



ЭКОЛОГИЯ

УДК 574.58(470.44)

Многолетний мониторинг макрозообентоса водоема-охладителя Балаковской АЭС

М. Ю. Воронин

Воронин Максим Юрьевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры морфологии и экологии животных, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, voroninmj@yandex.ru

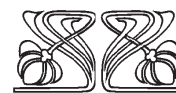
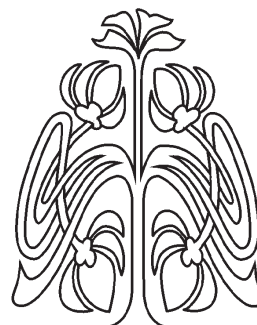
На протяжении 8 лет (2011–2018 гг.) на постоянных станциях в водоеме-охладителе Балаковской АЭС проводился отбор проб макрозообентоса. Станции отбора пробы располагались в сильно подогреваемой части водоема-охладителя Балаковской АЭС, слабо подогреваемой части, на прилегающей акватории Саратовского водохранилища. Выявлялись различия видового богатства и разнообразия, численности и биомассы, индексов сапробности участков этих водоемов, положительного или отрицательного тренда многолетней динамики изученных показателей макрозообентоса. За период исследования в составе макрозообентоса водоема-охладителя Балаковской АЭС отмечено 42 вида гидробионтов: Oligochaeta – 4, Mysidacea – 3, Corophiidae – 1, Gammaridea – 9, Odonata – 1, Chironomidae – 19, Ceratopogonidae – 1, Trichoptera – 1, Bivalvia – 2, Gastropoda – 1. Видовое богатство, численность и биомасса макрозообентоса сильно подогреваемой тепловой части водоема-охладителя Балаковской АЭС достоверно ниже в сравнении с холодноводной. Воды водоема-охладителя Балаковской АЭС можно охарактеризовать как α -мезосапробные (умеренно загрязненные, 3-й класс качества), прилегающего к водоему-охладителю участка Саратовского водохранилища – как α -мезосапробные (загрязненные, 4-й класс качества). Статистически достоверного увеличения или снижения (с 2011 по 2018 г.) численности, биомассы макрозообентоса и сапробности исследованных водоемов не выявлено. Обнаружено статистически достоверное увеличение количества видов макрозообентоса в водоеме-охладителе Балаковской АЭС в связи с тем, что к 2018 г. стало наблюдаться некоторое восстановление погруженной растительности (ранее уничтоженной белым амуром) и, соответственно, фитофильной группировки бентоса.

Ключевые слова: макрозообентос, водоем-охладитель Балаковской АЭС, биомониторинг.

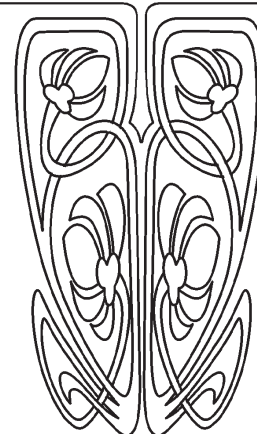
DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-4-461-472>

Введение

Биомониторинговые исследования предполагают многолетние наблюдения за состоянием окружающей среды с целью диагностики состояния экосистем, определения возможных перспектив их развития и поиска способов минимизации вреда, наносимого хозяйственной деятельностью человека. При сложности изучения экосистем в целом зачастую гораздо эффективнее использовать в качестве индикатора конкретное сообщество, которое позволит судить о состоянии и тенденциях развития более крупной экосистемы. Макрозообентос – важнейший объект биологического мониторинга пресноводных водоемов – соответствует методическим требованиям биомониторинга [1]. Воздействие факторов окружающей среды может существенно изменять сообщества зообентоса. Слабое негативное



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





воздействие обычно приводит к некоторому усложнению структуры, однако при дальнейшем увеличении нагрузки сообщество деградирует. Общие закономерности антропогенной трансформации донных сообществ распространяются и на макрозообентос водоемов-охладителей [2–4].

Водоем-охладитель (в.-о.) Балаковской АЭС (БАЛАЭС) – достаточно крупный (26 км²) замкнутый водоем. Температура летом на водовыпуске БАЛАЭС может достигать 36 °С, к водозабору она снижается на 6–11 °С. Ранее было показано, что температура является ведущим экологическим фактором для распределения макрозообентоса по акватории этого в.-о. [5].

На протяжении 8 лет проводился мониторинг макрозообентоса различных участков в.-о. БАЛАЭС и прилегающей к нему части Саратовского водохранилища (вдхр.). Целью настоящей работы был поиск:

- различий видового богатства и разнообразия, численности и биомассы макрозообентоса, индексов сапробности участков этих водоемов;
- положительного или отрицательного тренда многолетней динамики изученных показателей макрозообентоса.

Материалы и методы исследования

Бентосъемки на в.-о. БАЛАЭС проводились ежегодно одновременно в конце июня – начале августа 2011–2018 гг. на восемнадцати постоянных станциях (рис. 1) дночерпателем ДАК-250 с площадью захвата 1/40 м². Станции отбора проб располагались во всех температурных зонах в.-о. (сильно подогреваемая (тепловодная) и менее подогреваемая (холодноводная) части) и на водоеме с естественным температурным режимом (прилегающий участок Саратовского вдхр.). Станции отбора проб зообентоса № 3, 5, 6, 8 и 10 располагались в открытой части акватории в.-о. на глубинах от 3 до 7 м (грунт – ил). Пробы на остальных станциях отбирали с глубины 1 м (песок).

Обработку проб осуществляли по общепринятым гидробиологическим методикам. Отобранные 144 пробы после первичной разборки фиксировались 70% спиртом. Биомасса определялась по методу Уломского [6]. Видовое определение проводили по Атласу беспозвоночных... (1968), Определителю фаун... (1969), Определителю пресноводных... (1977), Определителю пресноводных беспозвоночных... (1994–2004) [7–10].

