

УДК 597.552.3:591

СОХРАНИВШАЯСЯ В ЕСТЕСТВЕННОМ СОСТОЯНИИ ЭКОСИСТЕМА ОЗ. ТОЛПАНЪЯРВИ, ЗАПАДНАЯ КАРЕЛИЯ

© 2023 г. О. П. Стерлигова¹, Н. В. Ильмаст¹, *, Я. А. Кучко¹, Е. С. Савосин¹, Д. С. Савосин¹

¹Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия

*e-mail: ilmast@mail.ru

Поступила в редакцию 19.03.2023 г.

После доработки 17.04.2023 г.

Принята к публикации 25.04.2023 г.

Приведены результаты исследований в приграничном с Финляндией оз. Толпанъярви. Изучены и проанализированы гидрологические, гидрохимические показатели и состояние биотических сообществ (зоопланктон, бентос, рыбное население). Анализ химического состава воды свидетельствует о низком содержании органических веществ (общий фосфор 0.007 мг/л и азот 0.26 мг/л). По уровню количественного развития зоопланктона (с биомассой менее 1.0 г/м³) и зообентоса (биомасса 0.44 г/м²) водоем соответствует олиготрофному типу. По величине индекса сапробности по методу Пантле–Букк, озеро принадлежит к олигосапробному классу (чистые природные воды). Количественные показатели зообентоса изменялись от 120 экз./м² и 0.08 г/м² в профундальной зоне до 1200 экз./м² и 0.86 г/м² в затишной литорали. По хирономидному индексу ($K - 2.10$) озеро ближе к чистым водным объектам. В исследованном (ограниченном) районе озера выловлено 8 видов рыб, но, вероятно, в целом по озеру их намного больше. По литературным данным в близлежащих водоемах обитает до 12–16 видов. Основу рыбного населения составляют сиг *Coregonus lavaretus*, окунь *Perca fluviatilis* и плотва *Rutilus rutilus*. В озере обнаружены две экологические формы сига, которые отличаются как по числу жаберных тычинок (малотычинковые 18–24 и среднетычинковые 28–36), так и по биологическим показателям (линейно-весовой рост, созревание, плодовитость и питание). Отмечено, что стабильные экосистемы, обладающие высокой степенью разнообразия, являются основой для сохранения генофонда и оценки состояния водоемов в условиях интенсивного антропогенного воздействия.

Ключевые слова: пресноводные экосистемы, биологическое разнообразие, экологические формы, зоопланктон, зообентос, рыбы, Республика Карелия

DOI: 10.31857/S0042132423050083, **EDN:** QWJITU

ВВЕДЕНИЕ

Проблема биологического разнообразия является одной из наиболее значимых, поскольку в результате хозяйственной деятельности человека происходят резкие изменения природных экосистем (Решетников и др., 1982; Мэгарран, 1992; Алимов, 2001; Дгебуадзе, Павлов, 2007; Алимов и др., 2013 и др.). Благодаря биологическому разнообразию создается структурная и функциональная организация экологических систем, обеспечивающая их стабильность во времени и устойчивость к изменениям внешней среды, в том числе и в результате антропогенного воздействия.

Важную роль в сохранении разнообразия гидробионтов в пресноводных экосистемах играют водоемы, находящиеся практически в естественном состоянии, к которому можно отнести оз. Толпанъярви. Водоем имеет ледниковое происхождение, относится к бассейну Белого моря и расположено в северо-западной части Республики Карелия. Бла-

годаря своему географическому положению входит в состав “Зеленого пояса Фенноскандии”, протянувшегося по обе стороны вдоль Российско-Финляндско-Норвежской границы (Зеленый пояс..., 2014). Вокруг озера установлена охранный зона, включающая запреты на все виды деятельности человека (охота, рыбная ловля, промысловый сбор грибов и ягод, рубка леса и др.), что характерно и для заповедных территорий. Водосборная площадь озера слабо заселена, вблизи нет крупных населенных пунктов и промышленных предприятий. По озеру практически отсутствуют данные, за исключением его площади 4.2 км². Исследуемый водоем на протяжении длительного времени находится в стабильном состоянии, что очень редко не только для региона, но и для России в целом. В озере еще сохранилось естественное разнообразие гидробионтов, и оно может выступать основой для оценки состояния водных экосистем при значительном антропогенном воздействии.

