества водохранилища в целом.

Таким образом, Новосибирское водохранилище может служить модельным объектом для выявления взаимосвязей изменений гидрохимических и гидрологических факторов с гидробиологическими характеристиками по продольному профилю водоема без влияния боковой приточности.

Роль зоопланктона в формировании качества воды водохранилища. Одними из наиболее значимых показателей качества воды являются количественные и качественные характеристики зоопланктонного сообщества. Фильтрационная деятельность зоопланктонных организмов способствует осаждению некоторых веществ. Прямое участие зоопланктона в самоочищении водоемов осуществляется и посредством минерализации (деструкции) органического вещества в процессе дыхания. Активное участие фильтраторов и седиментаторов в процессах самоочищения носит сезонный характер и приходится, главным образом, на лето. В этот период, с учетом изменения показателей биомассы мирного зоопланктона по длине и глубине водохранилища, весь объем водоема профильтровывается в среднем за 7,3 сут (в маловодные годы за 3,2 сут, в многоводные – за 11,4 сут) [Винберг, 1983; Гутельмахер, 1986]. В зимние месяцы скорость фильтрации в нижней части водохранилища снижается до 29,4 сут, а в речной части биомасса фильтраторов настолько низкая, что они практически не участвуют в процессах самоочищения. В среднем за год зоопланктон фильтрует объем воды, находящейся в Новосибирском водохранилище, примерно 40 раз. Органическое вещество в желудочном тракте организмов связывается в капсулы с органической оболочкой – фекальные пеллеты, опускающиеся на дно. Образованного биогенного вещества в водохранилище в 50–100 раз больше, чем терригенного [Леонова, 2007]. При этом растворимые органические вещества переходят в нерастворимые соединения.

Взаимосвязи химического состава воды Новосибирского водохранилища и характеристик зоопланктона. Для выявления роли Новосибирского водохранилища в формировании качества воды его нижнего бьефа проведен анализ данных по химическому составу воды во входном створе и нижнем бьефе водоема: проведено сопоставление (по критерию Стьюдента) концентраций целого ряда химических веществ, определяющих химический состав вод водохранилища. Показано, что в целом внутриводоемные процессы, происходящие в водохранилище, оказывают позитивное влияние на качество воды по гидрохимическим показателям (рис. 1–6): в основ-

ном не происходит загрязнения воды при движении от входного створа к плотине.

Как видно из рис. 1, 2, во все гидрологические сезоны наблюдается увеличение концентраций органических веществ (по величинам БПК₅ и ХПК) в нижнем бьефе по сравнению с входным створом. Видимо, это является эффектом зарегулирования речного стока – в нижней части водохранилища формируется более продуктивная экосистема. При этом на окисление автохтонного вещества требуется большее количество кислорода. Этот вывод подтверждается и показателями индекса сапробности Пантале и Букк для зоопланктона. В летние месяцы показатели индекса в

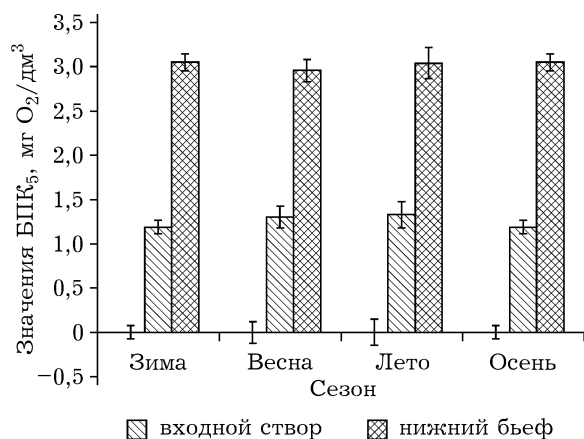


Рис. 1. Изменение среднесезонных среднемесячных значений БПК₅ во входном створе и нижнем бьефе Новосибирского водохранилища

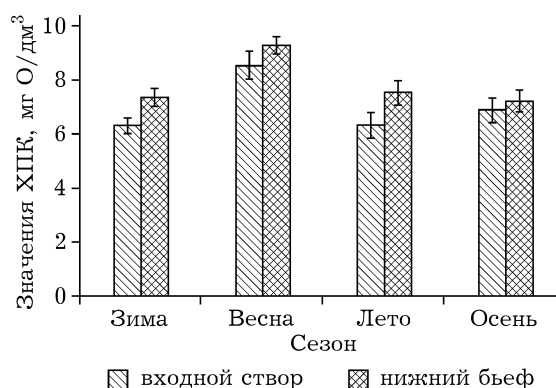


Рис. 2. Изменение среднесезонных среднемесячных значений ХПК во входном створе и нижнем бьефе Новосибирского водохранилища

