

УДК 574.587 DOI 10.21685/2500-0578-2026-1-3

ИЗМЕНЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ХИРОНОМИДОФАУНЫ ГОРОДСКОГО ВОДОЕМА ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ДНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Р. П. Горбунов¹, Р. П. Токинова²^{1,2} Институт проблем экологии и недропользования академии наук Республики Татарстан, Казань, Россия¹ xobglor@gmail.com, ² r.tokin@rambler.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования структуры сообществ личинок комаров-звонцов (Insecta: Diptera: Chironomidae) в озере Комсомольское (г. Казань) до и после проведения дноочистительных работ в 2019 г. Актуальность исследования обусловлена необходимостью мониторинга изменений водных экосистем в условиях городской среды после вмешательств подобного рода. В работе использована статистическая обработка данных о численности различных групп хирономид с применением пермутационного дисперсионного анализа и канонического анализа соответствий. Анализируются изменения, произошедшие в первый год после дноочистительных работ и по прошествии 6 лет. Результаты указывают на существенные изменения в структуре макрозообентоса, приводящие к формированию более разнообразных сообществ с новыми доминантами. В долгосрочной перспективе эти изменения можно расценивать как положительные для экосистемы озера. Полученные результаты имеют большое значение для понимания процессов восстановления водных экосистем после антропогенного вмешательства и могут быть использованы при планировании подобных мероприятий в других городских водоемах.

Ключевые слова: последствия углубления дна, канонический анализ соответствий, городские водоемы, макрозообентос, Chironomidae

Для цитирования: Горбунов Р. П., Токинова Р. П. Изменения в структуре хирономидофауны городского водоема после проведения дноочистительных работ // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2026. Vol. 11 (1). <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2026-1-3>

CHANGES IN THE CHIRONOMID FAUNA STRUCTURE OF AN URBAN WATERBODY FOLLOWING DREDGING OPERATIONS

R.P. Gorbunov¹, R.P. Tokinova²^{1,2} Institute for problems of Ecology and Mineral Wealth Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia¹ xobglor@gmail.com, ² r.tokin@rambler.ru

Abstract. The article presents results of a study on the community structure of chironomid larvae (Insecta: Diptera: Chironomidae) in Lake Komsomolskoye (Kazan, Russia) before dredging operations conducted in 2019 and after six years. The research is relevant due to the need for monitoring changes in aquatic ecosystems in urban environments following such interventions. The study employed statistical analysis of abundance data for various chironomid groups, using permutational multivariate analysis of variance and canonical correspondence analysis. The analysis focuses on the changes that occurred in the first year after the bottom-cleaning works and six years later. The results indicate significant changes in the macrozoobenthos structure at first months, leading to the formation of more diverse communities with new dominant species. In the long term, these changes can be regarded as beneficial for the lake's ecosystem. The findings are important for understanding the recovery processes of aquatic ecosystems after anthropogenic disturbance and can be applied in planning similar interventions in other urban waterbodies.

Keywords: dredging consequences, canonical correspondence analysis, urban waterbodies, macrozoobenthos, Chironomidae

For citation: Gorbunov R.P., Tokinova R.P. Changes in the chironomid fauna structure of an urban waterbody following dredging operations. Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2026;11(1). (In Russ.). Available from: <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2026-1-3>

Введение

Озеро Комсомольское расположено в черте г. Казани (Республика Татарстан). Летом 2019 г.

здесь проведены масштабные дноочистительные работы, включавшие удаление донных отложений, что существенно повлияло на экологическое состояние водоема.

Дночерпательные мероприятия способны причинить ущерб как при прямом захвате донных осадков, нарушении структуры биоценоза и гибели организмов, так и вследствие повышения мутности воды и вторичного загрязнения водоемов [1]. Замутнение толщи воды минеральной взвесью и извлечение активного ила способно приводить к изменению качества воды в водоеме [2].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью мониторинга изменений в структуре донных сообществ после проведенных дноочистительных работ, а также оценки текущего состояния водоема в условиях городской среды. Особое внимание уделяется изучению макрозообентоса как индикатора качества водной среды и благополучия экосистемы в целом.