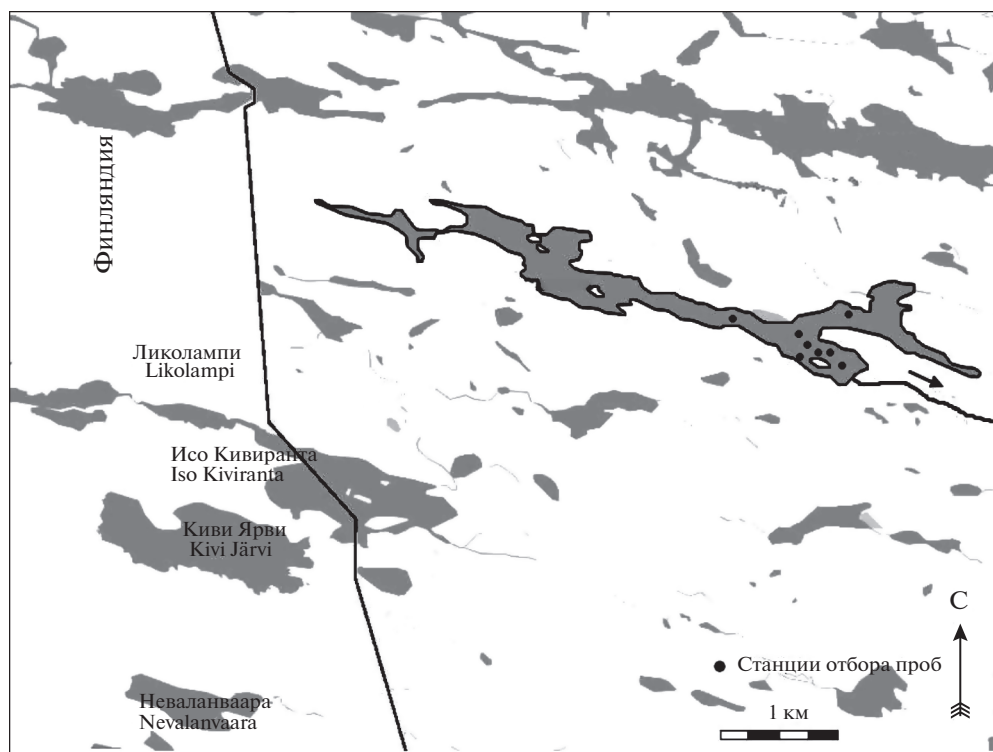


Рис. 1. Карта-схема оз. Толпанъярви.

Цель исследований — изучить современное состояние экосистемы оз. Толпанъярви, включая гидрохимические, гидробиологические показатели и ихтиофауну.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Комплексные исследования на оз. Толпанъярви проводились в августе—сентябре 2019–2020 гг., на ограниченной его акватории из-за близости к границе с Финляндией (рис. 1). Гидробиологические станции были заложены с учетом изучения основных биотопов водоема — на литорали с глубинами до 2 м (3 станции) и в пелагиали с глубинами более 2 м (8 станций). Химический состав воды определяли по стандартным методикам (Абакумов, 1977; Морозов, 1998).

Пробы зоопланктона в пелагиали отбирались батометром Руттнера объемом 2 л, в литорали — мерным ведром, затем пробы процеживались через планктонную сеть с диаметром ячеей 64 мкм и фиксировали 4%-ным раствором формалина. Обработку проб проводили согласно стандартным методикам (Методические..., 1984; Практическая гидробиология ..., 2006). Оценка качества воды дана по методу Пантле—Букк в модификации Сладечека (Макрушин, 1974; Sladeček, 1973) и в соответствии с эколого-санитарной классификацией (Оксиук и др., 1993). Трофический статус водоема оценивали по шкале трофности (Китаев, 2007). Для оцен-

ки значимости отдельных видов и таксонов более высокого ранга в фауне мезозoopланктона применяли показатель частоты встречаемости как отношение количества станций, на которых отмечен таксон, к общему количеству станций. При характеристике частоты встречаемости принята следующая шкала: константные таксоны — частота встречаемости более 50%, второстепенные — 25–50%, случайные — менее 25% (Баканов, 2000). При определении организмов использовали ряд руководств (Кутикова, 1977; Определитель ..., 2010).

Для отбора количественных проб макрозообентоса использовали дночерпатель ДАК-250 (модификация Экмана—Берджа с площадью захвата 1/40 м²) с последующей промывкой грунта через сито № 19 (ячейя 0.5 мм) и фиксацией 8%-ным раствором формальдегида. На каждой станции брали по 2 дночерпателя. Обработка проб осуществлялась в лабораторных условиях по общепринятым методикам (Жадин, 1956; Методические..., 1984; Баканов, 2000). Беспозвоночных взвешивали с точностью 0.10 мг на торсионных весах. Идентификация организмов макрозообентоса проводилась по определителям (Нарчук, 1999; Определитель ..., 2016; Timm, 2009). Данные количественных проб макрозообентоса были проанализированы при помощи пакета программ автоматизированной системы обработки гидробиологических данных (Хазов, 2000). Для оценки степени загрязне-

ния вод озера использовали хирономидный индекс (K), предложенный Е.В. Балушкиной (1997):

$$K = \frac{\alpha_t + 0.5\alpha_{ch}}{\alpha_o},$$

где: α_{ch} — α Chironominae, α_o — α Ortocladinae и Diamesinae, α_t — α Tanipodinae; $\alpha = N + 10$, где N — относительная численность особей всех видов данного подсемейства в процентах от общей численности особей всех хирономид.

Значение индекса K , равное 0.14–2.08, характеризует чистые воды, 2.08–6.05 — умеренно загрязненные, 6.5–9.0 — загрязненные, 9.0–11.5 — грязные.

Контрольный лов рыбы осуществлялся различными сетями (14–50 мм) на разных участках и различных глубинах. Камеральную обработку ихтиологического материала проводили согласно существующим методикам (Правдин, 1966; Решетников, Попова, 2015). У всех выловленных сигов для определения внутривидовых форм просчитывали число жаберных тычинок. В качестве регистрирующих структур при определении возраста рыб использовали чешую, жаберные крышки и отолиты (Дгебуадзе, Чернова, 2009). Латинские названия рыб приводятся по книге “Рыбы в заповедниках России” (2010). Объем собранного и обработанного материала составил 475 экз. рыб. Математическая обработка материала выполнена при помощи программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Республика Карелия относится к Карело-Кольской лимнологической области (Герд, 1956; Китаев, 2007) и это определяет сходство природных условий ее многих озер и рек. Озеро Толпанъярви (65°59'43 с.ш., 30°09'00 в.д.) расположено в Лоухском районе Республики Карелия, относится к бассейну Белого моря (р. Ковда) и занимает приграничное положение с Финляндией (рис. 1). Площадь озера равна 4.2 км², и оно относится к малым водоемам. Средняя глубина составляет 4.5 м, максимальная — 10 м. Из озера вытекает один ручей без названия.

