

ЗООПЛАНКТОН,
ЗООБЕНТОС, ЗООПЕРИФИТОН

УДК 574.5

ОСОБЕННОСТИ ЗООБЕНТОСА МЕЗОГУМУСНЫХ ОЗЕР РЕСПУБЛИКИ
КАРЕЛИЯ, НАХОДЯЩИХСЯ В ЕСТЕСТВЕННОМ СОСТОЯНИИ

© 2023 г. Е. С. Савосин^а, *, Д. С. Савосин^а

^аИнститут биологии Карельского научного центра Российской академии наук, Федеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН”, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия

*e-mail: szhenya@list.ru

Поступила в редакцию 22.04.2022 г.

После доработки 21.08.2022 г.

Принята к публикации 23.08.2022 г.

Представлены результаты исследований современного состояния сообществ зообентоса озер Суккозеро и Гимольское, расположенных в западной части Республики Карелия (Муезерский р-н). В условиях высокой цветности и низкой минерализации вод формируются сообщества с преобладанием личинок хирономид, ручейников, поденок и малощетинковых червей. Биомасса и численность зообентоса в 2017–2018 гг. варьировали в пределах 0.41–0.75 г/м² и 315–685 экз./м² в оз. Суккозеро и 0.41–0.93 г/м² и 220–346 экз./м² в оз. Гимольское, соответственно. Наибольшие значения численности и биомассы отмечены в биотопах илистых грунтов (зарослевой литорали и профундали), наименьшие – в биотопе песчаной литорали. По уровню количественного развития зообентоса оз. Суккозеро относится к олиготрофным водоемам, оз. Гимольское – к мезотрофным. Показано, что низкая минерализация и высокое содержание гумуса могут влиять на показатели биотических индексов оценки качества вод (индекса Майера, олигохетного, сапробности, хирономидного) и искажать оценку реального органического загрязнения.

Ключевые слова: мониторинг, пресноводная экосистема, зообентос, численность, биомасса, трофический статус

DOI: 10.31857/S0320965223020213, EDN: BUILCA

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время многие водоемы испытывают усиливающееся антропогенное влияние (Solomon et al., 2015; Теканова и др., 2021). Наблюдаемые изменения климата дополнительно усиливают негативные процессы, протекающие в водных экосистемах (Roberts et al., 2017; Kendrick et al., 2018; Kalinkina et al., 2020). Оценка современного состояния всех элементов биоты, изучение видового состава, количественных характеристик биоценозов, в частности, донной фауны – актуальная задача в решении проблемы сохранения биоразнообразия, важнейшего показателя состояния экосистемы (Sala et al., 2000; Meltofte, 2013). Видовой состав и разнообразие сообществ макрозообентоса, соотношение основных таксономических групп, структура доминирующих видов широко используются для биоиндикации и мониторинга водных экосистем (Алимов и др., 1997; Баканов, 2000). Макрозообентос служит одним из звеньев водных экосистем, которые отслеживают в рамках экологического мониторинга, проводимого на водоемах Карелии долгое время (Озера..., 2013). При изучении карельских водоемов основные направления работ – их инвентаризация, ис-

следование структуры и закономерностей формирования разнообразия сообществ гидробионтов на основе систематизации сведений, накопленных за многолетний период (Китаев, 2007; Озера..., 2013; Куликова, Рябинкин, 2015). К настоящему времени достаточно хорошо изучены большие по площади водоемы, однако средние и малые значительно слабее (Инвентаризация..., 2001; Стерлигова и др., 2002; Лукин и др., 2008; Калинкина, Белкина, 2018).

Учитывая сложившиеся условия многофакторного воздействия на водные экосистемы, актуально исследование пресноводных водоемов, относящихся к малоподверженным влиянию хозяйственной деятельности человека.

Настоящая работа посвящена изучению особенностей донного биоценоза двух озер бореальной зоны, находящихся в естественном состоянии. В рамках данного исследования предполагается выявить особенности озерных экосистем, не испытывающих существенного антропогенного пресса и имеющих общие для большинства водоемов Карелии характеристики водной среды.

