

УДК 574.587
DOI: 10.7868/S25000640200408

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА ПРИПЛОТИННОГО УЧАСТКА ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2018–2019 гг.

© 2020 г. Н.И. Булышева¹, В.Л. Сёмин²

Аннотация. Рассмотрено влияние на донные сообщества Приплотинного плеса Цимлянского водохранилища экстремального паводка 2018 г., произошедшего на фоне длительного периода маловодья. В ходе исследований в количественных пробах было выявлено 25 таксонов макрозообентоса, в том числе весной 2018 г. – 23, весной 2019 г. – 11, осенью 2019 г. – 13. В 2019 г. отмечено значительное обеднение количественных и качественных показателей макрозообентоса по сравнению с 2018 г. Относительно стабильным оставалось только сообщество *Dreissena polymorpha*, однако и оно достигло значений, сравнимых с таковыми весной 2018 г., лишь к сентябрю 2019 г. На остальных станциях, не занятых сообществом *D. polymorpha*, даже к сентябрю донные сообщества были обеднены как по количеству видов, так и по численности/биомассе. Можно предположить, что снижение количественных показателей и обеднение донных сообществ, отмеченное в 2019 г., явилось последствием половодья 2018 г. и связано со сносом беспозвоночных с поверхности грунтов, размывом верхнего слоя грунта и переотложением донных осадков.

Ключевые слова: Цимлянское водохранилище, макрозообентос, пелофильное сообщество, численность, биомасса.

SPECIFIC FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF MACROZOOBENTHOS IN THE DAM WATER AREA OF THE TSIMLYANSK RESERVOIR IN 2018–2019

N.I. Bulysheva¹, V.L. Syomin²

Abstract. An attempt was made to assess the impact of the extreme flood in 2018, which occurred after a long period of low water, on the bottom communities of the Priplotinny reach of the Tsimlyansk Reservoir. During the study period, 25 macrozoobenthos taxa were identified in quantitative samples. These included 23 taxa in spring 2018, 11 in spring 2019, and 13 in autumn 2019. In 2019, a significant decrease of quantitative and qualitative characteristics of macrozoobenthos was noted compared to 2018. Only the *Dreissena polymorpha* community remained relatively stable; however, its characteristics reached values comparable to the spring 2018 only by September 2019. At the other stations, not occupied by *D. polymorpha*, benthic communities were depleted in terms of both the number of species and the abundance/biomass even by September 2019. It can be assumed that the decrease in quantitative characteristics and the depletion of bottom communities, noted in 2019, is a consequence of the 2018 flood. It could be a result of washing of invertebrates off the soil surface, erosion of the upper layer and redeposition of bottom sediments.

Keywords: Tsimlyansk Reservoir, macrozoobenthos, pelophilic community, abundance, biomass.

¹ Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: bulysheva@ssc-ras.ru

² Институт океанологии имени П.П. Шишова Российской академии наук (P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences), Российская Федерация, 117997, г. Москва, Нахимовский пр., 36, e-mail: svinovod@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

Цимлянское водохранилище – один из крупнейших искусственных водоемов юга европейской части России, важнейший элемент природно-технической системы бассейна Нижнего Дона, который является областью конфликта интересов различных отраслей экономики, связанных с водопользованием и водопотреблением.

Известно, что при формировании водохранилищ замедляется течение, что приводит к аккумуляции значительного количества биогенных и органических веществ, изменяются температурный и световой режимы [1]. Не стало исключением и Цимлянское водохранилище. Начиная с первых лет существования в водоеме активно проходили процессы абразии, что вместе с зарегулированием Дона привело к появлению обширных заиленных площадей, обусловивших специфику развития водных сообществ [2].

Водоем традиционно подразделяется на четыре плеса, отличающихся своими морфометрическими, гидрологическими и промыслово-биологическими особенностями. Приплотинный плес – наиболее глубоководная часть Цимлянского водохранилища, изрезанная балками и заливами. Его акватория является районом аккумуляции продуктов абразии берегов и дна, при этом участок, прилегающий к плотине, характеризуется наибольшими темпами осадконакопления. Основным источником седиментационного материала являются размываемые берега от г. Цимлянска до ст. Хорошевой и мелководье у южного берега площадью 100 км² [3]. Помимо заиливания на структуру и показатели сообществ гидробионтов оказывают влияние постоянные колебания уровня режима, а также гипоксия и аноксия, периодически наблюдающиеся в водохранилище из-за «цветения» микроводорослей, последствия которого иногда носят катастрофический характер [3; 4]. Так, в октябре 2009 г. на водохранилище сложилась чрезвычайная ситуация: вспышка численности фитопланктона в сочетании с гидрометеорологическими условиями (высокая температура воды и продолжительные восточные ветры) привела к тому, что фильтры волгодонского водозабора забились водорослями, главным образом, цианопрокариотами, подача воды в город была остановлена на трое суток [3].

Дефицит водных ресурсов в бассейне Дона, наблюдающийся на протяжении последних десяти-

летий, возникший вследствие сокращения водного стока, обострил все проблемы водохозяйственного комплекса данной территории [5–8]. Многолетнее экстенсивное использование Цимлянского водохранилища и длительный период низкой водности привели к понижению его уровня, превращению более глубоководных участков в мелководные и стали причиной трансформации экосистемы [9]. Проблема низкого уровня воды водохранилища, его влияние на все звенья гидрозкоосистемы активно изучается специалистами, опубликован ряд работ, посвященных оценке состояния сообществ фитопланктона, зообентоса и ихтиофауны в период маловодья [4; 7; 10 и др.].