Анализ результатов гидрохимического состава воды озера показал, что общая минерализация составляет 20 мг/л, насыщение кислородом — 90%, показатель pH — 6.0 (табл. 1). Содержание общего фосфора (0.007 мг/л) и азота (0.26 мг/л) в озере характерно для водоемов олиготрофного типа (Китаев, 2007; Лозовик, Ефременко, 2017).

Зоопланктон. По результатам наших исследований в зоопланктоне озера отмечено 24 вида, из них Rotifera — 6, Cladocera — 12, Copepoda — 6 (Calaniformes — 2, Cyclopiformes — 4). Подавляющее большинство отмеченных видов озера относится к бореально-лимническому многокомпонентному комплексу. Его характерными видами являются: *Asplanchna priodonta* (Gosse), *Kellicot-*

Таблица 1. Результаты гидрохимического анализа воды оз. Толпанъярви

Показатель, ед. изм.	Величина
Водородный показатель pH, моль/л	6.0
Перманганатная окисляемость, мгО/л	5.8
Общая минерализация, 20 мг/л	20.0
Электропроводность, мкС/см	22.1
Органический углерод, мг/л	5.7
Кальций, мг/л	2.5
Магний, мг/л	0.6
Натрий, мг/л	0.8
Калий, мг/л	0.3
Гидрокарбонаты, мг/л	9.7
Сульфат-ион, мг/л	0.4
Хлорид-ион, мг/л	0.5
Цветность, град.	25
Фосфор общий, мгР/л	0.007
Азот общий, мгN/л	0.26
Железо общее, мгFe/л	0.14
Взвешенные вещества, мг/л	0.6

tia longispina (Kellicott), *Keratella cochlearis* (Gosse), *Bipalpus hudsoni* (Imhof), *Holopedium gibberum* (Zaddach), *Bosmina* (*Eubosmina*) *coregoni* (Baird), *Daphnia cristata* (Sars), *Eudiaptomus gracilis* (Sars), *Thermocyclops oithonoides* (Sars), а также ряд эвритопных организмов, отличающихся широкой экологической валентностью: *Mesocyclops leuckarti* (Claus), *Chydorus sphaericus* (O.F. Muller), *Bosmina* (*Bosmina*) *longirostris* (O.F. Muller). В литоральной зоне, несмотря на слабое развитие высшей водной растительности (тростник, камыш, кубышка, рдесты), достаточно широко представлены придонно-бентические и фитофильные формы. Это, главным образом, организмы, нуждающиеся в субстрате для периодического прикрепления: *Sida crystalline* (O.F. Muller), *Scapholeberis mucronata* (O.F. Muller), а также ряд хидорид и хищные виды *Polyphemus pediculus* (Linne) и *Megacyclops viridis* (Jurine). Ценоз прибойной каменистой литорали представляет собой обедненный в видовом составе пелагический комплекс зоопланктона открытых участков озера.

Количественные показатели зоопланктона в литорали и пелагиали по группам приводятся в табл. 2. Как в пелагической, так и в прибрежной части по численности и биомассе абсолютно доминируют кладоцеры. В пелагиали основа биомассы создается главным образом за счет кладоцер-фильтраторов — *D. cristata*, видов р. *Bosmina*, *H. gibberum* — и достигает 61%. На долю циклопид (*M. leuckarti*, *Th. oithonoides*) и калянид (*E. gracilis*, *Heterocope appendiculata* (Sars) приходилось 23 и 2% соответственно). Субдоминирующей группой в образовании биомассы зоопланктона были ко-

Таблица 2. Количественные показатели зоопланктона оз. Толпанъярви

Группа	Литораль				Пелагиаль			
	численность		биомасса		численность		биомасса	
	тыс. экз./м ³	%	г/м ³	%	тыс. экз./м ³	%	г/м ³	%
Rotifera	9.56	29	0.13	11	7.08	20	0.11	14
Cladocera	18.57	54	0.96	79	14.83	42	0.50	61
Cyclopiformes	5.66	16	0.08	8	12.58	37	0.18	23
Calaniformes	0.57	1	0.03	2	0.50	2	0.01	2
Всего	34.36	100	1.20	100	34.99	101	0.80	100

ловратки, их средний удельный вес составлял 14% за счет развития крупной *A. priodonta*. По численности преобладали кладоцеры (42%) и циклопиды (36%). Индекс видового разнообразия составлял 2.1 бит/экз., индекс сапробности – 1.4.

В зоне зарослевой литорали, на участках, защищенных от прямого ветрового и волнового воздействия, создаются особые условия для развития зоопланктона. При стечении благоприятных кормовых и температурных факторов, биомасса зоопланктона может создаваться за счет массового развития 1–3 видов (т.н. вспышки численности), что отражается на ее повышенных величинах. Данное явление было отмечено на литоральных станциях озера, где за счет массового развития кладоцер р. *Bosmina*, *P. pediculus* и *Eurycercus lamellatus* (О.Ф. Muller) средняя биомасса зоопланктона составляла 1.20 г/м³. Удельный вес этих видов варьировал от 70 до 99%. На долю остальных групп зоопланктона (всеголюгие ракообразные и коловратки) по биомассе приходилось от 2 до 23%. В таких локациях наблюдались благоприятные кормовые условия для других гидробионтов, в первую очередь для молоди рыб. Индекс видового разнообразия составлял 1.6 бит/экз., индекс сапробности – 1.5.

Таким образом, по уровню количественного развития зоопланктона оз. Толпанъярви в целом можно охарактеризовать как олиготрофный водоем с биомассой менее 1 г/м³ с наличием отдельных β-мезотрофных участков в прибрежной зоне. По величине индекса сапробности Пантле–Букк водоем можно отнести к олигосапробному классу (2-й класс качества, чистые природные воды).