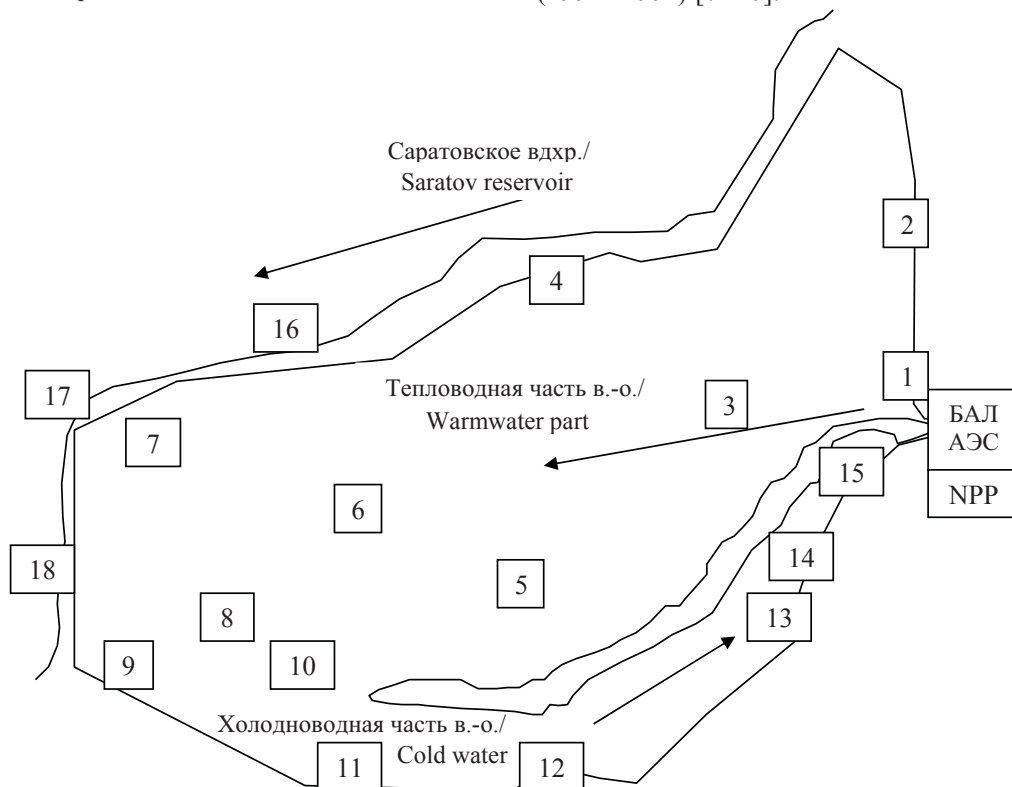


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб макрозообентоса в сильно подогреваемой (тепловодной, ст. 1–7) и менее подогреваемой (холодноводной, ст. 8–15) части акватории в.-о. БАЛАЭС; на Саратовском водохранилище (ст. 16–18) —→ — направление течений

Fig. 1. Map-layout of sampling stations macrozoobenthos in a highly (warmwater, st. 1–7) heated and less heated (cold water, st. 8–15) part of the water area reservoir-cooler of Balakovo NPP; on the Saratov reservoir (st. 16–18) —→ — direction of current



По температурному режиму станции были объединены в 3 группы – тепловодная, холодноводная часть в.-о. БАЛАЭС и Саратовское вдхр. Для каждой из групп вычислялись медианные значения численности (экз./м²) и биомассы (г/м²). При оценке воздействия БАЛАЭС на макрозообентос не использовали среднее арифметические значения, поскольку показатели численности и биомассы были распределены не нормально и средние значения не отражали бы истинного состояния водоема. Индексы Шеннона [11] и сапробности рассчитывали для объединенных выборок тепловодной, холодноводной части в.-о. и Саратовского вдхр. Сапробность определяли по индексу Пантле – Бука в модификации Сладечека. Сапробность отдельных видов устанавливали по работам А. В. Макрушина (1974) и Практической гидробиологии (2006) [12, 13].

Отбор проб на протяжении 8 лет на одних и тех же станциях позволил оценить наличие положительного или отрицательного тренда многолетней динамики изученных показателей макрозообентоса путем расчета достоверности

углового коэффициента прямой регрессии. При наличии достоверно отличающегося от нуля углового коэффициента дополнительно рассчитывался коэффициент ранговой корреляции Спирмена между исследованным параметром макрозообентоса и годом исследования.

Ежегодный единовременный отбор проб на постоянных станциях позволил сравнить показатели макрозообентоса разных температурных зон как выборки со связанными вариантами с использованием статистического критерия Фридмана. При обнаружении достоверных отличий дальнейшее попарное сравнение выборок проводили с применением непараметрического критерия Вилкоксона.

Результаты и их обсуждение

За период исследования в составе зообентоса в.-о. БАЛАЭС отмечено 42 вида гидробионтов: Oligochaeta – 4, Mysidacea – 3, Corophiidae – 1, Gammaridea – 9, Odonata – 1, Chironomidae – 19, Ceratopogonidae – 1, Trichoptera – 1, Bivalvia – 2, Gastropoda – 1 (таблица).

Список видов макрозообентоса в.-о. БАЛАЭС и участка Саратовского вдхр., прилегающего к в.-о. БАЛАЭС

List of macrozoobenthos species reservoir-cooler of Balakovo NPP and part Saratov reservoir

Вид / Species	в.-о. БАЛАЭС / Balakovo NPP	Саратовское вдхр. / Saratov reservoir
Oligochaeta		
<i>Lumbriculus variegatus</i> (O.F.Müller, 1773)	+	+
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede, 1862	+	+
<i>Tubifex newaensis</i> (Michaelsen, 1902)	+	+
<i>T. tubifex</i> (O. F. Müller, 1774)	+	–
Hirudinea		
<i>Erpobdella octoculata</i> (L., 1758)	–	+
Mysidacea		
<i>Limnomysis benedeni</i> Czerniavsky, 1882)	+	–
<i>Paramysis lacustris</i> (Czerniavskyi, 1882)	+	+
<i>P. ullskyi</i> (Czerniavsky, 1882)	+	+
Cumacea		
<i>Pterocuma rostrata</i> (G. O. Sars, 1984)	–	+
<i>Pt. sowinskyi</i> (Sars, 1894)	–	+
Corophiidae		
<i>Corophium sowinskyi</i> Martynov, 1924	+	–
Gammaridea		
<i>Chaetogammarus ischnus</i> (Stebbing, 1898)	+	–
<i>Ch. warpachowskyi</i> (Sars, 1984)	+	+
<i>Dikerogammarus hemobaphes</i> (Eichwald, 1841)	+	–
<i>D. villosus</i> (Sowinsky, 1894)	+	–