В 2018 г. на фоне длительного периода маловодья был зарегистрирован эпизод экстремального половодья [11]. Цимлянское водохранилище вследствие высокого притока оказалось заполнено до отметок, близких к нормальному подпорному уровню максимальный уровень был достигнут с 30 мая по 3 июня 2018 г. и составил 35,91 м при нормальном подпорном уровне 36,0 м [12]. Избыток воды от весеннего паводка привел к аварийным попускам воды в конце апреля – начале мая 2018 г. [11]. Эти явления могли оказать воздействие на донные и пелагические сообщества Цимлянского водохранилища. Тем не менее последствия экстремального паводка 2018 г. для водных биоценозов водохранилища пока недостаточно изучены (в работе [13] дана оценка состояния сообщества фитопланктона), поэтому в данной статье сделана попытка проанализировать состояние донных сообществ Цимлянского водохранилища в 2018–2019 гг. Понимание механизмов влияния паводковых явлений на макрозообентос необходимо для прогнозирования возможных изменений в сообществах донных беспозвоночных этого водоема в многоводные годы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отбор количественных проб проводили в соответствии со стандартными гидробиологическими методиками в 3-кратной повторности [14]: весной 2018 г. – модифицированным дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0,034 м²; весной и осенью 2019 г. – модифицированным дночерпателем ван Вина с площадью захвата 0,028 м². Особое внимание было уделено изучению донных сообществ Приплотинного плеса. Карта-схема отбора проб приведена на рисунке 1.

Для более полного учета видового состава водоема применяли ручной сбор (качественные пробы). Для сравнения показателей макрозообентоса были использованы данные Южного научного центра Российской академии наук (ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия), полученные в ходе экспедиции в ноябре 2011 г. (период маловодья). Отбор проб проводили дночерпателем Петерсена в прибрежной зоне на глубинах до 1 м. Некоторые результаты съемки 2011 г. опубликованы в работе [15]. Необходимо отметить, что в 2011 г. уровень воды в половодье был ниже отметки 35 м по Балтийской системе высот, то есть водохранилище не заполнялось, площадь водного зеркала сократилась, в осенне-зимний период наблюдались значительные зоны осушки [4; 15].

Определение видового состава, подсчет численности и биомассы проводили в лабораторных условиях.

Статистический анализ проводили в программе PRIMER 6.1.16 с расширением PERMANOVA+ 1.0.6 [16; 17]. Данные по численности и биомассе предварительно лог-трансформировали. Для расчета матриц сходства/дистанций использовали индекс Брея – Кёртиса (по численности и биомассе) и таксономический индекс Theta+, рассчитываемый по присутствию/отсутствию видов и учитывающий таксономические отношения между ними. Ординацию проводили методом главных координат (Primary Coordinates, PCO) и dbRDA (Distance-Based Redundancy Analyses). Достоверность группировок проверяли методами ANOSIM (Analyses of Similarity) и PERMANOVA (Permutational Analyses of Variance). Перцепционный анализ проводили методом DistLM (Distance-Based Linear Models) для численности, биомассы и таксономической структуры (таксономический индекс Theta+); он включал следующие абиотические факторы: географические координаты (как мера расположения станции относительно верхней части водохранилища/плотины), глубина, температура, прозрачность воды, pH, содержание растворенного кислорода и тип грунта. Факторы предварительно нормализовали. Для расчета индексов биоразнообразия (число видов на 100 экз. ES (100), индекс Маргалефа d, выравнивание по Пиелу J', индекс Шеннона H'(log_e), индекс Симпсона (обратная величина) 1-Lambda, таксономическое разнообразие Delta, средняя таксономическая обособленность Delta*) применяли процедуру DIVERSE.

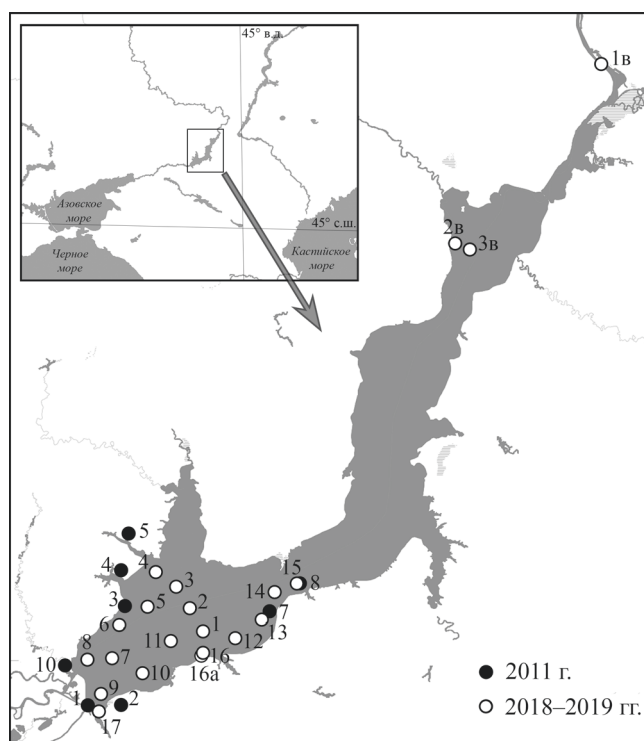


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб.
Fig. 1. Location map of sampling stations.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как в 2018, так и в 2019 г. на большинстве станций были отмечены илистые грунты с примесью раковинного материала и детрита (кроме станций 8 и 9, где донные осадки представлены раковинным материалом – преимущественно створками рода *Dreissena* van Beneden, 1835, и станции 10 – друзья *Dreissena*).

В ходе исследований в количественных пробах было выявлено 25 таксонов макрозообентоса, в том числе весной 2018 г. – 23, весной 2019 г. – 11, осенью 2019 г. – 13 (табл. 1). Кроме того, при ручном сборе были отмечены *Cordylophora caspia*, Pallas 1771 (Hydrozoa), *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897) (Bivalvia), *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) (Gastropoda), *Pterocuma sowinskyi* (Sars, 1894) (Malacostraca).