Макрозообентос. Организмы донной фауны характеризуются широким экологическим спектром, достаточно крупными размерами, приуроченностью к конкретному местообитанию, значительной продолжительностью жизни, позволяющей им аккумулировать загрязняющие вещества. Все это делает их очень удобным объектом для мониторинга пресноводных экосистем (Баканов, 2000; Яковлев, 2005).

Донные отложения в оз. Толпанъярви были представлены илисто-песчаными грунтами. Общий список донных организмов, обнаруженных в исследуемый период, насчитывал 16 видов. До-

минирующий комплекс зообентоса формировали Chironomidae п/сем Tanypodinae (*Procladius* sp.) и Orthocladinae (*Psectrocladius* sp., *Psectrocladius sordidellus* (Zetterstedt, 1838), *Psectrocladius barbatipes* (Kieffer, 1923), *Psectrocladius psilopterus* (Kieffer, 1906) и Oligochaeta (*Lumbriculus variegatus* (Muller, 1774)).

В литоральной зоне озера отмечены представители поденок, ручейников, пиявок и ракообразных *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758). Величина средней биомассы макрозообентоса составляла 0.44 г/м² при численности 530 экз./м². Основу биомассы формировали личинки хирономид – 0.24 г/м² при численности 360 экз./м². Доминантным видом служат олигохеты, на долю которых приходилось около 50% всей биомассы.

В целом, количественные показатели зообентоса изменялись от 120 экз./м² и 0.08 г/м² в profundальной зоне до 1200 экз./м² и 0.86 г/м² – в прибрежной литорали. Таким образом, по шкале трофности озеро соответствует олиготрофному типу (Китаев, 2007). По хирономидному индексу *K* – 2.00 относится к чистым природным водным объектам.

Впервые изучен состав рыбного населения озера, и в его исследуемой акватории выявлено 8 видов с преобладанием сига *C. lavaretus*, плотвы *Rutilus rutilus* и окуня *Perca fluviatilis* (табл. 3). По литературным данным в близлежащих озерах обитает до 15 видов рыб (налима *Salvelinus lepechini* (G.), хариус *Thymallus thymallus* (L.), корюшка *Osmerus eperlanus* (L.), голянь *Phoxinus phoxinus* (L.), минога *Lampetra planeri* (Bloch) и кумжа *Salmo trutta* L.) (Мельянцева, 1954, 1974; Решетников и др. 1982; Костылев, 1990; Лукин и др., 2013; Стерлигова, Ильмаст, 2014; Савосин, Ильмаст, 2018 и др.).

Возможно, некоторые из этих видов и обитают в Толпанъярви, но в связи с ограниченным обловом акватории озера (входит в приграничную зону), они не были обнаружены.

Сиг. Особая ценность озера заключается в том, что в нем обитают две формы сига *Coregonus lavaretus*, различающиеся по числу жаберных тычинок: малотычинковые (18–24) и среднетычинковые (28–36). Симпатрическое обитание двух, редко трех–шести форм сига отмечено и в других водоемах Карелии, Финляндии и Швеции (Правдин, 1954; Первозванский, 1986; Решетников, Лу-

Таблица 3. Видовой состав рыб в контрольных уловах оз. Толпанъярви

Семейство/вид
Сем. Coregonidae — сиговые
<i>Coregonus albula</i> (L.) — европейская ряпушка
<i>Coregonus lavaretus</i> (L.) — обыкновенный сиг
Сем. Esocidae — щуковые
<i>Esox lucius</i> L. — обыкновенная щука
Сем. Cyprinidae — карповые
<i>Rutilus rutilus</i> (L.) — плотва
<i>Leuciscus idus</i> (L.) — язь
Сем. Lotidae — налимовые
<i>Lota lota</i> (L.) — налим
Сем. Percidae — окуневые
<i>Perca fluviatilis</i> L. — речной окунь
<i>Gymnocephalus cernuus</i> (L.) — ерш

кин, 2006; Стерлигова, Ильмаст, 2014; Auvinen, 1987). По мнению ряда авторов, сложность и устойчивость структуры северных экосистем достигается не только числом видов, но и внутривидовых форм у сига, ряпушки и гольца, которые в энергетическом плане равноценны самостоятельным видам (Савваитова, 1989; Черешнев и др., 2002; Решетников, Богданов, 2011; Amundsen et al., 1997; Svardson, 1998 и др.). Благодаря этой биологической особенности рыб более полно используется кормовая база водоемов и повышается устойчивость северных экосистем к факторам среды. При оценке состояния северных экосистем именно сиг является видом-индикатором (Решетников, 1995; Моисеенко, 1997; Кашулин и др., 1999; Тяптыргянов, 2016).

Разные формы сига оз. Толпанъярви отличаются по своим биологическим показателям (возрастная структура, линейный и весовой рост, плодовитость и питание). Возрастной состав малотычинкового сига (число жаберных тычинок

18–24) представлен особями — 4+–9+. Средняя длина сига варьировала от 25.0 до 32.0 см, масса от 180 до 380 г (63 экз.) (табл. 4).

Половое созревание у самцов наступает в возрасте 4+, у самок — 5+. Начальным этапом, обеспечивающим воспроизводство рыб, является количество отложенной икры. Абсолютная плодовитость рыб находится в прямой зависимости от массы тела и возраста. Плодовитость малотычинкового сига (35 экз.) варьировала от 4450 (5+) до 10000 (9+) икринок, среднетычинкового (25 экз.) — от 3370 (4+) до 6840 (6+) икринок.