Окончание таблицы 2 / End of table 2

Вид / Species	в.-о. БАЛАЗС / Balakovo NPP	Саратовское вдхр. / Saratov reservoir
<i>Micruropus wohli</i> (Dybowski, 1874)	+	–
<i>Pontogammarus maoticus</i> (Sowinsky, 1894)	+	+
<i>P. robustoides</i> (Sars, 1894)	+	+
<i>P. sarsi</i> (Sowinsky, 1898)	–	+
<i>Stenogammarus dzjubani</i> Mordukhay–Boltovskoy et Ljakov, 1972	+	+
<i>Niphargoides intermedius</i> Carausu, 1943	+	+
Odonata		
<i>Ischnura elegans</i> (Vander Linden, 1820)	–	+
<i>Orthetrum cancellatum</i> (Finne, 1758)	+	–
<i>Platycnemis pennipes</i> (Pallas, 1771)	–	+
Ephemeroptera		
<i>Cloeon dipterum</i> (Linnaeus, 1761)	–	+
Chironomidae		
<i>Chironomus</i> sp. Meigen, 1803	+	+
<i>Cladopelma</i> gr. <i>laccophila</i> , Kieffer, 1921	+	–
<i>Cladotanytarsus</i> gr. <i>mancus</i> , Kieffer, 1921	+	+
<i>Cricotopus</i> gr. <i>sylvestris</i> van der Wulp, 1874	+	+
<i>Cryptochironomus</i> gr. <i>defectus</i> Kieffer, 1921	+	+
<i>Dictotendipes nervosus</i> (Staeger, 1839)	+	+
<i>Einfeldia pagana</i> (Meigen, 1838)	+	–
<i>Gliptotendipes paripes</i> Edwards, 1929	+	–
<i>Lipiniella arenicola</i> Shilova, 1961	+	+
<i>L. moderata</i> Kalugina, 1970	+	–
<i>Microchironomus tener</i> (Kieffer, 1918)	+	–
<i>Polypedilum bicrenatum</i> Kieffer, 1921	+	–
<i>P. nubeculosum</i> (Meigen, 1818)	+	+
<i>P. scalaenum</i> (Schrank, 1803)	+	–
<i>Procladius</i> sp. Roback, 1982	+	+
<i>Psectrocladius sordidellus</i> (Zetterstedt, 1838)	+	–
<i>Stictochironomus crassiforceps</i> (Kieffer, 1922)	+	+
<i>Tanitarsus excavatus</i> Edwards, 1929	+	–
<i>T. mendax</i> (Kieffer, 1925)	+	–
Ceratopogonidae		
<i>Nilobezzia formosa</i> (Loew, 1869)	+	–
Trichoptera		
<i>Enomus tenellus</i> (Rambus, 1842)	+	–
Lepidoptera		
<i>Cataclysta lemnata</i> (Linnaeus, 1758)	–	+
Bivalvia		
<i>Dreissena bugensis</i> (Andrusov, 1897)	+	–
<i>D. polymorpha</i> (Pallas, 1771)	+	–
Gastropoda		
<i>Theodoxus pallasi</i> Lindholm, 1924	+	–



Регрессионный анализ показывает наличие статистически достоверной зависимости ($F = 7.69; p = 0.03$) количества видов, отмеченных в макрозообентосе в.-о., от года исследования (рис. 2). При этом линия регрессии достоверно отклонена от горизонтали – угловой коэффициент равен 1.18 ± 0.43 ($p = 0.03$). Коэффициент ранговой корреляции Спирмена, равный 0.73 ($p = 0.04$), свидетельствует об увеличении

количества видов в макрозообентосе за период исследования. В холодноводной части в.-о. количество видов также достоверно ($F = 8; p = 0.03$) возрастало в период исследования – угловой коэффициент зависимости равен 1.43 ± 0.51 ($p = 0.03$). Дополнительная проверка с использованием непараметрического рангового коэффициента корреляции Спирмена показывает существенную положительную динамику 0.71 ($p = 0.05$).

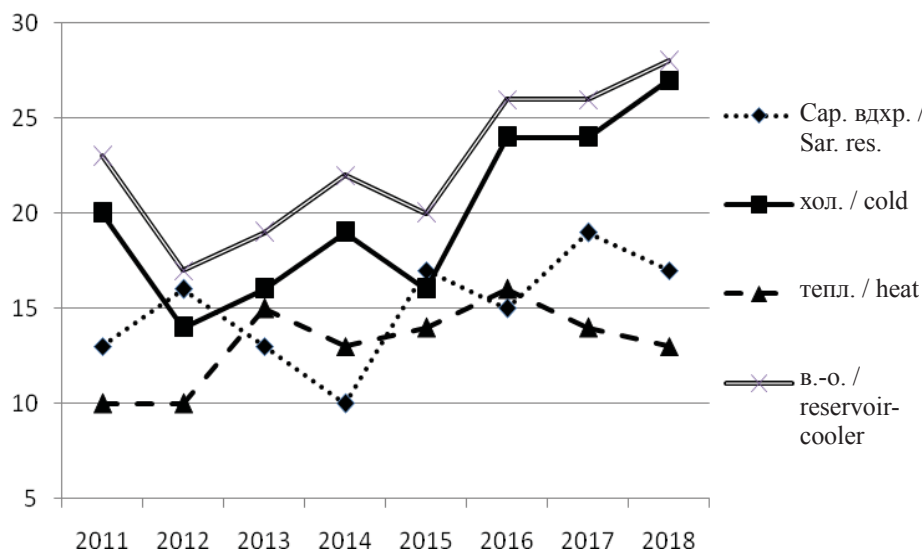


Рис. 2. Суммарное количество видов, отмеченных в макрозообентосе, тепловодной (тепл.), холодноводной (хол.) части в.-о. и прилегающего участка Саратовского вдхр. (Сар. вдхр.) за период исследования

Fig. 2. Total number of macrozoobenthos species, heat-water (heat), cold water (cold) parts reservoir-cooler of Balakovo NPP and adjacent area of the Saratov reservoir (Sar. res.) during the study period

Статистически достоверного увеличения или снижения видового богатства сильно подогреваемой тепловодной части в.-о. и прилегающего участка Саратовского вдхр. не отмечено.

В составе зообентоса участка Саратовского водохранилища, прилегающего к в.-о. БАЛАЭС, обнаружено 27 видов гидробионтов: пиявок – 1, олигохет – 3, кумовых раков – 2, мизид – 2, гаммарид – 6, стрекоз – 2, поденок – 1, чешуекрылых – 1, хирономид – 9 (см. таблицу). При этом суммарное количество проб, отобранных на Саратовском вдхр., было в три раза меньше, чем на в.-о.

Множественное сравнение суммарного количества видов, отмеченных в тепловодной, холодноводной частях в.-о. и Сар. вдхр. по критерию Фридмана, показывает наличие достоверных отличий ($\chi^2 = 7.75; p = 0.02$). Парное сравнение выборок по критерию Вилкоксона указывает на достоверно более высокое видовое богатство

холодноводной части в.-о. (см. рис. 2) по сравнению с тепловодной ($Z = 2.10; p = 0.04$) и изученным участком Саратовского вдхр. ($Z = 2.52; p = 0.01$).

Зачастую количество видов, обнаруженных при исследовании, определяется затраченными исследовательскими усилиями (количество проб). Так, количество проб, отобранных в тепловодной и холодноводной частях в.-о., на протяжении исследования было примерно одинаковым. На Саратовском вдхр. было отобрано в два раза меньше проб. Поэтому дополнительно для оценки видового богатства было проведено сравнение медианных (для трех температурных зон) значений количества видов, отмеченных в одной пробе (рис. 3). Критерий Фридмана указывает на наличие статистически достоверных отличий ($\chi^2 = 12.2; p = 0.002$) между тремя изученными совокупностями. Парное сравнение по критерию Вилкоксона показывает достоверные отличия



между тепловодной и холодноводной ($Z = 2.24$; $p = 0.03$) частями в.-о. Наибольшее количество видов в пробах отмечалось в акватории Саратовского вдхр. ($Z = 2.36$; $p = 0.02$).