В течение всего периода исследований наибольшую встречаемость, в несколько раз превосходящую таковую остальных таксонов, имели *Limnodrilus* cf. *hoffmeisteri* и *Chironomus* aff. *plumosus*. В 2018 г. эти виды были зарегистрированы соответственно на 100 и 81 % станций. Весной 2019 г. оба таксона были отмечены на 88 % станций; осенью 2019 г. их встречаемость составила для

Таблица 1. Таксономический состав макрозообентоса обследуемого участка (по данным количественных проб)
Table 1. Taxonomic composition of macrozoobenthos of the surveyed area (according to quantitative samples)

Таксон Taxon	2018 Весна / Spring	2019 Весна / Spring	2019 Осень / Autumn
Nematoda	+	+	+
Polychaeta			
<i>Hypania invalida</i> (Grube, 1860)	+		
Clitellata			
Tubificidae sp. (<i>Limnodrilus</i> cf. <i>hoffmeisteri</i> Claparède, 1862 (?))	+	+	+
<i>Helobdella stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
<i>Erpobdella octoculata</i> (Linnaeus, 1758)	+		+
Bivalvia			
<i>Sphaerium corneum</i> (Linnaeus, 1758)	+		
<i>Sphaerium rivicola</i> (Lamarck, 1818)	+	+	
<i>Pisidium amnicum</i> (O.F. Müller, 1774)	+		
<i>Monodacna colorata</i> (Eichwald, 1829)	+	+	+
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	+	+	+
Gastropoda			
<i>Theodoxus fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)	+		+
<i>Valvata piscinalis</i> (O.F. Müller, 1774)	+		+
<i>Viviparus viviparus</i> (Linnaeus, 1758)	+		
<i>Bithynia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
<i>Anisus spirorbis</i> (Linnaeus, 1758)			+
<i>Acroloxus lacustris</i> (Linnaeus, 1758)			+
Malacostraca			
<i>Pterocuma pectinata</i> (Sowinsky, 1893)	+	+	
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i> (Eichwald, 1841)	+	+	+
<i>Echinogammarus ischnus</i> (Stebbing, 1899)	+		
<i>Paramysis lacustris</i> (Czerniavsky, 1882)	+		
<i>Corophium volutator</i> (Pallas, 1766)	+	+	
Insecta			
<i>Bezzia</i> sp.	+		
Chironomidae (куколки / chrysalis)	+		
<i>Chironomus</i> aff. <i>plumosus</i>	+	+	+
<i>Procladius</i> sp.	+		

L. cf. hoffmeisteri 88 %, для *C. aff. plumosus* 63 %. Количество видов по станциям показано в таблице 2.

Донная фауна обследованных участков Цимлянского водохранилища относилась к двум фаунистическим комплексам: пресноводному (насекомые, олигохеты, ряд моллюсков родов *Lytnaеа* (Lamarck, 1799) *Viviparus* Montfort, 1810 и др.) и реликтовому, представленному понтокаспийскими видами (*Cordylophora caspia*, *Dreissena polymorpha*, *Monodacna colorata*, многие ракообразные и др.).

По данным ЮНЦ РАН, осенью 2011 г. на прибрежных станциях было зарегистрировано 9 видов донных беспозвоночных, в том числе *Anodonta cygnea* (Linnaeus, 1758), *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758) и *Lithoglyphus naticoides* (C. Pfeiffer, 1828), не отмеченные в количествен-

ных пробах в 2018–2019 гг. (тем не менее эти виды были зафиксированы в качественных пробах). В 2011 г. в пробах не были выявлены ракообразные.

Согласно опубликованным данным, в районе сброса воды в Приплотинный плес из водоема-охладителя Ростовской АЭС в ходе регулярного мониторинга в 2010–2016 гг. было отмечено 32 таксона донных беспозвоночных, в том числе олигохет – 6 видов, личинок хирономид – 6, высших ракообразных – 8, полихет – 2, моллюсков – 6, прочих (ручейники и пиявки) – 4 [18]. Различия с данными, полученными в наших исследованиях, вполне объяснимы: в работе [18] приведены результаты многолетних исследований (съёмки в течение года проводились систематически), для олигохет и личинок хирономид указана видовая принадлежность.

Таблица 2. Распределение индексов биоразнообразия по станциям

Table 2. Distribution of biodiversity indices by stations

Сезон Season	№ станции Station number	S	ES (100)	d	J'	H' (log _e)	1-Lambda'	Delta	Delta*
Май 2019 May 2019	1B	2	2,0	0,117	0,928	0,6429	0,4507	45,1	100,0
	2B	4	3,4	0,361	0,296	0,4098	0,1914	19,1	99,8
	2	0	0	—	—	—	—	—	—
	3	3	2,4	0,251	0,121	0,1329	0,0485	4,8	100,0
	4	1	1	—	—	—	—	—	—
	5	3	2,8	0,259	0,488	0,5364	0,3102	31,0	100,0
	10	6	5,2	0,588	0,613	1,0981	0,5910	56,9	96,3
Сентябрь 2019 September 2019	16	3	2,9	0,282	0,241	0,2645	0,1125	11,2	99,5
	1B	2	2,0	0,153	0,629	0,4362	0,2663	26,6	100,0
	2B	3	3,0	0,354	0,670	0,7356	0,4077	40,8	100,0
	2	3	2,9	0,273	0,657	0,7223	0,4595	45,7	99,5
	3	3	3,0	0,248	0,734	0,8069	0,5216	52,2	100,0
	4	2	2,0	0,114	0,704	0,4877	0,3091	30,9	100,0
	5	2	2,0	0,126	0,469	0,3251	0,1801	18,0	100,0
Май 2018 May 2018	10	11	9,2	1,097	0,534	1,2809	0,5275	46,8	88,8
	16	3	2,8	0,255	0,575	0,6315	0,3956	39,6	100,0
	1B	2	1,5	0,102	0,065	0,0447	0,0151	1,5	100,0
	2B	3	1,6	0,217	0,041	0,0452	0,0134	1,3	100,0
	3B	2	1,8	0,112	0,127	0,0880	0,0343	3,4	100,0
	1	4	3,4	0,363	0,313	0,4332	0,2070	20,7	100,0
	3	0	0	—	—	—	—	—	—
Май 2018 May 2018	4	6	4,7	0,594	0,227	0,4068	0,1569	15,4	98,3
	5	3	2,5	0,228	0,128	0,1406	0,0521	5,2	99,6
	8	1	1	—	—	—	—	—	—
	9	9	6,5	0,827	0,564	1,2387	0,6011	59,3	98,6
	10	7	4,4	0,607	0,319	0,6206	0,3111	30,7	98,8
	12	9	4,8	0,876	0,153	0,3369	0,1144	11,2	97,7
	16	6	3,5	0,508	0,126	0,2249	0,0780	7,8	99,7
	17	8	4,7	0,797	0,156	0,3253	0,1118	10,7	95,3
	18	8	8,0	1,207	0,874	1,8182	0,8031	73,6	91,6
	19	4	3,2	0,330	0,396	0,5490	0,3048	29,3	96,3
	20д	2	2,0	0,254	0,918	0,6365	0,4533	45,3	100,0
	21д	1	1	—	—	—	—	—	—
Ноябрь 2011 November 2011	2	0	0	—	—	—	—	—	—
	3	3	3,0	0,328	0,625	0,6871	0,3796	38,0	100,0
	4	5	4,2	0,495	0,529	0,8514	0,5114	51,1	99,9
	5	3	2,5	0,204	0,529	0,5809	0,3648	36,3	99,5
	7	2	2,0	0,146	0,826	0,5723	0,3845	38,5	100,0
	8	2	2,0	0,237	1,000	0,6931	0,5075	50,7	100,0
	10	2	2,0	0,164	0,621	0,4305	0,2619	26,2	100,0