Нерест сига проходит со второй декады октября и до начала ноября, при температуре 3–5°C. Инкубационный период длится 7 мес. У малотычинкового сига в возрасте 9+ отмечены рыбы, пропускающие нерест. В гонадах этих рыб имеются остатки резорбирующих, не выметанных икринок от предыдущего нереста, которые хорошо заметны даже визуальным до следующей весны (Решетников и др., 1982; Кошелев, 1984; Стерлигова и др., 2002; 2016; Решетников, Богданов, 2011). Это довольно обычное явление для сиговых видов рыб (Решетников, 1980; Сидоров, Решетников, 2014; Kennedy, 1953). Авторы связывают это с коротким сезоном откорма и роста рыб в северных водоемах.

В озере обитает и среднетычинковый сиг с числом жаберных тычинок от 27 до 36. Возрастной состав его представлен 4 группами — 3+–6+. Средняя длина особей варьировала от 23.5 до 27.2 см, масса от 145 до 270 г (табл. 4). Самцы сига созревают в 3+, самки — 4+.

Основу питания малотычинковых сигов составляет бентос (личинки хирономид, ручейников, поденок и моллюски, реликтовые ракообразные), иногда зоопланктон, летом — воздушные насекомые, в период нереста корюшки и ряпушки — икра этих рыб. В питании многотычинкового сига в течение всей жизни доминирует зоопланктон, реже встречаются донные беспозвоночные (Титова, 1973; Решетников, 1980; Первозванский, 1986; Стерлигова и др., 2016).

Таблица 4. Линейно-весовой рост сига оз. Толпанъярви

Форма сига	Возраст, лет									N
	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	
Длина (FL), см										
Малотычинковый сиг (18—24 ж. т.)	—	—	25. 0	26. 5	27.8	28.8	30.0	32.0	—	80
Среднетычинковый сиг (28—36 ж. т.)	21.7	23.5	24.7	25. 8	26.4	—	—	—	—	60
Масса, г										
Малотычинковый сиг (18—24 ж. т.)	—	—	180	235	260	300	330	380	—	80
Среднетычинковый сиг (28—36 ж. т.)	—	145	170	220	240	—	—	—	—	60

Таблица 5. Линейно-весовой рост основных видов рыб в контрольных уловах оз. Толпанъярви (в числителе длина SL , см; в знаменателе — масса, г)

Возраст, лет											
4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+	13+	14+	<i>N</i>
Окунь											
—	—	—	$\frac{19.0}{120}$	$\frac{20.0}{140}$	$\frac{22.0}{200}$	$\frac{24.0}{260}$	—	$\frac{26.7}{346}$	$\frac{28.0}{380}$	$\frac{29.0}{433}$	65
Плотва											
—	—	—	—	$\frac{16.8}{105}$	$\frac{18.3}{130}$	$\frac{19.8}{145}$	$\frac{20.3}{167}$	$\frac{21.5}{200}$	$\frac{24.1}{250}$	$\frac{26.0}{280}$	105
Язь											
$\frac{18.7}{130}$	$\frac{20.7}{185}$	$\frac{23.5}{280}$	$\frac{27.0}{390}$	$\frac{28.3}{480}$	$\frac{29.3}{570}$	$\frac{30.4}{630}$	$\frac{32.0}{835}$	$\frac{34.0}{920}$	—	—	30
Щука											
$\frac{43.0}{600}$	$\frac{46.7}{730}$	$\frac{48.0}{1100}$	$\frac{53.0}{1350}$	$\frac{57.0}{2000}$	—	—	—	—	—	—	16

Сравнительный анализ биологических показателей двух форм сига оз. Толпанъярви показал, что малотычинковый сиг обладает более длинным жизненным циклом (11+), высокими показателями линейного и весового роста, большей плодовитостью и питанием.

Окунь является наиболее массовой рыбой в водоеме. Возрастной состав окуня был представлен от 7+ до 15+, длина от 18.0 до 30.5 см, масса от 120 до 433 г (табл. 5). Рыбы в возрасте от 9+ до 13+ составляли 77%, то есть преобладали особи старшего возраста, что можно объяснить слабым обловом данного водоема. По линейно-весовым показателям окунь озера мало отличается от роста в других заповедных водоемах республики (Первозванский, 1986; Стерлигова и др., 2016; Ильмаст и др., 2017). Более высоким ростом обладает окунь крупных озер Карелии — Онежское и Ладожское, которые имеют значительные площади для нагула, нереста и богатую кормовую базу (Дятлов, 2002; Лукин и др., 2013). Спектр питания окуня довольно широк и включает разнообразные группы пищевых организмов (ракообразные, насекомые, моллюски, молодь рыб). Сам окунь служит одним из основных объектов питания всех хищных видов рыб (Попова, 1979; Иванова, Свирская, 2014). В Карелии окунь, при его высокой численности, является одним из основных объектов промышленного, любительского лова и объектом рыбоводства в Финляндии и в России.

Плотва в большинстве озер является вторым по численности видом после окуня и ею заселено до 87% водоемов Карелии (Лукин и др., 2013; Ильмаст и др., 2019). Рыба стайная, очень неприхотливая к условиям обитания. Численность регулируется естественной смертностью, в меньшей — выловом.

Возрастной состав уловов плотвы оз. Толпанъярви представлен особями от 8+ до 14+ и преоб-

ладали рыбы в возрасте 8+—10+ (83%). Длина рыб варьировала от 16.5 до 26.0 см и масса — от 105 до 280 г (табл. 5). Растет плотва очень медленно, что характерно для малых водоемов Карелии (Первозванский, 1986; Дзюбук, Рыжков, 2009; Стерлигова и др., 2016). В крупных озерах плотва может достигать длины 34—36 см, массы — 0.7—0.8 кг, в Ладожском озере — до 1.0 кг (Дятлов, 2002; Кудерский, 2013). Предельный возраст — 28 лет — отмечен в оз. Кереть, но обычно рыбы старше 15—20 лет встречаются крайне редко (Костылев, 1990).