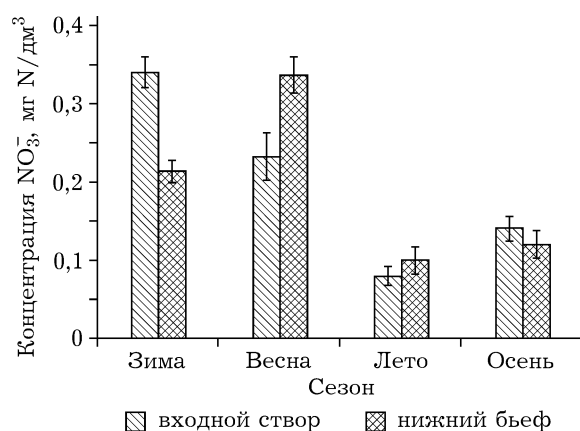


Рис. 3. Изменение среднесезонных среднемесячных концентраций нитратов во входном створе и нижнем бьефе Новосибирского водохранилища

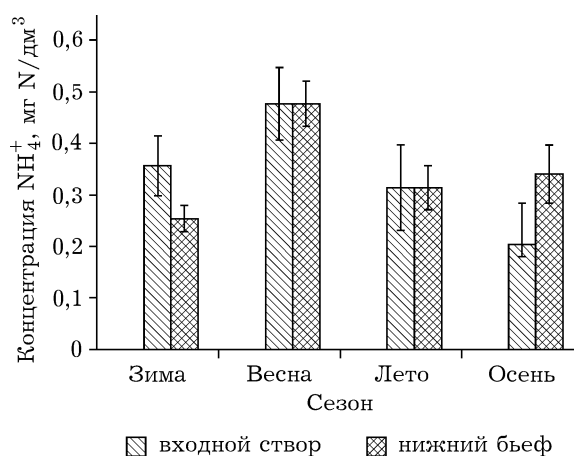


Рис. 4. Изменение среднесезонных среднемесячных концентраций соединений, содержащих ионы аммония, во входном створе и нижнем бьефе Новосибирского водохранилища

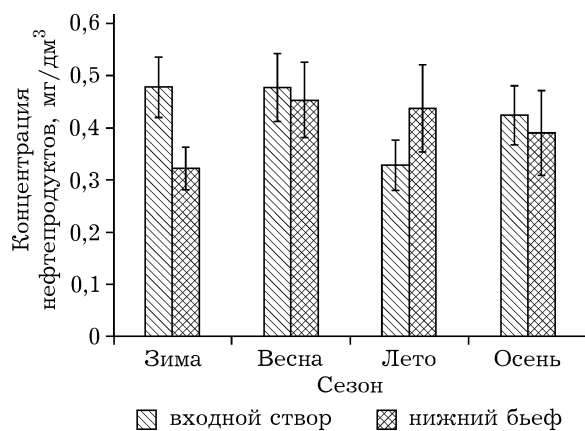


Рис. 5. Изменение среднесезонных среднегодовых концентраций нефтепродуктов во входном створе и нижнем бьефе Новосибирского водохранилища

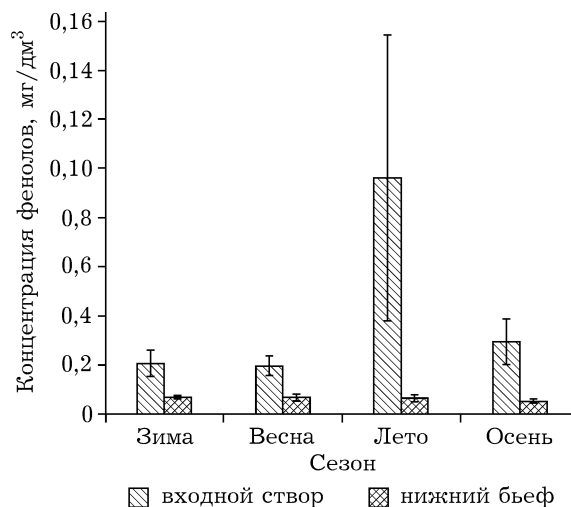


Рис. 6. Изменение среднесезонных среднегодовых концентраций фенолов во входном створе и нижнем бьефе Новосибирского водохранилища

нижней части водохранилища стабильно выше, чем во входном створе. Водные массы верхней части водохранилища по основным формирующим их качество показателям сохраняют режим вод р. Оби. На этом участке самые низкие значения индекса сапробности Пантле и Букк (1,55–1,64), т. е. участок можно охарактеризовать как олиго-мезосапробный. В озеровидном расширении нижней части значения индекса, как правило, колебались в пределах 1,80–1,89, что соответствует мезосапробному состоянию водоема (рис. 7).