Примечание. Классические показатели: S – число видов; ES (100) – число видов на 100 экз.; d – индекс Маргалефа, J' – выравненность по Пielou; H' (log_e) – индекс Шеннона; 1-Lambda – индекс Симпсона (обратная величина). Таксономическое разнообразие: Delta – таксономическое разнообразие; Delta* – средняя таксономическая обособленность. (–) – не определено (организмы отсутствуют или представлены одним видом).

Note. Classic indicators: S – number of species; ES (100) – number of species per 100 specimens; d – Margalef index, J' – Pielou Index; H' (log_e) – Shannon Index; 1-Lambda – Simpson Index. Taxonomic richness: Delta – taxonomic diversity; Delta* – average taxonomic distinctness. (–) – not determined (organisms are absent or represented by one species).

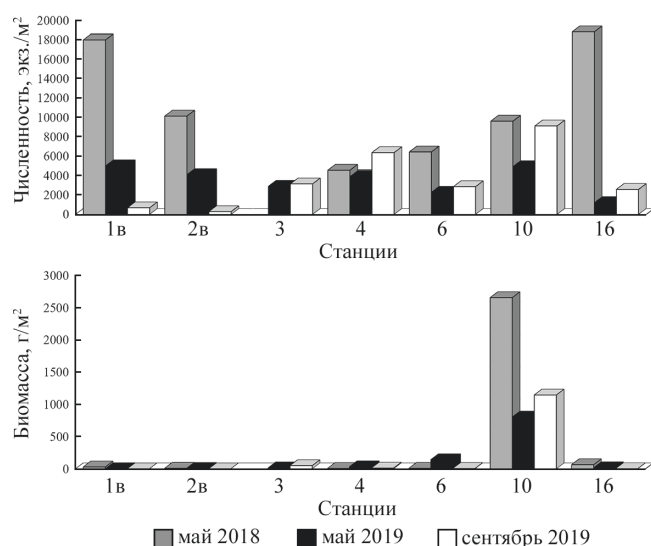


Рис. 2. Распределение численности и биомассы макрозообентоса по станциям.

Fig. 2. Distribution of the abundance and biomass of macrozoobenthos by stations.

В мае 2018 г. биомасса колебалась по станциям от 0,1 (станция 8) до 2651,83 (станция 10) г/м², плотность – от 51 (станция 20д) до 18810 (станция 16) экз./м². В мае 2019 г. показатели биомассы варьировали по станциям от 3,367 (станция 1В) до 803,93 (станция 10) г/м², плотности – от 1214 (станция 16) до 5000 (станция 1В) экз./м². В сентябре 2019 г. наименьшие показатели биомассы плотности отмечены на станции 2В – 0,14 г/м² и 286 экз./м², наибольшие на станции 10 – 1144 г/м² и 9107 экз./м².

На рисунке 2 представлена динамика количественных показателей на станциях, где отбор проб осуществляли во все сроки исследований. Как видно из данного графика, численность и биомасса как в весенний, так и в осенний период 2019 г. была ниже, чем весной 2018 г. Наибольшая биомасса как в 2018, так и в 2019 г. была отмечена на станции 10, приуроченной к дрейссеновой банке, где основным вклад вносили моллюски *Dreissena polymorpha* и *Monodacna colorata*.

В ноябре 2011 г. биомасса организмов макрозообентоса колебалась от 0 (станция 3) до 5059,27 (станция 4) г/м². Ее высокие значения были обусловлены наличием в пробах крупных особей двустворчатых моллюсков *Anodonta cygnea* и *Unio pictorum* (до 95 % от суммарной биомассы на станции). Плотность поселения макрозообентоса также была неоднородна и колебалась от 0 (станция 3) до 74686 (станция 5) экз./м² [15]. Максимальные

значения количественных показателей, отмеченные в 2011 г., были выше, чем в 2018 и 2019 гг.

Средние показатели зообентоса по обследованному участку в 2018 г. также были выше, чем в 2019 г. Так, биомасса весной 2018 г. составила 253,54 г/м², весной 2019 г. – 127,5 г/м², осенью 2019 г. – 153,9 г/м²; средняя численность весной 2018 г. – 8159 экз./м²; весной 2019 г. – 3040 экз./м², осенью 2019 г. – 3313 экз./м². В 2011 г. средняя биомасса (649 г/м²) была выше в 2,5 раза, чем в 2018 г., из-за наличия в пробах крупных двустворчатых моллюсков, показатели численности 2011 г. (9934 экз./м²) незначительно превышали таковые 2018 г. Однако следует иметь в виду несовпадение сеток станций (в 2011 г. работы проводили только на мелководе).

Оценка распределения показателей макробентоса и индексов биоразнообразия (кроме Delta*, см. ниже) по акватории водохранилища во всех съемках показала общее повышение всех анализируемых параметров при продвижении от верхней части водохранилища к плотине. Это объясняется в первую очередь тем, что именно к Приплотинному плесу приурочено сообщество *Dreissena polymorpha*, характеризовавшееся наибольшим числом видов и высокой продуктивностью. Кроме того, в нижней части водохранилища представлены наиболее разнообразные грунты. В таблице 2 показано распределение количественных характеристик и индексов биоразнообразия по станциям весной 2018 г., весной и осенью 2019 г. В качестве сравнительного материала использованы данные, полученные осенью 2011 г.