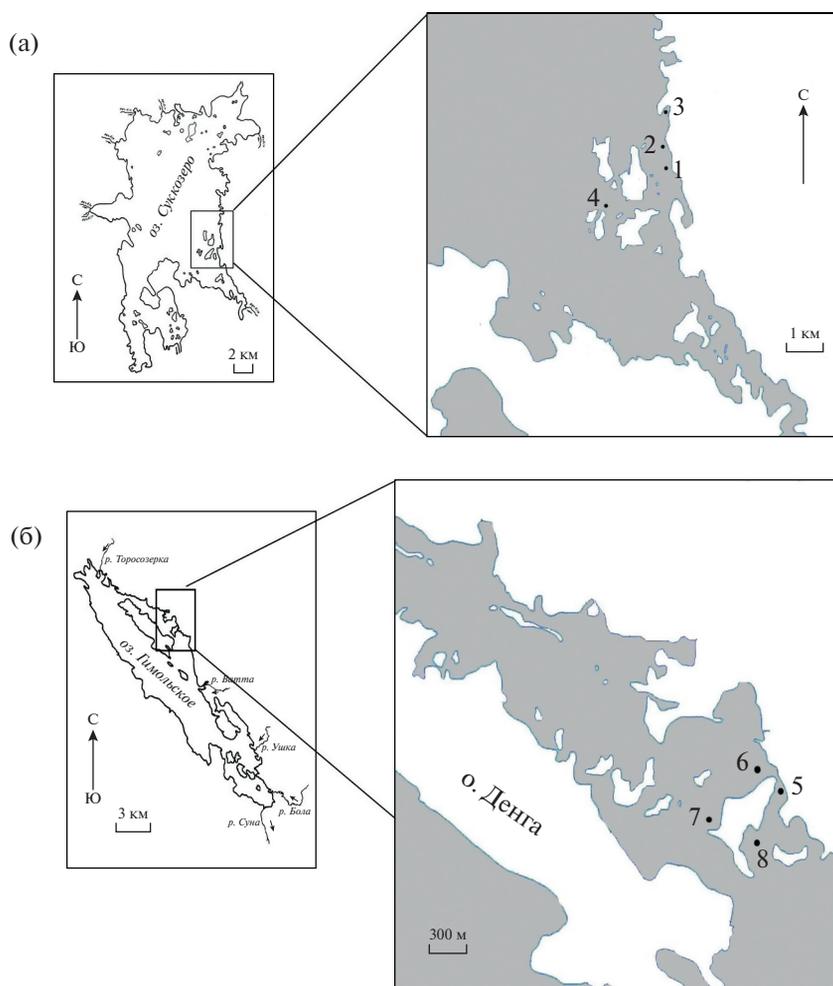


Рис. 1. Карта-схема станций: а – на оз. Суккозеро ($63^{\circ}00'$ с.ш., $32^{\circ}19'$ в.д.); б – на оз. Гимольское ($63^{\circ}11'$ с.ш., $32^{\circ}15'$ в.д.). 1–8 – номера станций.

Цель работы – оценить особенности донных сообществ озер, находящихся в ненарушенном состоянии, для формирования основ экологического мониторинга.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основой работы послужили собственные сборы авторов в осенний период 2017–2018 гг. на озерах Суккозеро ($63^{\circ}11'$ с.ш., $32^{\circ}15'$ в.д.) и Гимольское ($63^{\circ}00'$ с.ш., $32^{\circ}19'$ в.д.), а также литературные данные. Водоемы имеют ледниковое происхождение и принадлежат бассейну р. Суна (бассейн Онежского озера), расположены в Муезерском р-не (западная Карелия).

Из-за слабой заселенности водосборной площади, отсутствия крупных промышленных предприятий и рыболовных ферм озера находятся в естественном природном состоянии. Они территориально относятся к Зеленому поясу Фенноскандии, что дополнительно увеличивает их

значимость для сохранения биоразнообразия водных экосистем (Зеленый..., 2014).

Озеро Суккозеро имеет прямоугольную форму с вытянутыми в стороны заливами, ориентирован с севера на юг (рис. 1а). В озеро впадает р. Сулос и 13 ручьев, вытекает р. Суккозерка, впадающая в Гимольское озеро. Озеро неглубокое, дно неровное, имеются редкие впадины и поднятия, образующие ямы и подводные луды (Озера..., 2013).

Озеро Гимольское вытянуто с северо-запада на юго-восток, водосборная площадь составляет 35% всей площади бассейна р. Суна (рис. 1б). По происхождению озерной котловины оз. Гимольское относится к ледниковому, запрудно-речному типу. В водоем впадает пять притоков: в северной части – р. Торосозерка, в северо-западной – р. Вотта, с юга – р. Бола, и два притока длиной <10 км (Грицевская, 1958).

Основные гидрологические показатели исследованных водоемов представлены в табл. 1. Химический состав вод формируется под влиянием

Таблица 1. Основные гидрологические показатели водоемов

Показатель	оз. Суккозеро	оз. Гимольское
Высота над уровнем моря, м	176	164
Площадь водосбора, км ²	315	2590
Площадь озера, км ²	37.0	80.5
Наибольшая длина, км	12.7	25.3
Наибольшая ширина, км	6.0	5.6
Число островов	130	83
Средняя глубина, м	5	3.3
Максимальная глубина, м	28	30.0
Коэффициент условного водообмена	0.57	3.50

Таблица 2. Средние значения гидрохимических показателей исследуемых озер в 2009 г. (по: (Озера ..., 2013))

Показатель	оз. Суккозеро	оз. Гимольское
Минерализация, мг/л	9	9
Цветность, град	57	54
Перманганатная окисляемость, мг О/л	10.0	9.2
Фосфор (мин), мг/л	0.001	0.001
Фосфор (общ.), мг/л	0.01	0.012
N-NH ₄ , мг/л	0.05	0.04
N-NO ₃ , мг/л	0.02	<0.01
N (орг.), мг/л	0.22	0.35
O ₂ , % насыщения	84–94	61–102
CO ₂ , мг/л	1.9–7.7	1.8–15.9
pH	6.0–7.1	6.1–7.2

поверхностного и подземного стоков с водосборов и развивающихся в них внутренних процессов (табл. 2). Озера отличаются низкой минерализацией, высокой цветностью, повышенной перманганатной окисляемостью в связи с поступлением большого количества органического вещества гумусового происхождения. Такой химический состав вод характерен для многих озер Республики Карелия (Озера..., 2013).