Половое созревание наступает в 3 (самцы)—4 (самки) года, реже в 5—6 лет. Нерест начинается в мае—июне при температуре воды 8—9°C и выше (до 14—16°C) на разных глубинах (0.5—2.0 м) в зонах с водной растительностью и гравием. Икрометание единовременное и ежегодное. Плодовитость варьирует от 4 до 115 тыс. икринок и зависит от массы тела.

По характеру питания плотва — эврифаг. Пищевой спектр разнообразен и включает зоопланктон, различные бентосные организмы (личинки ручейников, хирономид, поленок, моллюски, черви и др.), детрит, нитчатые водоросли, растительные остатки, икру и молодь рыб. Сама плотва играет важную роль в питании хищных рыб (Попова, 1979, 1982).

Щука *Esox lucius* в водоемах Карелии также относится к массовым видам рыб. Она отмечена в 95% обследованных озер, во многих реках, ручьях и предпочитает как прибрежную зарослевую зону, так и глубоководные участки. В оз. Толпанъярви только в исследуемой части озера выловлена щука в возрасте — 3+—8+, длиной — 43—57 см, массой — 600—2000 г. Возможно по всему озеру и обитают рыбы старшего возраста, но лов рыбы по всей его акватории запрещен (табл. 5). В крупных водоемах Карелии отдельные экземпляры щуки в

возрасте 20 лет достигают массы 17 кг, в 22 года — 20 кг (Лукин и др., 2013; Стерлигова и др., 2016).

Линейно-весовой рост щуки в возрастных группах отличается значительно и зависит от кормовой базы водоемов. Так, щука, живущая в озерах, изобилующих кормами, весит в полтора—два раза больше, чем щука такого же возраста в водоемах с бедной кормовой базой (Попова, 1979; Жуков, 2003; Tresurer, Owen, 1991). При уменьшении численности того или иного вида щука легко переходит на питание другими видами, что отмечалось многими исследователями (Попова, 1982; Первозванский, 1986; Дятлов, 2002; Стерлигова и др., 2016). Высокие адаптивные свойства щуки и ее вкусовые качества способствовали тому, что она стала объектом садкового и прудового рыбоводства в ряде стран Западной Европы, Америки и Канады (Wraight, Giles, 1987; Lejolivet, Dauba, 1988 и др.).

Язь *Leuciscus idus* в Карелии встречается в 267 озерах, многочисленных реках на территории от Онежского и Ладожского озер на юге республики до Топозера и Пяозера — на севере (Мельянцева, 1954; Дятлов, 2002; Лукин и др., 2013). Язь предпочитает прибрежные мелководные участки, богатые водной растительностью, и места с заиленными грунтами. Открытых глубоких плесов избегает; в реках чаще встречается на медленном течении. Рыба стайная, но массовых скоплений не образует.

В оз. Толпанъярви язь присутствовал в контрольных уловах с другими видами рыб. Возрастной состав был представлен от 4+ до 12+. Рыбы в возрасте пяти—девяти лет составляли 70%. Длина выловленного язя варьировала от 18.7 до 34.0 см, масса — 130—920 г (табл. 5). В водоемах Карелии отдельные экземпляры язя достигают массы 2.2 кг и возраста 20 лет (Лукин и др., 2013).

Созревает язь в возрасте 4—7 лет, самки обычно на год позднее. Нерестится в мае—июне при температуре воды 5—7°C на каменистых и твердых грунтах. Плодовитость варьирует от 30 до 100 тыс. икринок, икрометание ежегодное. Пища язя самая разнообразная от зоопланктона, детрита до насекомых, дождевых червей, донных ракообразных, моллюсков и личинок рыб.

В оз. Толпанъярви в контрольных уловах был отмечен налим (1 экз.), длиной 40 см, массой 500 г в возрасте 6+.

В питании окуня и щуки встречались ерш и мелкая форма ряпушки (1+), длиной тела 8.0 см, массой 7.0 г, но в уловах они отсутствовали, вероятно, это связано с периодом исследований.

В процессе исследований нами не выявлено никаких аномалий у рыб. Они отсутствовали как на внешнем покрове рыб (язвы, опухоли, вздутия), в состоянии жабр, так и на внутренних органах (почки, печень, гонады), что подтверждает чистоту и стабильность этого водоема.

В целом, по своему рыбохозяйственному статусу озеро относится к высшей категории водных объектов, так как в исследованных участках водоема выявлены ценные виды рыб (сиг, ряпушка), в

целом по озеру их обитает, вероятно, больше (хариус, кумжа, голянь, минога).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые изучена экосистема оз. Толпанъярви (гидрохимия, гидробиология, ихтиофауна). Анализ химического состава воды озера свидетельствует о низком содержании в нем органических веществ (общий фосфор — 0.007 мг/л, общий азот — 0.26 мг/л).

По уровню количественного развития зоопланктона водоем характеризуется как олиготрофный (биомасса менее 1 г/м³), по величине индекса сапробности по методу Пантле—Букк, озеро принадлежит к олигосапробному классу — чистые природные воды.

По количественным показателям зообентоса в профундальной зоне — 120 экз./м² и 0.08 г/м² и в затишной литорали — 1200 экз./м² и 0.86 г/м² озеро соответствует также олиготрофному типу, по хирономидному индексу $K = 2.00$ — водоем принадлежит к чистым водным объектам.

В исследованной части озера контрольным сетным ловом выловлено 8 видов рыб. В целом по озеру их может быть больше. Наибольшую численность составляли сиг, окунь и плотва. В водоеме выявлены две формы сига (малотычинковые и среднетычинковые), которые значительно отличаются по биологическим показателям (линейно-весовой рост, созревание, плодовитость и питание). Озеро Толпанъярви относится к стабильной природной экосистеме, обладающей высокой степенью разнообразия, является основой для сохранения генофонда и для оценки водоемов в условиях интенсивного антропогенного воздействия.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Карельского научного центра РАН.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Конфликт интересов отсутствует.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумов В.А. Контроль качества вод по гидрологическим показателям // Научные основы в системе контроля качества поверхностных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 93—99.

- Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2001. 147 с.
- Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М. Продукционная гидробиология. СПб.: Наука, 2013. 344 с.
- Баканов А.И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов (обзор) // Биол. внутр. вод. 2000. № 1. С. 68–82.
- Балушкина Е.В. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. СПб.: Наука, 1997. С. 266–292.
- Герд С.В. Опыт биолимологического районирования озер Карелии // Тр. Карельского филиала АН СССР. Вып. 5. Вопросы ихтиологии внутренних водоемов. Петрозаводск: Гос. изд-во Карельской АССР, 1956. С. 47–75.
- Дгебуадзе Ю.Ю., Павлов Д.С. Вчера, сегодня и завтра инвазийных чужеродных видов в Российской Федерации // Тр. ФГНУ “ГосНИОРХ”. СПб., М.: Тов. науч. изд. КМК, 2007. Вып. 337. С. 71–82.
- Дгебуадзе Ю.Ю., Чернова О.Ф. Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура. М.: Тов. науч. изд. КМК, 2009. 315 с.
- Дзюбук И.М., Рыжков Л.П. Динамика состояния ихтиофауны Онежского озера в XX веке // Уч. записки ПетрГУ. 2009. № 5. С. 26–31.
- Дятлов М.А. Рыбы Ладожского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. 281 с.
- Жадин В.И. Методика изучения донной фауны и экологии донных беспозвоночных // Жизнь пресных вод СССР. М., Л.: Наука, 1956. Т. 4 (1). С. 17–41.
- Жуков П.И. Руководство по рыбам, населяющим Республику Беларусь. Минск: Бизнесофсет, 2003. 88 с.
- Зеленый пояс Фенноскандии: научно популярное иллюстрированное издание. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. 116 с.
- Иванова М.Н., Свирская А.Н. Динамика питания хищных рыб Рыбинского водохранилища за период 1949–2012 гг. // Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов. М.: Полиграф-Плюс, 2014. Т. 1. С. 204–212.
- Ильмаст Н.В., Стерлигова О.П. Структура ихтиофауны озера Каменного (Костомукшский государственный заповедник) // Сб. статей “Международная и межрегиональная сопряженность охраняемых природных территорий Европейского Севера”. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. С. 49–50.
- Ильмаст Н.В., Стерлигова О.П., Савосин Д.С. Плотва *Rutilus rutilus* озерно-речной системы р. Кенти (бас. Белого моря) // Тр. КарНЦ РАН, 2019. Вып. 5. С. 73–82.
- Кашулин Н.А., Лукин А.А., Амундсен П.А. Рыбы пресных вод субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1999. 142 с.
- Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
- Костылев Ю.В. Рыбы. Петрозаводск: Карелия, 1990. 150 с.
- Кошелев Б.В. Экология размножения рыб. М.: Наука, 1984. 307 с.
- Кудерский Л.А. Исследования по ихтиологии, рыбному хозяйству и смежным дисциплинам // Сб. науч. тр. ФГНУ “ГосНИОРХ”. М.—СПб.: Тов. науч. изданий КМК, 2013. Т. 3 (342). 526 с.
- Кутикова Л.А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 512 с.
- Лозовик П.А., Ефременко Н.А. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике. СПб.: Нестор-История, 2017. 270 с.
- Лукин А.А., Первозванский В.Я., Шарова Ю.Н. Ихтиофауна // Озера Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 56–67.
- Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод. Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1974. 60 с.
- Мельянец В.Г. Рыбы Пяозера // Тр. Карело-Финского гос. ун-та. Петрозаводск: Гос. изд-во: КФ ССР, 1954. С. 3–77.
- Мельянец В.Г. Рыбы. Петрозаводск: Карелия, 1974. 120 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов гидробиологических проб на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 23 с.
- Моисеенко Т.И. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1997. 261 с.
- Морозов А.К. Химический состав воды // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. Петрозаводск. КарНЦ РАН, 1998. С. 122–123.
- Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 184 с.
- Нарчук Э.П. Определитель беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб.: ЗИН РАН, 1999. С. 210–296.
- Оксиюк О.П., Жуковский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29 (4). С. 62–76.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Зоопланктон. М.: Тов. науч. изд. КМК, 2010. 495 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Зообентос. Т. 2. М., СПб.: Тов. науч. изд. КМК, 2016. 457 с.
- Первозванский В.Я. Рыбы водоемов района Костомукшского железорудного месторождения (экология, воспроизводство, использование). Петрозаводск: Карелия, 1986. 216 с.
- Попова О.А. Роль хищных рыб в экосистемах // Изменчивость рыб в пресноводных экосистемах. М.: Наука, 1979. С. 106–145.
- Попова О.А. Питание хищных рыб Сямозера после вселения корюшки / Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. С. 106–145.
- Правдин И.Ф. Сиги водоемов Карело-Финской ССР. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 324 с.
- Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
- Практическая гидробиология. Пресноводные экосистемы. М.: ПИМ, 2006. 367 с.
- Решетников Ю.С. Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука, 1980. 301 с.
- Решетников Ю.С. Современные проблемы изучения сиговых рыб // Вопр. ихтиол. 1995. Т. 35 (2). С. 156–174.
- Решетников Ю.С., Лукин А.А. Современное состояние разнообразия сиговых рыб Онежского озера и проблемы определения их видовой принадлежности // Вопр. ихтиол. 2006. Т. 46 (6). С. 732–746.