В условиях повышенного БПК₅ (3–5 мг O₂/дм³) отмечено высокое видовое разнообразие коловраток рода *Brachyopus*, при этом общая численность и биомасса Rotifera и Cladocera заметно снижаются (в 2–3 раза), по сравнению с участками, где показатели БПК₅ не превышают 2 мг O₂/дм³.

Высокие показатели ХПК (9–20 мг O/дм³) сдерживают численное развитие всех групп зоопланктона, практически не влияя на видовое разнообразие. В пробах встречается меньше науплиев и яйценосных самок *Cyclo-*

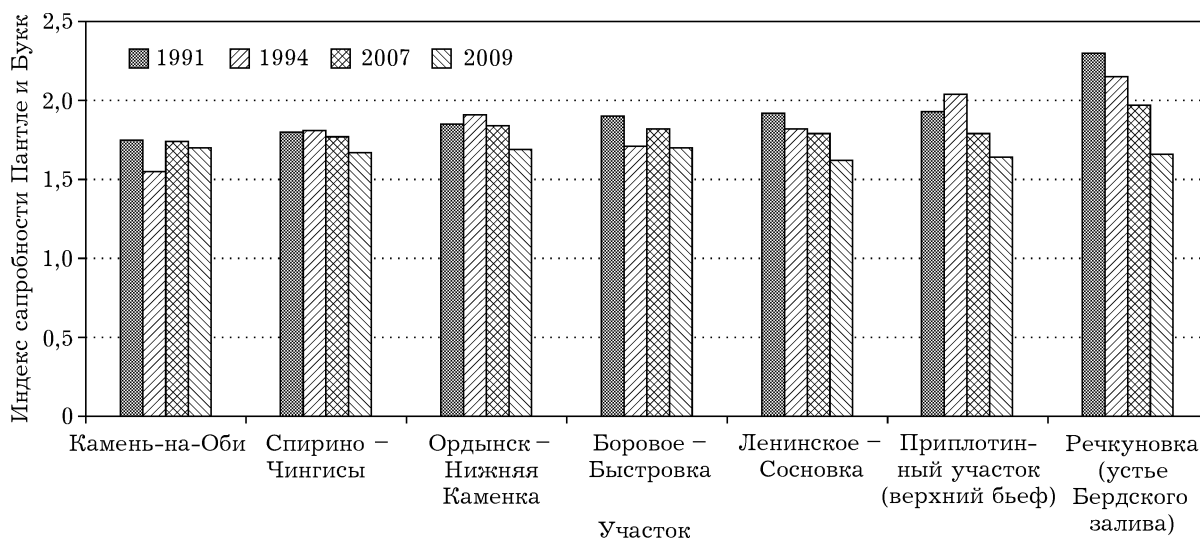


Рис. 7. Значения индекса сапробности Пантле и Букк на различных участках Новосибирского водохранилища

roida и Diaptomidae, снижается количество партеногенетических особей и возрастает количество эфиппиев у ветвистоусых рачков, но при этом усредненные линейные размеры организмов несколько возрастают и значительных отклонений по биомассе от более чистых участков не наблюдается.

Увеличение концентраций нитратов (см. рис. 3) в нижнем бьефе в весенний период, по-видимому, можно объяснить большим количеством талых вод, которые приносят в водохранилище значительное количество азотных соединений. Повышение концентраций аммонийных соединений (см. рис. 4) в нижнем бьефе в осенний период обычно связано с продолжающимся распадом органических веществ, содержащих азот, в условиях слабого или полного отсутствия их потребления планктоном.

Ни для нитратов, ни для аммонийных соединений летом не наблюдается изменения концентраций в нижней части водохранилища по сравнению с входным створом. Это может быть связано с тем, что в летний период, при активном развитии азотфиксирующих цианобактерий (синезеленых водорослей *Anabaena flos-aquae* и *Aphanizomenon flos-aquae*), в водохранилище происходит активная фиксация атмосферного азота, что приводит к формированию дополнительной автохтонной азотной нагрузки [Saralov et al., 2010]. В летний период в озеровидной нижней части водохранилища активно развивается рачковый планктон, со значительными показателями биомассы (см. таблицу, рис. 8). К числу массовых видов на основной акватории озеровидного участка Новосибирского водохранилища относятся *Asplanchna priodonta* Gosse, *Brachionus calyciflorus* Pallas, *Filinia longiseta* (Ehrenberg), *Daphnia longispina* O. F. Müller (до 60–90 % численности), *Daphnia cucullata* G. O. Sars, *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin), *Bosmina longirostris* (Müller), *Ceriodaphnia quadrangula* (Müller, 1785) – типично лимнический планктон, характерный для открытых частей озер. Основу зоопланктона составляют фильтраторы, активно потребляющие автохтонные вещества. При отсутствии такой фильтрации наблюдалась бы картина роста концентраций биогенов, в том числе соединений азота. Соединения азота, включаясь в трофические сети,

несколько стимулируют развитие Rotifera и Cladocera [Ермолаева, Двуреченская, 2007; Двуреченская и др., 2010].