Донные отложения представлены в основном илами, глинистыми илами и глиной. Цвет ила серый, серо-зеленый. Рудные отложения отмечены во всех озерах в виде корок, гороха и наилок. Высшая водная растительность в обоих озерах развита слабо. Массовые виды – тростник обыкновенный, камыш озерный, рдест, хвощ, кубышка, осоки. Степень зарастания в Суккозере достигает 16%, в оз. Гимольское – 0.6%.

Всего собрано и обработано 38 проб зообентоса на восьми станциях – на оз. Суккозере 17 проб на четырех станциях, на оз. Гимольское – 21 проба на четырех станциях (рис. 1, табл. 3).

Сетка станций обусловлена характером распределения глубин (>95% площади исследованных водоемов приходится на глубины 0–10 м) и стремлением изучить основные биотопы. Гидробиологические исследования озер Суккозеро и Гимольское в более ранние годы (Зыков, 1948; Правдин, 1956) проводили в прибрежных районах на сопоставимых глубинах и биотопах.

Пробы зообентоса отбирали дночерпателем с площадью захвата 0.025 м², по два подъема на пробу. Грунт промывали с помощью сита (размер ячеек 0.5 мм), полученный материал фиксировали 8%-ным раствором формалина. Камеральную обработку проводили в лаборатории с помощью бинокулярного микроскопа, беспозвоночных сортировали по таксономическим группам и взвешивали с точностью 0.1 мг. Виды определяли с использованием современных руководств (Wiederholm, 1983; Нарчук, 1999; Определитель..., 2001; Timm, 2009; Определитель..., 2016). Названия видов приведены на основе базы данных Fauna Europea (De Jong et al., 2014). К доминантам относили виды, достигающие по численности

Таблица 3. Характеристика гидробиологического материала озер Суккозеро и Гимольское в 2017 г. и 2018 г.

Станция	Координаты	h, м	Тип грунта	Биотоп	Число проб	Дата сбора
оз. Суккозеро						
1	63.166 с.ш., 32.268 в.д.	3–4	Песок, детрит	Песчаная литораль	1	23.09.2017
					2	06.10.2018
2	63.171 с.ш., 32.279 в.д.	3–4	Ил, детрит, кора	Илистая лито- раль	1	23.09.2017
					5	06.10.2018
3	63.165 с.ш., 32.283 в.д.	2	Ил	Зарослевая литораль	1	23.09.2017
					4	06.10.2018
4	63.175 с.ш., 32.279 в.д.	10	Ил, руда	Профундаль	1	23.09.2017
					2	06.10.2018
оз. Гимольское						
5	63.028 с.ш., 32.331 в.д.	2	Каменисто- песчаный	Каменистая литораль	2	17.09.2017
					2	05.10.2018
6	63.027 с.ш., 32.339 в.д.	2	Глина, детрит	Зарослевая литораль	2	17.09.2017
					2	05.10.2018
7	63.029 с.ш., 32.331 в.д.	8	Ил, глина	Профундаль	2	17.09.2017
					4	05.10.2018
8	63.029 с.ш., 32.337 в.д.	2	Песок	Песчаная литораль	3	17.09.2017
					4	05.10.2018

Примечание: h – глубина.

>15%, к субдоминантам – >5%. Статистический анализ проводили с помощью программ обработки данных Past, Excel (Hammer et al., 2001).

Для оценки экологического качества вод применяли методики Пантле–Букк (в модификации Сладечека), Майера (М), Гуднайта–Уитлея (Введение..., 2019), Е.В. Балушкиной (Балушкина, 1987, 1997), с использованием видов-индикаторов зообентоса определяли сапробность (Sládeček, 1973). Индекс Шеннона (H) рассчитывали по формуле: $H = -\sum p_i \ln p_i$, где p_i – доля особей (или биомассы) i -го вида (Мэгарран, 1992). В качестве меры доминирования, оценивающей обилие самых обычных видов, а не видовое богатство, использовали индекс доминирования Симпсона (D), который рассчитывали по формуле $D = \sum p_i^2$, где p_i – доля особей i -го вида (Мэгарран, 1992).

Трофический статус водоема определяли по шкале С.П. Китаева (Китаев, 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В сентябре–октябре 2017–2018 гг. фауну донных беспозвоночных исследованных озер представляли личинки хирономид, ручейников, поделнок, малошетинок черви и моллюски.

Структура доминирующих видов представлена в табл. 4.

Средняя численность бентоса оз. Суккозеро достигала 315 экз./м² при биомассе 0.41 г/м² в 2017 г. и 685 экз./м² при биомассе 0.75 г/м² в 2018 г. По показателям обилия преобладали личинки хирономид (табл. 5) – доминировали *Tanytarsus* sp. и *Procladius* sp.

Средняя численность бентоса оз. Гимольское достигала 346 экз./м² при биомассе 0.93 г/м² в 2017 г. (Савосин, Кучко, 2018) и 220 экз./м² при биомассе 0.41 г/м² в 2018 г. Для сравнения средняя численность бентоса оз. Гимольское в 1948 г. достигала 550 экз./м² при биомассе 1.88 г/м² (Соколова, 1959). По частоте встречаемости в пробе преобладали личинки хирономид (табл. 5), доминировали *Tanytarsus* sp., *Procladius* sp., *Polypedilum* sp.