Статистически достоверного увеличения или снижения медиан количества видов, отмеченных в пробах макрозообентоса сильно подогреваемой тепловодной части в.-о. и прилегающего участка Саратовского вдхр., не обнаружено.

В холодноводной части медиана количества видов, отмеченных в пробах, достоверно ($F = 8.64$; $p = 0.03$) возрастала за период исследования – угловой коэффициент зависимости равен 0.59 ± 0.2 ($p = 0.03$). Коэффициент корреляции Спирмена не показывает достоверной зависимости $0,58$ ($p = 0.13$). Данную зависимость не следует учитывать при анализе изменений макрозообентоса в.-о. БАЛАЭС.

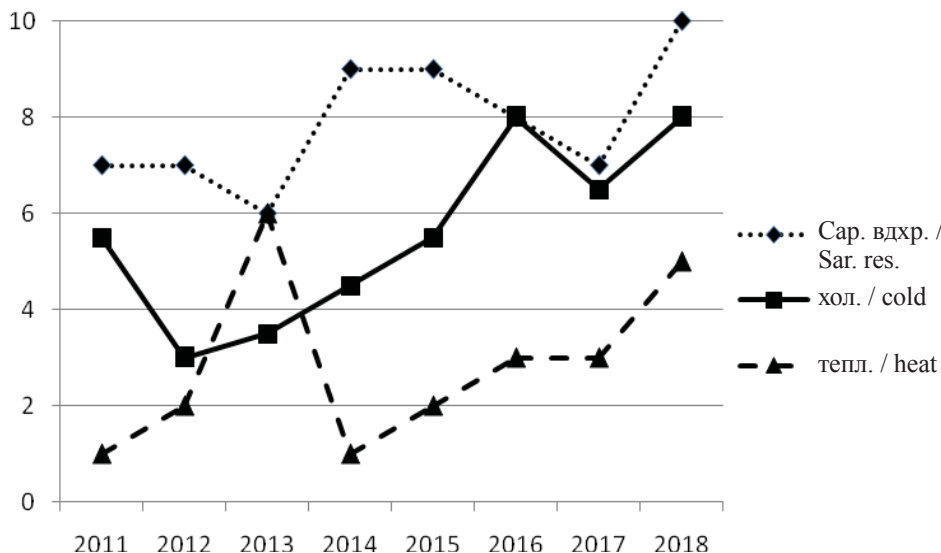


Рис. 3. Медианные значения количества видов, отмеченных в одной пробе тепловодной (тепл.), холодноводной (хол.) части в.-о. и прилегающего участка Саратовского водохранилища (Сар. вдхр.) за период исследования

Fig. 3. Median values of the number of species noted in one sample, heat-water (heat), cold-water (cold) parts reservoir-cooler of Balakovo NPP and the adjacent section of the Saratov reservoir (Sar. res.) during the study period

Статистически достоверных отличий значений индексов Шеннона (рис. 4) по критерию Фридмана не обнаружено ($\chi^2 = 0.75$; $p = 0.69$). Увеличения или снижения видовой разнообразия макрозообентоса, выражаемого индексом Шеннона, сильно подогреваемой тепловодной части в.-о. и прилегающего участка Саратовского вдхр. не обнаружено.

В холодноводной части в.-о. видовое разнообразие достоверно ($F = 6.34$; $p = 0.05$) возрастало в период исследования – угловой коэффициент зависимости равен 0.159 ± 0.063 ($p = 0.05$). Дополнительная проверка с использованием непараметрического рангового коэффициента корреляции Спирмена показывает наличие существенной положительной динамики – 0.76 ($p = 0.03$).

Медианы численности макрозообентоса тепловодной части водоема-охладителя лежали в пределах $40\text{--}2440$ экз./м² и всегда были

ниже, чем в холодноводной части водоема-охладителя – $760\text{--}4260$ экз./м². Плотность бентоса на прилегающем участке Саратовского водохранилища была еще выше – $2600\text{--}10320$ экз./м² (рис. 5). При множественном сравнении медиан численности по критерию Фридмана отмечены достоверные отличия ($\chi^2 = 14.25$; $p < 0.001$). Достоверные отличия при попарных сравнениях по критерию Вилкоксона отмечены между всеми изученными зонами: $Z = 2.52$; $p = 0.01$ – тепловодная и холодноводная часть в.-о.; $Z = 2.52$; $p = 0.01$ – тепловодная часть в.-о. и Саратовского вдхр.; $Z = 2.38$; $p = 0.02$ – холодноводная часть в.-о. и Саратовского вдхр. Статистически достоверного увеличения или снижения медиан численности макрозообентоса исследованных водоемов не обнаружено.

Медианы биомассы бентоса тепловодной части водоема-охладителя колебалась в пределах от 0.03 до 3.92 г/м². В холодноводной части

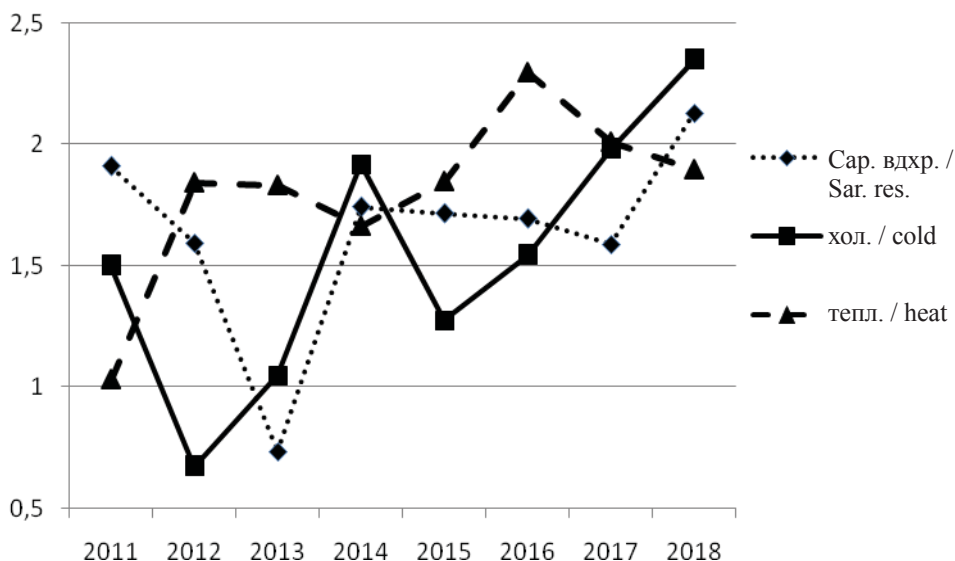


Рис. 4. Значения индекса Шеннона сообществ макрозообентоса тепловодной (тепл.), холодноводной (хол.) части в.-о. и прилегающего участка Саратовского водохранилища (Сар. вдхр.) за период исследования

Fig. 4. Values of the Shannon index of macrozoobenthos communities heat-water (heat), cold-water (cold) parts reservoir-cooler of Balakovo NPP and the adjacent section of the Saratov reservoir (Sar. res.) during the study period