Некоторое увеличение концентрации нефтепродуктов в нижнем бьефе (см. рис. 5) в летний период связано, по-видимому, с использованием водохранилища для судоходства, поскольку основное поступление нефтепродуктов происходит за счет промышленных стоков и маломерного флота, широко используемого на водохранилище. Это определяет основное влияние антропогенной составляющей на содержание нефтепродуктов в водоеме. Зоопланктон не утилизирует антропогенные нефтепродукты, напротив, их высокие концентрации оказывают угнетающее влияние на планктонное сообщество [Кондратьева и др., 2011; Фефилова, 2011].

Как видно из рис. 6, в летний период во входном створе наблюдается резкое увеличение концентрации фенолов. Вместе с тем во все гидрологические сезоны происходит уменьшение концентрации в нижней части водохранилища и нижнем бьефе. Большая часть фенолов поступает в водохранилище с поверхностным стоком и со стоком р. Оби. В водохранилище происходит трансформация фенолов: часть их легко разлагается под действием кислорода и повышенных (относительно реки) температур, часть вступает в реакции комплексообразования и образует сложные органические соединения, а в дальнейшем потребляются гидробионтами. Многолетние исследования показали, что при локальном повышении концентрации фенолов (до 0,03 мг/дм³) и нефтепродуктов (до 0,04 мг/дм³) отмечается снижение видового разнообразия и количественных показателей коловраток и ветвистоусых. Из последних часто остается только эврибионт *Bosmina longirostris* (Müller), а среди коловраток начинает активно развиваться хищная *Asplanchna priodonta* Gosse и коловратки рода *Brachionus*. На наиболее загрязненных участках встречается индикатор повышенной сапробности *Brachionus budapestinensis* Daday. При этом возрастает численность и биомасса Соперода, иногда на порядок.

Корреляционный анализ позволил выявить связи показателей зоопланктонных сообществ разнотипных участков Новосибирского водохранилища с различными факторами среды,

Многолетние изменения численности и биомассы различных групп зоопланктона (июль – август)

Год исследования (июль – август)	Численность, экз./м ³ биомасса, мг/м ³					
	Copepoda		Cladocera		Rotifera	
	г. Камень-на-Оби	Верхний бьеф	г. Камень-на-Оби	Верхний бьеф	г. Камень-на-Оби	Верхний бьеф
1991	<u>5200</u> 285,40	<u>11 000</u> 44,90	<u>3125</u> 241,40	<u>11 400</u> 1374,20	<u>37 400</u> 234,50	<u>7200</u> 10,40
1992	<u>11 000</u> 186,30	<u>6150</u> 206,80	<u>140</u> 4,00	<u>3500</u> 108,00	<u>2500</u> 1,90	<u>8200</u> 16,00
1993	<u>20</u> 0,90	<u>1980</u> 73,26	<u>40</u> 0,60	<u>6700</u> 475,70	<u>80</u> 0,09	<u>2750</u> 5,98
1994	<u>200</u> 6,10	<u>2000</u> 74,00	<u>4000</u> 96,00	<u>11 000</u> 379,00	<u>100</u> 0,49	<u>1000</u> 5,70
1996	<u>120</u> 3,50	<u>42 700</u> 1793,40	<u>60</u> 0,90	<u>38 500</u> 1809,50	<u>100</u> 0,35	<u>5200</u> 11,96
1998	<u>3120</u> 79,20	<u>45 000</u> 1810,00	<u>385</u> 10,47	<u>55 000</u> 6885,00	<u>2800</u> 4,20	<u>1000</u> 4,00
1999	<u>500</u> 25,80	<u>19 370</u> 1072,10	<u>3600</u> 46,00	<u>19 372</u> 7915,20	<u>4000</u> 7,10	<u>1000</u> 6,00
2001	<u>380</u> 83,80	<u>1032</u> 212,50	<u>80</u> 3,30	<u>72</u> 6,00	<u>400</u> 1,40	<u>4</u> 0,01
2003	<u>1280</u> 35,00	<u>74 000</u> 2264,80	<u>640</u> 29,30	<u>23 920</u> 3240,60	<u>27 400</u> 101,20	<u>20 400</u> 5,30
2004	<u>1800</u> 105,60	<u>112 000</u> 7554,50	<u>350</u> 99,30	<u>29 325</u> 1623,90	<u>23 500</u> 56,60	<u>1000</u> 0,30
2005	<u>16 080</u> 482,40	<u>81 310</u> 3845,84	<u>160</u> 1,02	<u>97 110</u> 4855,65	<u>54 400</u> 15,78	<u>191 450</u> 478,63
2006	<u>1250</u> 40,30	<u>41 270</u> 1595,38	<u>460</u> 11,75	<u>36 090</u> 3536,74	<u>41500</u> 109,84	<u>27 150</u> 67,88
2007	<u>125</u> 4,00	<u>108 680</u> 9777,16	<u>225</u> 3,30	<u>56 450</u> 5142,88	<u>5025</u> 13,30	<u>9000</u> 2,25
2008	<u>2280</u> 107,90	<u>41 750</u> 3399,50	<u>1390</u> 59,60	<u>8220</u> 466,70	<u>27 450</u> 95,50	<u>8200</u> 3,80
2009	<u>2395</u> 124,06	<u>82 100</u> 8784,82	<u>265</u> 5,62	<u>3400</u> 389,05	<u>4255</u> 11,23	<u>3410</u> 1,14
2010	<u>170</u> 5,62	<u>258 660</u> 7319,82	<u>45</u> 3,09	<u>8660</u> 628,78	<u>30</u> 0,02	<u>77 580</u> 107,79
2011	<u>175</u> 8,73	<u>12 560</u> 472,95	<u>240</u> 7,44	<u>13 125</u> 554,5	<u>18 10</u> 33,3	<u>19 560</u> 16,05