В 2019 г. наблюдалось значительное обеднение перечисленных параметров по сравнению с 2018 г. Относительно стабильным оставалось только сообщество дрейссены, однако и оно достигло показателей, сравнимых с таковыми весной 2018 г., к сентябрю 2019 г. На остальных же станциях даже к сентябрю донные сообщества были обеднены как по количеству видов, так и по численности/биомассе. В то же время таксономическое разнообразие Delta в сентябре 2019 г. выросло по сравнению как с весной 2019, так и с 2018 г., что обусловлено отсутствием в этой съемке станций с одним видом или полным отсутствием макрозообентоса.

Средняя таксономическая обособленность Delta* на всех станциях и во всех съемках принимала значения, близкие к 100, что обусловлено отсутствием в пробах близких видов – каждый таксон высшего ранга (класс или даже тип) был представ-

лен в пробе лишь одним видом, только на дрейссеновой банке значения этого показателя снижались: здесь минимальная таксономическая дистанция между видами была уже на уровне не класса/типа, а семейства/отряда. Таким образом, в Цимлянском водохранилище только дрейссеновые банки представляют собой биотоп с разнообразными экологическими нишами, позволяющий сосуществовать нескольким (относительно) близким видам, в отличие от большей части акватории как на илистых донных осадках, так и на песчаных, где условия не допускают дифференцированного использования ресурсов.

Тем не менее отсутствие статистически достоверных различий между съемками показывает, что все изменения таксономического состава происходили в пределах единого пула видов; вариация количественных показателей также перекрывалась, различаясь только диапазоном (рис. 3), а различия в видовом богатстве были обусловлены главным образом редкими таксонами.

Анализ характера распределения таксонов, как визуальный, так и PCO, позволяет выделить три группы видов, последняя из которых содержит две подгруппы (рис. 4). Первая группа включает двух доминантов сообщества илистых грунтов: личинок хирономид (*Chironomus* aff. *plumosus*) и тубифицид (*Limnodrilus* cf. *hoffmeisteri*). Они являлись наиболее распространенными в акватории и достаточно многочисленными, особенно тубифициды (соответственно 391 ± 546 и 2067 ± 1470), но биомасса их была относительно невысокой на всех станциях (доли грамма – несколько граммов на м²). Вторая группа включает два вида двустворчатых моллюсков, соответственно доминанта и субдоминанта сообщества дрейссеновой банки: *Dreissena polymorpha* и *Monodacna colorata*. Эти виды единично встречаются и на смешанных грунтах, но на банке достигают на один-два порядка более высокой биомассы (соответственно $100,5 \pm 279,2$ и $26,3 \pm 54,7$ г/м²); первый является эдификатором сообщества. Третья группа содержит второстепенные и редкие виды; при этом в первую подгруппу попадают два вида гастропод, приуроченных к сообществу дрейссеновой банки (*Bithynia tentaculata*, *Anisus spirorbis*), а остальные виды формируют подгруппу случайных таксонов, для которых не выявлена приуроченность к конкретному биотопу.

В регрессионном анализе после исключения недостоверных факторов остались только координаты, прозрачность и тип грунта. Наиболее

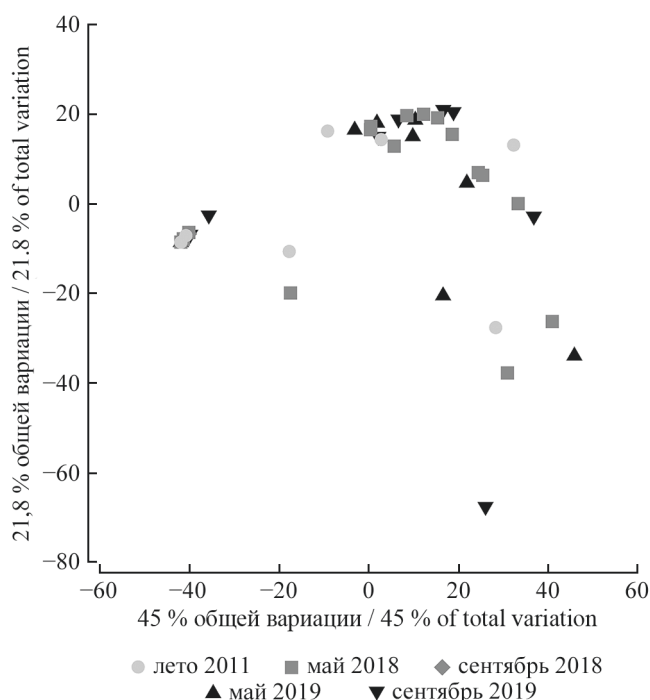


Рис. 3. Ординация станций 2011, 2018 и 2019 гг. по биомассе методом PCO.

Fig. 3. Ordination of stations 2011, 2018 and 2019 by biomass according to Principal Coordinates method.

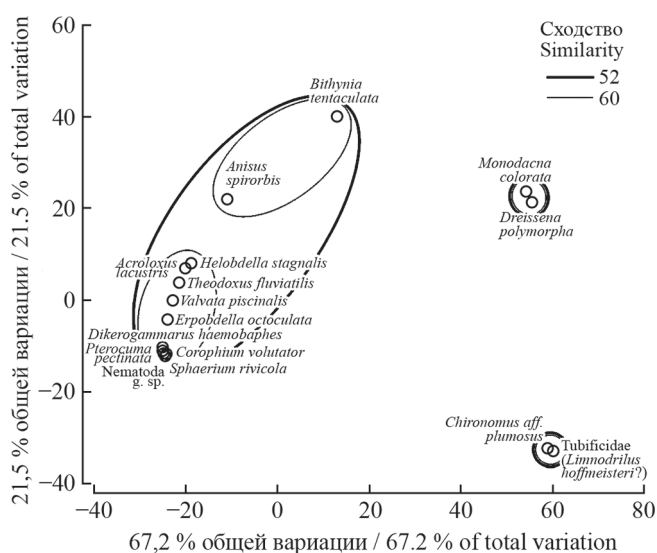


Рис. 4. Ординация видов по биомассе методом PCO.