- Решетников Ю.С., Богданов В.Д. Особенности воспроизводства сиговых рыб // *Вопр. ихтиол.* 2011. Т. 51 (4). С. 502–525.
- Решетников Ю.С., Попова О.А. О методиках полевых ихтиологических исследований и точности полученных результатов // *Тр. ВНИРО.* 2015. Т. 256. С. 112–129.
- Решетников Ю.С., Попова О.А., Стерлигова О.П. и др. Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. 248 с.
- Рыбы в заповедниках России. М.: Тов. науч. изд. КМК, 2010. Т. 1. 627 с.
- Савваитова К.А. Арктические гольцы (структура популяционных систем, перспективы использования). М.: Агропромиздат, 1989. 223 с.
- Савосин Д.С., Ильмаст Н.В. Ихтиофауна озера Пяозера (Северная Карелия) // *Сб. Балтийский морской форум.* 2018. С. 135–147.
- Сидоров Г.П., Решетников Ю.С. Лососеобразные рыбы водоемов Европейского Северо-Востока. М.: Тов. науч. изд. КМК, 2014. 346 с.
- Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В. Разнообразие водных экосистем Зеленого пояса Фенноскандии (Республика Карелия) // *Тр. КарНЦ центра РАН.* 2014. № 6. С. 115–121.
- Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В., Савосин Д.С. Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 224 с.
- Стерлигова О.П., Павлов В.Н., Ильмаст Н.В. и др. Экосистема Сямозера (биологический режим, использование). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. 119 с.
- Титова В.Ф. Многоотычинковый сиг Сямозера. Петрозаводск: Карелия, 1973. 97 с.
- Тяптыргянов М.М. Изменение рыбного населения пресноводных водоемов Якутии. М.: Полиграф-Плюс, 2016. 308 с.
- Хазов А.Р. Анализ гидробиологических данных и его программная реализация. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 154 с.
- Черешнев И.А., Волобуев В.В., Шестаков А.В., Фролов С.В. Лососевидные рыбы Северо-Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2002. 496 с.
- Яковлев В.А. Пресноводный зообентос Северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика). Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2005. Ч. 1. 161 с.; Ч. 2. 145 с.
- Auvinen H. Growth mortality and management of whitefish (*Coregonus lavaretus*) Pyhajarvi (Karelia) // *J. Finn. Fish. Res.* 1987. № 3. P. 38–47.
- Amundsen P.A., Staldivik F.J., Lukin A.A. et al. Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia // *Sci. Tot. Environ.* 1997. V. 201. P. 211–224.
- Lejolivet C., Dauba E. Croissance et comporteent, alimentaire dalevins de Brachet (*Esox lucius*) eleves en cages dans le reservoir de Pareloup // *Ann. Limnol.* 1988. T. 24 (2). P. 183–192.
- Kennedy W.A. Growth, maturity, fecundity and mortality in the relatively unexploited whitefish of Great Slave Lake // *J. Fish. Res. Board Canada.* 1953. V. 10 (7). P. 51–61.
- Sladeček V. System of water quality from biological point of view // *J. Arch. Hydrobiol.* 1973. V. 7. 218 p.
- Svardson G. Postglacial dispersal and reticulate evolution of Nordic coregonids // *J. Fresh. Res.* 1998. № 74. P. 3–32.
- Timm T.A. Guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe // *J. Faunist. Florist. Eur. Inland Waters.* 2009. V. 66. P. 236.
- Tresurer J., Owen R. Food and growth of pike *Esox lucius* in simple fish communities in lakes of different trophic status // *J. Aquat. Liv. Res.* 1991. V. 4 (4). P. 289–292.
- Wraight R.M., Giles N. The survival, growth and diet of pike fry, *Esox lucius* L., stocked at different densities in experimental ponds // *J. Fish. Biol.* 1987. V. 3 (30). P. 617.

The Ecosystem of Lake Tolpanjärvi, Western Karelia, Preserved in Natural State

O. P. Sterligova^a, N. V. Ilmast^{a, *}, Ya. A. Kuchko^a, E. S. Savosin^a, and D. S. Savosin^a

^aInstitute of Biology, Karelian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia

*e-mail: ilmast@mail.ru

The results of the study of Lake Tolpanjärvi's ecosystem are reported. Its hydrological and geochemical indices, as well as the current condition of biotic communities (zooplankton, benthos and fish population), were studied and analyzed. Analysis of the chemical composition of water indicates the low organic matter content (total phosphorus 0.007 mg/l, nitrogen 0.26 mg/l) of the lake. The Tolpanjärvi is an oligotrophic lake, as indicated by the abundance of zooplankton (with a biomass of less than 1 g/m³) and zoobenthos (biomass 0.44 g/m²). The lake is of an oligosaprobic class (2nd quality class, clean natural water), as evidenced by its saprobity index estimated using Pantle–Buk's method. The quantitative indices of zoobenthos varied from 120 individuals/m² and 0.08 g/m² in the profundal zone to 1200 inds./m² and 0.86 g/m² in the quiet littoral zone. The lake is more similar in the chironomid index ($K - 2.00$) to clean natural water. It is inhabited by 8 fish species of 5 families. The fish population is dominated by the whitefish *Coregonus lavaretus*, the perch *Perca fluviatilis* and the roach *Rutilus rutilus*. Two ecological forms of whitefish, differing in both the number of gill rakers (sparsely-rakered 18–24 and medium-rakered 28–36) and biological indices (linear-weight growth post, maturation, fertility and feeding), occur in the lake. Stable highly diverse ecosystems were shown to form the basis for the preservation of the gene pool and for assessment of the current condition of water bodies heavily affected by human activities.

Keywords: freshwater ecosystems, biological diversity, ecological forms, zooplankton, zoobenthos, fish population, Republic of Karelia