установить их направленность и силу [Ермолаева, Двуреченская, 2007].

По длине водохранилища выделено три основные зоны влияния гидрохимического и гидрологического режимов на зоопланктон

(рис. 9). В верхней части водохранилища (а) сохраняется влияние течения в русловой части водоема. Однако есть множество островов, проток, рукавов и мелководных участков с высшей водной растительностью с за-

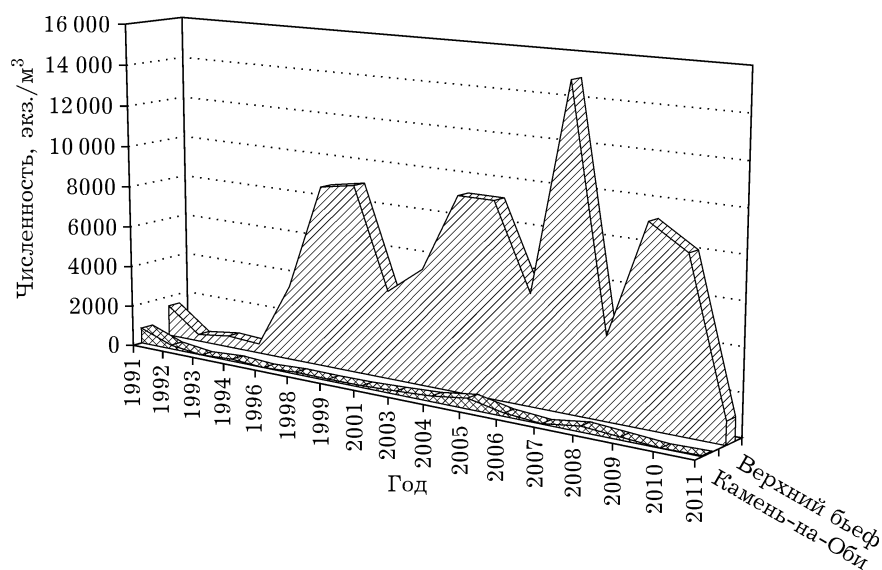


Рис. 8. Численность зоопланктона в зоне выклинивания подпора и на замыкающем створе Новосибирской ГЭС

медленным течением. Вне зависимости от водности года на этом участке отмечается наибольшее количество значимых корреляционных связей между количественными показателями зоопланктона и гидрохимическими параметрами [Ермолаева, Двуреченская, 2007]. Наиболее зависимыми оказались коловратки и ветвистоусые рачки, т. е. фильтраторы. Так, корреляция численности Rotifera с БПК₅ $k = -0,87$; с ХПК $k = 0,93$; с рН $k = -0,80$; с нитратным азотом $k = 0,87$; с нефтепродуктами $k = -0,92$. Численность Cladocera коррелирует с БПК₅ $k = -0,85$; с рН $k = -0,83$; с аммонийным азотом $k = 0,85$; с нефтепродуктами $k = -0,63$ (учтены только корреляции значимые при $p < 0,05$). Отрицательные значения коэффициента корреляции численности коловраток с БПК₅ на данном участке можно предположительно объяснить тем, что повышенные значения БПК₅ приурочены, как правило, к мелководным зонам с замедленным течением и зарослями высшей водной растительности, неблагоприятным для развития реофильных видов Rotifera, а лимнофильные виды на данном участке значительного развития не получают. Таким образом, влияние гидрохимических факторов на зоопланктон связано с особенностями гидрологического режима в данной части водохранилища.