Fig. 4. Ordination of species by biomass according to Principal Coordinates method.

четкие результаты получились с использованием биомассы. Тип грунта был наиболее достоверным фактором. В маргинальных тестах его *P* составило 0,001 по всем показателям, так же, как и в последовательных по численности и биомассе. Доля объясненной вариации при этом составила соответственно 29 и 36 %. При анализе таксономической

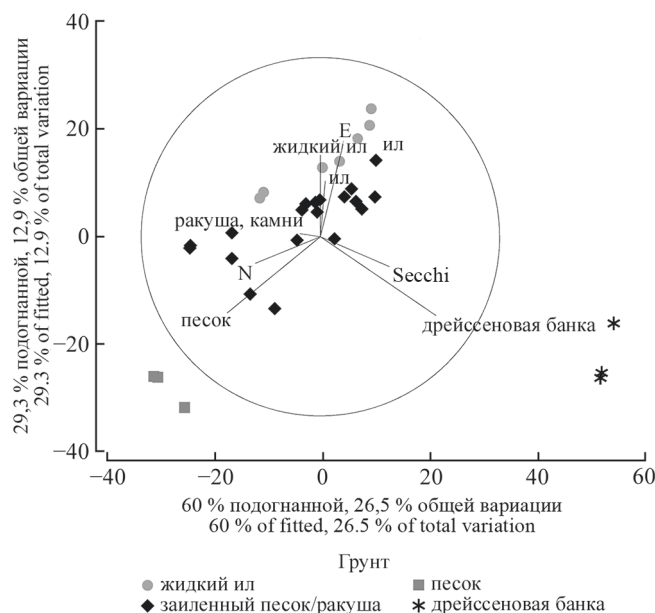


Рис. 5. Результаты DistLM-анализа влияния абиотических факторов на распределение зообентоса по станциям (ординация методом dbRDA). Обозначения факторов: N – широта, E – долгота, Secchi – прозрачность по диску Секки.

Fig. 5. Results of the DistLM analysis of the influence of abiotic factors on the distribution of zoobenthos by stations (ordination by the dbRDA method). Factor notation: N – latitude, E – longitude, Sekki – transparency on the Secchi disk.

структуры влияние этого фактора было несколько менее достоверно ($P = 0,002... 0,003$), доля объясненной вариации 29 %. Ординация результатов методом dbRDA выявила группировку именно по типу грунта (рис. 5). Выделились три группы станций – дрейссеновая банка, песок, заиленные грунты. При этом внутри группы заиленных грунтов можно вычленить две подгруппы: жидкие илы с наиболее бедной фауной, приуроченные к наибольшим глубинам, и смешанные грунты (заиленный песок/ракуша). Достоверность группировки подтверждается как ANOSIM (Global $R = 0,6$ и $0,668$ при уровне значимости 0,1 % для численности и биомассы соответственно), так и PERMANOVA (Pseudo- $F = 7,1535$ при $P = 0,001$).

Для прозрачности воды и координат в разных вариантах анализа достоверность изменялась в достаточно широких пределах (например, PERMANOVA $P = 0,001... 0,1$), что, по-видимому, говорит о том, что с этими факторами связано распределение лишь части таксонов. Кроме того, достоверность этих факторов резко падала в последовательных тестах по сравнению с маргинальными, что говорит о значительном перекрытии объясненной ими вариации (6–10 %) с другими факторами.

Общая вариация, объясненная данными факторами, составила от 37 % (для численности и Theta+) до 44 % для биомассы.

ВЫВОДЫ

По данным исследований 2011, 2018–2019 гг. на обследованном участке Цимлянского водохранилища можно выделить две группы сообществ: 1) Tubificidae – Chironomidae на илистых грунтах; 2) сообщества банок с доминированием *Dreissena* – *Monodacna*. Распределение видов, численности и биомассы по акватории водохранилища в общем соответствовало распределению донных осадков – наибольшие значения этих показателей наблюдались на дрейссеновых банках, наименьшие (единичные экземпляры хирономусов и/или тубифицид) – на жидких илах.

В 2019 г. отмечено значительное обеднение количественных и качественных показателей макрозообентоса по сравнению с 2018 г. Относительно стабильным оставалось только сообщество *Dreissena polymorpha*, однако и оно достигло показателей, сравнимых с весной 2018 г., лишь к сентябрю 2019 г. На остальных же станциях даже к сентябрю донные сообщества были обеднены как по количеству видов, так и по численности/биомассе. Тем не менее количественные характеристики 2018 г. были ниже, чем в 2011 г.

Известно, что показатели зообентоса значительно понижаются в многоводные годы, когда водохранилище интенсивно промывается и донные организмы сносятся в нижний бьеф [19]. Можно предположить, что снижение численности, биомассы и обеднение донных сообществ, отмеченные в 2019 г., явились последствием половодья 2018 г., развившегося на фоне длительного маловодного периода, и связано со сносом беспозвоночных с поверхности грунтов. Отбор проб в 2018 г. проводился в период с 17 по 23 мая, когда пик половодья был пройден, но приток вод в водохранилище еще продолжался: сброс через Цимлянский гидроузел 17 мая составил $1650 \text{ м}^3/\text{с}$, с 18 мая до момента восстановления максимального запаса воды в Цимлянском водохранилище – $1500 \text{ м}^3/\text{с}$ [20], а следовательно, в водоеме продолжали складываться гидрологические условия, способствующие дрефту донных беспозвоночных, размыву верхнего слоя грунта и переотложению донных осадков. Увеличение мутности вод за счет увеличения концентрации взвешенных минераль-

ных частиц, отмечаемое при паводках, не оказало существенного влияния на донные сообщества, так как поступавшая в Цимлянское водохранилище со стоком р. Дон взвесь осаждалась на участке г. Калач-на-Дону – Чирский плес [12]. В южной части Приплотинного плеса и на станциях, наиболее удаленных от берега, в период паводка была зафиксирована наибольшая прозрачность по сравнению с другими частями водохранилища и Нижним Доном [12]. Для прибрежных станций Приплотинного плеса невысокая прозрачность вод обусловлена поступлением взвеси за счет абразии берегов,