Работ, в которых предметом изучения является восстановление бентоса пресноводных водоемов после извлечения ила, немного [3, 4]. Исследование О. Н. Вдовиной с соавторами, где проанализированы последствия дноуглубления на оз. Манжерокском через 3 года после работ, выявило существенное улучшение показателей бентоса: его численность, биомасса и видовое разнообразие возросли в несколько раз.

Цель данного исследования – выявить различия в структуре хирономидофауны оз. Комсомольское спустя пять лет после дноочистительных работ.

Материалы и методы

Озеро Комсомольское находится на территории г. Казани, имеет длину около 330 м, ширину – около 60 м. Максимальная глубина около 4,5 м, восточная часть озера более мелководная. Водоем имеет антропогенное происхождение (образован в конце 1950-х гг.) и не имеет естественного стока. Уровень воды поддерживается закачкой ее из скважины, а также за счет атмосферных осадков. Дно водоема на глубинах 2–3 м занято харовыми водорослями [5]. Дно озера в прибрежной части выложено песчаными грунтами, с увеличением глубины сменяющимися заиленными песками и песчаными илами [6]. Воды озера относятся к сульфатно-кальциевому типу с высокой жесткостью и минерализацией. Это обуславливает обитание в озере сравнительно редких видов харовых водорослей и личинок хирономид *Einfeldia pagana* (Meigen, 1838).

Летом 2019 г. на озере проведены дноочистительные мероприятия, включавшие удаление донных отложений из западной и восточной частей котловины озера, а также вдоль кромки берега.

Пробы макрозообентоса на озере отобраны в 3 периода: за полгода до дноочистки (январь 2019 г.), в течение полугодия после (октябрь 2019 г. и январь 2020 г.) и через 6 лет после дноочистки (февраль 2025 г.). Отбор проб осуществлен с помощью дночерпателя Петерсена (площадь захвата – 0,025 м²), по 2 черпания на пробу (табл. 1). Бентосные организмы после извлечения из субстрата зафиксированы в 70 % спирте. Определение проводили с использованием микроскопической техники, для этого были приготовлены временные глицериновые препараты. Для таксономической идентификации организмов использована серия пособий «Определитель пресноводных беспозвоночных России» [7].

Для оценки видового разнообразия использовался индекс Шеннона – Уивера, вычисленный по общепринятой методике [8].

Данные о численности личинок комаров-звонцов имели сильное правостороннее отклонение от нормального распределения. Поэтому для оценки достоверности различий между группами хирономид использован устойчивый к отклонениям пермутационный дисперсионный анализ (PERMANOVA). Проведена серия анализов выбранных групп хирономид с 1000 итераций по следующим факторам:

- год отбора проб (2019, 2020, 2025), так как отсутствовали регулярные наблюдения, год использовался как категориальная факторная переменная, а не как непрерывная;
- этап изменения сообществ (3 уровня фактора: до дноочистительных работ, в первые 6 месяцев после работ, спустя 6 лет);
- отдельным сборам (4 уровня фактора: до дноочистительных работ, спустя 3 месяца, спустя 6 месяцев, спустя 6 лет зимой);
- до и после проведения работ (2 уровня фактора).

В качестве зависимых переменных использовалась численность различных групп хирономид. Группы формировались исходя из их экологического сходства.

Для оценки направлений изменения структуры хирономидофауны проведен канонический анализ соответствий (Canonical Correspondence Analysis) со следующими факторами (в скобках указана кодировка переменных на графике):

- год отбора проб (year);
- глубина в точке отбора проб (depth);
- количество видов макрозообентоса в пробе (diversity).

Для оценки качества и пригодности факторных и зависимых переменных использован корреляционный анализ Пирсона внутри групп переменных с допустимым порогом корреляции 0,85 [9].