Оценка обилия макрозообентоса на восьми станциях показала, что наибольшие величины биомассы были в зарослевой литорали оз. Суккозеро (ст. 3), и в профундали с илистым грунтом оз. Гимольское (ст. 8), наименьшие – в зоне песчаной литорали обоих озер (табл. 6).

Для каждого водоема выявлено один–два вида-доминанта и несколько субдоминантов в зависимости от биотопа. Представители *Procladius* sp. преобладали и в Суккозере, и в оз. Гимольское,

Таблица 4. Таксономический состав макрозообентоса оз. Суккозеро и оз. Гимольское в 2017 г. и 2018 г.

Таксон	оз. Суккозеро				оз. Гимольское			
	Станция							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oligochaeta								
<i>Lumbriculus variegatus</i> (Müller)	–		+	–	–	–	–	–
<i>Spirosperma ferox</i> Eisen	–	++	++	–	–	–	–	–
<i>Tubifex tubifex</i> (Müller)	–	++	++	–	–	–	–	+
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede	–	–	–	–	–	+	++	++
Bivalvia								
<i>Pisidium</i> sp.	++	++	++	–	–	–	–	–
Nematoda								
	–	++	+	–	+	–	+	+
Ephemeroptera								
<i>Ephemera vulgata</i> Linnaeus	–	–	+	–	–	+	–	–
Megaloptera								
<i>Sialis morio</i> Klingstedt	–	–	+	–	–	–	–	–
Trichoptera								
<i>Cyrnus flavidus</i> McLachlan	–	–	++	–	–	–	–	+
<i>Ecnomus tenellus</i> (Rambur)	–	–	–	–	++	++	–	–
<i>Oecetis ochracea</i> (Curtis)	–	–	++	–	–	–	–	–
Ceratopogonidae								
<i>Bezzia</i> sp.	–	–	+	–	–	–	–	++
Chaoboridae								
<i>Chaoborus flavicans</i> Meigen	–	–	–	–	–	–	+	–
Chironomidae								
<i>Ablabesmyia</i> sp.	–	–	+	–	–	–	–	+
<i>Chironomus</i> sp.	–	++	–	–	–	–	+++	–
<i>Cladotanytarsus</i> sp.	++	–	–	–	–	–	–	–
<i>Cladopelma lateralis</i> (Goetghebuer)	–	–	–	–	–	++	–	–
<i>Cryptochironomus obreptans</i> (Walker)	++	+++	++	++	–	–	++	++
<i>Corynocera ambigua</i> Zetterstedt	–	+	–	–	–	–	–	–
<i>Dicrotendipes nervosus</i> (Staeger)	–	–	–	–	–	–	–	+
<i>Glyptotendipes gripekoveni</i> (Kieffer)	–	+	–	–	–	–	–	–
<i>Harnischia curtilamellata</i> Malloch	–	–	–	–	–	–	–	+
<i>Heterotanytarsus apicalis</i> (Kieffer)	++	–	–	–	–	–	–	–
<i>Microtendipes pedellus</i> (DeGeer)	–	–	+++	–	–	–	–	+++
<i>Polypedilum nubifer</i> Skuse	–	–	–	–	–	–	–	+
<i>P. nubeculosum</i> (Meigen)	–	++	–	+++	–	–	–	++
<i>P. pedestre</i> (Meigen)	–	–	–	–	–	–	–	+
<i>Procladius</i> sp.	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++
<i>Psectrocladius</i> sp.	–	–	++	–	++	–	–	+
<i>Stictochironomus crassiforceps</i> (Kieffer)	–	–	–	–	–	–	–	++
<i>Tanytarsus</i> sp.	++	++	+++	–	–	–	–	–

Примечание. “+++” – доминант по численности, “++” – субдоминант, “+” – единичные находки, “–” – отсутствие вида.

Таблица 5. Численность (*N*) и биомасса (*B*) основных таксономических групп и их вклад (%) в общие количественные показатели зообентоса оз. Суккозеро и оз. Гимольское

Таксон	<i>N</i> , экз./м ²			<i>N</i> , %			<i>B</i> , г/м ²			<i>B</i> , %		
	2009	2017	2018	2009	2017	2018	2009	2017	2018	2009	2017	2018
оз. Суккозеро												
Chironomidae	89	90	396	8	29	58	0.14	0.10	0.30	8	24	40
Oligochaeta	664	100	396	60	32	11	0.76	0.10	0.11	45	24	15
Mollusca	343	45	73	31	14	10	0.78	0.11	0.14	46	28	19
Другие	11	80	70	1	25	21	0.01	0.10	0.20	1	24	26
Всего	1107	315	146	100	100	100	1.69	0.41	0.75	100	100	100
оз. Гимольское												
Chironomidae	268	242	153	14	70	70	0.95	0.51	0.17	22	55	41
Oligochaeta	1550	80	27	81	23	12	3.06	0.08	0.06	71	9	15
Mollusca	96	0	0	5	0	0	0.30	0.00	0.00	7	0	0
Другие	0	24	40	0	7	18	0.00	0.34	0.18	0	36	44
Всего	1914	346	220	100	100	100	4.31	0.93	0.41	100	100	100

Примечание. Для сравнения средняя численность бентоса оз. Гимольское в 1948 г. достигала 550 экз./м² при биомассе 1.88 г/м² (Соколова, 1959). Данные за 2009 г. — по (Озера..., 2013).