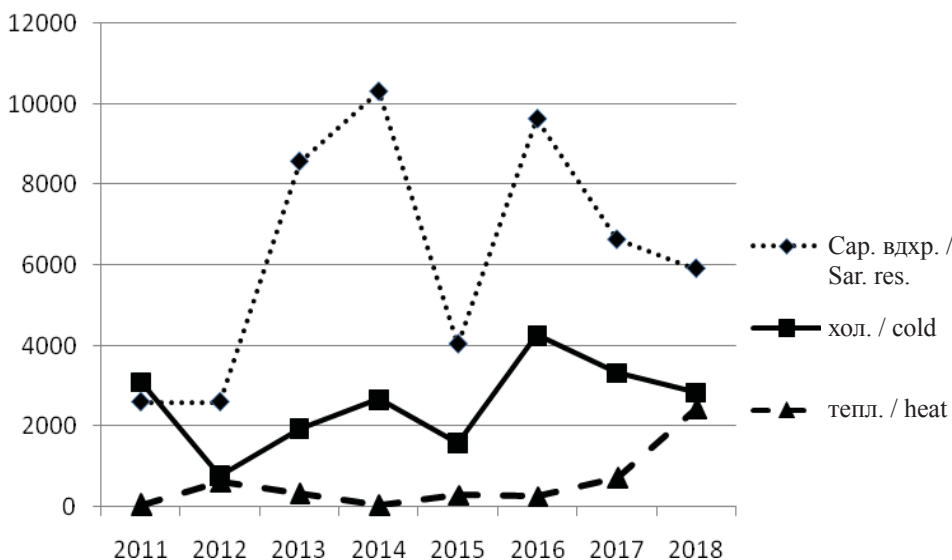


Рис. 5. Значения медианой численности (экз./м²) макрозообентоса тепловодной (тепл.), холодноводной (хол.) части в.-о. и прилегающего участка Саратовского водохранилища (Сар. вдхр.) за период исследования

Fig. 5. Values of the median number (ex./m²) of macrozoobenthos of heat-water (heat), cold-water (cold) parts reservoir-cooler of Balakovo NPP and the adjacent section of the Saratov reservoir (Sar. res.) during the study period

водоема-охладителя – 1.68 г/м² до 47.01 г/м². На прилегающем участке Саратовского водохранилища – 6.6–21.4 г/м² (рис. 6). При множественном сравнении медиан биомассы по критерию Фридмана отмечены достоверные отличия

($\chi^2 = 12.5$; $p < 0.002$). Достоверные отличия при попарных сравнениях по критерию Вилкоксона отмечены между тепловодной и холодноводной частями в.-о. ($Z = 2.52$; $p = 0.01$); тепловодной частью в.-о. и Саратовского вдхр. ($Z = 2.52$;

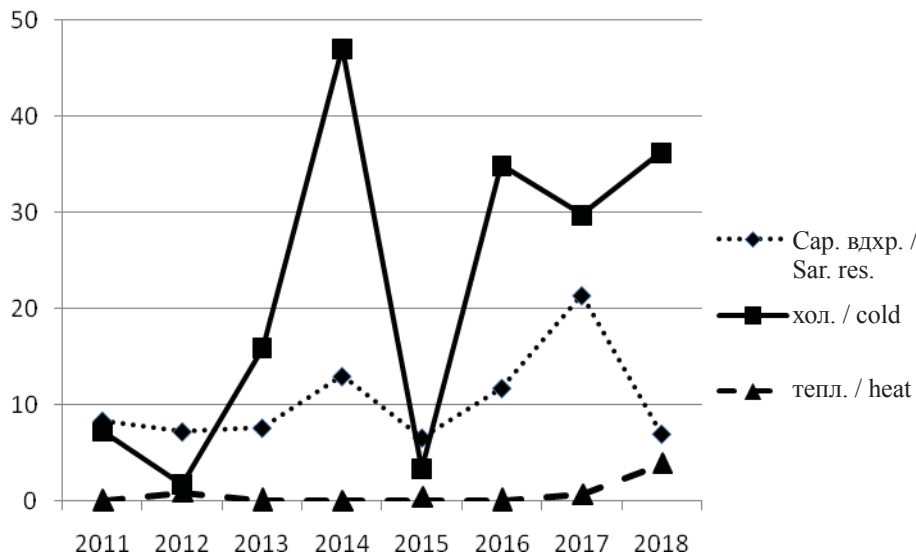


Рис. 6. Значения медианной биомассы ($\text{г}/\text{м}^2$) макрозообентоса тепловодной (тепл.), холодноводной (хол.) части в.-о. и прилегающего участка Саратовского водохранилища (Сар. вдхр.) за период исследования

Fig. 6. Values of median biomass (g/m^2) of macrozoobenthos of heat-water (heat), cold-water (cold) parts reservoir-cooler of Balakovo NPP and the adjacent section of the Saratov reservoir (Sar. res.) during the study period

$p = 0.01$). Статистически достоверного увеличения или снижения медиан биомассы макрозообентоса исследованных водоемов не обнаружено.

Индексы сапробности, рассчитанные на основании анализа макрозообентоса, для в.-о.

БАЛАЭС лежат в пределах 1.5–2.5. Для прилегающей к в.-о. части Саратовского водохранилища в большинстве случаев – в пределах 2.5–3.5 (рис. 7). При множественном сравнении индексов сапробности по критерию Фридмана отмечены

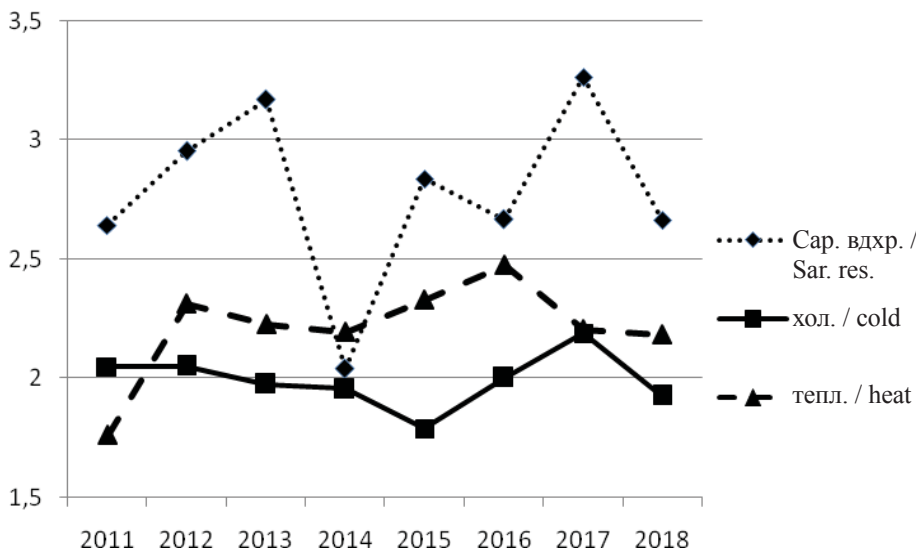


Рис. 7. Значения индексов сапробности по шкале Кольквитца – Марссона тепловодной (тепл.), холодноводной (хол.) части в.-о. и прилегающего участка Саратовского водохранилища (Сар. вдхр.) за период исследования

Fig. 7. The index values of saprobity on a scale Kolkwitz – Marsson heat-water (heat), cold-water (cold) parts reservoir-cooler of Balakovo NPP and the adjacent section of the Saratov reservoir (Sar. res.) during the study period



достоверные отличия ($\chi^2 = 12.5$; $p < 0.002$). Достоверные отличия при попарных сравнениях по критерию Вилкоксона отмечены между Саратовским вдхр. и в.-о. – тепловодной частью ($Z = 2.38$; $p = 0.02$) и холодноводной частью ($Z = 2.52$; $p = 0.01$). Статистически достоверного увеличения или снижения сапробности исследованных водоемов не обнаружено.