В средней части водохранилища (б) начинают преобладать внутриводоемные процессы наряду с локальным антропогенным влиянием

на качественный и количественный состав зоопланктонных сообществ в районе населенных пунктов. Количество значимых корреляционных связей количественных показателей зоопланктона с гидрохимическими параметрами на этом участке меньше, чем на верхнем. Интенсивному развитию зоопланктона в летний период способствуют малая водность, стабильный уровень режим водохранилища в сочетании с большой суммой тепла и отсутствием длительного ветрового перемешивания. Так, коэффициенты корреляции биомассы зоопланктона с уровнем воды (май – сентябрь) составляют $k = -0,38$; с температурой $k = 0,38$.

В нижней (озерной) части (в), определяющую роль в функционировании зоопланктона начинают играть гидрологические параметры. В застойных зонах планктон развивается активнее, чем в транзитном потоке на затопленном русле. Выявлены значимые коэффициенты корреляции биомассы зоопланктона с летним коэффициентом водообмена $k = 0,27$; с уровнем воды (май–сентябрь) $k = -0,21$; с температурой $k = 0,26$. Столь низкие значения k объясняются опосредованным влиянием перечисленных факторов через пищевую цепь.

Для средней и нижней частей водохранилища установлены высокие корреляции между численностью Сорерода и значениями рН (коэффициенты корреляции $k = 0,7-0,8$), концентрациями нитритов ($k = 0,6$), нитратов



Рис. 9. Карта-схема Новосибирского водохранилища

($k = 0,7-0,96$), аммонийных соединений ($k = 0,68$) и значениями БПК₅ ($k = 0,62$); численностью *Cladocera* и значениями БПК₅ ($k = 0,7-1,0$), концентрациями нитритов (k около 0,8), аммонийных соединений ($k = 0,65$) и фосфатов ($k = 0,86$); численностью *Rotifera* и значениями БПК₅ ($k = 1$), концентрациями аммонийных соединений ($k = 0,76$), нитритов ($k = 0,77$), фосфатов ($k = 0,86$) [Ермолаева, Двуреченская, 2007].

Зависимость видового состава зоопланктонного сообщества от содержания органических веществ в различные по водности годы также хорошо отражается индексом $Q_{B/T}$ (отношение числа видов рода *Brachionus* к числу видов рода *Trichocerca*) [Андроникова, 1996], который обладает достаточно высокой информативностью при индикации качества воды. В олиготрофных водоемах значения индекса менее 1,0, в мезотрофных изменяется от 1,0 до 2,0 и в эвтрофных водоемах значения индекса превышают 2,0. В результате многолетних наблюдений выявлено, что в озеровидной части Новосибирского водохранилища в маловодные годы при повышении концентраций биогенов этот показатель составляет 3,6, а в многоводные – 1,8.

Аналогичные закономерности выявлены для ряда экосистем водохранилищ России и мира. Так, рН и биогенные вещества являлись определяющими экологическими факторами для количественных и качественных показателей зоопланктона ряда других водохранилищ различных климатических зон [Jafari et al., 2011; Sellami et al., 2011; Bozkurt et al., 2012; Ilyova, Pastuchova, 2012; Eskinazi-Sant'Anna et al., 2013; Czerniawski, Domagala, 2013; Perbiche-Neves, Nogueira, 2013]. Показаны значимые положительные корреляции численности зоопланктона с рядом физико-химических параметров (температура, щелочность, фосфаты, БПК₅) [Hulyal, Kaliwal, 2008; Thys et al., 1998]. Также рядом авторов подтверждается, что присутствие определенных видов, таких как *Lepadella* sp., *Mesocyclops* sp., *Polyarthra* sp. и *Brachionus* sp., входящих в доминантное ядро зоопланктонного сообщества Новосибирского водохранилища, является биологическим индикатором эвтрофирования [Sousa et al., 2008; Jafari et al., 2011; Sellami et al., 2011; Czerniawski, Domagala, 2013; Merrix-Jones et al., 2013].