второстепенную роль играли *Tanytarsus* sp., *Poly-pedilum* sp. и *Cryptochironomus* sp. Другие таксоны не имели значимой численности, их “удельный вес” в структуре донного сообщества был невелик. Количественные показатели зообентоса основных биотопов исследованных водоемов возрастали на мягких грунтах в условиях небольших глубин и повышенной органики (табл. 7).

Согласно полученным значениям индекса Майера ($M = 9$), оба водоема относятся к четвертому классу качества (α -мезосапробный), по оли-

Таблица 6. Показатели обилия основных таксонов макрозообентоса оз. Суккозеро (ст. 1–4) и оз. Гимольское (ст. 5–8) в 2017 и 2018 гг.

Таксон	Станция							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Chironomidae	$\frac{100}{0.01}$	$\frac{90}{0.03}$	$\frac{633}{0.41}$	$\frac{30}{0.08}$	$\frac{70}{0.04}$	$\frac{130}{0.16}$	$\frac{33}{0.39}$	$\frac{268}{0.18}$
Oligochaeta	—	$\frac{70}{0.08}$	$\frac{93}{0.11}$	—	$\frac{80}{0.02}$	$\frac{20}{0.01}$	$\frac{40}{0.13}$	$\frac{33}{0.02}$
Mollusca	$\frac{40}{0.01}$	$\frac{55}{0.09}$	$\frac{60}{0.13}$	$\frac{20}{0.04}$	—	—	—	—
Другие	—	$\frac{125}{0.14}$	$\frac{153}{0.30}$	—	$\frac{130}{0.17}$	$\frac{60}{0.23}$	$\frac{50}{0.13}$	$\frac{100}{0.11}$
Всего	$\frac{140}{0.02}$	$\frac{340}{0.34}$	$\frac{939}{0.95}$	$\frac{50}{0.12}$	$\frac{280}{0.29}$	$\frac{210}{0.40}$	$\frac{123}{0.64}$	$\frac{401}{0.31}$

Примечание. Над чертой — средняя численность, экз./м², под чертой — средняя биомасса, г/м², “—” — отсутствие в пробе.

гохетному индексу (ОИ) — ко второму–третьему классу качества, индекс сапробности Пантле–Букка позволяет отнести водоемы к α -мезосапробным.

Хирономидный индекс обоих озер соответствует умеренно-загрязненным водоемам, для оз. Гимольское $K = 1.74$, для Суккозера — $K = 1.77$ (табл. 8). Полученные значения индексов Шеннона и Симпсона свидетельствуют, что наибольшее видовое разнообразие характерно для зарослевой литорали Суккозера и песчаной литорали оз. Гимольское, более однородное сообщество зообентоса с незначительным количеством видов — для профундальной зоны Суккозера и прибойной каменистой литорали оз. Гимольское соответственно.

По уровню количественного развития зообентоса оз. Гимольское относится к мезотрофных водоемам, оз. Суккозеро — к олиготрофным.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Оба изученных водоема — мезогумусные слабокислые водные объекты с повышенной цветностью и низкой минерализацией. Для таких озер характерна более значительная роль представителей хирономид в сообществе макрозообентоса, а для водоемов с низким уровнем гумуса отмечают преобладание Ephemeroptera и Plecoptera и отсутствие представителей Trichoptera и Amphipoda в водоемах с высоким содержанием органического вещества (Kesti et al., 2021). В течение последних десятилетий во многих регионах северного полушария наблюдают повышение концентрации

Таблица 7. Количественные показатели макрозообентоса в различных биотопах озер Суккозеро и Гимольское в 2017 г. и 2018 г.

Показатель	Литораль				Профундаль
	песчаная	илистая	зарослевая	каменистая	
<i>N</i> , экз./м ² :					
средняя	320	200	644	250	84
min–max	80–1040	20–680	60–1820	20–480	20–120
медиана	300	130	320	250	100
<i>B</i> , г/м ² :					
средняя	0.19	0.23	1.12	0.37	0.37
min–max	0.03–0.77	0.01–0.48	0.01–2.77	0.05–0.68	0.01–0.86
медиана	0.11	0.19	0.78	0.37	0.21
Число видов	20	12	19	5	8
Число проб	10	6	9	4	9

Таблица 8. Показатели экологического состояния вод озер Суккозеро и Гимольское в 2017 г. и 2018 г.

Показатель	оз. Суккозеро	оз. Гимольское
M	9	9
S	2.88	2.95
OI	40	30
K	1.77	1.74
Зона сапробности	α-мезосапробная	α-мезосапробная
H, бит/экз.	1.54 ± 0.36	1.61 ± 0.31
D	0.31 ± 0.11	0.27 ± 0.07
Число видов	20	17
Число видов-индикаторов	6	12

Примечание: M – индекс Майера; S – индекс сапробности; K – индекс Балушкиной; H – индекс Шеннона; D – индекс доминирования Симпсона; OI – олигохетный индекс Гуднайта–Уитлея.

растворенного органического углерода и железа (Van Dorst et al., 2020).