Таблица 1

Характеристики дна биотопов оз. Комсомольское, из которых отобраны пробы макрозообентоса

Table 1

Bottom characteristics of biotopes of Lake Komsomolskoye
from which macrozoobenthos samples were collected

№	Участок озера	Глубина, м	Дно биотопа
17.01.2019			
1	Западная часть	2	Хара, 15 м от берега
2	Западная часть	1	Серый ил, хара
3	Центральная часть	2	Песчаный ил, хара
4	Центральная часть	2,5	Хара
5	Центральная часть	2	Хара
6	Центральная часть	1,1	Хара
7	Восточная часть	2,5	Ил + хара
8	Восточная часть	2	Хара + серый ил
24.10.2019			
9	Центральная часть	2,5	Ил + харовая крошка
10	Восточная часть	1	Серый ил
16.01.2020			
11	Западная часть	3,5	Ил, хара
12	Западная часть	4	Серый ил
13.02.2025			
13	Восточная часть	1,8	Обилие хары, плотным ковром
14	Центральная часть	2,8	Серый ил
15	Западная часть	2,3	Илистый песок, единичные побеги хары
16	Западная часть	3,5	Серый сапропелевый ил

Достоверность модели, полученных координат осей и нагрузок переменных проверена посредством PERMANOVA с 1000 итераций. Данный подход относится к непараметрическим и устойчив к отклонениям от нормального распределения в небольшой выборке. Вычисления проведены в среде программирования R [10] с использованием библиотек permute [11] и vegan [12].

Результаты исследований

Всего в пробах было обнаружено 34 вида беспозвоночных. Представители малощетинковых червей (6 видов, наиболее обычен *Tubifex tubifex* (Müller, 1774) (встречаемость – 25 %) и мокрецов Ceratopogonidae (2 вида р. *Mallochohelea*) сосредоточены в песчаном биотопе западной части озера и крайне слабо представлены на других участках. В связи с этим они не использовались в анализе. Представители поденок Ephemeroptera (2 вида, преобладает *Caenis horaria* (Linnaeus 1758)), обнаружены в количественных пробах единично и также не участвовали в анализе. Наиболее массовая группа – комары-звонцы Chironomidae – представлена 24 видами. Среди звонцов из подсемейства Tanypodinae (4 вида) наиболее распространены – *Ablabesmyia longystila* Fittkau, 1962 (встречаемость – 31,1 %) и *Procladius* sp. (встречаемость – 43 %). Отмечены также немногочисленные *Psectrotanypus varius*

(Fabricius, 1787) и *Tanypus kraatzii* (Kieffer, 1912). Из подсемейства Orthoclaadiinae в больших количествах отмечен *Psectrocladius* gr. *Sordidellus* (56,3 % встречаемости); вид *Cricotopus* (*Isocladus*) gr. *Sylvestris* – единичен. Из подсемейства Chironominae (16 видов) распространены *Chironomus* sp. 1 (43 % пробы), *Dicrotendipes tritonus* (50 %), *Einfeldia pagana* (75 %), *Polypedium nubeculosum* (Meigen, 1804) (37,5 %) и *Cladotanytarsus* gr. *mancus* (43 %).

В качестве зависимых переменных использованы значения численности (экз./м²) групп хирономид, имеющих общие экологические характеристики, и представленные в разные годы исследования озера.

Сформированы следующие группы:

1) п/сем. Tanypodinae (**Tanyp**): представители хищных хирономид. Обнаруженные в озере виды относятся как к пелофилам, так и пелофитофилам;

2) п/сем. Orthoclaadiinae (**Orth**): в озере в основном представлены фитофильным *Psectrocladius sordidellus*;

3) виды рода *Chironomus* (**Chir**) (п/сем. Chironominae): пелофильные виды, устойчивые к недостатку кислорода;

4) виды рода *Dicrotendipes* (**Dicr**) (п/сем. Chironominae): *Dicrotendipes tritonus* (Thienemann & Kieffer, 1916) (>90 % средней численности) и *Dicrotendipes nervosus* (Staeger, 1839): фито- и фитопелофильные виды;

5) *Einfeldia pagana* (Meigen, 1838) (**Einf**) (триба Chironomini), данный вид может достигать в озере высокой численности и имеет индивидуальные экологические особенности: приурочен к водоемам с повышенной жесткостью, а потому выделен в отдельную группу, фитофил;

6) прочие виды трибы Chironomini (**Chi_ni**): представлены в основном пелофильными и псаммопелофильными видами (*Polypedilum nubeculosum*);

7) триба Tanytarsini (**Tanyt**): пелофильные и псаммопелофильные виды.