которая наблюдается здесь с момента создания водохранилища [2; 3], что, в свою очередь, привело к формированию на этих участках специфических пелофильных сообществ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и РГО в рамках научного проекта № 17-05-41145 РГО_а «Изучение трансформации среды и биоты Цимлянского водохранилища и Нижнего Дона в условиях изменения климата», а также в рамках темы НИР ГЗ ЮНЦ РАН, № госрегистрации АААА-А18-118122790121-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Денисова А.И. 1979. *Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования*. Киев, Наукова думка: 292 с.
- Мирошниченко М.П. 1982. Структура и продуктивность биоценозов бентоса Цимлянского водохранилища. В кн.: *Сборник научных трудов ГосНИОРХ. №184*. Л., ГосНИОРХ: 35–48.
- Цимлянское водохранилище: состояние водных и прибрежных экосистем, проблемы и пути их решения. 2011. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 216 с.
- Булышева Н.И., Клещенко А.В. 2018. Макрозообентос прибрежной зоны Цимлянского водохранилища. *Экология. Экономика. Информатика. Серия: системный анализ и моделирование экономических и экологических систем*. 1(3): 141–145. doi: 10.23885/2500-395x-2018-1-3-141-145
- Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б. 2013. Современные изменения водного режима рек в бассейне Дона. *Водные ресурсы*. 40(6): 544–556. doi: 10.7868/S0321059613060047
- Матишов Г.Г., Григоренко К.С., Московец А.Ю. 2017. Механизмы осолонения Таганрогского залива в условиях экстремально низкого стока Дона. *Наука Юга России*. 13(1): 35–43. doi: 10.23885/2500-0640-2017-13-1-35-43
- Киреева М.Б., Илич В.П., Гончаров А.В., Богачев А.Н., Фролова Н.Л., Пахомова О.М., Соловьева В.В. 2018. Влияние маловодья 2007–2015 гг. в бассейне р. Дон на состояние водных экосистем. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 5: 3–13.
- Матишов Г.Г., Клещенко А.В., Григоренко К.С., Московец А.Ю., Кириллова Е.Э. 2018. Изменение водного баланса в бассейне Нижнего Дона в условиях маловодья. *Наука Юга России*. 14(3): 45–55. doi: 10.7808/S25000040180300
- Панин Г.Н., Выручалкина Т.Ю., Гречушникова М.Г., Соломонова И.В. 2016. Особенности гидрологического режима Цимлянского водохранилища при климатических изменениях в бассейне Дона. *Водные ресурсы*. 43(2): 111–121.
- Мартышева Н.А., Хоружая Т.А. 2017. Особенности «цветения» воды Цимлянского водохранилища сине-зелеными микроводорослями. *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2: 136–141. doi: 10.23683/0321-3005-2017-2-136-141
- Матишов Г.Г. 2019. Экспедиция на научно-исследовательском судне «Профессор Панов» (апрель 2018 г.): предварительные результаты наблюдений за экстремальным паводком на Нижнем Дону и его влияние на гидрологический режим. *Океанология*. 59(1): 163–165. doi: 10.31857/S0030-1574591163-165
- Клещенко А.В., Московец А.Ю. 2018. Результаты изучения гидролого-гидрохимических характеристик Цимлянского водохранилища и Нижнего Дона в период сильного половодья. *Экология. Экономика. Информатика. Серия: системный анализ и моделирование экономических и экологических систем*. 1(3): 184–187. doi: 10.23885/2500-395x-2018-1-3-184-187
- Глущенко Г.Ю. 2020. Мониторинговые исследования «цветения» воды на Цимлянском водохранилище и Нижнем Дону в сентябре 2018 и 2019 гг. В кн.: *Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления – II»): материалы II Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 6–10 июля 2020 г.)*. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 313–317.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений*. 1983. Л., Гидрометеиздат: 239 с.
- Булышева Н.И. 2012. Зообентос приплотинного участка Цимлянского водохранилища. В кн.: *Материалы Международной научной конференции, посвященной 150-летию Н.М. Книповича «Экологическая безопасность приморских регионов: порты, берегозащита, рекреация, марикультура» (Ростов-на-Дону, 05–08 июля 2012 г.)*. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 78–79.
- Anderson M.J., Gorley A.M., Clarke K.R. 2008. *PERMANOVA+ for PRIMER: guide to software and statistical methods*. Plymouth, PRIMER-E: 214 p.
- Clarke K.R., Gorley R.N. 2006. *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. Plymouth, PRIMER-E: 192 p.
- Горская О.И., Яковлев С.В., Черешнева Л.А., Сапельников В.М. 2017. Результаты многолетнего биологического мониторинга в Цимлянском водохранилище в районе продувки водоема-охладителя Ростовской АЭС. *Глобальная ядерная безопасность*. 2(23): 7–20.

19. Сипко Л.Л. 1998. Особенности экологии бентических и придонных сообществ Новосибирского водохранилища. В кн.: *Материалы научных чтений, посвященных памяти профессора Бодо Германовича Иоганзена «Состояние водных экосистем Сибири и перспективы их использования»* (Томск, 22–23 января 1998 г.). Томск, изд-во ТГУ: 306–308.
20. О режиме работы Цимлянского водохранилища по состоянию на 28.05.2018 г. 2018. *Донское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов*. URL: <http://www.donbv.ru/news/14038.html> (дата обращения: 18.08.2018).