Многолетние исследования макрозообентоса. Впервые оз. Суккозеро и оз. Гимольское исследовали в рамках программы изучения рыбопромысловых водоемов в 1947–1949 гг. (Зыков, 1948; Правдин, 1956; Куликова, Рябинкин, 2015). В последующие годы Карельский филиал АН СССР совместно с СеврыбНИИпроектом провели комплексную рекогносцировочную съемку на ряде малых разнотипных водоемов. По результатам этих работ, руководящими группами зообентоса по биомассе в Суккозере были хирономиды и двустворчатые моллюски, в оз. Гимольское – поденки, субдоминантами выступали олигохеты и хирономиды соответственно (Соколова, 1959; Инвентаризация..., 2001). Исследования 2009 г. показали, что в Суккозере преобладают олигохеты и двустворчатые моллюски, оз. Гимольское – малошестинковые черви, потеснившие домини-

ровавших ранее личинок насекомых (Куликова, Рябинкин, 2015).

Влияние факторов среды на биоту озер Карелии. Водные экосистемы испытывают, как правило, влияние различных факторов антропогенного характера: техногенное загрязнение на урбанизированных территориях и в районах с развитой промышленностью, органическое при выращивании гидробионтов. Так, оз. Костомукшское, которое находилось в естественном состоянии до 1978 г., превратилось в хвостохранилище городского ГОКа (Горно-обогатительный комбинат), что значительно изменило общую минерализацию водоема. Дальнейшие исследования показали, что техногенная трансформация этого водоема привела к упрощению структуры биоты, к снижению видового разнообразия и исчезновению стенобионтных видов в составе бентоса (Биота..., 2012). При эксплуатации форелевых хозяйств водная среда обогащается продуктами жизнедеятельности объектов выращивания, в результате проис-

ходит смена трофического статуса. Многолетние исследования макрозообентоса оз. Тарасмозеро показали, что из-за ввода в действие форелевого комплекса численность и биомасса организмов донного сообщества увеличились в несколько раз (Стерлигова и др., 2018). Водные объекты, расположенные на урбанизированной территории, оказываются в зоне распределенного поверхностного стока, вызывающего биоаккумуляцию тяжелых металлов в донных беспозвоночных (Слуковский, Полякова, 2017).

Влияние градиента рН, минерализации и наличие элементов биоогенного питания показано на водоемах Мурманской обл. в работах (Денисов и др., 2009; Валькова, 2020). Численность и биомасса донной фауны этих водоемов находились в слабой обратной зависимости от концентрации загрязняющих веществ, однако достоверно коррелировали с содержанием биоогенных элементов (N, P) и уровнем минерализации.

При оценке современного состояния крупных мелководных озер Воже, Лача, Белое, Кубенское и Неро, расположенных в гумидной зоне Европейской территории России, отмечено влияние антропогенно-техногенных факторов, вследствие чего произошло упрощение структуры донных сообществ, включение в них видов с широкими экологическими спектрами, преобладание среди доминантов эврибионтов (Законнов, Чуйко, 2019; Пряничникова, 2021).

В более ранних комплексных исследованиях (Чертопруд и др., 2021) показано, что биомасса бентоса возрастает от субарктической северной тайги к лесной умеренной зоне. Суммарное обилие макробентоса в водоемах северной тайги (субарктической зоне) обычно низко (до 1–3 г/м²). В сообществах доминируют личинки насекомых, часто наблюдается сильная дистрофикация водоемов (закисление и смягчение воды, развитие торфянистых субстратов на дне), препятствующая обитанию высших ракообразных и моллюсков.

Изученные озера как объекты фонового мониторинга состояния природной среды. Исследованные озера, находящиеся вдали от крупных промышленных объектов, транспортных узлов, магистралей и урбанизированных территорий, находятся в естественном состоянии. Слабая заселенность района, отсутствие промышленных и хозяйственно-бытовых стоков позволяют рассматривать эти озера в качестве контрольных объектов при мониторинге состояния окружающей среды с помощью современных методик, основанных на биоиндикации, и служить исходным ориентиром при определении направления и изучения динамики негативных процессов при выраженном антропогенном воздействии. Полученные в ходе исследования результаты свидетельствуют, что водоемы Карелии, расположенные в зоне средней и верх-

ней тайги, имеют сложившийся тип донного сообщества, характерный для озер с повышенным уровнем гумификации. Для них характерны низкое видовое богатство, незначительные количественные показатели биомассы и численности, несколько основных типов грунта и слабо развитая зарослевая литораль. При изменении условий среды в данной экосистеме (эвтрофикация, минерализация и прочие) происходит отклик количественных характеристик сообщества при сохранении структуры доминирующих видов, основу бентоценоза будут составлять толерантные, эврибионтные группы донных беспозвоночных (Китаев, 2007; Теканова и др., 2018).

Видовой состав и структура сообщества зообентоса на протяжении последних 10 лет стабильны, что, вероятно связано с тем, что исследуемые водоемы длительное время находятся почти в неизменном состоянии и не испытывают значительного антропогенного воздействия.

Очевидно, основное влияние на ненарушенные водоемы оказывает комплекс региональных особенностей, а подверженные антропогенному воздействию озера, претерпевают изменения трофического статуса, вызванные качественными преобразованиями водной среды.

Выводы. Выполнена оценка видового состава и обилия зообентоса, его долговременных изменений, возможности и эффективность использования индексов качества вод в мезогумусных водоемах.