Несмотря на то, что разные группы могут иметь схожую биотопическую приуроченность, известно, что представители разных подсемейств и триб по-разному реагируют на изменения в окружающей среде [13], что объясняет применимость их численности в качестве отдельных зависимых переменных.

Численность в пробах групп хирономид, выбранных для анализа, отражена в табл. 2.

Таблица 2

Численность (экз./м²) различных видов и групп хирономид в зообентосе оз. Комсомольское. Номера проб указаны согласно табл. 1

Table 2

Abundance (ind./m²) of various chironomid species and groups along with diversity in the samples. Sample numbers correspond to Table 1

№	Tanypodinae	Orthoclaadiinae	<i>Chironomus</i> spp.	<i>Dicrotendipes</i> spp.	<i>Einfeldia pagana</i>	Прочие Chironomini	Tanytarsini	Число видов
1	20	1540	0	2860	0	0	20	5
2	40	460	60	1380	240	20	180	6
3	0	80	20	1800	40	0	120	5
4	20	1280	0	880	0	0	20	5
5	80	1000	0	640	120	0	0	4
6	0	500	0	2400	0	0	0	2
7	0	280	0	640	20	0	40	5
8	0	220	20	0	20	0	0	3
9	20	20	420	0	37 360	60	80	10
10	20	20	400	0	20	40	0	8
11	0	0	480	0	0	200	100	5
12	0	0	240	20	5560	260	20	7
13	0	300	80	560	900	0	1260	9
14	140	0	200	0	240	200	680	10
15	220	0	900	0	60	1860	1740	17
16	180	140	640	0	80	40	60	11

Коэффициенты корреляции переменных не превышали 0,3.

В пробах, отобранных до дноочистных работ, индекс Шеннона варьировал от 0,91 до 0,93, в целом по озеру составив 1,4 бит/экз. В период в течение полугодия после дноочистных работ в отдельных пробах индекс Шеннона менялся от 0,6 до 1,2, в целом по озеру составив 1,3 бит/экз. В 2025 г., спустя 6 лет после работ, индекс Шеннона варьировал от 1,5 до 2,2 в разных точках отбора проб, в целом по озеру составив 2,3 бит/экз.

В табл. 3 приведены результаты дисперсионного анализа по различным факторам, оценивающие значимость и силу этих факторов.

Наиболее полно объясняют изменения в численности хирономид отдельные отборы проб,

однако наибольшее *F*-значение относится к фактору дноочистительных работ, что может говорить о его наибольшем влиянии на изменчивость.

Нагрузки факторов по осям и ординация переменных по результатам канонического анализа соответствий отражены на рис. 1 и в табл. 4.

Пермутационный тест показал статистическую значимость модели ($\chi^2 = 1,26$, $F = 6,27$, $p < 0,001$ при 3 степенях свободы), что подтверждает существенность влияния исследуемых факторов. Канонический анализ соответствий показал, что первые две канонические оси (ССА1 и ССА2) объясняют 60,26 % общей дисперсии видовой матрицы. При этом вклад отдельных осей распределяется следующим образом: ССА1 – 33,59 % ($p = 0,001$), ССА2 – 26,68 % ($p = 0,006$), что подтверждает статистическую значимость обеих осей.

Таблица 3

Результаты пермутационного дисперсионного анализа распределения групп хирономид по различным факторам. Представлены значения уровня достоверности p -level, R^2 , соответствующей доле объясненной дисперсии и значение F – отношение межгрупповой и внутригрупповой дисперсии, отражающее степень отличий между группами внутри фактора

Table 3

Results of permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA) assessing the distribution of chironomid groups across various factors. The following statistical indicators are presented: p -level (level of statistical significance); R^2 – the coefficient of determination (the proportion of variance explained by the model); F – statistic (the ratio of between-group variance to within-group variance, reflecting the degree of differences among groups within a factor)

Фактор	p -value	R^2	F
Год	<0,01	0,30	2,83
Этап изменения сообществ	<0,001	0,45	5,33
Сборы	<0,001	0,48	5,54
Дноочистительные работы	<0,001	0,35	7,59