В макрозообентосе большинства водоемов-охладителей в России и сопредельных государствах по численности обычно доминируют хируномиды и олигохеты, а по биомассе – моллюски (дрейссена). В проточных водоемах сохраняется естественная для данного региона фауна, претерпевая некоторые изменения в связи с подогревом воды. В замкнутых водоемах при довольно специфических экологических условиях формируется своеобразный видовой состав макрозообентоса [2, 3]. Водоем-охладитель БАЛАЭС был образован из участка Саратовского водохранилища, поэтому формирование видового состава его происходило на основе видов, заселявших данную акваторию до строительства дамбы. В настоящее время возможность проникновения гомотопных компонентов бентоса в водоем-охладитель связана в основном с поступлением вод подпитки из устья р. Березовки (приток р. Волги).

В водоеме-охладителе БАЛАЭС существует выраженный градиент температур – есть проточные зоны с максимально высоким подогревом и относительно застойные зоны. Такое разнообразие условий обитания положительно сказывается на видовом богатстве донных беспозвоночных водоема-охладителя. На глубинах более 7 м грунты представлены илами, обеспечивающими почти бескислородные условия обитания для донных животных. Здесь отмечаются лишь единичные беспозвоночные. На меньших глубинах грунты представлены заиленным песком и на некотором удалении от водосброса дно водоема-охладителя покрыто сплошными скоплениями дрейссены. Данные сообщества, несмотря на очень высокую биомассу, имеют низкое видовое богатство.

На протяжении 8 лет мониторинговых исследований (2011–2018 гг.) в макрозообентосе в.-о. БАЛАЭС суммарно отмечается от 17 до 28 видов. Олигохеты – очень выносливая к подогреву группа животных. При сильном перегреве воды они исчезают из бентоса одними из последних [3]. *L. hoffmeisteri* широко распространена по всему в.-о. БАЛАЭС. Гаммариды встречаются в холодноводной части в.-о. БАЛАЭС, где *Dikerogammarus villosus* – доминант сообществ.

Такую особенность распространения гаммарид по водоему можно объяснить оксифильностью большинства встреченных нами видов [14].

Хируномиды – самая большая по числу видов группа зообентоса в.-о. БАЛАЭС. Число видов этой группы колеблется в течение последних лет, не претерпевая существенных изменений. Незначительные различия объяснимы биологическими особенностями развития этих гетеротопных насекомых. Отсутствие ряда видов в составе сообщества объясняется вылетом имагинальных стадий или нахождением личинок всей популяции в состоянии 1-го или 2-го возраста, когда они входят в состав другой размерной группировки – мейобентоса – и не могут быть собраны методами, предназначенными для анализа макрозообентоса [15]. В водоеме преобладают представители подсемейства Chironominae. Они достаточно устойчивы к высокому уровню теплового загрязнения, в то время как ортокладины представлены незначительным количеством преимущественно фитофильных видов. Холодолобивые диамезины в водоеме полностью отсутствуют.

Многолетние наблюдения показывают сохранение устойчивой тенденции низкого разнообразия моллюсков в бентосных сообществах водоема-охладителя, причем крайне малочисленны моллюски как брюхоногие, так и двустворчатые, представленные единичными особями. Исключения составляют *D. polymorpha* и *Theodoxus pallasi* (брюхоногий моллюск, недавно массово расселившийся в холодноводной части в.-о. БАЛАЭС). Дрейссена доминирует на холодноводных глубоководных станциях, где формирует сплошные скопления. Доминирует она почти во всех водоемах-охладителях [2]. Дрейссена хорошо переносит значительные антропогенные нагрузки, отфильтровывает большое количество органической и минеральной взвеси, непригодные в пищу остатки выделяет в виде псевдофекалий, которые служат пищей многим беспозвоночным. В этом плане дрейссене можно рассматривать как вид – эдификатор сообщества [16, 17]. Это обеспечивает достоверно более высокое богатство холодноводной части в.-о. БАЛАЭС в сравнении с тепловодной (см. рис. 2), где на макрозообентос оказывает негативное воздействие искусственное повышение температуры. Сравнение же количества видов, отмеченных в одной пробе, указывает на большее разнообразие водоема с естественным температурным режимом (исследованный участок Саратовского вдхр.) в сравнении с в.-о. БАЛАЭС (см. рис. 3).

С 2001 г. в в.-о. БАЛАЭС производится зарыбление белым амуром. В результате к 2011 г.



(начало этого цикла исследований) по всему водоему-охладителю отмечено почти полное исчезновение погруженной растительности [18]. Некоторые донные животные, отмеченные нами в бентосе в.-о. БАЛАЭС, по результатам исследований, проведенных до 2007 г., исчезли [5], поскольку некоторые стадии своего развития проходят в перифитоне. Сокращение зарастания водоема определило сокращение видового богатства бентоса к 2011 г. В 2014 г. зарыбление было прекращено в связи с отсутствием растительности и к 2018 г. стало наблюдаться некоторое восстановление погруженной растительности. Изменения отразились на количестве видов, отмеченных в макрозообентосе в.-о. БАЛАЭС. Нами была зафиксирована достоверная положительная динамика. Видовое богатство в.-о. БАЛАЭС определяется в первую очередь его менее подогреваемой холодноводной частью, поэтому отмечается достоверная положительная тенденция изменения количества видов как для в.-о. в целом, так и для его холодноводной части. В сильно подогреваемой тепловодной части в.-о. воздействие искусственного подогрева нивелирует эту тенденцию.

В бентосе исследованной части Саратовского вдхр. олигохеты и хирономиды занимают доминирующее положение. Статистически достоверного увеличения или снижения видового богатства с 2011 по 2018 г. не обнаружено (см. рис. 2).

Видовое разнообразие исследованных участков водоемов достоверно не отличается. Однако видовое разнообразие, выражаемое индексом Шеннона, холодноводной части в.-о. достоверно возросло в период исследования. Это также может свидетельствовать о восстановлении фитофильной группировки животных в.-о. БАЛАЭС, уничтоженной ранее белом амуром.