Для озер Суккозеро и Гимольское, находящихся в таежной зоне и естественном состоянии, характерен бедный видовой состав и низкое обилие бентоса, свойственное для большинства олиготрофных северных водоемов. По сравнению с данными предыдущих исследований за >50-летний период, значительных изменений в сообществах зообентоса не выявлено. Индексы оценки качества вод указывают на органическое загрязнение, но оно не связано с действием антропогенного фактора, а вызвано, по-видимому, региональными особенностями (поступление гуминовых веществ с водосборной территории, низкая минерализация, высокая цветность и прочие). Исследованные водоемы можно рекомендовать для использования в качестве эталонных при мониторинге качества поверхностных вод тайги.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа проведена за счет средств федерального бюджета по теме государственного задания № FMEN-2022-0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алимов А.Ф., Ленченко В.Ф., Старобогатов Я.И. 1997. Биоразнообразие, его охрана и мониторинг // Мо-

- нитинг биоразнообразия. Москва: Ин-т проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. С. 16.
- Баканов А.И.* 2000. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов (обзор) // Биология внутр. вод. № 1. С. 68.
- Балушкина Е.В.* 1987. Функциональное значение личинок хирономид в континентальных водоемах. Ленинград: Наука. С. 146.
- Балушкина Е.В.* 1997. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. Санкт-Петербург: Зоол. ин-т РАН. С. 266.
- Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия. 2012. Петрозаводск: Карельск. науч. центр РАН.
- Валькова С.А.* 2020. Таксономический состав и структура макрозообентоса разнотипных водоемов зеленого пояса Фенноскандии в пределах Мурманской области // Тр. Карельск. науч. центра РАН. № 1. С. 56.
- Введение в биомониторинг пресных вод. 2019. Владивосток: Изд-во ВГУЭС (Владивостокский государственный университет экономики и сервиса).
- Грицевская Г.Л.* 1958. К гидрохимии водоемов бассейна реки Суны // Тр. Карельск. филиала Академии наук СССР. Вып. 8. С. 158.
- Денисов Д.Б., Кашулин Н.А., Терентьев П.М. и др.* 2009. Современные тенденции изменения биоты пресноводных экосистем Мурманской области // Вестн. Мурманск. гос. техн. ун-та. Т. 12. № 3. С. 525.
- Законнов В.В., Чуйко Г.М.* 2019. Проблемы крупных мелководных озер гумидной зоны Европейской территории России // Озера Евразии; проблемы и пути решения: Матер. II междунар. конф. Казань: Академия наук Республики Татарстан. С. 76.
- Зеленый пояс Фенноскандии: научно-популярное иллюстрированное издание. 2014. Петрозаводск: Карельск. науч. центр РАН.
- Зыков П.В.* 1948. Гимольское озеро // Тр. Карело-Финского филиала Академии наук СССР. Вып. 1. С. 93.
- Инвентаризация и изучение биологического разнообразия на территории центральной Карелии. (Оператив.-информ. материалы). 2001. Петрозаводск: Карельск. науч. центр РАН.
- Калинкина Н.М., Белкина Н.А.* 2018. Динамика состояния бентосных сообществ и химического состава донных отложений Онежского озера в условиях действия антропогенных и природных факторов // Принципы экологии. № 2. С. 56.
- Китаев С.П.* 2007. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельск. науч. центр РАН.
- Куликова Т.П., Рябинкин А.В.* 2015. Современное состояние фауны ряда разнотипных озер Карелии (исследования 2008–2011 годов) // Тр. Карельск. науч. центра РАН. № 9. С. 25.
- Лукин А.А., Ивантер Д.Э., Лукина Ю.Н. и др.* 2008. Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: Карельск. науч. центр РАН, Ин-т водных проблем Севера, Северный науч.-исслед. ин-т рыб. хоз-ва ПетрГУ.
- Мэггаран Э.* 1992. Экологическое разнообразие и его измерение. Москва: Мир.
- Нарчук Э.П.* 1999. Определитель беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4. Двукрылые. Санкт-Петербург: Зоол. ин-т РАН. С. 210.
- Озера Карелии: Справочник. 2013. Петрозаводск: Карельск. науч. центр РАН.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. 2016. Т. 2. Зообентос. Москва: Товарищество науч. изданий КМК.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. 2001. Т. 5. Высшие насекомые (ручейники, чешуекрылые, жесткокрылые, сетчатокрылые, большекрылые, перепончатокрылые). Санкт-Петербург: Наука.
- Правдин И.Ф.* 1956. Рыбные угодья, рыбы и рыбные запасы водоемов Западной Карелии (естественно-историческая характеристика водоемов) // Тр. Карело-Финского филиала Академии наук СССР. Вып. 3. С. 129.
- Пряничникова Е.Г.* 2021. Макробентос озер Воже и Лача // Тр. Ин-та биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН. № 94(97). С. 77.
- Савосин Е.С., Кучко Я.А.* 2018. Зоопланктон и зообентос озера Гимольское (Западная Карелия) // Рыбоводство и рыбное хозяйство. № 8. С. 23.
- Слуковский З.И., Полякова Т.Н.* 2017. Анализ накопления тяжелых металлов в организме олигохет из речных донных отложений урбанизированной среды // Биология внутр. вод. № 3. С. 73. <https://doi.org/10.7868/S032096521703010X>
- Соколова В.А.* 1959. Оз. Гимольское // Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск: Гос. изд-во Карельской АССР. С. 281.
- Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В., Кучко Я.А. и др.* 2018. Состояние пресноводных водоемов Карелии с товарным выращиванием радужной форели в садках. Петрозаводск: Карельск. науч. центр РАН.
- Стерлигова О.П., Павлов В.Н., Ильмаст Н.В. и др.* 2002. Экосистема Сямозера (биологический режим, использование). Петрозаводск: Карельск. науч. центр РАН.
- Теканова Е.В., Калинкина Н.М., Кравченко И.Ю.* 2018. Геохимические особенности функционирования биоты в водоемах Карелии // Изв. РАН. Серия геогр. № 1. С. 90. <https://doi.org/10.7868/S2587556618010083>
- Теканова Е.В., Макарова Е.М., Калинкина Н.М.* 2021. Экологическая оценка качества воды урбанизированного притока Онежского озера по химическим показателям // Вода и экология: проблемы и решения. № 3(87). С. 75.
- Чертопруд М.В., Крыленко С.В., Лукиных А.И. и др.* 2021. Особенности сообществ макрозообентоса малых арктических озер Евразии // Биология внутр. вод. № 4. С. 378. <https://doi.org/10.31857/S0320965221030050>
- De Jong Y., Verbeek M., Michelsen V. et al.* 2014. Fauna Europaea – all European animal species on the web //