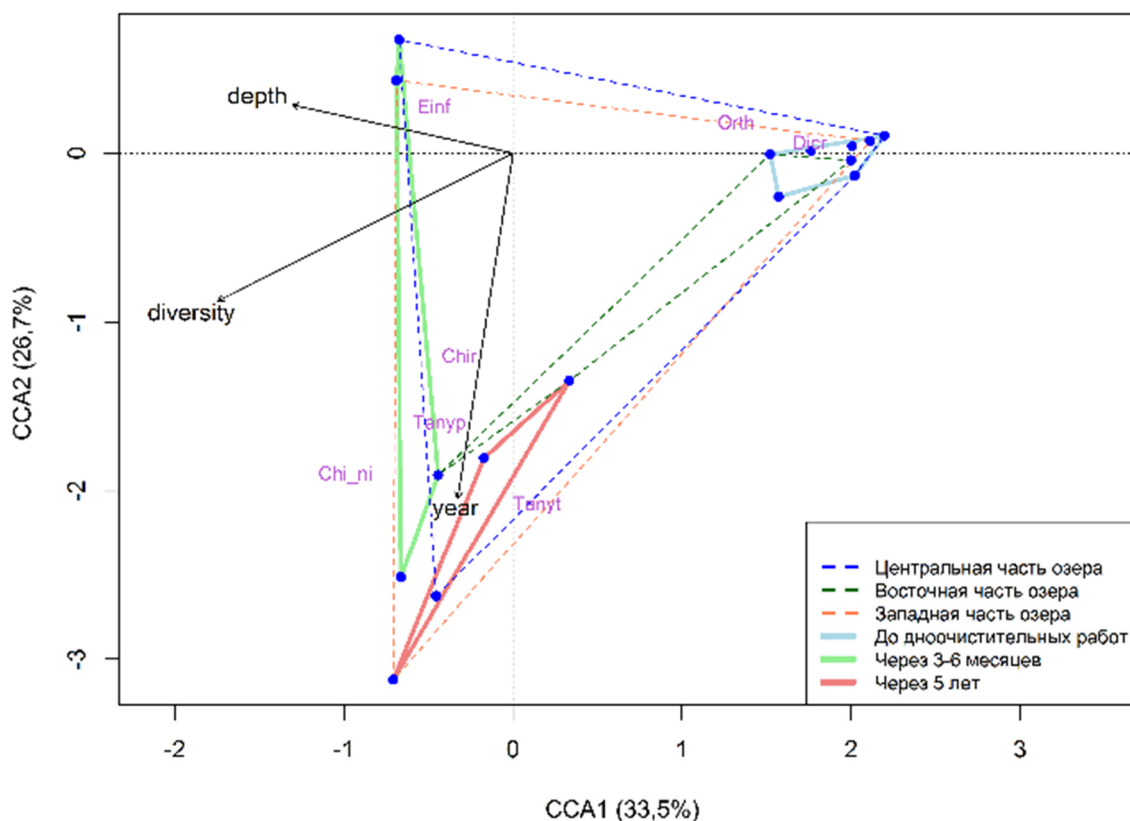


Рис. 1. Канонический анализ соответствий (ССА) влияния факторов на распределение численности групп хирономид в оз. Комсомольское. Точки отражают положение отдельных проб в пространстве канонических координат анализа. Фиолетовым цветом обозначено положение отдельных групп. Стрелки показывают силу (длина) и направление факторов «год» (year), «видовое разнообразие макрозообентоса» (diversity), «глубина» (depth).

Полигоны отражают области, в которых находятся точки, соответствующие определенным условиям

Fig. 1. Canonical Correspondence Analysis (CCA) of factor effects on chironomid group abundance distribution in Lake Komsomolskoye. The points represent the position of individual samples in the canonical ordination space. Purple colour denotes the location of specific chironomid groups.

Arrows illustrate the strength (length) and direction of the following factors: «year»; «diversity»; «depth».

Polygons outline the areas where points corresponding to specific environmental conditions are clustered.

Solid outlines denote sampling phases: light blue – before dredging; green – after 3–6 months; red – after 6 years.