При повышении температуры на 5–6 °С по сравнению с фоновыми значениями в водоемах умеренных широт обилие макрозообентоса возрастает, а при еще более высокой температуре снижается [3]. Отбор проб макрозообентоса проводился в летний период и значения температур воды (до 35 °С) превышали критические значения для большинства туводных видов гидробионтов (29 °С). Наши данные подтверждают это. Медианы численности и биомассы макрозообентоса в холодноводной части водоема-охладителя достоверно выше, чем в тепловодной (см. рис. 5 и 6).

На основании рассчитанных индексов сапробности воды водоема-охладителя Балаковской АЭС можно охарактеризовать как β -мезосапробные (умеренно загрязненные, 3-й класс качества), прилегающего к водоему-охладите-

лю участка Саратовского водохранилища – как α -мезосапробные (загрязненные, 4-й класс качества). Сапробность в.-о. БАЛАЭС и Саратовского вдхр. на протяжении периода исследования достоверно не изменялась.

Выводы

1. За период исследования в составе макрозообентоса водоема-охладителя Балаковской АЭС отмечено 42 вида гидробионтов: олигохет – 4, мизид – 3, корофид – 1, гаммарид – 9, стрекоз – 1, хирономид – 19, мокрецов – 1, ручейников – 1, двустворчатых моллюсков – 2, брюхоногих моллюсков – 1.

2. Видовое богатство, численность и биомасса макрозообентоса сильно подогреваемой тепловодной части водоема-охладителя Балаковской АЭС достоверно ниже в сравнении с холодноводной.

3. Воды водоема-охладителя Балаковской АЭС можно охарактеризовать как β -мезосапробные (умеренно загрязненные, 3-й класс качества), прилегающего к водоему-охладителю участка Саратовского водохранилища – как α -мезосапробные (загрязненные, 4-й класс качества).

4. Статистически достоверного увеличения или снижения (с 2011 по 2018 г.) численности, биомассы макрозообентоса и сапробности исследованных водоемов не выявлено.

5. Обнаружено статистически достоверное увеличение количества видов макрозообентоса в водоеме-охладителе Балаковской АЭС в связи с тем, что к 2018 г. стало наблюдаться некоторое восстановление погруженной растительности (ранее уничтоженной белым амуром) и, соответственно, фитофильной группировки макрозообентоса.

Список литературы

1. Баканов А. И. Использование комбинированных индексов для мониторинга пресноводных водоемов по зообентосу // Водные ресурсы. 1999. Т. 26, № 1. С. 108–111.
2. Протасов А. А., Сергеева О. А., Кошелева С. И. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. Киев : Наук. думка, 1991. 192 с.
3. Протасов А. А., Силаева А. А. Контурные группировки гидробионтов в техноэкосистемах ТЭС и АЭС. Киев : Институт гидробиологии НАН Украины, 2012. 274 с.
4. Protasov A. A., Panasenko G. A., Babariga S. P. Biological Hindrances in Power Stations Exploitation, Their Typization and Main Hydrobiological of Control // Hydrobiol. Journ. 2009. Vol. 45, № 1. P. 32–46.



5. Воронин М. Ю., Ермохин М. В. Сообщества макрозообентоса в градиенте температуры водоема-охладителя Балаковской АЭС // Поволжский экол. журн. 2005. Спец. вып. С. 24–33.
6. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л. : ГосНИОРХ, 1983. 52 с.
7. Атлас беспозвоночных Каспийского моря. М. : Пищ. пром-ть, 1968. 415 с.
8. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 510 с.
9. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб. : Наука, Т. 1. Низшие беспозвоночные. 1994. 396 с.; Т. 2. Ракообразные. 1995. 628 с.; Т. 3. Паукообразные. Низшие насекомые. 1997. 444 с.; Т. 4. Высшие насекомые. Двукрылые. 1999. 1000 с.; Т. 5. Высшие насекомые. Ручейники. Чешуекрылые. Жесткокрылые. Сетчатокрылые. Большешкрылые. Перепончатокрылые. 2001. 840 с.; Т. 6. Моллюски. Полихеты. Немертины. 2004. 528 с.
10. Определитель фаун Черного и Азовского морей. Т. 2. Киев : Наук. думка, 1969. 536 с.
11. География и мониторинг биоразнообразия. М. : НУМЦ, 2002. 432 с.
12. Макрушин А. В. Библиографический указатель по теме «Биологический анализ качества вод» с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения. Л. : Изд-во ЗИН, 1974. 53 с.
13. Практическая гидробиология / под ред. В. Д. Федорова, В. И. Капкова. М. : ПИМ, 2006. 367 с.
14. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах. М. ; СПб. : КМК, 2004. 436 с.
15. Воронин М. Ю. Сроки вылета двух видов хирономид в водоеме-охладителе Балаковской АЭС // Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье. 2005. Вып. 4. С. 80.
16. Zhulidov A. V., Kozhara A. V., Scherbina G. H., Nalepa T. F., Protasov A. A., Afanasiev S. A., Pryanichnikova E. G., Zhulidov D. A., Gurtovaya T. Yu., Pavlov D. F. Invasion history, distribution, and relative abundances of *Dreissena bugensis* in the old world: a synthesis of data // Biol. Invasions. 2010. Vol. 12, № 7. P. 1923–1940.
17. Zhu B., Fitzgerald D. G., Mayer C. M., Rudstam L. G., Mills E. L. Alteration of Ecosystem Function by Zebra Mussels in Oneida Lake: Impacts on Submerged Macrophytes // Ecosystems. 2006. Vol. 9. P. 1017–1028.
18. Грищенко К. Г., Седова О. В., Воронин М. Ю., Ионова Е. А., Рязанов С. В. Современное состояние высшей водной растительности водоема-охладителя Балаковской АЭС под воздействием растительоядных рыб // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2016. Т. 16, вып. 2. С. 231–236. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-231-236

Образец для цитирования:

Воронин М. Ю. Многолетний мониторинг макрозообентоса водоема-охладителя Балаковской АЭС // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 4. С. 461–472. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-4-461-472>

Long-Term Monitoring of Macrozoobenthos in the Reservoir-Cooler of Balakovo NPP

M. Yu. Voronin

Maksim Yu. Voronin, <https://orcid.org/0000-0001-7992-4502>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, voroninmj@yandex.ru

For 8 years (2011–2018) macrozoobenthos samples were taken at the permanent stations in the reservoir-cooler of Balakovo NPP. Sampling stations were located in a highly heated part of the reservoir-cooler of the Balakovo NPP, and poorly heated part, in the adjacent water area of the Saratov reservoir. Differences were revealed: species richness and diversity; numbers and biomass; saprobity indices of the areas of these reservoirs; a positive or negative trend of long-term dynamics of the studied indicators macrozoobenthos. Over the study period the composition of benthic invertebrates of the reservoir-cooler of Balakovo NPP showed 42 species of aquatic organisms: Oligochaeta – 4, Mysidacea – 3, Corophiidae – 1, Gammaridea – 9, Odonata – 1, Chironomidae – 19, Ceratopogonidae – 1, Trichoptera – 1, Bivalvia – 2, Gastropoda – 1. The species richness, abundance and biomass of macrozoobenthos of the highly heated thermal water part of the cooling reservoir of the Balakovo NPP is significantly lower compared to the cold-water one.