При сравнении полученных результатов с данными по водохранилищам Волжского каскада (Рыбинское, Куйбышевское, Саратовское, Горьковское и др.) [Дзюбан и др., 2007; Krylov et al., 2010; Лазарева, 2010; Болотов, 2012] следует отметить, в первую очередь, разницу в концентрациях биогенных соединений, обусловленную природным фоном и антропогенной нагрузкой. В условиях Новосибирского водохранилища концентрации биогенов и загрязняющих веществ более низкие. Однако найденные корреляции свидетельствуют о том, что зоопланктонное сообщество реагирует даже на такие малые колебания гидрохимических параметров.

Гидрохимические условия, влияющие на количественный и качественный состав зоопланктонного сообщества, обусловлены, в частности, гидрологическим режимом. Иногда такое опосредованное влияние приводит к парадоксальным результатам, как например, описанный выше отрицательный коэффициент корреляции БПК₅ с численностью Rotifera. В верхней части водохранилища, где более разнообразные гидрологические и морфологические условия, выявлено больше корреляционных связей параметров зоопланктонного сообщества с гидрохимическими показателями в отличие от нижней озеровидной части, где гидрологические условия более монотонные.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние гидрохимических факторов на зоопланктон обусловлено особенностями гидрологического режима Новосибирского водохранилища.

Из гидрохимических показателей определяющими (в условиях относительной стабильности водоема) для зоопланктонных организмов оказались показатели БПК₅, ХПК, аммонийный и нитратный азот, фенолы и нефтепродукты.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №13-05-00937.

ЛИТЕРАТУРА

- Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шарапов В. А. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 323 с.
- Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных систем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
- Болотов С. Э., Крылов А. В., Цветков А. И., Соколова Е. А., Поддубный С. А. Водные массы и зоопланктон зоны подпора притока Рыбинского водохранилища // Поволжский экол. журн. 2012. № 2. С. 134–141.
- Винберг Г. Г. Температурный коэффициент Вант-Гоффа и уравнение Аррениуса в биологии // Журн. общ. биол. 1983. Т. 44, № 1. С. 31–42.
- Гутельмахер Б. Л. Метаболизм планктона как единого целого: трофометаболические взаимоотношения зоо- и фитопланктона. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1986. 155 с.
- Двуреченская С. Я. О влиянии сезонного фактора на формирование качества воды Новосибирского водохранилища в условиях изменения природно-техногенной ситуации // Сиб. экол. журн. 2006. № 6. С. 803–808.
- Двуреченская С. Я., Ермолаева Н. И., Савкин В. М. Комплексный мониторинг и экологические проблемы Новосибирского водохранилища // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. (Хабаровск, 26–29 октября 2010 г.). Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2010. 198 с.
- Дзюбан А. Н., Косолапов Д. Б., Корнева Л. Г., Столбунова В. Н. Комплексная оценка экологического состояния мелководий Рыбинского и Горьковского водохранилищ // Биология внутренних вод. 2007. № 4. С. 3–8.
- Ермолаева Н. И., Двуреченская С. Я. Изучение влияния химического состава воды на формирование и функционирование зоопланктоценозов Новосибирского водохранилища // Биологические аспекты рационального использования и охраны водоемов Сибири: мат-лы Всерос. конф. (Томск, 14–16 ноября 2006 г.). Томск: ТГУ, 2007. С. 95–103.
- Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969. 657 с.
- Кондратьева Т. А., Борисович М. Г., Халиуллина Л. Ю., Степанова Н. Ю. Влияние нефтедобывающей деятельности на экологическое состояние водоемов национального парка “Нижняя Кама” // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. № 11. С. 4–8.
- Лазарева В. И. Структура и динамика зоопланктона Рыбинского водохранилища. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 183 с.
- Леонова Г. А. Геохимическая роль планктона континентальных водных экосистем в концентрировании и перераспределении микроэлементов: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Новосибирск, 2007. 32 с.
- Подлипский Ю. И. К вопросу организации и некоторые итоги комплексных исследований Новосибирского водохранилища // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища: тр. Зап.-Сиб. регион. науч.-исслед. ин-та. М.: Гидрометеиздат, 1985. Вып. 70. С. 3–16.
- Унифицированные методы исследования качества вод. Методы биологического анализа. Приложение 2: Атлас сапробных организмов. М.: Наука, 1977. 277 с.
- Фефилова Е. Б. Состояние реки печорского бассейна после аварийного разлива нефти: оценка изменений в сообществе зоопланктона // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 5. С. 593–605 [Fefilova E. B. The state of a river in pechora basin after an oil spill: Assessment of changes in zooplankton community. Water Resour. 2011. Vol. 38, N 5. P. 637–649].