Dash outlines denote parts of the lake: blue – center part; green – eastern part; red – western part

Таблица 4

Результаты канонической ординации: нагрузки факторов и координаты таксонов. Нагрузки отражают вклад фактора в формирование оси. Значения показывают силу и направление связи. Координаты переменных определяют усредненное положение групп в пространстве анализа

Table 4

Results of canonical ordination: factor loadings and taxon coordinates. Loadings reflect the contribution of a factor to axis formation. Values indicate the strength and direction of the relationship. Coordinates of variables define the average position of groups in the analysis space

Фактор/переменная	CCA1	CCA2
Нагрузки факторов на оси*		
Год	-0,62	0,14
Видовое разнообразие	-0,84	-0,42
Глубина	-0,16	-0,98
Ординационные координаты зависимых переменных (масштабирование 2-го типа)		
Tanypodinae	-0,19	-1,60
Orthoclaadiinae	1,32	-0,05
Chironomus spp.	-0,32	-1,08
Dicrotendipes spp.	1,57	0,06
Einfeldia pagana	-0,47	0,39
Прочие Chironomini	-0,99	-1,78
Tanytarsyni	-0,08	-2,08

* Для всех факторов $p\text{-level} < 0,05$ и соответствует как общему влиянию фактора в модели, так и изолированному.

Согласно полученным результатам, первая ось сочетает в себе факторы видового разнообразия и глубины биотопа, вторая ось по большей части репрезентует год исследования.

Обсуждение

Результаты PERMANOVA показали, что по всем факторам имеются достоверные различия в численности видов и групп хирономид. Дноочистительные работы оказали значимое влияние на население макрозообентоса, хотя изменения в течение времени сопоставимы и даже превышают масштабы преобразования сообществ.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. До дноочистительных работ видовое разнообразие было меньше, а ключевыми группами в озере были ортокладыны и виды рода *Dicrotendipes*, характерные для меньших глубин.

2. Сразу после нарушения дна произошли значительные изменения в структуре хирономидофауны озера, связанные с ростом значения факторов «глубина» и «видовое разнообразие».

3. В первые месяцы после очистки дна ключевым видом, характеризующим этот этап, стал *Einfeldia pagana*, населяющий, согласно графику канонического анализа соответствий (см. рис. 1), более глубокие участки озера со средним видовым разнообразием, которых, вероятно, после

дноуглубительных работ стало больше, и они имели нарушенный, слабозаселенный грунт. Ординация этого вида вблизи начала координат указывает на его широкую экологическую лабильность.

4. Дальнейшее развитие структуры сообществ связано с многолетними изменениями и ростом видового разнообразия, сопровождавшимся увеличением роли видов подсемейства Chironominae.

5. В горизонтальном распределении наименьшие изменения произошли в мелководной восточной части озера, где дно обильно устилают харовые водоросли. Наибольшие изменения – в западной части, где есть оформленный пляж с участком песчаного дна и большее разнообразие биотопов. В целом, возросшее в разрезе времени расстояние между точками на графике, репрезентирующими отдельные пробы, говорит, что структура бентоса стала более разнообразной.

6. Роль фитофильных хирономид, таких как виды pp. *Dicrotendipes* и *Psectrocladius* [14], значительно уменьшилась после очистки дна, в процессе которой удалялись в том числе и харовые водоросли, устилавшие дно озера до глубины 2–3 м.

Резюмируя полученные результаты, дноочистительные работы вызвали значительные изменения в структуре бентоса оз. Комсомольское, спровоцировав смену доминантов и увеличение численности *Einfeldia pagana* в первые полгода.

В дальнейшем произошла стабилизация видового разнообразия и численности с образованием более сбалансированных и разнообразных сообществ с новыми доминантами. Можно утверждать, что в долгосрочной перспективе извлечение ила и углубление дна привели к положительным изменениям в структуре бентоса оз. Комсомольское.

Полученные результаты согласуются с литературными данными [4]. В частности, авторы показали, что в первые недели после нарушения дна произошло значительное упрощение структуры зообентоса с сильным доминированием отдельных видов. В количественных пробах присутствовали 2 вида, относящиеся к олигохетам и двукрылым (мокрецам), в основном – со 100 % доминированием. Спустя 3 года количество видов увеличилось в 5 раз и сопровождалось общим увеличением численности. Наше исследование показывает схожие паттерны с поправкой

на большее видовое разнообразие и преобладание в бентосе хирономид, а не мокрецов.