REFERENCES

1. Denisova A.I. 1979. *Formirovanie gidrokhimicheskogo rezhima vodokhranilishch Dnepra i metody ego prognozirovaniya*. [Formation of the hydrochemical regime of the Dnieper reservoirs and methods of forecasting it]. Kiev, Naukova dumka: 292 p. (In Russian).
2. Miroshnichenko M.P. 1982. [The structure and productivity of the benthos biocenoses of the Tsimlyansk Reservoir]. In: *Sbornik trudov Gosudarstvennogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ozernogo i rechnogo rybnogo hozyaystva. № 184*. [Collection of Proceedings of the State Scientific Research Institute of Lake and River Fisheries. No 184]. Leningrad, State Scientific Research Institute of Lake and River Fisheries: 35–48. (In Russian).
3. *Tsimlyanskoye vodokhranilishche: sostoyaniye vodnykh i pribrezhnykh ekosistem, problemy i puti ikh resheniya*. [The Tsimlyansk Water Reservoir: the Conditions of Water and Coastal Ecosystems, the Problems and the Ways of their Solution]. 2011. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 216 p. (In Russian).
4. Bulysheva N.I., Kleshchenkov A.V. 2018. [Macrozoobenthos of the coastal zone of the Tsimlyansk Reservoir]. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: sistemnyy analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i ekologicheskikh sistem*. 1(3): 141–145. (In Russian). doi: 10.23885/2500-395x-2018-1-3-141-145
5. Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. 2013. Current changes in river water regime in the Don River basin. *Water Resources*. 40(6): 573–584. doi: 10.1134/S0097807813060043
6. Matishov G.G., Grigorenko K.S., Moskovets A.Yu. 2017. [The salinization mechanisms in the Taganrog Bay under the conditions of the Don River extremely low runoff]. *Nauka Yuga Rossii*. 13(1): 35–43. (In Russian). doi: 10.23885/2500-0640-2017-13-1-35-43
7. Kireeva M.B., Ilich V.P., Goncharov A.V., Bogachev A.N., Frolova N.L., Pakhomova O.M., Solovieva V.V. 2018. [Influence of 2007–2015 extreme low-flow period in the Don River basin on water ecosystems]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 5: 3–13. (In Russian).
8. Matishov G.G., Kleshchenkov A.V., Grigorenko K.S., Moskovets A.Yu., Kirillova E.E. [Water balance changes in the basin of the Lower Don under conditions of lack of water]. *Nauka Yuga Rossii*. 14(3): 45–55. (In Russian). doi: 10.7808/S25000040180300
9. Panin G.N., Vyruchalkina T.Yu., Grechushnikova M.G., Solomonova I.V. 2016. Specific features of the hydrological regime of the Tsimlyansk Reservoir under climate changes in the Don basin. *Water Resources*. 43(2): 249–258. doi: 10.1134/S0097807816020123
10. Martysheva N.A., Horuzhaya T.A. 2017. [Features of the “bloom” of the water of the Tsimlyansk Reservoir with blue-green microalgae]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennye nauki*. 2: 136–141. (In Russian). doi: 10.23683/0321-3005-2017-2-136-141.
11. Matishov G.G. 2019. Expedition of the R/V Professor Panov (April 2018): preliminary results of observations of extreme flooding in the Lower Don region. *Oceanology*. 59(1): 151–152. doi: 10.1134/S0001437019010144
12. Kleshchenkov A.V., Moskovets A.Yu. 2018. [Results of studying the hydrological and hydrochemical characteristics of the Tsimlyansk reservoir and the Lower Don during the period of strong floods]. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: sistemnyy analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i ekologicheskikh sistem*. 1(3): 184–187. (In Russian). doi: 10.23885/2500-395x-2018-1-3-184-187
13. Glushchenko G.Yu. 2020. [Monitoring of algal bloom in the Tsimlyansk Reservoir and the Lower Don in September 2018 and 2019]. In: *Zakonomernosti formirovaniya i vozdeystviya morskikh, atmosferykh opasnykh yavleniy i katastrof na pribrezhnuyu zonu RF v usloviyakh global'nykh klimaticheskikh i industrial'nykh vyzovov («Opasnye yavleniya – II»): materialy II Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii pamyati chlena-korrespondenta RAN D.G. Matishova*. [Regularities of Formation and Impact of Marine and Atmospheric Hazardous Phenomena and Disasters on the Coastal Zone of the Russian Federation under the Conditions of Global Climatic and Industrial Challenges (“Dangerous Phenomena – II”) in memory of Corresponding Member RAS D.G. Matishov: Proceedings of the International Scientific Conference (Rostov-on-Don, Russia, 6–10 July 2020)]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 313–317. (In Russian).
14. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy*. [Guidance on methods of hydrobiological analysis of surface water and bottom sediments]. 1983. Leningrad, Gidrometeoizdat: 239 p. (In Russian).
15. Bulysheva N.I. 2012. [Zoobenthos of the dam water area of the Tsimlyansk Reservoir]. In: *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 150-letiyu N.M. Knipovicha “Ekologicheskaya bezopasnost' primorskikh regionov: porty, beregozashchita, rekreatsiya, marikul'tura”*. [Materials of the International Scientific Conference dedicated to the 150th anniversary of N.M. Knipovich “Environmental safety of coastal regions: ports, coastal protection, recreation, mariculture” (Rostov-on-Don, Russia, 5–8 July 2012)]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 78–79. (In Russian).
16. Anderson M.J., Gorley A.M., Clarke K.R. 2008. *PERMANOVA+ for PRIMER: guide to software and statistical methods*. Plymouth, PRIMER-E: 214 p.
17. Clarke K.R., Gorley R.N. 2006. *PRIMER v6: User Manual/ Tutorial*. Plymouth, PRIMER-E: 192 p.
18. Gorskaya O.I., Yakovlev S.V., Cheresheva L.A., Sapelnikov V.M. 2017. [Results of long-term biological

- monitoring in the Tsimlyansk Reservoir in the cooling pond purge of Rostov NPP]. *Global nuclear safety*. 2(23): 7–20. (In Russian).
19. Sipko L.L. 1998. [Features of the ecology of benthic communities of the Novosibirsk Reservoir]. In: *Materialy nauchnykh chteniy, posvyashchennykh pamyati professora Bodo Germanovicha Ioganzena "Sostoyanie vodnykh ekosistem Sibiri i perspektivy ih ispol'zovaniya"*. [Materials of scientific readings dedicated to the memory of Professor Bodo Germanovich Ioganzen "The state of aquatic ecosystems in Siberia and the prospects for their use" (Tomsk, Russia, 22–23 January 1998). Tomsk, Tomsk State University: 306–308. (In Russian).
20. [About the operating mode of the Tsimlyansk Reservoir as of 28.05.2018]. 2018. *Donskoe basseynovoe vodnoe upravlenie Federal'nogo agentstva vodnykh resursov*. Available at: <http://www.donbv.ru/news/14038.html> (accessed 18 August 2018). (In Russian).

Поступила 23.09.2020