- Biodiversity Data Journal. V. 2.
<https://doi.org/10.3897/BDJ.2.e4034>
- Hammer Ø., Harper D., Ryan P. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // *Palaeontologia Electronica*. V. 4. Iss. 1. P. 1.
- Kalinkina N.M., Tekanova E.V., Ryzhakov A.V. 2020. Brownification and its consequences for the ecosystems of Lake Onego and Vygozerskoe reservoir under influence of climatic and anthropogenic factors // *Limnology and Freshwater Biol.* № 4. P. 667.
- Kendrick M.R., Huryn A.D., Bowden W.B. et al. 2018. Linking permafrost thaw to shifting biogeochemistry and food web resources in an arctic river // *Global Change Biol.* V. 24. № 12. P. 5738.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14448>
- Kesti P., Strandberg U., Vesterinen J. et al. 2022. Lake browning impacts community structure and essential fatty acid content of littoral invertebrates in boreal lakes // *Hydrobiologia*. V. 849 (4). P. 967.
<https://doi.org/10.1007/s10750-021-04760-1>
- Meltofte H. 2013. Arctic biodiversity assessment, status and trends in Arctic biodiversity. Akureyri. Iceland: Conservation of Arctic Flora and Fauna.
- Roberts K.E., Lamoureux S.F., Kyser et al. 2017. Climate and permafrost effects on the chemistry and ecosystems of high Arctic Lakes // *Scientific Reports*. V. 7. № 1. P. 13292.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-13658-9>
- Sala O.E., Chapin F.S., Armesto J.J. et al. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100 // *Science*. V. 287. № 5459. P. 1770.
<https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- Sládeček V. 1973. System of water quality from the biological point of view // *Arch. für Hydrobiol. Ergebnisse der Limnologie*. Bd 7.
- Solomon C.T., Jones S.E., Weidel B.C. et al. 2015. Ecosystem Consequences of Changing Inputs of Terrestrial Dissolved Organic Matter to Lakes: Current Knowledge and Future Challenges // *Ecosystems*. V. 18. № 3. P. 376.
- Timm T. 2009. A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe // *Lauterbornia*. V. 66.
- Van Dorst R.M., Gårdmark A., Huss M., Svanbäck R. 2020. Does browning-induced light limitation reduce fish body growth through shifts in prey composition or reduced foraging rates? // *Freshwater Biol.* V. 65. № 5. P. 947.
<https://doi.org/10.1111/fwb.13481>
- Wiederholm T. 1983. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and Diagnosis. Part 1. Larvae // *Entomologica Scandinavica*. Suppl. № 19.

Features of Zoobenthos of Mesohumus Lakes of the Republic of Karelia in a Natural State

E. S. Savosin¹, * and D. S. Savosin¹

¹*Institute of Biology of Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia*

*e-mail: szhenya@list.ru

The results of studies of the current state of zoobenthic communities of lakes Sukkozzero and Gimolskoye, located in the western part of the Republic of Karelia (Muezersky district), are presented. Under conditions of high color and low mineralization of waters, communities are formed with a predominance of chironomid larvae, caddisflies, mayflies, and oligochaetes. Biomass and abundance indicators in 2017–2018 were within 0.41–0.75 g/m² and 315–685 ind./m² in the lake Sukkozzero and 0.41–0.93 g/m² and 220–346 ind./m² in the lake Gimolskoye. The highest values of abundance and biomass were noted in biotopes of silty soils (overgrown littoral and profundal), the lowest values in the biotope of sandy littoral. According to the level of quantitative development of zoobenthos, Sukkozzero belongs to oligotrophic water bodies; Gimolskoye – mesotrophic. The experience of using common biotic indices for assessing the ecological quality of waters (Mayer, oligochaete, saprobity, chironomid) indicates that low mineralization and high humus content can affect their performance and distort the assessment of real organic pollution.

Keywords: monitoring, freshwater ecosystem, zoobenthos, abundance, biomass, trophic status