Следует отметить, что в оз. Комсомольское практически полностью отсутствуют первичноводные виды бентосных организмов: двусторчатые моллюски, ракообразные, губки, мшанки и др. Малошетинковые черви обнаружены в биотопах с песчаным илом, менее характерных для озера. Это означает, что системы самоочистки озера с помощью бентоса слабы и зависят от межгодовых колебаний в численности двукрылых. В случае с закрытыми, искусственно регулируемымися экосистемами озер, находящимися под антропогенным прессом, возможны значительные колебания численности (до 7 раз) и видового состава [15]. Дальнейший мониторинг может показать, соответствует ли сложившаяся ситуация в большей степени сукцессионным изменениям или же представляет собой результат колебаний численности и видового состава личинок амфибионтов.

Список литературы

1. Шкодин Н. В., Сальников Н. Е. Влияние гидромеханизированных работ на гидробионтов и экосистемы рыбохозяйственных водоемов // Материалы 7-го съезда Гидробиологического общества РАН. Казань, 1996. Т. 2. С. 105–108.
2. Камалтдинов Д. Р., Ермолаева С. В. Возможные изменения экосистемы реки Свияги в связи с дноуглубительными работами (обзор литературы) // Сохранение экосистем и биоразнообразия : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Владимир : ВГУ, 2022. С. 194–199.
3. Горелов В. П. Восстановление и функционирование донных биоценозов водоемов Волго-Ахтубинской поймы под влиянием масштабных дноуглубительных работ (на примере оз. Дегтярное) // Грани познания. 2015. № 4. С. 125–128.
4. Vdovina O. N., Bezmaternykh D. M., Krylova E. N. Restoration of macrozoobenthos after dredging on Lake Manzherskoe (Republic of Altai, Russia) // Ecosystem transformation. 2022. Vol. 5. P. 26–34. doi: 10.23859/estr-220323
5. Токинова Р. П., Любарский Д. С., Буторова Л. Е. Особенности населения макрофитов и фитофильной фауны в озере Комсомольское (г. Казань) в зимний период // Озера Евразии: проблемы и пути и решения : материалы II Междунар. конф. Казань : Изд-во АН РТ, 2019. С. 341–344.
6. Иванов Д. В., Зиганшин И. И., Валиев В. С. [и др.]. Характеристика донных отложений озера Комсомольское // Озера Евразии: проблемы и пути и решения : материалы II Междунар. конф. Казань : Изд-во АН РТ, 2019. С. 93–98.
7. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий : в 6 т. / под ред. С. Я. Цалолихина. СПб. : Наука, 1994–2004.
8. Щитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
9. Мешалкина Ю. Л., Самсонова В. П. Математическая статистика в почвоведении. М. : МАКС Пресс, 2008. 84 с.
10. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2025. URL: <https://www.R-project.org/> (дата обращения: 01.11.2025).
11. Simpson G. L. permute: Functions for Generating Restricted Permutations of Data. R package version 0.9-8., 2025. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=permute> (дата обращения: 01.11.2025).
12. Okansen J. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.6-4., 2022. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan> (дата обращения: 01.11.2025).
13. Boggero A., Füreder L., Lencioni V. [et al.]. Littoral Chironomid Communities of Alpine Lakes in Relation to Environmental Factors // Hydrobiologia. 2006. Vol. 562. P. 145–165. doi: 10.1007/s10750-005-1809-6
14. Cure V. Structure and ecological role of phytophilous chironomids from some Danubian ecosystems in Romania // SIL Proceedings, 1922–2010. 1991. Vol. 24. P. 2925–2929. doi: 10.1080/03680770.1989.11899200
15. Горбунов Р. П. Обзор результатов пятилетнего мониторинга трех прудовых экосистем в 20-км зоне влияния Лебединского горно-обогатительного комбината // Охрана природной среды, рациональное природопользование и эколого-биологическое образование : сб. материалы Междунар. науч.-практ. конф. Елабуга : Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2024. С. 17–22.