- Bozkurt A., Celik K., Sevindik T. O. Seasonal variations in the length of zooplankton related to certain physicochemical variables in two freshwater reservoirs // *Crustaceana*. 2012. Vol. 85, N 4–5. P. 447–462.
- Czerniawski R., Domagala J. Reduction of zooplankton communities in small lake outlets in relation to abiotic and biotic factors // *Oceanol. and Hydrobiol. Studies*. 2013. Vol. 42, iss. 2. P. 123–131.
- Eskinazi-Sant'Anna E. M., Menezes R., Costa I. S., Araujo M. D., Panosso R., Attayde J. L. Zooplankton assemblages in eutrophic reservoirs of the Brazilian semi-arid // *Brazilian J. Biol.* 2013. Vol. 73, N 1. P. 37–52.
- Hulyal S. B., Kaliwal B. B. Water quality assessment of Almatti Reservoir of Bijapur (Karnataka State, India) with special reference to zooplankton // *Environ. Monitoring and Assessment*. 2008. Vol. 139, N 1–3. P. 299–306.
- Illyova M., Pastuchova Z. The zooplankton communities of small water reservoirs with different trophic conditions in two catchments in western Slovakia // *Limnologica*. 2012. Vol. 42, N 4. P. 271–281.
- Jafari N., Nabavi S. M., Akhavan M. Ecological investigation of zooplankton abundance in the river Haraz, Northeast Iran: impact of environmental variables // *Arch. Biol. Sci.* 2011. Vol. 63, N 3. P. 785–798.
- Krylov A. V., Tsvetkov A. I., Malin M. I., Romanenko A. V., Poddubnii S. A., Otjukova N. G. Communities of hydrobionts and the physical-chemical characteristics of the estuary area of inflow of a flat water basin // *Inland Water Biol.* 2010. Vol. 3, N 1. P. 59–69.
- Merrix-Jones F.L., Thackeray S.J., Durance I., Ormerod S.J. Spatial structure in the zooplankton of a newly formed and heavily disturbed urban lake // *Fundamental and Appl. Limnol.* 2013. Vol. 183, N 1. P. 1–14.
- Perbiche-Neves G., Nogueira M.G. Design and operation of the reservoir: effects on aquatic biota, as an example of planktonic crustaceans // *Hydrobiologia*. 2013. Vol. 707, N 1. P. 187–198.
- Saralov A. I., Galyamina V. V., Belyaeva P. G., Mol'kov D. V. Nitrogen fixation and denitrification in plankton and periphyton of the Kama river basin watercourses // *Inland Water Biol.* 2010. Vol. 3, N 2. P. 112–118.
- Sellami I., Elloumi J., Hamza A., Mhamdi M.A., Ayadi H. Local and regional factors influencing zooplankton communities in the connected Kasseb Reservoir, Tunisia // *Water SA (Water Res. Com.)*. 2011. Vol. 37, N 2. P. 201–212.
- Sládeček V. System of Water Quality from the Biological point of View // *Archive Hydrobiologia. Ergebnisse der Limnologie*. 1973. Vol. 7. P. 1–218.
- Sousa W., Attayde J. L., Rocha E. D., Eskinazi-Sant'Anna E. M. The response of zooplankton assemblages to variations in the water quality of four man-made lakes in semi-arid northeastern Brazil // *J. Plankton Res.* 2008. Vol. 30, N 6. P. 699–708.
- Thys I., Dohet A., Cauchie H.M., Hoffmann L. Multivariate analysis of the longitudinal variation of the zooplankton community structure in a riverine reservoir // *Int. Rev. Hydrobiol.* 1998. Vol. 83. P. 191–198.

Identification of Interconnections Between the Chemical Composition of the Water in Novosibirsk Reservoir and the Characteristics of Zooplankton

S. Ya. DVURECHENSKAYA, N. I. YERMOLAEVA

*Institute for Water and Environmental Problems SB RAS
630090, Novosibirsk, Morskoy prospect, 2
E-mail: dvur@iwep.nsc.ru*

The mutual influence of the chemical composition of the water and the qualitative and quantitative characteristics of zooplankton were revealed on the basis of the analysis of long-term data gathered during hydrochemical and hydrobiological monitoring of Novosibirsk reservoir. The influence of hydrochemical factors on zooplankton was connected with the peculiarities of the hydrological regime of the reservoir. High correlation between number of zooplankton and pH-values, concentrations of nitrites, nitrates and BOD₅-values were revealed.

The reservoir can be divided into three principal parts differing by the level of influence of hydrological factors and intra-reservoir processes on hydrochemical and hydrobiological characteristics of the ecosystem. It was shown that in general the intra-reservoir processes improve water quality by many hydrochemical parameters.

Key words: Novosibirsk Reservoir, water quality, hydrochemical parameters, zooplankton, hydrology.