The water reservoir-cooler of Balakovo NPP can be described as α -mesosaprobic (moderately polluted, the 3rd quality class). Adjacent to the reservoir-cooler an area of the Saratov reservoir can be described as α -mesosaprobic (contaminated, 4th class of quality). There was no statistically significant increase or decrease (from 2011 to 2018) in the number, or biomass of macrozoobenthos and saprobity of the studied reservoirs. A statistically significant increase in the number of macrozoobenthic species in the cooling reservoir of the Balakovo NPP was found. Due to the fact that by 2018, some restoration of submerged vegetation (previously depleted *Ctenopharyngodon idella*) and, accordingly, the phytophilic group of benthos began to be observed.

Key words: macrozoobenthos, reservoir-cooler of Balakovo NPP, biomonitoring.

References

1. Bakanov A. I. Use of combined indices for monitoring of freshwater reservoirs by zoobenthos. *Water resources*, 1999, vol. 26, no. 1, pp. 108–111 (in Russian).
2. Protasov A. A., Sergeeva O. A., Kosheleva S. I. *Gidrobiologiya vodoemov-ohladiatelye teplovih i atomnih elektrostancii Ukraini* [Hydrobiology of cooling water bodies of thermal and nuclear power plants of Ukraine]. Kyiv, Nauk. dumka Publ., 1991. 192 p. (in Russian).



3. Protasov A. A., Silaeva A. A. *Konturnie gruppировки gidrobiontov v tehnocoosistemah TES i AES* [Marginal groups of hydrobionts in the techno-ecosystems of thermal and nuclear power plants]. Kyiv, Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine, 2012. 274 p.
4. Protasov A. A., Panasenko G. A., Babariga S. P. Biological Hindrances in Power Stations Exploitation, Their Typization and Main Hydrobiological of Control. *Hydrobiol. J.*, 2009, vol. 45, no. 1, pp. 32–46.
5. Voronin M. Yu., Yermokhin M. V. Macrozoobenthos communities in the temperature gradient of the reservoir-cooler of Balakovo NPP. *Volga Region Journal of Ecology*, 2005, special iss., pp. 24–33 (in Russian).
6. *Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniakh na presnovodnykh vodoemakh. Zoobentos i ego produktsia* [Guidelines for the collection and processing of materials in hydrobiological studies in freshwater bodies. Zoobenthos and its products]. Leningrad, GosNIORH Publ., 1983. 52 p. (in Russian).
7. *Atlas bespozvonochnikh Kaspiyskogo morya* [Atlas of invertebrates of the Caspian sea]. Moscow, Pisch. Promst' Publ., 1968. 415 p. (in Russian).
8. *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Evropeyskoy chasti SSSR* [The determinant of freshwater invertebrates of the European part of the USSR]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1977. 510 p. (in Russian).
9. *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territoriy* [The key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent territories]. St. Petersburg, Nauka Publ., Vol. 1. *Nizshiy bespozvonochnyye* [Lower invertebrates]. 1994. 396 p.; Vol. 2. *Rakoobraznyye* [Crustaceans]. 1995. 628 p.; Vol. 3. *Paukoobraznyye. Nizshiy nasekomye* [Arachnida. Lower insects]. 1997. 444 p.; Vol. 4. *Vysshiy nasekomye. Dvukrylyye* [Higher insects. Dipterous]. 1999. 1000 p.; Vol. 5. *Vysshiy nasekomye. Rucheyniki. Cheshchekrylyye. Zhestkokrylyye. Setchatokrylyye. Bol'shekrylyye. Pereponchatokrylyye* [Higher insects. Brooks. Lepidoptera. Coleoptera. Net wings. Bolshegrudy. Hymenoptera]. 2001. 840 p.; Vol. 6. *Mollyuski. Polikhety. Nemertiny* [Mollusca. Polychaetes. Nemertea]. 2004. 528 p. (in Russian).
10. *Opredelitel' faun Chernogo i Azovskogo morey* [The determinant of the fauna of the black and Azov seas]. Vol. 2. Kiev. : Nauk. dumka Publ., 1969. 536 p.
11. *Geografiya i monitoring bioraznoobraziya* [Geography and biodiversity monitoring]. Moscow, NUMTS, 2002. 432 p. (in Russian).
12. Makrushin A. V. *Bibliograficheskiy ukazatel' po teme «Biologicheskii analiz kachestva vod» s prilozheniyem spiska organizmov-indikatorov zagryazneniya* [Bibliographic index on “Biological analysis of water quality” with a list of organisms-indicators of pollution]. Leningrad, Izd-vo ZIN, 1974. 53 p. (in Russian).
13. *Prakticheskaya gidrobiologiya* [Practical Hydrobiology]. Ed. by V. D. Fedorov, V. I. Kapkov. Moscow, PIM Publ., 2006 367 p. (in Russian).
14. *Biologicheskiiye invazii v vodnykh i nazemnykh ekosistemakh* [Biological invasions in aquatic and terrestrial ecosystems]. Moscow, St. Petersburg, KMC Publ., 2004. 436 p. (in Russian).
15. Voronin M. Yu. The timing of the departure of two chironomid species in the reservoir-cooler of Balakovo NPP. *Entomological and Parasitological Investigations in Volga Region*, 2005, iss. 4, pp. 80 (in Russian).
16. Zhulidov A. V., Kozhara A. V., Scherbina G. H., Nalepa T. F., Protasov A. A., Afanasiev S. A., Pryanichnikova E. G., Zhulidov D. A., Gurtovaya T. Yu., Pavlov D. F. Invasion history, distribution, and relative abundances of *Dreissena bugensis* in the old world: a synthesis of data. *Biol. Invasions*, 2010, vol. 12, no. 7, pp. 1923–1940 (in Russian).
17. Zhu B., Fitzgerald D. G., Mayer C. M., Rudstam L. G., Mills E. L. Alteration of Ecosystem Function by Zebra Mussels in Oneida Lake: Impacts on Submerged Macrophytes. *Ecosystems*, 2006, vol. 9, pp. 1017–1028.
18. Grishchenko K. G., Sedova O. V., Voronin M. Yu., Ionova E. A., Ryazanov S. V. The current state of the higher aquatic vegetation of the cooling reservoir of the Balakovo NPP under the influence of herbivorous fish. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2016, vol. 16, iss. 2, pp. 231–236 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-231-236

Cite this article as:

Voronin M. Yu. Long-Term Monitoring of Macrozoobenthos in the Reservoir-Cooler of Balakovo NPP. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 4, pp. 461–472 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-4-461-472>