References

1. Shkodin N.V., Sal'nikov N.E. The impact of hydromechanized works on aquatic organisms and ecosystems of fishery reservoirs. *Materialy 7-go s'yezda Gidrobiologicheskogo obshchestva RAN = Proceedings of the 7th Congress of the Hydrobiological Society of the Russian Academy of Sciences*. Kazan, 1996;2:105–108. (In Russ.)
2. Kamaltdinov D.R., Yermolayeva S.V. Possible changes in the Sviyaga River ecosystem due to dredging operations (literature review). *Sokhraneniye ekosistem i bioraznoobraziya: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. Uchastiyem = Conservation of ecosystems and biodiversity: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Vladimir: VGU, 2022:194–199. (In Russ.)
3. Gorelov V.P. Restoration and functioning of bottom biocenoses of reservoirs of the Volga-Akhtuba floodplain under the influence of large-scale dredging works (on the example of Lake Degtyarnoye). *Grani poznaniya = Boundaries of knowledge*. 2015;(4):125–128. (In Russ.)
4. Vdovina O.N., Bezmaternykh D.M., Krylova E.N. Restoration of macrozoobenthos after dredging on Lake Manzherokskoe (Republic of Altai, Russia). *Ecosystem transformation*. 2022;5:26–34. doi: 10.23859/estr-220323
5. Tokinova R.P., Lyubarskiy D.S., Butorova L.E. Features of the macrophyte population and phytophilic fauna in Lake Komsomolskoye (Kazan) in winter. *Ozera Yevrazii: problemy i puti i resheniya: materialy II Mezhdunar. konf. = Lakes of Eurasia: problems and solutions: Proceedings of the International Conference*. Kazan: Izd-vo AN RT, 2019:341–344. (In Russ.)
6. Ivanov D.V., Ziganshin I.I., Valiyev V.S. [et al.]. Characteristics of bottom sediments of Lake Komsomolskoye. *Ozera Yevrazii: problemy i puti i resheniya: materialy II Mezhdunar. konf. = Lakes of Eurasia: problems and solutions: Proceedings of the 2nd International Conference..* Kazan: Izd-vo AN RT, 2019:93–98. (In Russ.)
7. Tsalolikhina S.Ya. (ed.). *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territoriy: v 6 t. = Guide to freshwater invertebrates of Russia and adjacent territories: in 6 volumes*. Saint Petersburg: Nauka, 1994–2004. (In Russ.)
8. Shchitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. *Kolichestvennaya nidroekologiya = Quantitative Nidroecology*. Tol'yatti: IEVB RAN, 2003:463. (In Russ.)
9. Meshalkina Yu.L., Samsonova V.P. *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii = Mathematical statistics in soil science*. Moscow: MAKSS Press, 2008:84. (In Russ.)
10. R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2025. Available at: <https://www.R-project.org/> (accessed 01.11.2025).
11. Simpson G.L. *permute: Functions for Generating Restricted Permutations of Data*. R package version 0.9-8., 2025. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=permute> (accessed 01.11.2025).
12. Okansen J. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.6-4., 2022. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan> (accessed 01.11.2025).
13. Boggero A., Füreder L., Lencioni V. et al. Littoral Chironomid Communities of Alpine Lakes in Relation to Environmental Factors. *Hydrobiologia*. 2006;562:145–165. doi: 10.1007/s10750-005-1809-6
14. Cure V. Structure and ecological role of phytophilous chironomids from some Danubian ecosystems in Romania. *SIL Proceedings, 1922–2010*. 1991;24:2925–2929. doi: 10.1080/03680770.1989.11899200
15. Gorbunov R.P. A review of the results of five-year monitoring of three pond ecosystems in the 20-km zone of influence of the Lebedinsky Mining and Processing Plant. *Okhrana prirodnoy sredy, ratsional'noye prirodopol'zovaniye i ekologo-biologicheskoye obrazovaniye: sb. materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Environmental protection, rational use of natural resources and ecological-biological education: proceedings of the International scientific-practical conference*. Yelabuga: Kazanskiy (Privolzhskiy) federal'nyy universitet, 2024:17–22. (In Russ.)